



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 SÍSMICA – GEOTÉCNICA DEL ÁREA URBANA DE CHILCA

Lima, Perú
2017

Instituto Geofísico del Perú

Presidente Ejecutivo: Dr. Hernando Tavera

Director Científico: Dr. Danny Scipion

Autores

Isabel Bernal

Caracterización Sísmica y Geofísica del área urbana de Chilca

Juan Carlos Gomez

Caracterización Geológica y Geotécnica del área urbana de Chilca

Equipo de Evaluación Geológica y Geotécnica: Pilar 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 SÍSMICA – GEOTÉCNICA DEL ÁREA
URBANA DE CHILCA**

Distrito de Chilca – Provincia de Cañete – Región 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 Sísmica - Geotécnica de las áreas urbanas de las ciudades/localidades de Chilca (distrito de Chilca), Coayllo (distrito de Coayllo), Humay y Bernales (distrito de Humay), Imperial (distrito de Imperial), Nuevo Imperial (distrito de Nuevo Imperial), Quilamana (distrito de Quilamana), 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 Sísmica – Geotécnica de los suelos del área urbana de Chilca”, 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.

El presente informe está constituido por tres (3) partes, en la primera se realiza la presentación y características del área de estudio, las conclusiones y recomendaciones generales. En la segunda parte, se presenta el desarrollo del estudio realizado para la caracterización geológica y geotécnica, y en la tercera, la caracterización geofísica, en ambos casos para el área urbana de Chilca. Finalmente, en un DVD se adjunta toda la documentación y mapas temáticos generados durante la realización del presente estudio.

INDICE

RESUMEN

INDICE

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

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

PARTE 2: Caracterización geológica y geotécnica del área urbana de Chilca

PARTE 3: Caracterización sísmica y geofísica del área urbana de Chilca

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS: Documentos y anexos se adjunta en un DVD

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 2016 el Proyecto “**Zonas Geográficas con Gestión de Información Sísmica**” y como parte del mismo, la Sub-Dirección de Ciencias de la Tierra Sólida desarrollan la Actividad “**Generación de Estudios Territoriales de Peligro Sísmico**” a fin de obtener el Mapa de Zonificación Sísmica – Geotécnica (Comportamiento Dinámico del Suelo) para las áreas urbanas de las siguientes ciudades (Figura 1):

- **Chilca**, distrito de Chilca, provincia de Cañete, región de Lima.
- **Coaylo**, distrito de Coaylo, provincia de Cañete, región de Lima.
- **Humay y 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 norte 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 la región de Lima y 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.

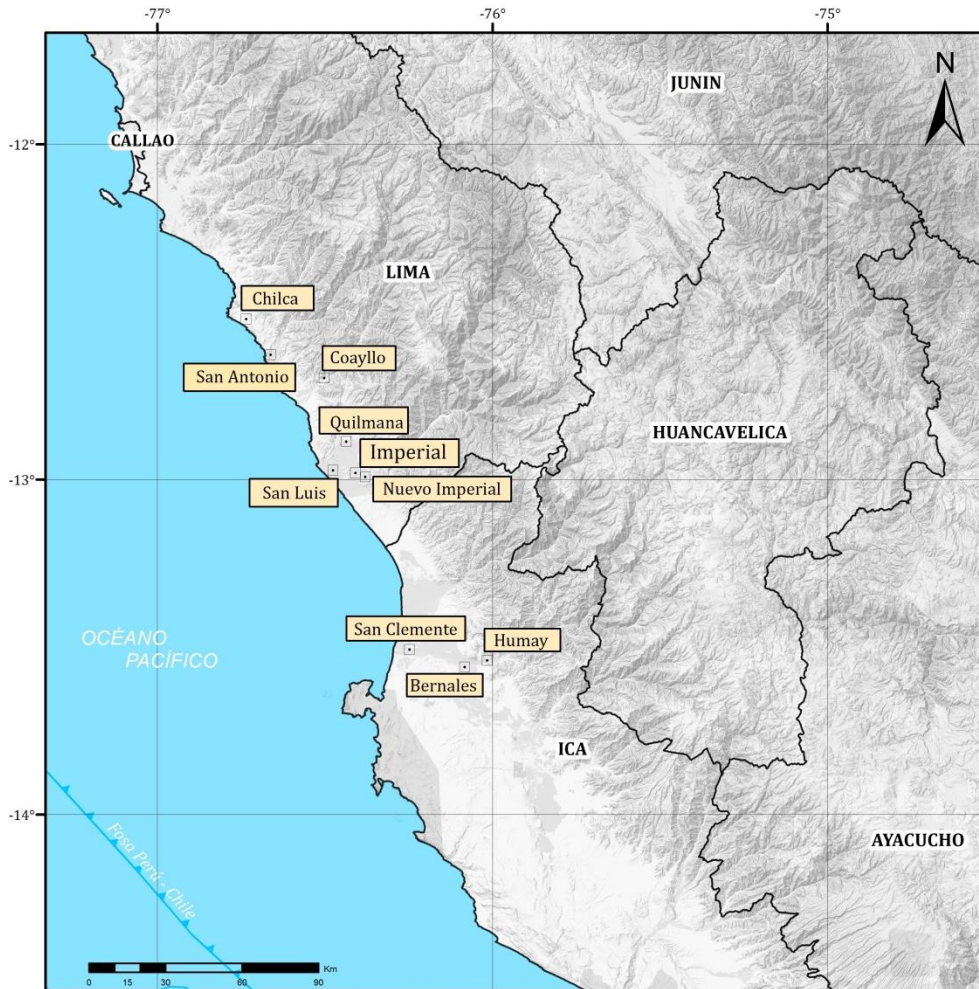


Figura 1: Distribución espacial de las ciudades/ Áreas urbanas intervenidas en el año 2016; Zonificación Sísmica – Geotécnica de suelos

Los estudios de Zonificación Sísmica – Geotécnica (Comportamiento Dinámico del Suelo), permitirán tener mayor conocimiento sobre las características dinámicas del suelo sobre el cual se levantan las 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 del área urbana de Chilca debe comprender que existen tres (3) reglas para construir una casa sismorresistente (www.acerosarequipa.com):

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

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

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

Es importante remarcar que los Mapas de Zonificación Sísmica – 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 Sísmica - Geotécnica para el área urbana de Chilca, distrito de Chilca, provincia de Cañete, Región de Lima, a partir de la integración de los resultados obtenidos con la aplicación de diferentes métodos sísmicos, geofísicos, geológicos y geotécnicos. 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 del área urbana.

El área urbana de Chilca y balneario peruano ubicado en el distrito de Chila, provincia de Cañete, región de Lima (Figura 2). Se encuentra en el margen Occidental y región centro de Perú, a una altitud promedio de 3 m.s.n.m., limita por el norte con el distrito de Pucusana y San Bartolo (Lima Metropolitana); al noreste con el distrito de Santa María del Mar (Lima Metropolitana); al este con el distrito de Santo Domingo de Olleros (Huarochirí); al sur con el distrito de San Antonio, Santa Cruz de Flores y Calango (Cañete); y por el oeste con el Océano Pacífico.

La zona de estudio abarca un área de 48 km² aproximadamente de los cuales 15.5 km² (32 % del área total), está conformada por el centro urbano Chilca, sector Las Salinas, Urb. San Hilarión, AA.HH San Pedro y San José y sector Olleros, así como, áreas agrícolas y playas: Yaya San Pedro, Ñave y el balneario Lapa Lapa.

1.2. Historia

El área urbana de Chilca tiene sus inicios en el Período Precerámico (5000 – 2250 a.n.e.), con la formación de las primeras aldeas como La Paloma cuyos habitantes se dedicaron tanto a la pesca como a la recolección de recursos marinos, y Pueblo I donde se encontraron evidencia de productos cultivados, como camote, pallares, frijoles, yucas y algodón. Durante el Horizonte Temprano (2250- 200 a.n.e.), la sociedad Chavín tuvo una gran presencia cultural, político y económico en el valle de Chilca, que se concretó con la construcción de los sitios arqueológicos de Monumento I y II que se sumaban a La Paloma y Pueblo I. Posteriormente, en el Periodo Intermedio Temprano (200 - 550 a.n.e.) se desarrolló el señorío de los Lapa Lapa, establecidos en el cerro Yaya.

En el Horizonte Medio (200- 900 d.n.e.) las chilcas tuvieron una influencia cultural de los Wari, quienes edificaron los sitios de Sawilka y Pozas Salinas. En el Intermedio Tardío (900– 1475 d.n.e.) se suscitó el enfrentamiento entre las sociedades citadas del valle de Chilca y los invasores del imperio incaico cerca de los años de 1460, con victoria de estos últimos a cargo de Tupac Yupanqui y a construcción de los sitios de Tambo, Chichacara, Rupashca Wasi y Bandurria.

Luego de la conquista española en 1532, el pueblo de chilca tuvo su origen entre los siglos XVII y XVIII con la construcción de viviendas por los habitantes indígenas y la iglesia Nuestra Señora de la Asunción de Chilca dirigidos por sacerdotes Franciscanos, Asimismo la construcción del puerto de Pucusana. En la época Republicana se crea el distrito de Chilca, por decreto de gobierno del Mariscal Ramón Castilla el 2 de enero de 1857. Diez años más tarde, los caceríos de San Antonio de Padua y de Santa Cruz de Flores pasan a formar parte de Chilca hasta 1922, año en el cual son elevados a categoría de distritos. Asimismo, el anexo de Pucusana es constituido como distrito en 1943 y pasa a formar parte de la provincia de Lima en 1951 (Figura 3).

Actualmente, según el censo realizado por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) en el 2007, Chilca registró un total de 14559 habitantes establecidos en 4863 viviendas, con tendencia de crecimiento urbano hacia el norte del distrito.



Figura 3: Plaza de Armas de Chilca

1.3. Accesibilidad y Clima

El acceso al área urbana de Chilca se realiza por la carretera Panamericana Sur, vía asfaltada en buen estado de conservación, hasta el kilómetro 64, para luego recorrer 1 km en dirección noroeste, hasta llegar a la municipalidad distrital de Chilca.

Para determinar las condiciones climáticas del área urbana de Chilca, se ha tomado los datos referenciales de la web del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). La estación La Capilla 2 se encuentra ubicada a 26.17 km al este del área urbana de Chilca en las coordenadas geográficas; Latitud: 12°31'18.1", Longitud: 76°29'35.3" y en cota 442 m.s.n.m. Según la información registrada en esta estación (período 2011-2016), el área urbana presenta un clima seco y semi cálido, con una temperatura media mensual, que durante los meses de verano oscila entre 27.59 °C y 32.85 °C, mientras que, el mes más frío es en agosto con temperaturas de 12.60 °C en promedio ver Tablas 1 y Figura 4.

Tabla 1: Temperaturas máximas y mínimas medias mensuales (2011-2016), recopilados de la estación meteorológica La Capilla 2 (SENAMHI, 2010). SD Sin datos.

Estación: LA CAPILLA 2							
Tipo Convencional - Meteorológica							
Departamento	Lima	Provincia	Cañete	Distrito	Calango		
Latitud	12° 31' 18.1"	Longitud	76° 29' 35.3"	Altitud	442		
Mes	Temperatura Promedio	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Enero	T° Max. Media mensual (°)	SD	30.97	28.38	29.85	29.54	29.62
	T° Min. Media mensual (°)	SD	SD	18.76	19.31	18.07	17.14
Febrero	T° Max. Media mensual (°)	SD	30.93	32.14	31.58	31.25	31.95
	T° Min. Media mensual (°)	SD	SD	19.93	18.79	19.91	20.97
Marzo	T° Max. Media mensual (°)	SD	31.46	31.77	31.21	31.79	32.85
	T° Min. Media mensual (°)	SD	SD	19.58	18.95	19.68	20.53
Abril	T° Max. Media mensual (°)	SD	30.79	30.31	29.23	30.24	30.83
	T° Min. Media mensual (°)	SD	18.12	17.25	17.34	18.65	18.54
Mayo	T° Max. Media mensual (°)	SD	26.93	26.22	24.94	27.26	28.25
	T° Min. Media mensual (°)	SD	15.77	15.18	16.3	17.12	16.41
Junio	T° Max. Media mensual (°)	23.24	26.6	23.71	29.76	24.11	24.08
	T° Min. Media mensual (°)	14.87	15.03	17.77	15.61	14.91	14.33
Julio	T° Max. Media mensual (°)	22.38	SD	21.95	22.01	23.61	
	T° Min. Media mensual (°)	13.93	14.65	12.98	13.29	14.49	
Agosto	T° Max. Media mensual (°)	22.22	SD	21.96	23.12	22.9	
	T° Min. Media mensual (°)	13.11	13.43	12.6	13.33	14.28	
Septiembre	T° Max. Media mensual (°)	25.07	SD	24.13	23.73	24.61	
	T° Min. Media mensual (°)	13.58	14.17	13.41	13.72	14.55	
Octubre	T° Max. Media mensual (°)	26.44	SD	25.82	26.37	26.63	
	T° Min. Media mensual (°)	14.82	14.45	13.85	14.58	15.59	
Noviembre	T° Max. Media mensual (°)	27.59	SD	26.34	26.37	26.11	
	T° Min. Media mensual (°)	SD	15.48	15.1	15.19	16.14	
Diciembre	T° Max. Media mensual (°)	28.71	SD	28.47	28.27	SD	
	T° Min. Media mensual (°)	SD	17.38	17.17	16.89	SD	



Figura 4: Estación Meteorológica “La Capilla 2”, ubicada a 26.17 km al este del área urbana de Chilca.

1.4. Economía

La principal actividad económica del área urbana de Chilca, es el comercio al por menor y servicios de reparación automotriz, cuyo porcentaje de participación al PBI local es del 31 % (INEI, 2007). Según el INEI (2013), el 9.2 % (1454 hab.) de la población total

de Chilca son pobres y dependen de los ingresos por prestaciones sociales (s/.177 193), programas sociales de apoyo, obtenidos del gasto presupuestal total anual s/.10 387 785 (MEF, 2017). Considerando el gasto presupuestal anual del 2017 y del 2010, cuyo monto del último asciende a la suma de s/. 4 638 262 (MEF, 2010), se observa un incremento del presupuesto que indica aún, una continua dependencia de la municipalidad con el gobierno regional y nacional.

1.5. Estudios Previos

Para el área urbana Chilca, se ha recopilado información sobre estudios previos de geología, geotécnica, sísmica y geofísica realizados por diversos investigadores e instituciones a fin de ser considerada para proyectar los objetivos del presente estudio, además de complementar los resultados a obtenerse. Entre los principales documentos técnicos consultados, se tiene:

- Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA)-Proyecto de Irrigación Chilca-Mala-Asia-1994 “Estudio Agrológico Semi detallado Valle de Chilca”: “Los suelos de Chilca están conformados por depósitos del Cuaternario, constituidos por los sedimentos continentales, como las arenas, guijarros, gravas, cantos rodados, y arcillas que rellenan el valle y los piedemontes, abanicos y las Pampas. Estos depósitos divididos en eólicos, marinos, aluviales y piedemonte”. Cabe resaltar que, la salinidad en el sector Las Salinas se debe a que alrededor de la laguna del mismo nombre, no existe un buen drenaje, lo que permite la acumulación de sedimentos mineralógicos.
- INGEMMET Boletín N° Serie A: Carta Geológica Nacional Geología de los Cuadrángulos de Mala, Lunahuaná, Tupe, Conayca, Chíncha, Tantará y Castrovirreyna, (Salazar, et al, 1993): Indica que, “las características del área permiten postular que durante el Mesozoico las unidades litostrostratigráficas resultaron de la sedimentación, en una cuenca subsidente (Cuenca Occidental Peruana) limitada por dos macizos paleozoicos que funcionaron como bloques positivos hasta el Cretácico Inferior”. Asimismo, que el Batolito de la Costa está representado por un conjunto de intrusivos (tonalitas, dioritas, granitos, granodioritas, monzodioritas y monzogranitos).
- INGEMMET Boletín N° 20 Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica-Estudio Geotécnico de futuras áreas de expansión urbana entre Lima y Cañete, (A.,

Guzmán, et al, 1998): Describe la geotecnia del sector Chilca (Playa Ñave- Las Salinas), “consisten de depósitos proluviales y de playa, con cobertura superficial eólica, se trata de secuencias de arenas limosas de grano fino a medio, de hasta 3.00 m de profundidad, medianamente densas con escasos bloques de roca de hasta 0.80 m de diámetro (quebrada Chilca); arenas de playa mal graduadas, superficialmente con raíces y presencia de costras de sal (evaporitas), como en Las Salinas y Playa Ñave. En el paradero Las Salinas se encontró el nivel freático a 2.40 m y en la playa Ñave entre 0.53 y 1.00 m de profundidad.”

- Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA)- Intendencia de Recursos Hídricos-Administración Técnica del distrito de Riego Chillón-Rímac-Lurín “Inventario de fuentes de agua Subterránea en el valle del Chilca-2005”: Determinó que el nivel freático se encuentra entre 2.00 m. y 3.70 m. de profundidad en el sector Las Salinas, por otro lado en la Urb. San Hilarión y cercado de Chilca, la profundidad de la napa freática se encuentra entre 17.40 y 28.92 m. mientras que en la quebrada Chilca se ubica a una profundidad de 37m. a 61.80 m, esto se debe a la pendiente del terreno. Además, menciona que las aguas subterráneas discurren de noreste a suroeste, que corresponde a un acuífero libre de origen aluvial y de edad cuaternaria. Además, presenta los siguientes parámetros hidráulicos: Transmisividad (0.19 a 7.27×10^{-2} m²/s), Permeabilidad (0.32 a 12.24×10^{-4} m²/s), Coeficiente de almacenamiento (1.13%), la descarga se produce en los meses de enero a marzo con un promedio anual de precipitación de 20 mm.
- Centro Regional de Sismología para América del Sur (CERESIS) Informe Técnico, 2008 “El Terremoto de Pisco 15 de agosto 2007”: “Fotografió la iglesia que presento daños en ambos campanarios, habiendo colapsado el sombrete y la cruz de uno de ellos, se observaron fisuras y grietas horizontales y verticales de importancia en ambos. El muro de adobe aledaño a la iglesia sufrió derrumbes parciales. Muchas viviendas de adobe tienen ruptura de sus revestimientos y fisuras”.
- INTRADEVCO INDUSTRIAL S.A, Proyecto: Anexión al área urbana y asignación de Zonificación Industrial para Gran Industria pesada I-4 (Ubicación: Av. Santo Domingo de los Olleros S/N distrito de Chilca)-2012: realizó la exploración del terreno en zonas aledañas de Chilca-Cercado, identificando suelos tipo por arenas gruesas.

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 Sísmica, 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.

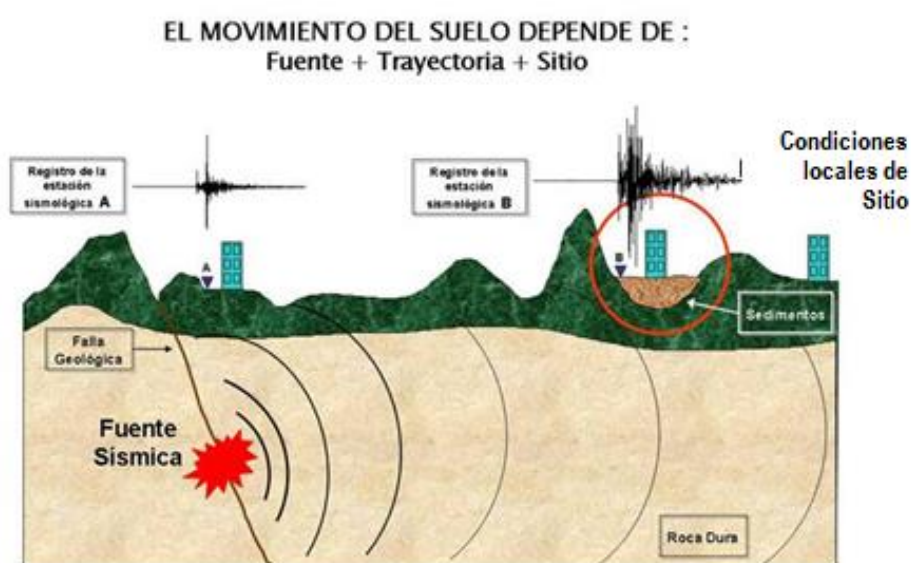


Figura 5: Las condiciones locales de sitio controlan la amplificación del sacudimiento del suelo, puesto en evidencia con la amplitud del registro sísmico obtenido sobre roca y sedimentos.

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 Sísmica - 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 N_{60} 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.

- **Perfil Tipo S₃: Suelos Blandos**, corresponden suelos flexibles con velocidades de propagación de onda de corte V_s menor o igual a 180 m/s.
- **Perfil Tipo S₄: 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).

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

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

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 cada zona de interés. Para este estudio, la Zonificación Sísmica – 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 y de acuerdo a los estudios realizados, 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 que varían entre 3.0 y 10.0 m., subyaciendo a estos estratos se tiene grava eluvial o grava coluvial. Los periodos predominantes del terreno, determinados por las mediciones de microtrepidaciones, varían entre 0.3 y 0.5 s, con velocidades de las ondas de corte (V_s) que varía 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 encontrados en estos suelos varían entre 0.5 y 0.7 s, por lo que su comportamiento dinámico ha sido tipificado como suelo Tipo S3 de la norma sismorresistente 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.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El estudio de Zonificación Sísmica - Geotécnica para el área urbana de Chilca, ha permitido llegar a las siguientes conclusiones y recomendaciones:

Conclusiones

- En el área de estudio se han identificado tres unidades geomorfológicas: abanico aluvial (sobre el cual se asienta el centro urbano de Chilca), loma (sector Las Salinas y zona industrial) y playa (San Pedro, Yaya, Chilca y Ñave), que ocupan el 88%, 10.4% y 1.6% respectivamente.
- Se han identificado dos tipos de eventos geodinámicos: caída de rocas en el balneario Lapa Lapa e inundaciones por desbordes de las aguas de la quebrada Chilca, ante el incremento de las precipitaciones y producto del arrojamiento de desechos antrópicos que colmatan el cauce, lo cual afectaría 2290 Ha del AA.HH. Asunción y Asociación Virgen del Carmen (33% de la zona de estudio).
- Se han identificado dos tipos de suelos en el área urbana de Chilca que corresponden a: arenas mal graduadas con gravas (SP) con capacidad de carga admisible baja a media (1.79 – 2.10 kg/cm²) en el AA.H. San José, Urb. San Hilarión, AA.HH. San Pedro y Sector Las Salinas y arena limo arcillosa (SC-SM) con capacidad de carga admisible baja (1.80 kg/cm²), constituyen los suelos sobre el cual se asienta el cercado de Chilca, La Hacienda Santo Domingo y La Joya.
- Se evidenció presencia de nivel freático superficial en el sector Las Salinas, en la zona frente a las granjas San Fernando y a 700 m. al este aproximadamente de la playa Ñave a una profundidad de 1.50 m, sin embargo, informes anteriores del año 2004, indican el nivel freático a partir de 2.00 m., por tanto se puede deducir que en los últimos 12 años hay un ascenso de 0.50 m. El sector Las Salinas - barrio Aguita de Coco, es una zona que presenta potencial de licuación de suelos, pues el valor calculado del factor de seguridad es menor a 1.
- Para el área urbana de Chilca se ha identificado, según las características dinámicas del suelo, sus propiedades mecánicas y el procedimiento establecido en la Norma E.030, la existencia de Tres (3) zonas sísmicas correspondientes a

suelos Tipo S1, S2 y S4 que comprenden a suelos rígidos, medianamente rígidos y excepcionales respectivamente. Asimismo, se define como caso especial al sector ubicado entre la Urb. Costa Azul y La Joya, donde sobresalen periodos de 1.0 y 1.1, con amplificaciones de hasta 8 veces; resultados que sugieren la presencia de suelos blandos con una respuesta dinámica compleja ante la ocurrencia de sismos (Figura 6).

Recomendaciones

Este documento técnico debe ser complementado con los estudios geotécnicos para finalmente generar el mapa de “Zonificación Sísmica - Geotécnica”. Del mismo modo, para aportar con las normativas necesarias para el desarrollo y expansión urbana del área urbana de Chilca.

Asimismo, se debe tener en cuenta la presencia del nivel freático superficial para las construcciones futuras en el sector Las Salinas y la zona frente a granjas San Fernando. Así, como identificar una zona adecuada para ser utilizada como relleno sanitario para evitar el arrojado de desechos antrópicos en el cauce de la quebrada Chilca. De debe tomar estas medidas a fin de que el río no colmate en épocas de avenidas extremas y se produzca el desborde afectando zonas aledañas.

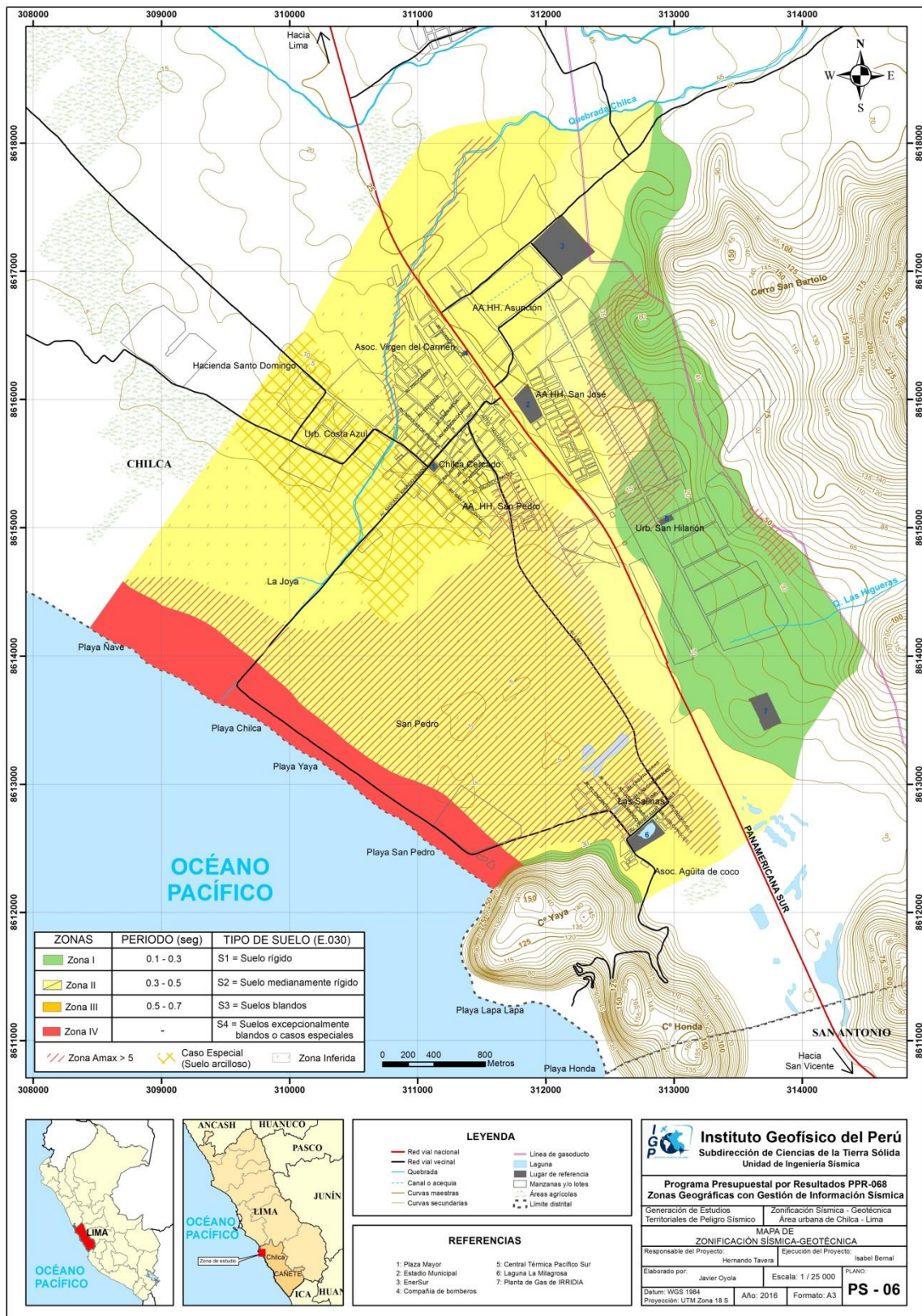


Figura 6: Mapa de Zonificación Sísmica- Geotécnica para el área urbana de Chilca.

**CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA
DEL ÁREA URBANA DE CHILCA**

CONTENIDO

1. METODOLOGÍA

2. GEOMORFOLOGÍA

2.1. Base topográfica

2.2. Modelo digital del terreno

2.3. Pendientes

2.3.1. Clasificación del grado de pendientes

2.4. Unidades geomorfológicas

2.4.1. Abanico aluvial

2.4.2. Loma

2.4.3. Playa

3. GEOLOGÍA

3.1. Geología regional

3.1.1. Geología histórica

3.1.2. Geología estructural

3.1.2.1. Zona de plegamientos

3.2. Geología local

3.2.1. Formación Pamplona

3.2.2. Formación Lurín

3.2.3. Formación Chilca

3.2.4. Formación Pucusana

3.2.5. Depósitos Cuaternarios

3.2.6. Rocas Intrusivas

4. GEODINÁMICA

4.1. Procesos de geodinámica interna

4.2. Procesos de geodinámica externa

4.2.1. Caída de rocas

4.2.2. Inundaciones

4.3. Zonas susceptibles a procesos geodinámicos

5. ASPECTOS GEOTÉCNICOS

5.1. Exploraciones a cielo abierto

5.1.1. Descripción de calicatas

5.2. Densidad del suelo in-situ

5.3. Exploraciones con posteadora manual

5.4. Ensayos de penetración dinámica ligera (norma DIN 4094)

5.4.1. Correlación entre “N” DPL y el “N” SPT (ASTM D1586)

5.4.2. Cálculo del ángulo de fricción interna

5.5. Clasificación SUCS

5.6. Ensayos de corte directo (norma ASTM D-3080)

5.7. Capacidad de carga admisible

5.7.1. Carga última

5.7.2. Capacidad de carga admisible baja

5.7.3. Capacidad de carga admisible media

5.8. Problemas geotécnicos

CONCLUSIONES

1. METODOLOGÍA

Para realizar la caracterización geológica y geotécnica de los suelos en el área urbana de Chilca se ha seguido la siguiente metodología:

- ✓ **Gabinete I:** Las actividades realizadas incluyeron la revisión de imágenes satelitales pancromáticas no estereoscópicas (WorldView-2 del servidor Digital Globe, año 2013, con resolución de 0.50 m), con la finalidad de delimitar la zona de estudio, así como 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: 25,000. Así también, se identificó y delimitó los eventos geodinámicos relacionado a caída de rocas por la actividad antrópica, debido a la construcción de una vía de acceso desde el sector Las Salinas hacia la playa Lapa Lapa e inundaciones (desborde de la quebrada Chilca). Paralelo a este trabajo se realizó el levantamiento topográfico a escala 1:25,000.
- ✓ **Campo II:** Elaboración de ensayos geotécnicos de acuerdo al siguiente detalle:
 1. Elaboración de calicatas: Éstas se realizaron a una profundidad promedio de 3.00 m. En Chilca se realizaron 08 calicatas distribuidas en el casco urbano y el 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 Chilca se llevaron a cabo 13 DPL.
 3. Ejecución de auscultaciones haciendo uso de posteadora, estas se distribuyeron en zonas intermedias a la ubicación de las calicatas más próximas, con el fin, de determinar el tipo de suelo. En el área de estudio se llevaron a cabo 14 posteos.
- ✓ **Laboratorio:** Proc esamiento de las muestras de suelos, a través de ensayos de laboratorio tales como granulometría (tipo de suelos SUCS), humedad, densidad y corte directo (capacidad portante).
- ✓ **Gabinete II:** Elaboración del informe técnico que adjunta los siguientes anexos: fichas geotécnicas (calicatas, posteos, DPL, correlación DPL con SPT y análisis granulométrico), fichas geodinámicas (identificación de zonas susceptibles a movimientos en masa e inundaciones) y planos temáticos a escala 1:25,000.

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. Las primeras actúan como creadoras de grandes elevaciones y depresiones producidas fundamentalmente por movimientos en masa de componente vertical, mientras que, las segundas, 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 el área urbana de Chilca.

Previamente, en base al levantamiento topográfico y mediante herramientas computacionales (SIG) se ha elaborado los planos: Modelo Digital del Terreno (MDT) y pendientes (Figura 1, 2), con el fin de delimitar las características geomorfológicas del terreno. Estos mapas fueron verificados y validados durante el trabajo de campo, realizado en el área urbana de Chilca (Figura 3); también, se han elaborado dos secciones geomorfológicas (A-A' y B-B'), haciendo uso de la herramienta CAD para resaltar los desniveles de las geoformas presentes en el área urbana en mención (ver Anexos).

2.1. Base topográfica

Se obtuvo a partir de un levantamiento topográfico realizado en el área urbana de Chilca en mayo del 2016, que abarcó un área de 1550 ha. Este trabajo se realizó con el propósito de obtener la representación digital del relieve que conforma el citado lugar (terrazas, colinas, montañas, entre otros). Para la ejecución del levantamiento topográfico, se utilizó la estación total (marca Nivo 3.C con resolución de 3") de propiedad del Instituto Geofísico del Perú (IGP) para realizar las mediciones de la superficie del terreno, a partir de un punto de control, cuyas coordenadas fueron establecidas con una antena y receptor GPS/GNSS de doble frecuencia (Tabla 1).

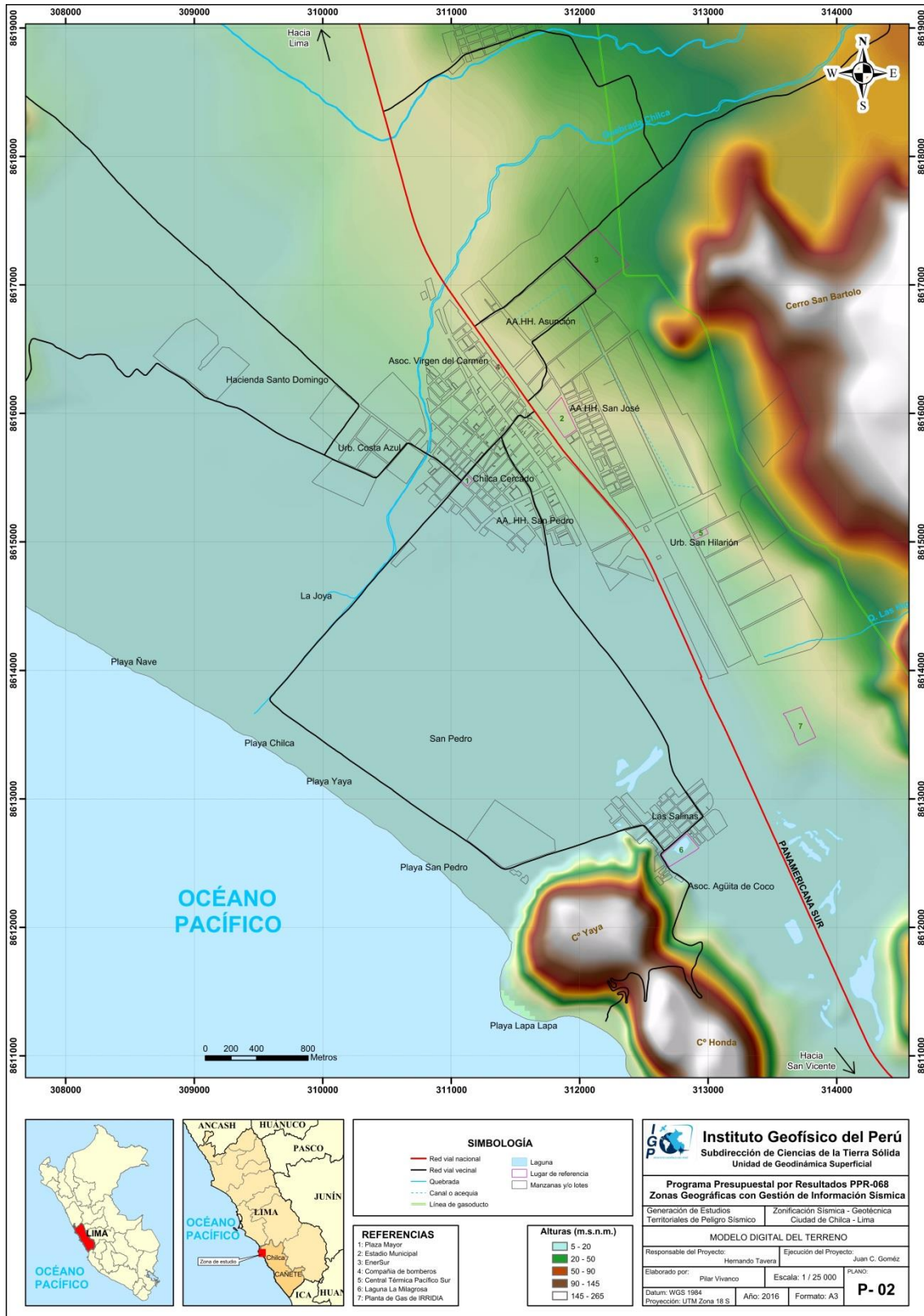


Figura 1: Mapa de modelo digital del terreno del área urbana de Chilca y alrededores

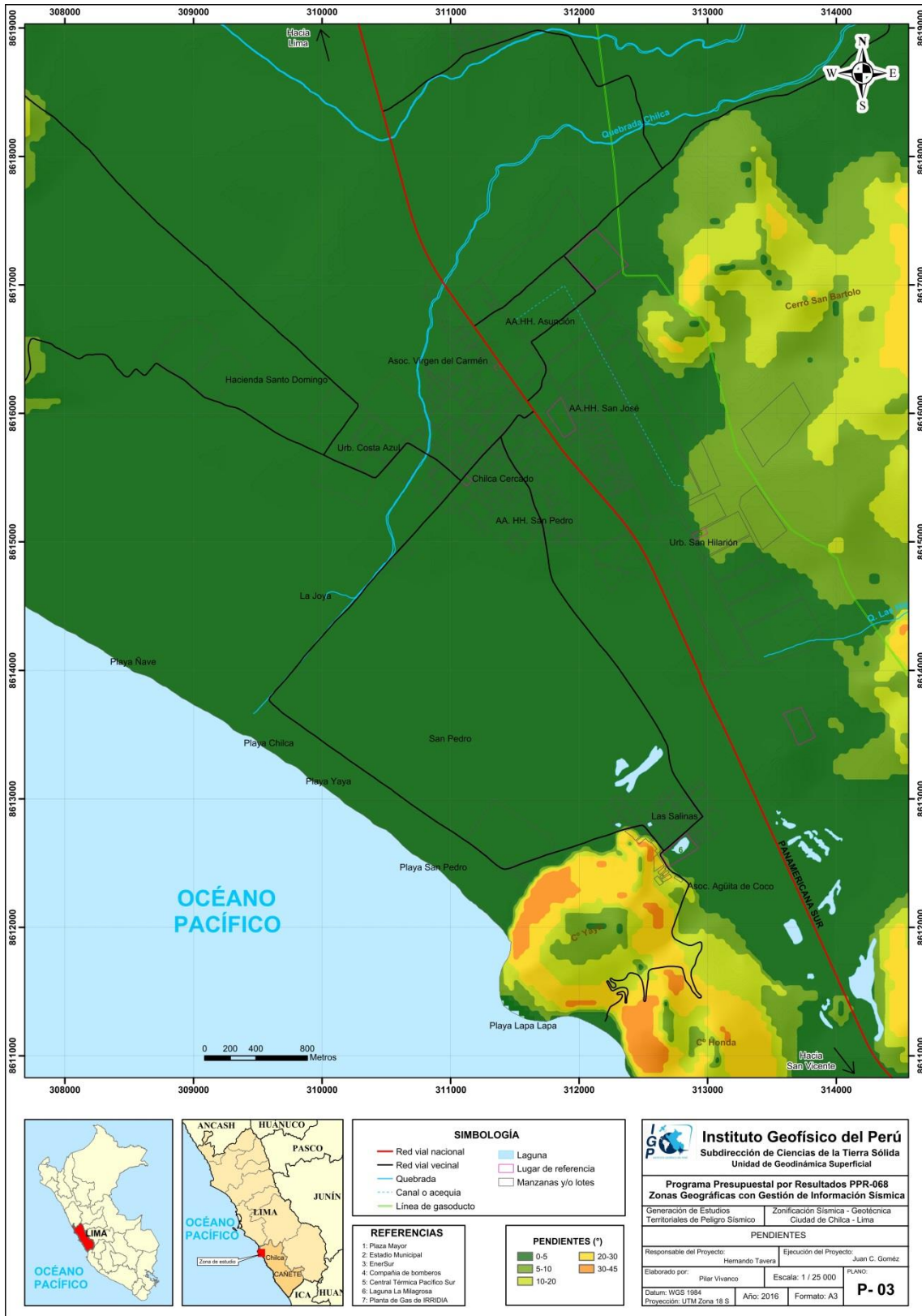


Figura 2: Mapa de pendientes del terreno del área urbana de Chilca y alrededores

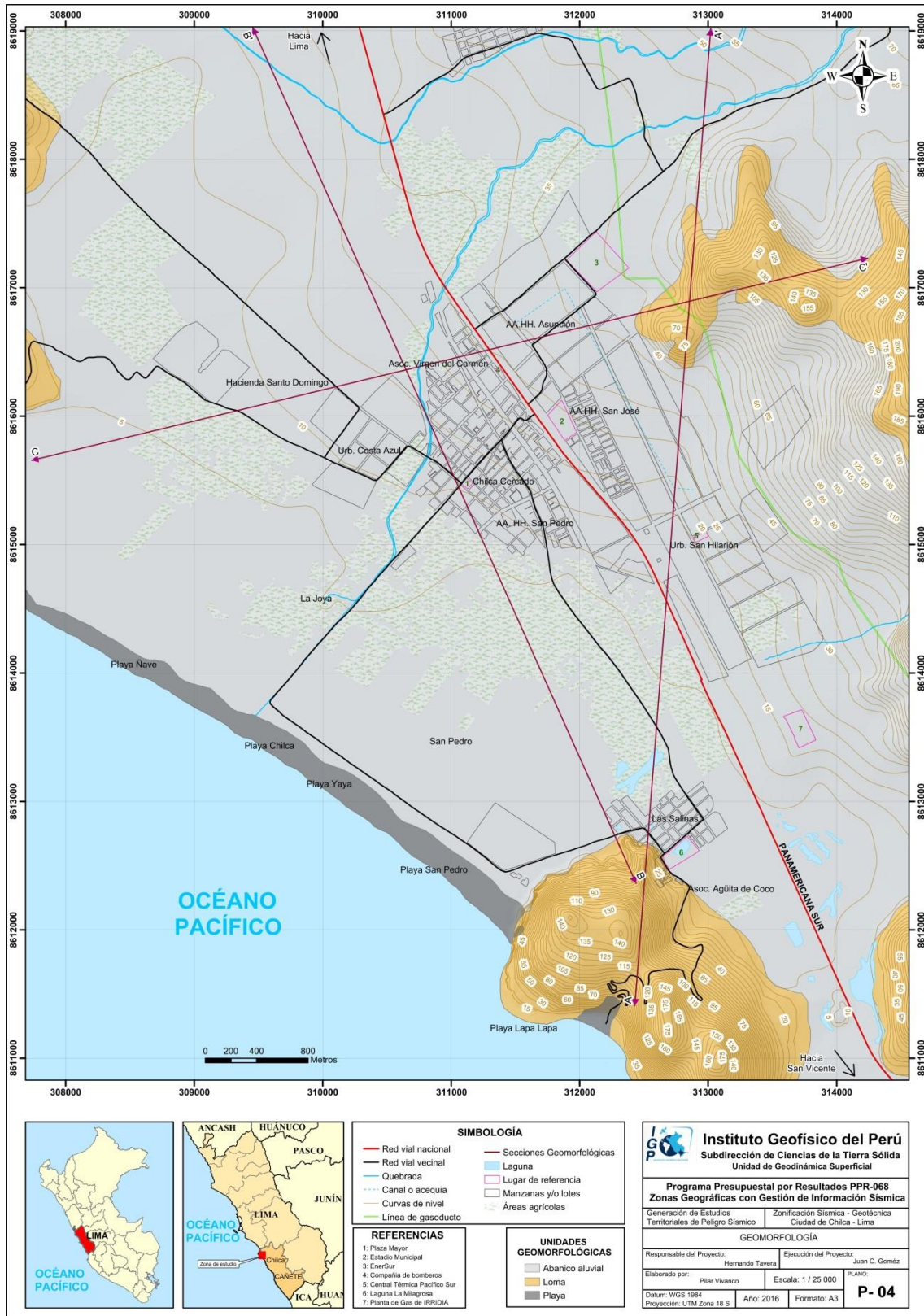


Figura 3: Mapa geomorfológico para el área urbana de Chilca y alrededores.

Tabla 1: Punto de control ubicado en el cerro Salinas

BM	ESTE (m)	NORTE (m)	ALTITUD (m.s.n.m.)	DESCRIPCIÓN
BM	312511	8612578	51.876	Ubicado en el cerro Salinas

Luego, desde el punto de control antes mencionado se estableció una poligonal cerrada conformada por 10 vértices (Figura 4), cuya corrección taquimétrica se describe en el Anexo 01, de los cuales se tomaron 288 mediciones (puntos de relleno) que contienen información planimétrica (coordenadas este y norte) y altimétrica (elevación ortométrica), proyectados en el Sistema Transversal Mercator (UTM). Asimismo, con la finalidad de complementar la topografía de las zonas aledañas al sector urbano, representado por 5300 ha, se utilizaron imágenes SRTM en formato GeoTiff descargadas de Consortium for Spatial Information (CGIAR-CSI) y procesadas con los vértices citados.

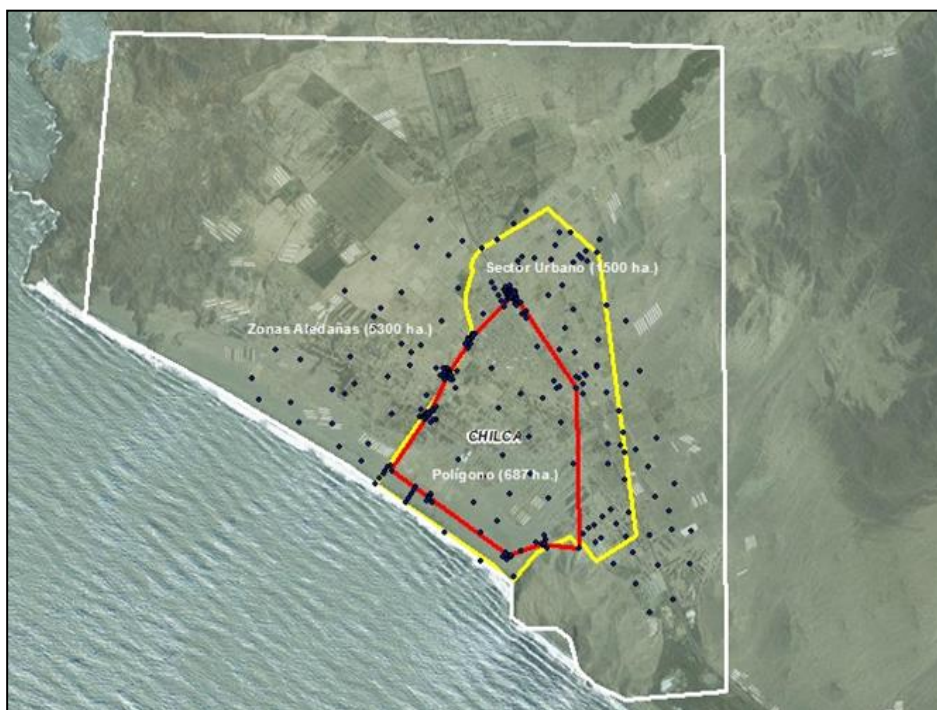


Figura 4: Se delimita con una línea roja el área del polígono (687 ha), en amarillo el sector urbano (1500 ha) y en blanco las zonas aledañas (5300 ha).

A partir del uso de un software de Diseño Asistido por Computador (CAD) y los datos recabados del levantamiento topográfico y del SRTM, se obtuvo un plano topográfico a escala 1:20000 que contiene curvas de nivel (líneas que unen puntos con igual altitud) con resolución espacial de 5 m.

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, permite ser utilizados para realizar mapas de pendientes, acumulación de horas de radiación, parámetros morfométricos, entre otros (Felicísimo, 1994).

Para la elaboración del MDT del área urbana de Chilca, 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 54 km² (Figura 1).

En base al MDT elaborado del área urbana de Chilca se ha reconocido que la zona urbana se asienta sobre un abanico aluvial, la cual presenta un rango de cotas entre 5 y 20 m.s.n.m. En los alrededores, hacia la parte noroeste y sureste del área urbana en mención, se observan lomas que presentan un desnivel máximo de 140 m con respecto al área urbana.

2.3. Pendientes

Es el ángulo que se expresa en grados o porcentajes. 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).

El diseño del mapa de pendientes del área urbana de Chilca, 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 (Figura 2).

2.3.1. Clasificación del grado de pendientes

Para la clasificación de los rangos de pendientes se usó como base el informe: “Estudio de riesgos geológicos del Perú - Franja N° 4” (Boletín N° 29, Serie C, 2006), Tabla 2:

Tabla 2: 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

La mayor parte del área urbana de Chilca se encuentra asentada sobre un abanico aluvial que presenta pendientes menores a 5° promedio, mientras que, en donde existen elevaciones (lomas) al noreste, las pendientes varían entre los 5° - 20 ° y al suroeste los rangos oscilan entre los 20° - 45° (Figura 2).

2.4. Unidades geomorfológicas

Estas unidades, con ciertas características físicas son generadas por procesos morfogenéticos de carácter endógeno y exógeno 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). Los cuales 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 como el intemperismo, meteorización, erosión, transporte y depositación, generando diferentes geoformas que pueden ser clasificados de acuerdo a su origen, en Depositacional y denudacional (erosional). Otros procesos internos como el magmatismo, tectonismo, generan geoformas de origen estructural.

En base a las características físicas de las geoformas y su origen, en el área urbana de Chilca, se cartografiaron tres unidades: abanico aluvial, loma y colina, ver Tabla 3 y Figura 3.

Tabla 3: Determinación de geoformas en el área urbana de Chilca en base a las características físicas y su origen.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		PROCESO		UNIDAD GEOMORFOLÓGICA
Pendiente	<5°	Origen	Depositacional	Llanura aluvial
Geometría	irregular			
Drenaje	irregular			
Pendiente	<35°	Origen	Denudacional	Loma
Altura	<300 m			
Geometría	alargada			
Drenaje	dendrítico			
Pendiente	<5°	Origen	Depositacional	Playa
Geometría	irregular			
Drenaje	variable			

2.4.1. Abanico aluvial

Esta geoforma de origen depositacional presenta pendiente menor a 5°, geometría y drenaje irregular. Abarca el 88 % de la zona de estudio. Actualmente, sobre esta geoforma se asienta el centro urbano de Chilca, AA.HH. Asunción, Urb. San Hilarión y sector Las Salinas (Figura 5).



Figura 5: Abanico aluvial, sobre la cual se asienta el área urbana de Chilca.

2.4.2. Lomas

Esta geoforma presenta una pendiente menor a 35°, altura menor a 300 m., geometría alargada, drenaje dendrítico y un origen denudacional. Recientemente, han sido modificadas (redondeadas y/o cubiertas por mantos de arenas) por la acción del viento (erosión eólica), escorrentía de las aguas superficiales y la actividad antrópica. La unidad loma ocupa el 10.40% de la zona de estudio.

Se han identificado a 3 km al sur del área urbana de Chilca, conocida por los lugareños como “cerro Las Salinas”, así como al este a 1.4 km del área urbana en mención, sector Olleros (Zona industrial) (Figura 6).

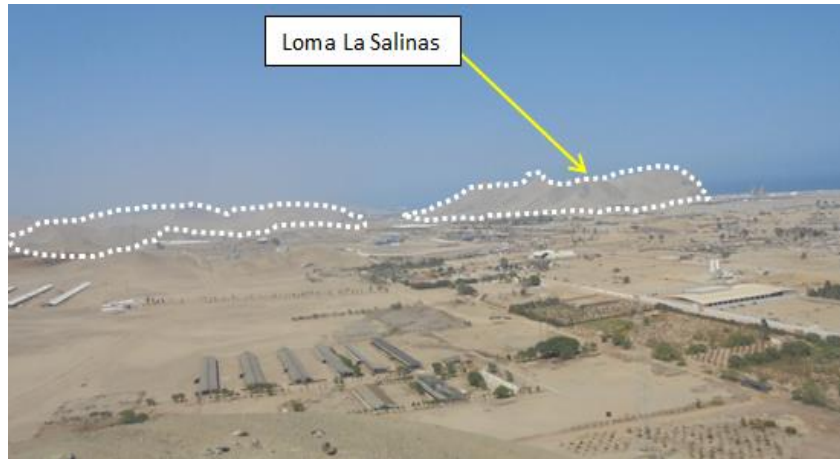


Figura 6: Loma ubicada en el sector Las Salinas al noreste del área urbana de Chilca.

2.4.3. Playa

Superficie plana adyacente al litoral costero, cuyo relieve presenta pendientes menores a 5° . Se caracteriza por tener geometría irregular (alargada y/o recta) y de drenaje variable. El proceso que la origina es del tipo depositacional. Se extiende a lo largo de 7 km aproximadamente, el ancho de ésta es de 0.80 km, puesto que en esa dirección se produce la dinámica erosiva y de sedimentación, Abarca el 1.60% del área urbana en mención (Figura 7).



Figura 7: La zona de playa se extiende a lo largo de 7 km.

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 deja 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 (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 del área urbana de Chilca, es importante para comprender los procesos y eventos geológicos que ocurrieron a gran escala. Es así que para la zona de estudio, se recopiló la información geológica regional del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET, 1993) a escala 1: 100, 000. En ésta, se describen las unidades litológicas aflorantes cuyas edades se encuentran desde el Cretáceo Inferior (145 Ma) hasta el Cuaternario Reciente.

3.1.1. Geología histórica

Según Salazar et al (1993), las unidades que afloran son de ambiente marino o continental, durante el Cretáceo Inferior (145 Ma) se produjo procesos de regresiones marinas lo cual permitió la depositación de rocas sedimentarias (lutitas, areniscas y calizas) de ambiente de mar somero que corresponden a las Formaciones Pamplona y Lurín, así como una intermitente actividad volcánica submarina (brechas piroclásticas y tobas andesíticas) de las Formaciones Chilca y Pucusana.

A finales del Cretácico Inferior (125 Ma), la actividad volcánica se reactivó en la región occidental, diferenciando una depositación de materiales volcánico sedimentario con respecto al sector oriental, caracterizado por un mayor porcentaje de sedimentos arcillosos. La aparición de cuerpos intrusivos del Batolito con una edad de 95 Ma, produjo el hundimiento de la cuenca, permitiendo la sedimentación fina formando lutitas y calizas en la zona occidental. Es por ello que, la Formación Chilca consiste de un predominio de derrames andesíticos gris verdosos con intercalaciones de calizas.

Durante la fase final, ocurrió un fallamiento en bloques que se hizo más intenso a fines del Neógeno y principios del Cuaternario (2.5 Ma), que acompañó al levantamiento de la cordillera. La zona costera fue controlada por fallas regionales que dieron origen a la fisiografía y desarrollo del litoral. A partir de entonces, la erosión modeló la superficie dando forma al relieve actual.

3.1.2. Geología estructural

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

- **Zona de plegamientos:** La deformación asociada a esfuerzos de compresión en la zona costanera se presenta afectada por un sistema de fallas longitudinales paralelas que interrumpen la secuencia sedimentaria o desplazan a cuerpos del batolito y su propagación de norte-sur, asimismo, los sinclinales tienen buzamiento suave como el sinclinal Chilca.

3.2. Geología local

Consistió en el reconocimiento y cartografiado de las unidades litológicas aflorantes en el área urbana de Chilca a escala 1:20,000, sobre un área de 13 km² aproximadamente siendo los principales, las siguientes (Figura 8 y 9):

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOSTRATIGRÁFICAS	SÍMBOLO	LITOLOGÍA
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	DEPÓSITOS EÓLICOS	Qh-e	ARENAS DE GRANO FINO
			DEPÓSITOS ALUVIALES	Qh-al	GRAVAS REONDEADAS Y SUB-REDONDEADAS EN MATRIZ ARENO-LIMOSA
			DEPÓSITOS COLUVIALES	Qh-co	CLASTOS MAYORES A 3 "DE DIÁMETRO ANGULOSOS EN MATRIZ LIMOSA
			DEPÓSITOS MARINOS	Qh-m	ARENAS DE GRANO GRUESO CON INTERCALACIONES DE CALCÁREOS
	CRETÁCICO	SUPERIOR	SUPER UNIDAD LINGA	Ks-mdi	MICRODIORITA
				Ks-mz/di	CUERPOS INDIFERENCIADOS
		INFERIOR	FORMACIÓN PUCUSANA	Ki-pu	ARENISCAS E INTERCALACIONES DE TOBAS ANDESÍTICAS
			FORMACIÓN CHILCA	Ki-chi	CALIZAS GRIS OSCURAS CON INTERCALACIONES DE LUTITAS Y DERRAMES VOLCÁNICOS
			FORMACIÓN LURÍN	Ki-lu	CALIZAS GRISES CON INTERCALACIONES DE DERRAMES VOLCÁNICOS
			FORMACIÓN PAMPLONA	ki-pa	CALIZAS GRISES A VERDOSAS CON INTERCALACIONES DE YESO E IMPREGNACIONES LIMOLITA

Figura 8: Columna cronolitoestratigráficas de la zona de estudio.

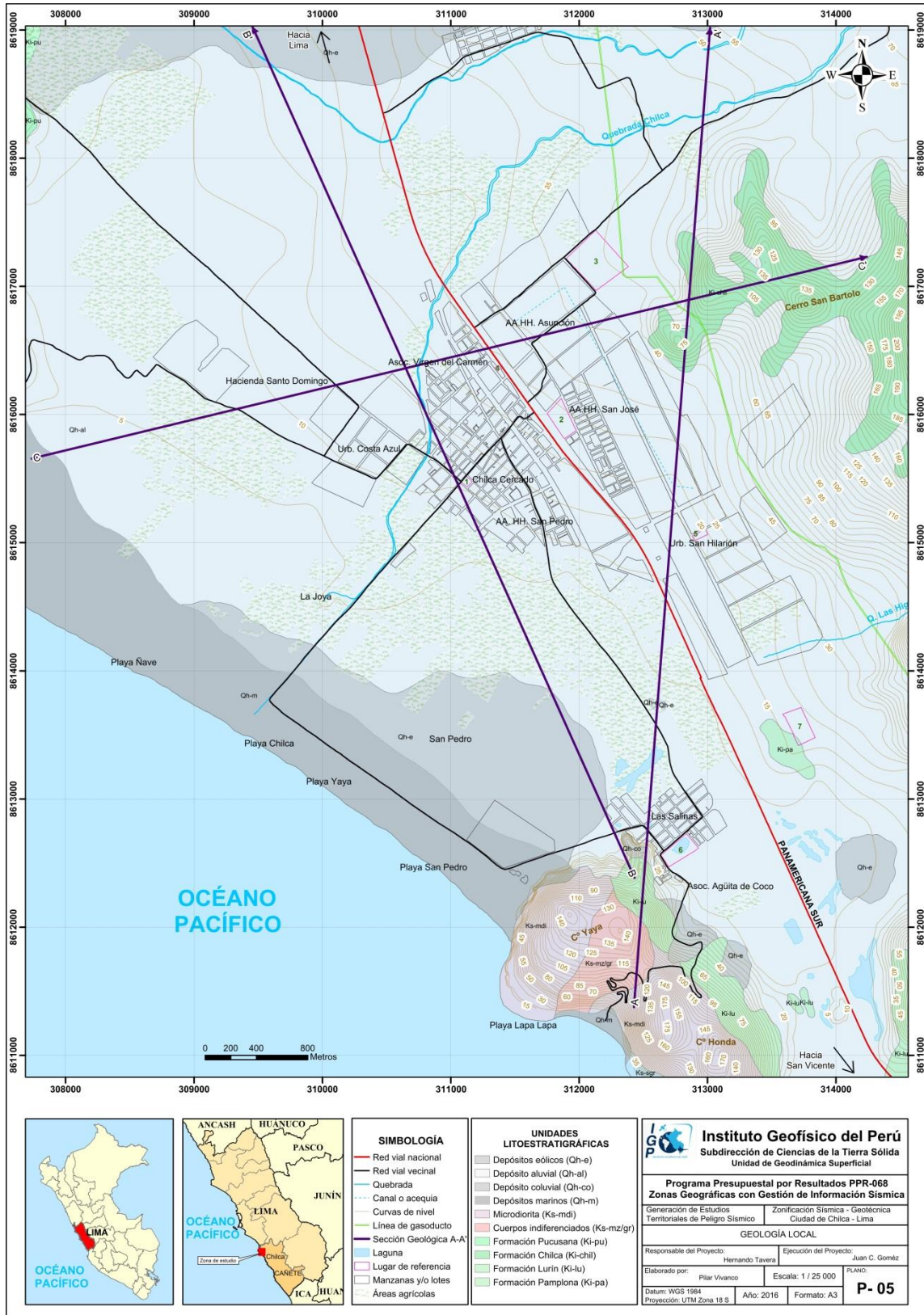


Figura 9: Mapa de geología local para el área urbana de Chilca y alrededores.

3.2.1. Formación Pamplona (Ki-pa)

Constituida por calizas grises a verdosas en capas delgadas con intercalaciones de yeso o impregnaciones de limolita. Esta unidad litológica constituye el substrato rocoso del área urbana de Chilca y se encuentra aflorando a 3 km al sureste del centro urbano del área urbana en mención, ver Figura 10.



Figura 10: Afloramiento de calizas de la Formación Pamplona a 3 km al sureste del área urbana de Chilca.

3.2.2. Formación Lurín (ki-lu)

Conformada por una secuencia de rocas sedimentarias, calizas grises, orientadas en dirección N 230° y buzamiento 66° SE; además de intercalaciones de derrames volcánicos. Aflora al 4.5 km al sureste del área urbana de Chilca (Figura 11).



Figura 11: Afloramiento de calizas de la formación Lurín en el sector Las Salinas.

3.2.3. Formación Chilca (Ki-chi)

Secuencia sedimentaria, conformada por calizas gris oscuras con intercalaciones de lutitas, derrames volcánicos andesíticos color verde a gris, brechas piroclásticas (bloques angulosos, subredondeados y xenolitos) y presencia de diques rellenos de material volcánico, espesor de 1.60 m., R= N° 160 (Figura 12).



Figura 12: Derrames volcánicos andesíticos con xenolitos de la Formación Chilca, sector Olleros.

3.2.4. Formación Pucusana (ki-pu)

Conformada por rocas sedimentarias (areniscas gris verdosas) e intercalaciones de tobas andesíticas de textura afanítica y derrames volcánicos color gris verdosos, rojizo a violáceo en capas delgadas.

3.2.5. Depósitos Cuaternarios:

Suprayaciendo al substrato rocoso, conformado por calizas de la Formación Pamplona, se encuentran de manera dispersa y con espesores distintos los depósitos Cuaternarios de edad Holocena de origen aluvial, coluvial y marino.

Depósitos aluviales (Q-al): Están conformados por cantos y gravas redondeadas a subredondeadas, envueltos en una matriz areno-limosa y arcillosa. Es la unidad litológica de mayor distribución en el área de estudio, son parte del abanico aluvial formado por la quebrada Chilca. Sobre este abanico aluvial se asienta el área urbana de Chilca (Figura 13).



Figura 13: Depósitos aluviales, corte en la margen derecha de la quebrada Chilca.

Depósitos coluviales (Qh-co): Conformados por conglomerados no consolidados, con clastos mayores a 3” de diámetro, angulosos, en matriz limosa. Se observan en el sector Salinas (Figura 14).



Figura 14: Depósitos coluviales, en el sector Las Salinas, que afectan a la zona urbana en mención.

Depósitos eólicos (Qh-e): Constituidos por arenas de grano fino. Éstos forman pequeñas dunas que se ubican a 1.5 km al sur del área urbana de Chilca (antigua Panamericana en dirección al sector Salinas) y a 3 km al sureste (Figura 15). Además, se observan como mantos de arenas que cubren parte de las formaciones rocosas y depósitos aluviales.



Figura 15: Depósito eólicos, a 3 km al sureste de Chilca.

Depósitos marinos (Qh-m): Conformados por arenas medias a gruesas, con presencia de fragmentos calcáreos (conchuelas). Se observan en la zona costera del área urbana de Chilca, en las playas Yaya, San Pedro y Ñave, en una longitud de 1 km aproximadamente (Figura 16).



Figura 16: Depósito marino, conchuelas en el parte superior seguido de arenas de grano medio, con presencia yeso y sal.

3.2.6. Rocas intrusivas

Tienen por origen la solidificación de una mezcla fundida, llamada magma cuando está dentro de la corteza (Rivera, 2011).

Grupo de intrusiones menores de microdiorita (Ks-mdi): La exposición de las intrusiones es de forma alargada con un $R=O 292^\circ$ y $B=82^\circ$ NE. Están intruidos por diques de material volcanoclástico. Se identificó en la loma Las Salinas, a 4 km al sur de Chilca (Figuras 17 y 18).

Cuerpos indiferenciados (Ks-mz): Constituidos por rocas intrusivas del tipo monzonitas, color rosado, presentan moderado grado de fracturamiento y alteración. Se observan en Las Salinas, a 4 km al sur del centro urbano de Chilca.



Figura 17: Afloramientos de rocas del tipo microdioritas, balneario Lapa Lapa.

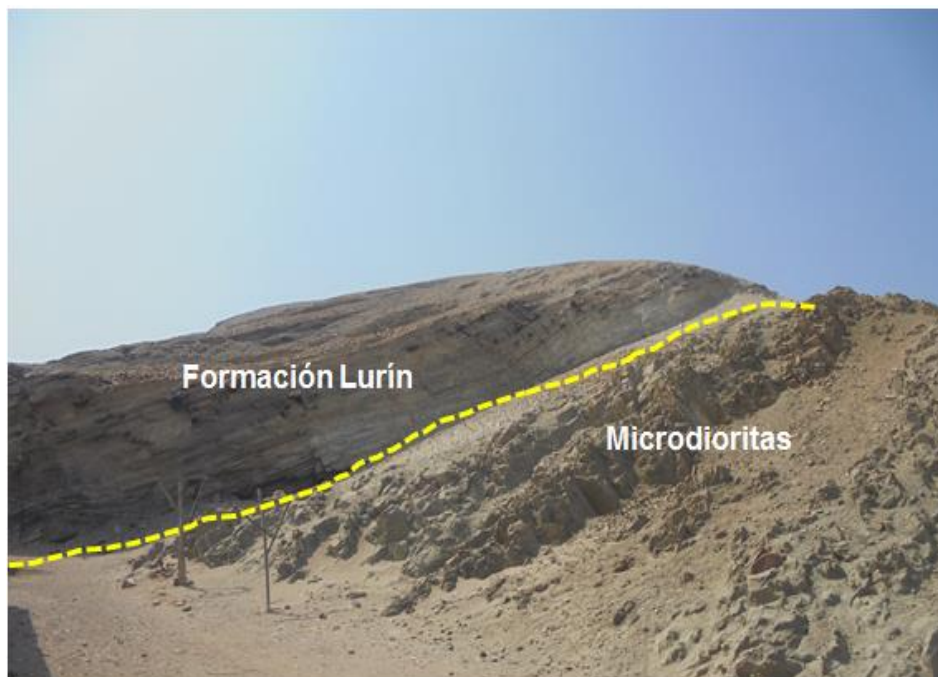


Figura 18: Contacto entre la Formación Lurín y la Microdioritas, se observa en el sector Las Salinas.

4. GEODINÁMICA

Comprende todos aquellos eventos geodinámicos producto de la interacción de los procesos geológicos (internos y externos) que originan cambios físicos, químicos y/o morfológicos y que dan como producto eventos que modifican el actual relieve.

Es importante recalcar que, 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 la meteorización y erosión; ambos contribuyen a la ocurrencia de eventos geodinámicos.

4.1. Procesos de geodinámica interna

Son transformaciones de la estructura interna de la Tierra considerando agentes magmáticos, sísmicos y tectónicos. El territorio peruano está sometido a una constante actividad sísmica, debido a la subducción de la Placa de Nazca bajo la Sudamericana, considerada como la principal fuente sismogénica en el Perú, produciendo los eventos de mayor magnitud conocidos hasta el presente. Otra fuente, la constituye la deformación de la zona 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). Ambos 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: la geomorfología (formas de relieve), litología (tipos de rocas y/o suelos), y las 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). Por otro

lado, tal como se indicó anteriormente, los dos procesos frecuentes y más importantes son:

a) 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).

b) Erosión: Desgaste de los suelos y rocas de la superficie terrestre como resultado de la acción combinada de factores, como: la temperatura, los gases, el agua, el viento, la gravedad y la vida vegetal y animal, así como, la erosión acelerada como el resultado de la acción humana. La erosión presenta tres fases: desgaste, transporte y depósito de los materiales, lo cual 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 (Figura 19), los cuales se dividen, según su origen, en: fluvio-aluvial e hidro-gravitacional.

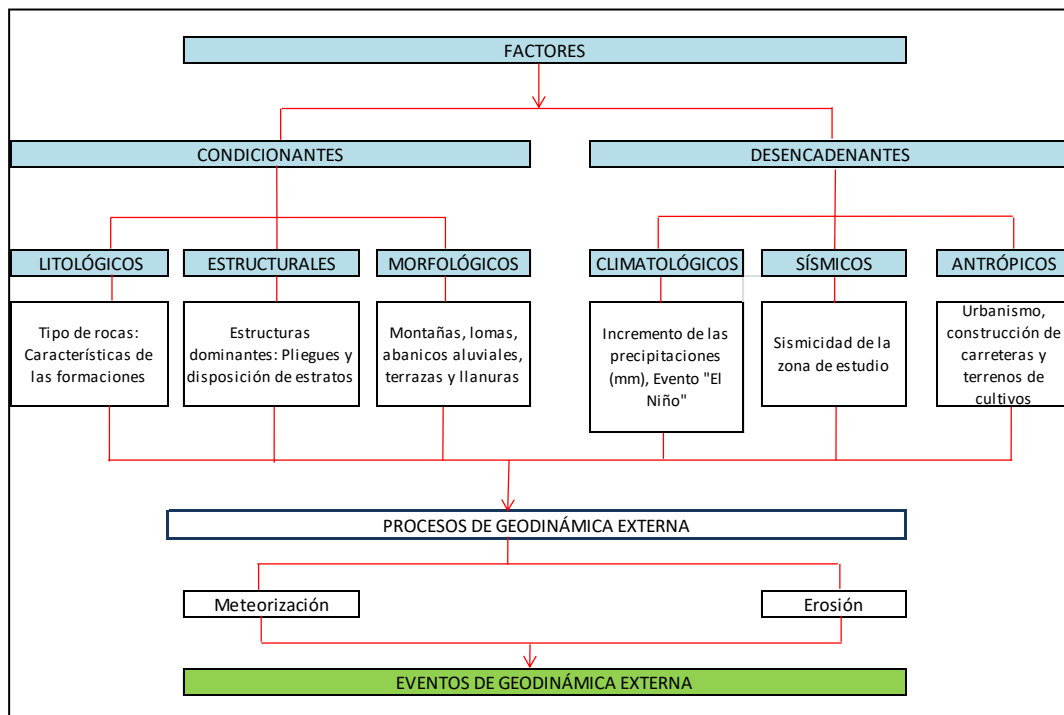


Figura 19: Factores asociados a procesos de geodinámica externa que contribuyen a la ocurrencia de eventos geodinámicos

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 que 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 incrementen la acción erosiva y son capaces de producir la remoción de los materiales (Brusi, 2013): Flujos de detritos e inundación. Los eventos geodinámicos originados por procesos pluviales son descritos a continuación:

Flujos de detritos (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, los flujos depositan sus materiales en forma de conos de deyección (Figura 20).

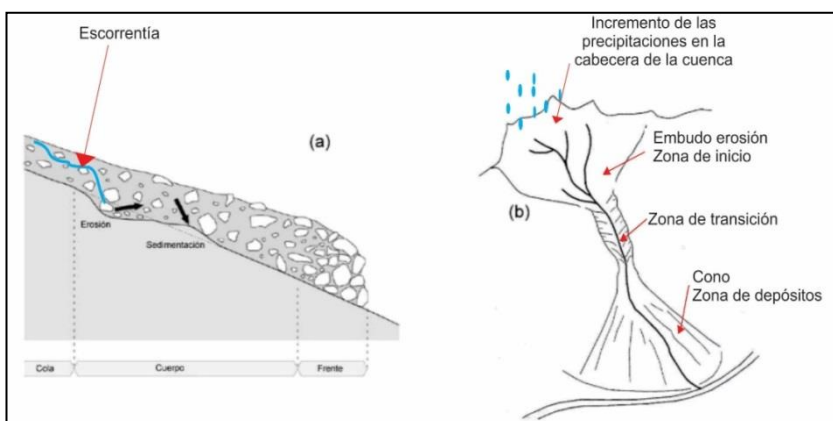


Figura 20: a) Proceso de erosión por las aguas de escorrentía y acumulación de material. b) Vista frontal de la cuenca y desarrollo del evento en cabecera de la cuenca por incremento de las precipitaciones, zona de transición (zona de almacenamiento de material y la depositación del material), modificado del GITS (Grupo de investigación de transportes de sedimentos).

Inundación: Es el resultado del comportamiento de la cuenca hidrográfica durante 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 oleajes y 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); es decir, atribuida al incremento brusco del volumen de agua, denominado “crecida”. (Adaptado de CENEPRED, 2013).

Cuando las lluvias superan el promedio normal de precipitación (mayor al 50%) de una zona, se le denominan “lluvias extraordinarias” o tormentas extremas. Estas al desarrollarse, generan crecidas causando inundaciones de las áreas circundantes al río. Estas anomalías son conocidas como eventos hidrometeorológicos (Figura 21).

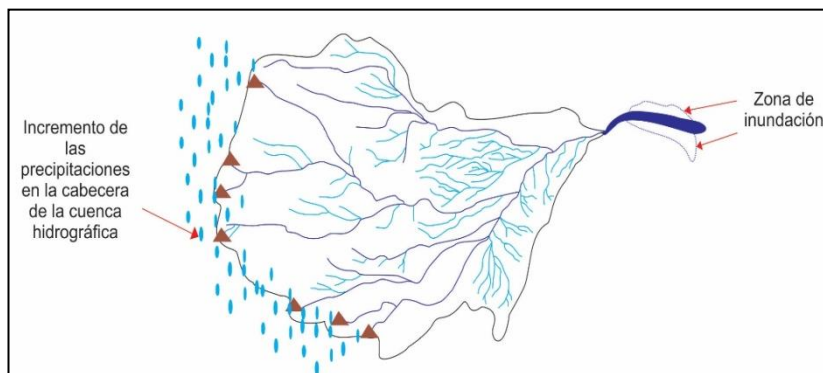


Figura 21: Inundación por incremento de las precipitaciones en la cabecera de la cuenca hidrográfica.

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 maquinarias, 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 22).

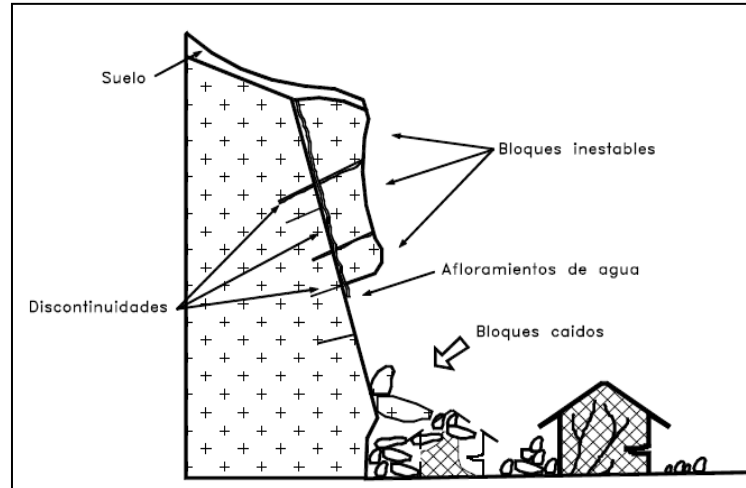


Figura 22: Proceso de caída de rocas. (Suárez, 1998).

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 23). Estos deslizamientos se pueden 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 en movimiento.

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.

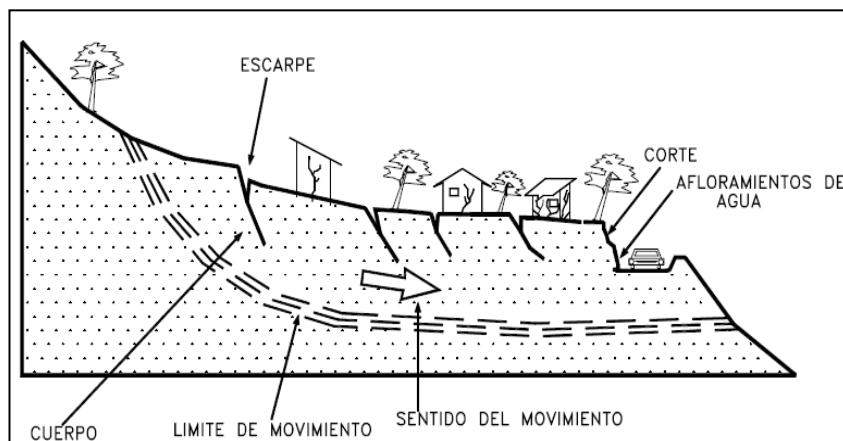


Figura 23: Deslizamiento en laderas (Suárez, 1998).

En el área urbana de Chilca existen dos tipos de eventos geodinámicos y según los procesos y factores que intervienen, se han clasificado de la siguiente manera:

4.2.1. Caída de rocas

En este tipo de evento, los clastos o fragmentos de rocas preexistentes se desprenden de una ladera como resultado de procesos de erosión y meteorización, ya sea de origen natural o antrópico (construcción de vías de acceso, que desestabilizan las laderas de las lomas). Estos procesos se observan en las inmediaciones del club privado Lapa Lapa (Figura 24).



Figura 24: Caída de rocas, círculo color rojo, debido a la actividad antrópica que desestabilizó el talud para construir una vía de acceso desde el sector Las Salinas.

4.2.2. Inundaciones

El desborde de la quebrada Chilca podría inundar las zonas aledañas (80 m a ambos márgenes). En este caso, no sólo se involucra el incremento de las precipitaciones en la cabecera de la cuenca, sino además en la parte media la acción del factor antrópico con el arrojado de desechos en el cauce de la quebrada en mención, que como consecuencia incrementa el caudal y obtura el cauce normal de la quebrada. En el año 1998, la quebrada en mención se desbordó y afectó parte del centro urbano de Chilca.

4.3. Zonas susceptibles a procesos geodinámicos

La susceptibilidad se define como la mayor o menor predisposición a que un proceso geodinámico suceda u ocurra sobre determinado espacio geográfico y tiempo (Hauser, 1985 y 1993); además de depender de factores como: litología, tectonismo, agentes geológicos y actividad humana (taludes de corte). Para identificar y delimitar las zonas susceptibles se utilizó la información recopilada en campo durante el cartografiado,

así como en la descripción contextual del evento geodinámico ocurrido en zonas adyacentes (Figura 25).

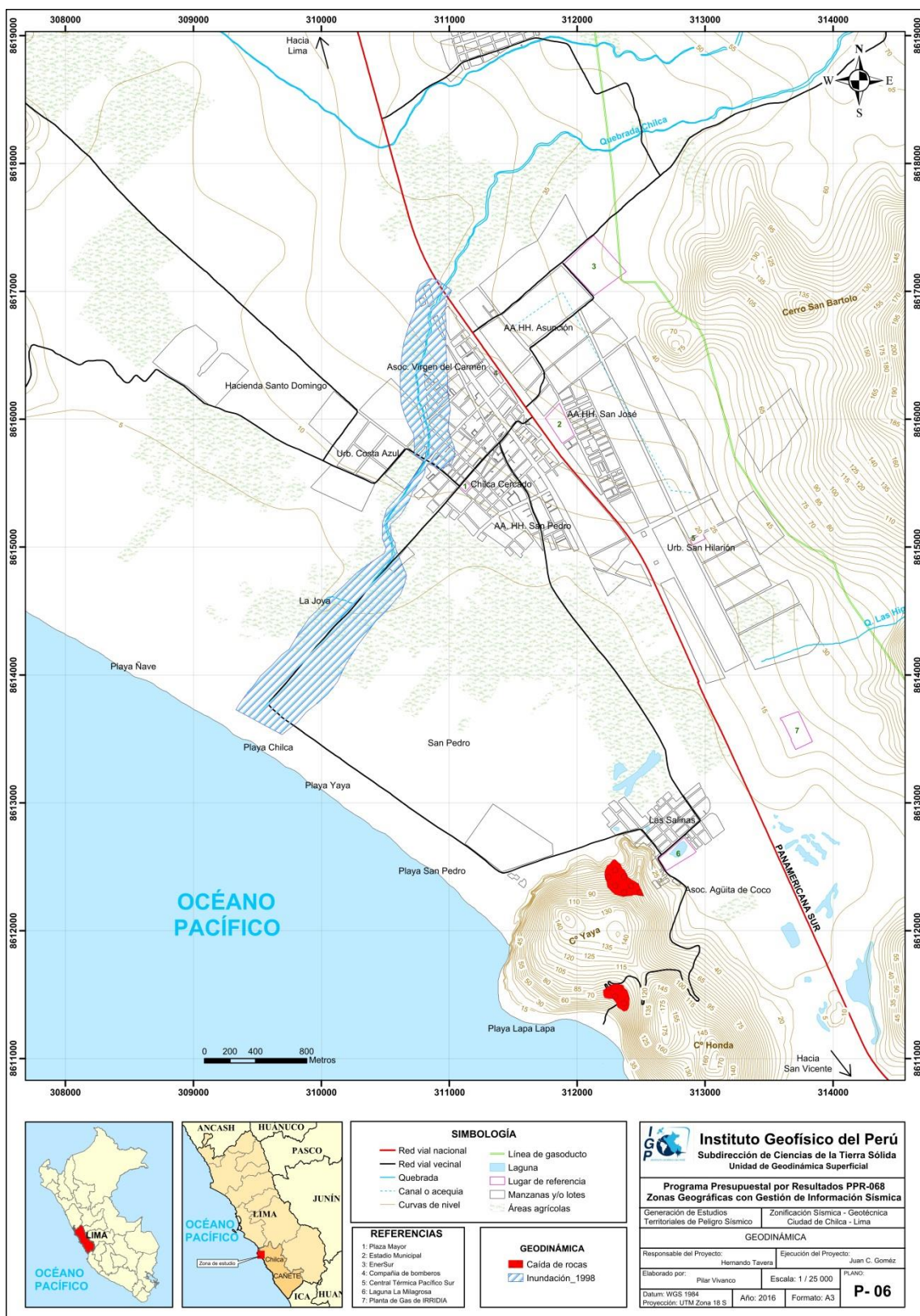


Figura 25: Mapa de eventos geodinámicos para el área urbana de Chilca y alrededores.

a) **Zonas susceptibles a caída de rocas:** En el sector Las Salinas, se ha observado rocas fracturas debido a la actividad humana; es decir, para el emplazamiento de las viviendas han excavado los afloramientos rocosos sin tener alguna medida de prevención (Figura 26).



Figura 26: Excavación en los afloramientos rocosos, sector Las Salinas.

b) **Zonas susceptibles ante inundación:** En la información recopilada se señala que en años húmedos, las precipitaciones dan origen a elevadas descargas en la quebrada Chilca, tornándose torrencioso (Ministerio de Agricultura, 1981). Asimismo, en el año 1998, debido al incremento de las precipitaciones a causa del evento “El Niño”; se produjo el desborde de la quebrada Chilca afectando a la Asociación Virgen del Carmen, con una crecida de 20 m³/s, además de transportar bloques de rocas de hasta 3 m de diámetro. En este estudio también se delimita la zona de riesgo a inundación (Figura 27).



Figura 27: Zona de riesgo a inundación (polígono color rojo).

La actividad humana relacionada con el arrojo de desechos en el lecho de la quebrada Chilca, conlleva a la obturación de gran parte su cauce, produciendo el incremento del nivel del agua en épocas de avenidas. Asimismo, del emplazamiento de zonas urbanas aledañas a la quebrada (Figura 28).



Figura 28: Quebrada Chilca con desechos antrópicos en el lecho de la quebrada

En este escenario, las zonas susceptibles para movimientos en masa se localizan en el sector Las Salinas (cerro Salinas) y abarcan un área de 46 Ha. (1% del área total); mientras que, las inundaciones afectarían 2292 Ha, (48% del área total); AA.HH. Virgen de la Asunción y la prolongación de la AV. Mariano Ignacio Prado (Figura 29).

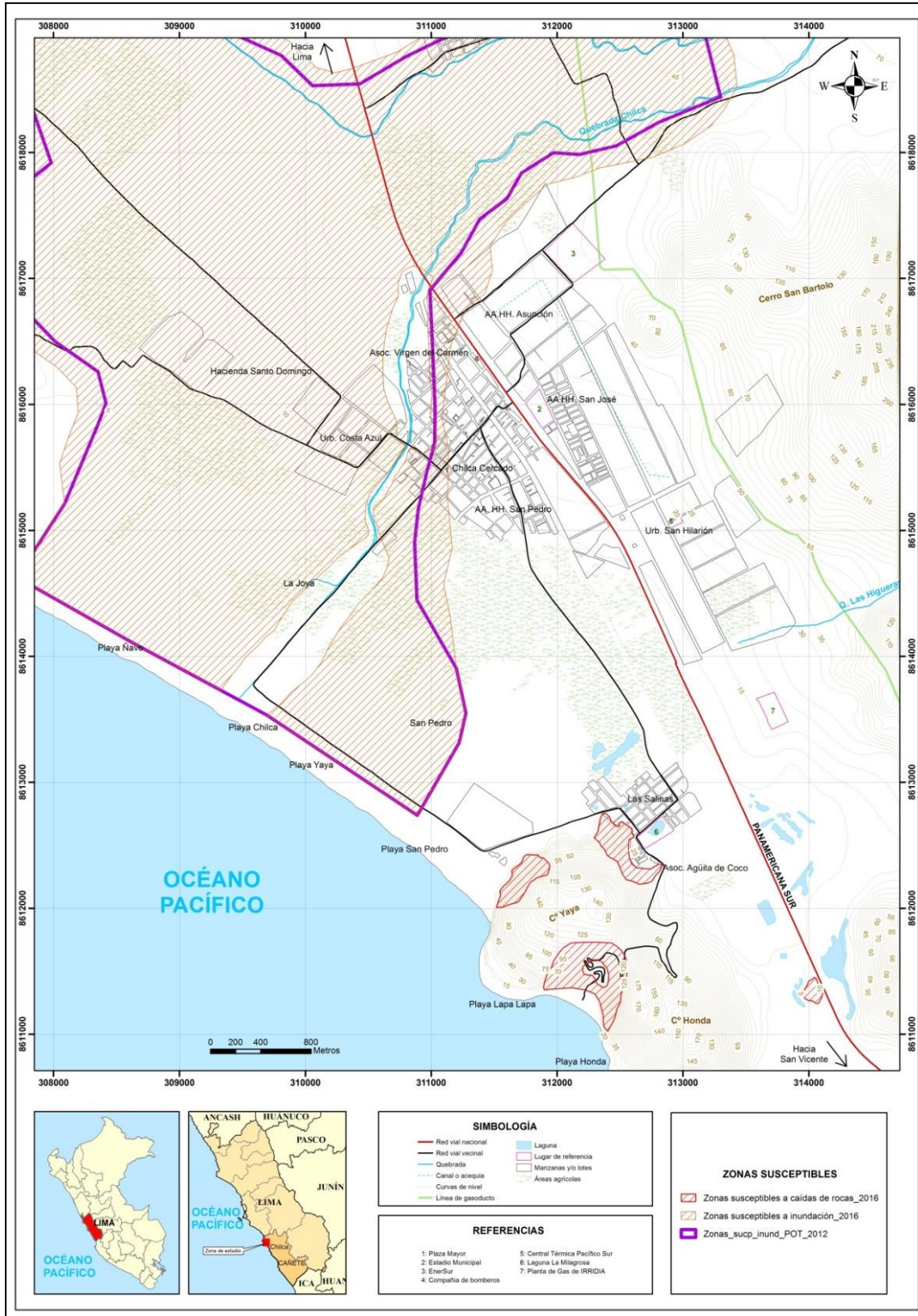


Figura 29: Zonas susceptibles a movimientos en masa e inundaciones del área urbana de Chilca y alrededores.

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 30).

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

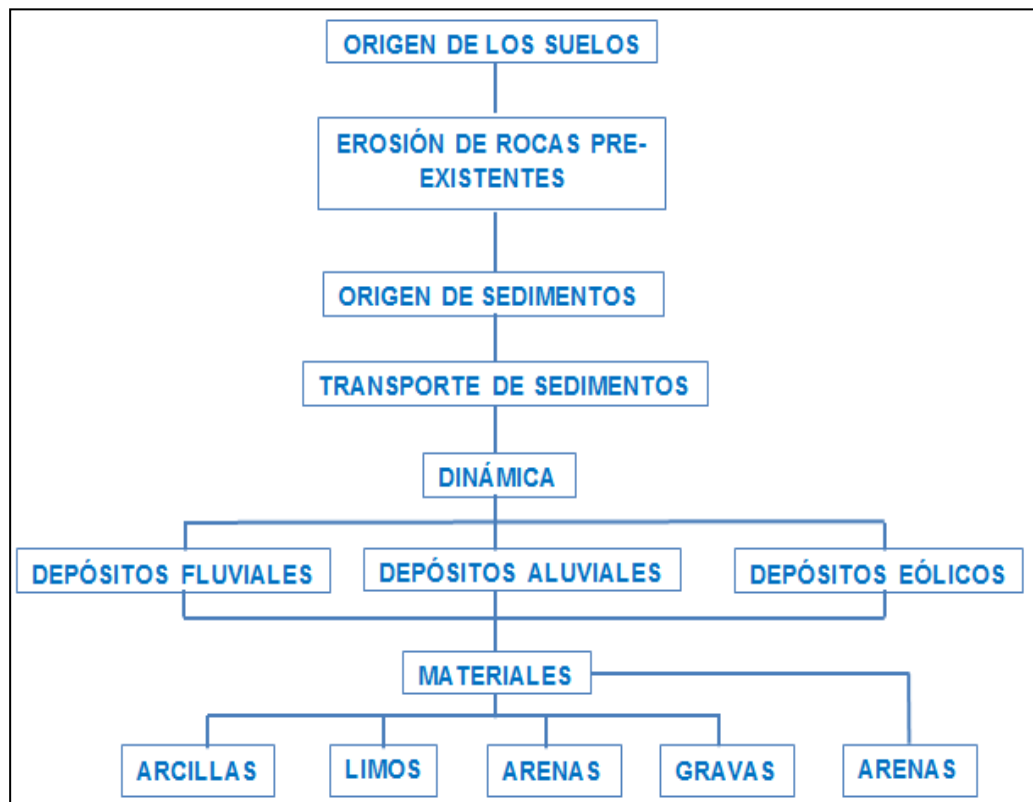


Figura 30: Diagrama del origen de los suelos.

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 el área urbana de Chilca, se realizó el estudio geotécnico que consistió en la elaboración de calicatas, densidad de campo, posteos y ensayos de penetración dinámica ligera (DPL), y cuya distribución espacial se muestra en la Figura 31.

Asimismo, de las calicatas se extrajeron ocho (08) muestras de suelos a fin de realizarles ensayos geotécnicos como: granulometría, plasticidad, corte directo y el cálculo de la capacidad portante de los suelos.

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 (Figura 32).

En general, el procedimiento de campo incluyó las siguientes actividades:

Reconocimiento de la zona de estudio: Las exploraciones se ubicaron de tal manera que se distribuyan de forma geométrica uniforme en el área urbana de Chilca, en base al análisis visual de las características del terreno, accesibilidad y lugares apropiados.

Excavaciones: Estas tuvieron las siguientes dimensiones: 1.5 x 1.5 m. y aproximadamente 3.00 m. de profundidad en promedio.

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.

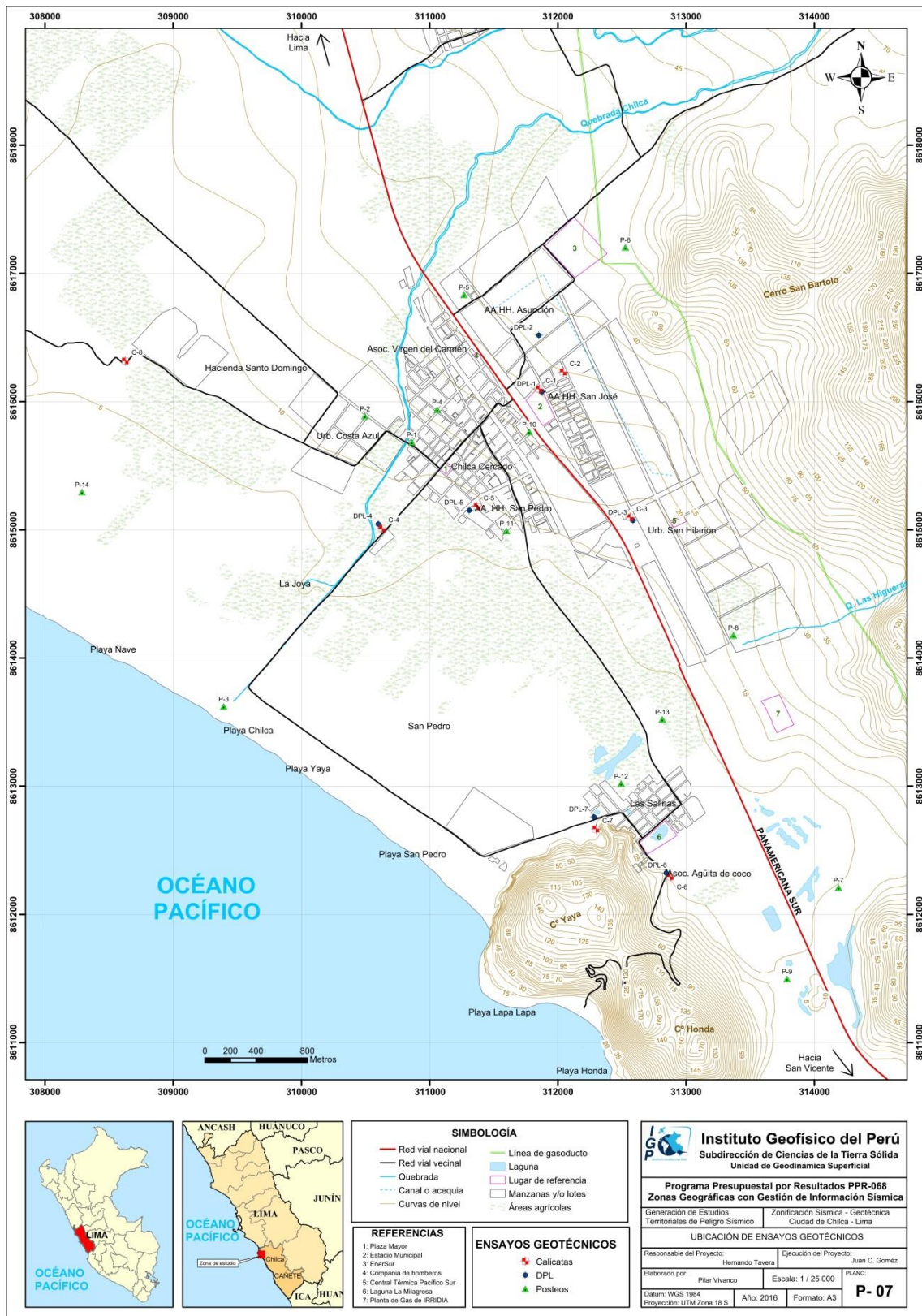


Figura 31: Mapa de distribución de calicatas, posteos y DPL en el área urbana de Chilca y alrededores.



Foto 32: Elaboración de calicata (C-03), ubicada en la urbanización San Hilarión.

5.1.1. Descripción de calicatas

Una vez terminada la excavación de la calicata, se procede a describir el perfil estratigráfico del subsuelo, y para ello, se han elaborado 08 fichas que se adjuntan en los Anexos. Las excavaciones realizadas se localizan en las siguientes coordenadas UTM (Tabla 4 y Figura 33)

Tabla 4: Ubicación de calicatas (NP, no presenta nivel freático).

PUNTO	UTM ESTE (m)	UTM N (m)	ELEVACIÓN (m.s.n.m.)	PROFUNDIDAD (m)	NIVEL FREÁTICO A (m)
C-1	311854	8616098	40	2.30	N.P
C-2	312042	8616230	44	2.50	N.P
C-3	312563	8615097	29	2.80	N.P
C-4	310628	8615010	23	2.70	N.P
C-5	311370	8615181	30	2.70	N.P
C-6	312876	8612294	16	1.50	1.50
C-7	312296	8612666	16	1.20	N.P
C-8	308626	8616317	16	8.00	8.00

Cabe mencionar que, la profundidad de investigación promedio fue de 2.70 m; sin embargo, en la calicata C-06 no se pudo profundizar por la presencia de nivel freático y en la C-07, los suelos son muy sueltos.

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, haciendo uso del método del cono, a fin de conocer la compactación y el contenido de humedad del suelo en condiciones naturales, información necesaria para desarrollar los ensayos de corte directo a las muestras de suelo (en su estado inicial). Sin embargo, este ensayo no es aplicable en suelos que contengan cantidad excesiva de roca o materiales gruesos de diámetro mayor a 1 ½ pulgada (38 mm), así como en suelos saturados; sino más bien, en suelos que presentan cierta cohesión, tales como: arenas limosas y arenas arcillosas con contenido de gravas inferiores a 38 mm de diámetro. El procedimiento de campo incluyó las siguientes actividades:

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

Extracción de muestras: Proceso mediante el cual se extrae, del agujero elaborado anteriormente, muestras de suelo que son luego pesadas.

Posicionamiento del 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.

A continuación, en la Tabla 5 se presenta los resultados obtenidos para las ocho calicatas; mientras que, las fichas de densidades se adjuntan a los Anexos.

Tabla 5: Resultado de densidades in – situ.

CALICATA	MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	DENSIDAD HÚMEDA (gr/cm ³)	DENSIDAD SECA (gr/cm ³)
C - 01	DC-CH - 01	2.30	1.60	1.58
C - 02	DC-CH- 02	2.50	0.83	0.83
C - 03	DC-CH- 03	2.80	2.10	2.09
C - 04	DC-CH- 04	0.50	0.84	0.84
C - 05	DC-CH- 05	1.30	2.00	1.98
C - 06	DC-CH- 06	0.60	2.13	1.60
C - 07	DC-CH- 07	1.20	1.97	1.95
C - 08	DC-CH- 08	5.00	1.23	0.91

En base a la Tabla 6, se conoce que los suelos del área urbana de Chilca presentan rangos de densidad entre 0.83– 2.09 gr/cm³; es decir, las calicatas (C-1, C-3, C-5 y C-6, C-7) presentan densidad media a densa, debido a que están conformados por arenas y gravas; mientras que, las calicatas (C-2, C-4 y C-8) son de densidad baja pues contienen arcillas.

Tabla 6: Valores típicos de densidad de suelos (CISMID, 2016)

MATERIALES		DENSIDAD HÚMEDA (gr/cm ³)	DENSIDAD SECA (gr/cm ³)
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	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 suelo y contenido de humedad que presenta. Es importante indicar que, la posteadora presenta restricciones en suelos con presencia de gravas y gravillas (las cucharas saca muestras se entranpan con este tipo de suelos).

El procedimiento seguido para la toma de muestras de suelo es como sigue: 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 se va incrementando la profundidad, se va añadiendo varillas a fin de obtener muestras con las cucharas acopladas en el extremo. Estas exploraciones fueron distribuidas entre las calicatas; es decir, en lugares donde no existía información geotécnica, lo cual permitirá tener una mejor caracterización de los suelos en el área urbana de Chilca (Figura 33). A continuación, En la Tabla 7 se muestra los resultados obtenidos y para el detalle de las fichas, ver Anexos.

Tabla 7: Ubicación de posteos y clasificación de suelos SUCS (NP, no presenta datos)

POSTEOS	UTM ESTE(m)	UTM NORTE(m)	ELEVACIÓN (m.s.n.m.)	PROFUNDIDAD (m)	TIPO DE SUELO	NIVEL FREÁTICO ENCONTRADO A (m)
P-1	310861	8615683	23	2.80	SP	N.P.
P-2	310495	8615886	28	3.40	SP	N.P.
P-3	309393	8613622	3	3.10	SP	N.P.
P-4	311036	8615687	23	0.70	SP	N.P.
P-5	311268	8616833	35	2.90	SP	N.P.
P-6	312525	8617202	55	1.70	SP	N.P.
P-7	314535	8612334	17	2.80	SP	2.80
P-8	313368	8614177	20	0.10	SP	N.P.
P-9	313787	8611496	18	0.40	SP	0.40
P-10	311776	8615764	38	4.50	SP	N.P.
P-11	311599	8614991	26	4.00	SP-SC	N.P.
P-12	312492	8613019	18	1.60	SP	1.60
P-13	312814	8613521	15	1.90	SP	1.70
P-14	308288	8615294	2	1.70	SP	1.70



Figura 33: Elaboración del posteo P-07, ubicado frente a las granjas San Fernando.

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 kg/cm^2 al hincado del cono dinámico. La ventaja del instrumento es que es un equipo muy práctico y se puede transportar fácilmente.

La técnica consiste en introducir al suelo una varilla de acero (cono metálico de penetración de 60° de punta), aplicando golpes con un martillo de 10 kg, que se deja caer desde una altura de 0.50 metros. Como medida de la resistencia a la penetración se registra el número "N" (número de golpes en 10 cm de penetración), para luego ser correlacionado 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", se obtiene el ángulo de fricción interna de los distintos materiales.

Se debe considerar que este ensayo es aplicable en terrenos arenosos, arcillosos y limo arenosos, no recomendable a utilizarse en gravas, fragmentos gruesos, conglomerados y terrenos rocosos. El procedimiento de campo incluyó las siguientes actividades:

Ubicación de ensayos: Se distribuyeron generalmente al costado y en puntos intermedios a algunas de las calicatas, 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 8, se indica la ubicación de los ensayos de penetración dinámica ligera (DPL) realizados en las inmediaciones del área urbana de Chilca (Figura 34). La profundidad alcanzada y los datos obtenidos del ensayo (número de golpes y ángulo de fricción), en la profundidad comprendida entre 0.90 y 1.20 debido a que en este nivel se calculará los parámetros geotécnicos (ángulo de fricción y cohesión) para el cálculo de la capacidad portante (admisible). Las fichas de ensayos se adjuntan en los Anexos.



Figura 34: Elaboración de ensayo de DPL, ubicado en el sector Las Salinas-Aguita de Coco.

Tabla 8: Ubicación de ensayos de penetración dinámica ligera (DPL) y parámetro obtenidos (Φ = Ángulo de fricción interna no corregido).

DPL	UTM ESTE (m)	UTM NORTE (m)	ELEVACIÓN (m.s.n.m.)	PROFUNDIDAD TOTAL (m)	NÚMERO DE GOLPES (0.90-1.20 m)	Φ
DPL - 01	311860	8616100	38	0.20	----	----
DPL - 02	311851	8616518	46	2.20	11.85	30.04
DPL - 03	312551	8615088	29	1.70	21.29	25.60
DPL - 04	310634	8615005	30	0.60	----	----
DPL - 05	311350	8615184	26	0.80	----	----
DPL - 06	312867	8612302	18	1.47	22.74	36.30
DPL - 07	312282	8612760	16	2.30	3.63	23.5

En cuatro ensayos DPL (02, 03, 06 y 07) se ha logrado alcanzar una profundidad entre 1.47 y 2.30 m. y para el resto de ensayos, la profundidad alcanzada fue de 0.20 m debido a la presencia de materiales granulares, conformados por gravas y arenas de grano grueso con alta resistencia a la penetración.

Asimismo, la profundidad alcanzada a través de la elaboración de estos ensayos permitió inferir que los suelos ubicados al noreste y en las inmediaciones del centro urbano, presentan consistencia media a baja (DPL 01, 02, 03, 04 y 05); mientras que en el extremo sureste (DPL 06 y 07), se presenta consistencia media por la presencia de materiales con contenido de sal.

5.4.1. 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 hincas y los números 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 hincas del DPL

e_2 = Espesor de la hincas 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.

9.4.3 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, (Osaki, 1959; Muromachi 1974; Peck, 1974; Das, 1995; y Katanaka – Uchida, 1996). Para el caso del área urbana de Chilca, se empleó la relación experimental propuesta por Osaki (1959), debido a que, es la más usada internacionalmente y sus resultados son conservadores, respecto a los otros autores antes mencionados (Tabla 9).

Tabla 9: Cálculo del ángulo de fricción interno, usando valores del SPT

ENSAYO	N _{SPT} corregido	Ángulo de fricción interna (Φ_{NSPT})	N _{SPT} corregido	Ángulo de fricción interna (Φ_{NSPT})
DPL-02	11.85	30.40	14.03	31.80
DPL-03	21.29	35.60	26.13	37.90
DPL-06	22.74	36.30	33.87	41.00
DPL-07	3.63	23.50	10.40	29.40
PROFUNDIDAD DEL ENSAYO	1.00 m -1.20 m		1.30 m - 1.50 m	

Tabla 10: Compacidad relativa de los suelos y ángulo de fricción interna en base al N_{SPT} (Juarez y Rico, 1973, modificado).

ARCILLAS			ARENAS GRANO MEDIO A GRUESO			ARENAS GRANO FINO A LIMOSAS		
Número de golpes SPT (N _{SPT})	Ángulo de fricción interna (Φ)	Compacidad	Número de golpes SPT (N _{SPT})	Ángulo de fricción interna (Φ)	Compacidad	Número de golpes SPT (N _{SPT})	Ángulo de fricción interna (Φ)	Compacidad
< 2	0°	Muy Blanda	0 - 5	27°	Muy suelta	0 - 5	27°	Muy suelta
2 - 4	0 - 2	Blanda	6 -12	28.00° - 30.50°	Suelta	6 -12	28.00° - 29.50°	Suelta
4 - 8	2 - 4	Media	13 - 32	31.50° - 36.30°	Media	13 - 45	31.00° - 35.80°	Media
8 - 15	4 - 6	Compacta	33 - 52	37.00° - 41.20°	Compacta	46 - 60	36.00° - 37.80°	Compacta
15 - 30	6 - 12	Muy Compacta	53 - 60	42°.00 - 42.60°	Muy Compacta			
> 30	> 14	Dura						

De acuerdo a los datos de las Tablas 9 y 10, los suelos del área urbana de Chilca en su mayoría son arenas con contenido de limos, el ángulo de fricción está en el rango de 23.50° a 35.60° entre 1.00 m. y 1.20 m., por tanto los suelos presentan compacidad relativa de muy suelta a media, mientras que, de 1.30 m. -1.50 m., varía de 29.40° a 41.00°, cuya compacidad relativa es de media a compacta.

Finalmente, se adjunta en el Anexo de Geotecnia, la ficha resumen de cada uno de los ensayos realizados en campo y sus respectivos valores de ángulo de fricción interna (Figura 35).

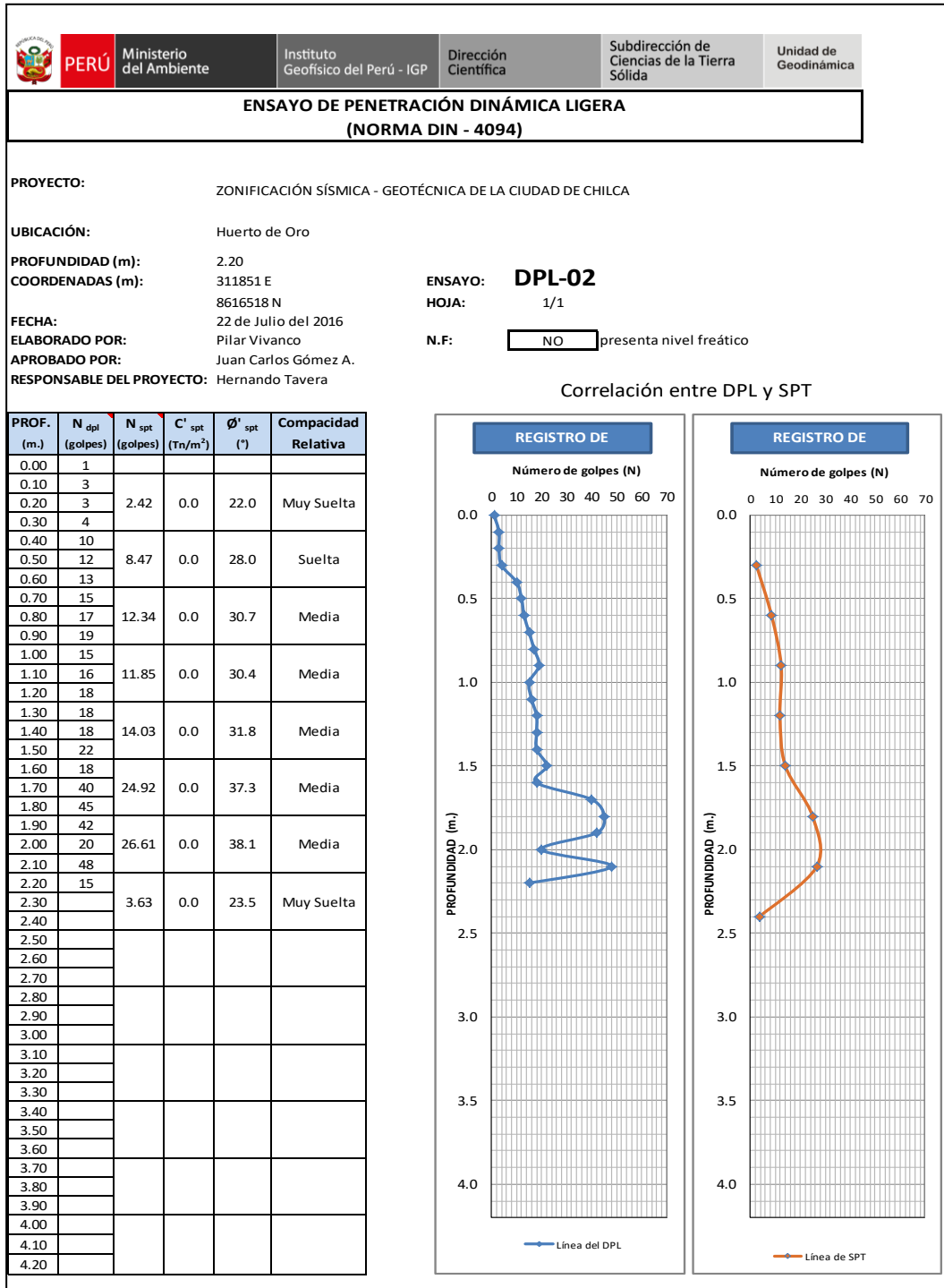


Figura 35: Diagrama de correlación entre el número de golpes del DPL y el número de golpes del SPT y el cálculo de ángulo de fricción interna.

9.5. Clasificación SUCS

En base a la información geotécnica recopilada de las calicatas, posteos y DPL, realizados en el área urbana de Chilca, se ha identificado la existencia de 2 tipos de suelos, que han sido agrupados haciendo uso del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), ver Tabla 11 y Figura 36.

Suelo tipo SP: Arena mal graduada con gravas y contenido de humedad entre 0.70 -17.43 %. Constituyen suelos semicompactos y no presentan plasticidad (debido a la escasa presencia de material fino). Abarcan el 80 % de la zona de estudio y se identificaron en AA.HH. San José (C-01 y C-02), Urb. San Hilarión (C-3), AA.HH. San Pedro (C-5) y Sector Las Salinas (C-6 y C-7).

Suelo tipo SC-SM: Arena con limo y arcilla, con contenido de humedad entre 0.87-17.4 %, por lo cual se considera que su capacidad de retención (permeabilidad) es baja. Son suelos inconsolidados o sueltos y presentan plasticidad de ligera a baja (10 %). Estos suelos se reconocen a 417 m. al oeste del centro urbano en la calicata (C-04 y C-08) ocupando el 20 % del área de estudio.

Tabla 11: Clasificación SUCS de los suelos para ocho (08) calicatas elaboradas para el área de estudio.

CALICATA	PROFUNDIDAD (m)	NIVEL FREÁTICO A (m)	GRAVAS % (>4.76 mm)	ARENAS % (>0.074 mm, <4.76 mm)	FINOS % (<0.074 mm)	LÍMITE LÍQUIDO (%)	LÍMITE PLÁSTICO (%)	ÍNDICE PLÁSTICO	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	CLASIFICACIÓN SUCS	DENOMINACIÓN
C - 01	2.30	N.P.	37.2	62.1	2.04	N.P.	N.P.	N.P.	0.80	SP	Arena mal graduada con grava
C - 02	2.50	N.P.	8.00	90.3	3.3	N.P.	N.P.	N.P.	0.96	SP	Arena mal graduada
C - 03	2.80	N.P.	12.4	83.5	5.15	N.P.	N.P.	N.P.	0.32	SP	Arena mal graduada
C - 04	2.70	N.P.	0	89.7	10.26	28	19	9	0.87	SC-SM	Arena limo arcillosa con grava
C - 05	2.70	N.P.	16.3	82.6	2.17	N.P.	N.P.	N.P.	1.10	SP	Arena mal graduada
C - 06	1.50	1.50	9.4	95.3	0	N.P.	N.P.	N.P.	17.4	SP	Arena mal graduada
C - 07	1.20	N.P.	0	100	0	N.P.	N.P.	N.P.	1.00	SP	Arena mal graduada
C - 08	8.00	8.00	0	55	45	27	17	10	0.89	SC-SM	Arena limo arcillosa con grava

N.P. =No presenta

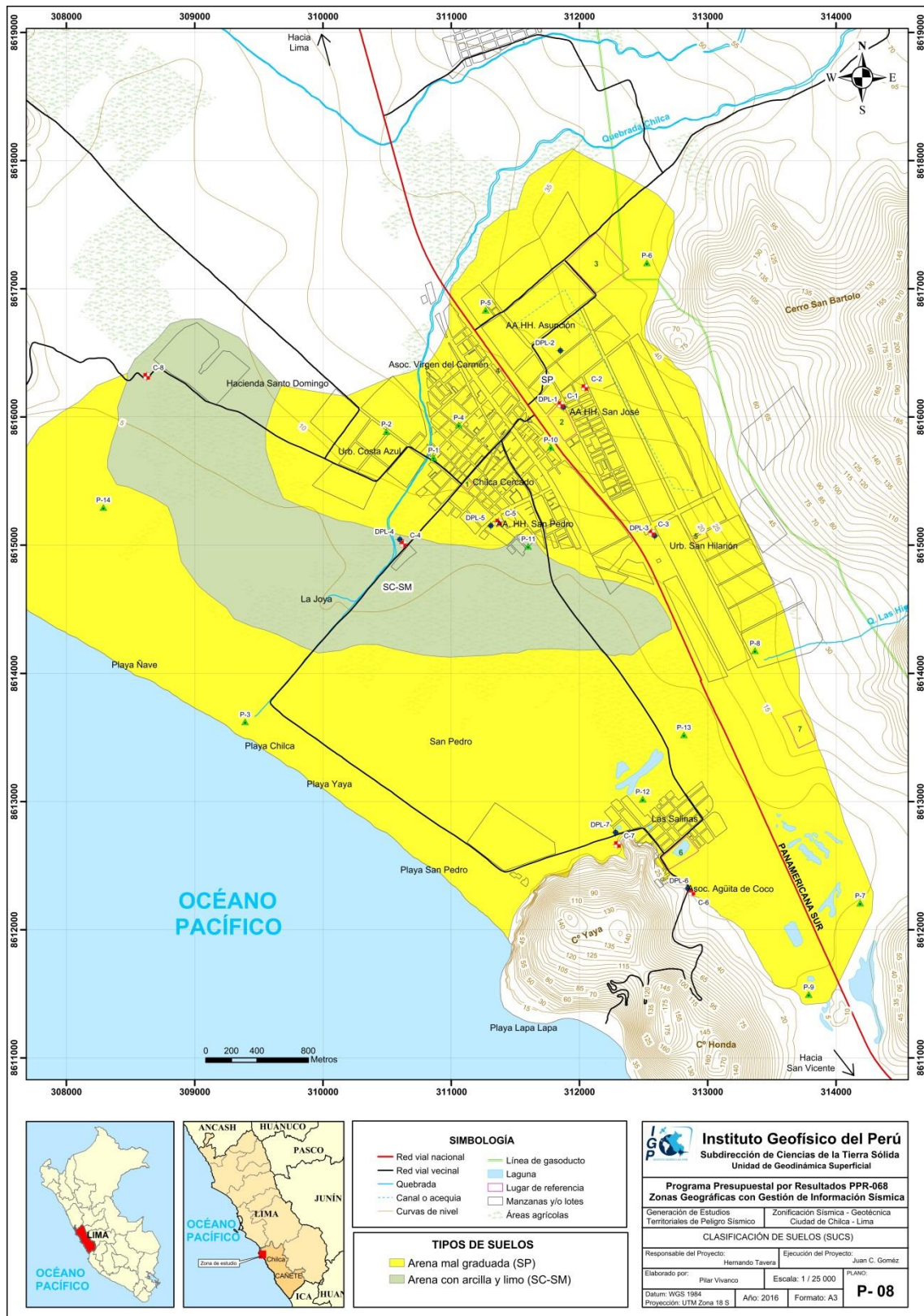


Figura 36: Mapa de clasificación SUCS para los suelos del área urbana de Chilca y alrededores.

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

La finalidad de este ensayo es determinar la resistencia al esfuerzo de corte de una muestra de suelo, sometida a fatigas y/o deformaciones (esfuerzos verticales y horizontales) que simulen la 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 al corte 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 dos placas de piedra porosa 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.

Para las ocho (08) muestras extraídas de campo, los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 12.

Tabla 12: Valores obtenidos del ensayo de corte directo (NP, no presenta datos).

MUESTRA	ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA DEL SUELO (ϕ)	COHESIÓN APARENTE DEL SUELO (Tn/m^2)	DENSIDAD NATURAL (Tn/m^3)
C-01	26.37	0.07	1.6
C-02	31.8	0.06	0.83
C-03	37.9	0.07	2.1
C-04	27.2	0.02	0.84
C-05	27	0.04	2
C-06	27.61	0.03	2.13
C-07	29.4	0.03	1.97
C-08	22.8	0.02	1.23

De los resultados obtenidos, se evidencia que los suelos presentan valores de cohesión entre 0.02-0.07 kg/cm^2 y los valores del ángulo de fricción interna, se encuentran entre los 26° y 27°; ambos valores característicos de arenas mal graduadas con contenido de gravas y finos; es decir, semicompactas.

5.7. Capacidad de carga admisible ($q_{ad} = \frac{q_u}{F_s}$)

Se define como el esfuerzo máximo que puede ser aplicado a la masa del suelo de tal forma que se cumplan los requerimientos básicos establecidos por la relación entre la carga última y un factor de seguridad de valor 3, de acuerdo a la Norma Técnica Peruana para el Diseño de Cimentaciones (E.050).

5.7.1. 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, et al). Para determinar la carga última se usaron los resultados de los ensayos de corte directo y en base al N_{SPT} (ángulo de fricción y la cohesión), datos que se usaran con la fórmula general de Terzaghi (1943), a través de la siguiente expresión (Tabla 13):

$$q_u = cN_c S_c + qN_q + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma S_\gamma$$

Donde:

C: cohesión

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

N_c, N_q, N_γ : Factores de carga, Tabla 04.

Tabla 13: Tabla de factores de carga, modificado por Terzaghi (Braja, 2007).

Φ'	N'_c	N'_q	N'_g	Φ'	N'_c	N'_q	N'_g
0	5.70	1.00	0.00	26	15.53	6.05	2.59
1	5.90	1.07	0.01	27	16.30	6.54	2.88
2	6.10	1.14	0.02	28	17.13	7.07	3.29
3	6.30	1.22	0.04	29	18.03	7.66	3.76
4	6.51	1.30	0.06	30	18.99	8.31	4.39
5	6.74	1.39	0.07	31	20.03	9.03	4.83
6	6.97	1.49	0.10	32	21.16	9.82	5.51
7	7.22	1.59	0.13	33	22.39	10.69	6.32
8	7.47	1.70	0.16	34	23.72	11.67	7.22
9	7.74	1.82	0.20	35	25.18	12.75	8.35
10	8.02	1.94	0.24	36	26.77	13.97	9.41
11	8.32	2.08	0.30	37	28.51	15.32	10.90
12	8.63	2.22	0.35	38	30.43	16.85	12.75
13	8.96	2.38	0.42	39	32.53	18.56	14.71
14	9.31	2.55	0.48	40	34.87	20.50	17.22
15	9.67	2.73	0.57	41	37.45	22.70	19.75
16	10.06	2.92	0.67	42	40.33	25.21	22.50
17	10.47	3.13	0.76	43	43.54	28.06	26.25
18	10.90	3.36	0.88	44	47.13	31.34	30.40
19	11.36	3.61	1.03	45	51.17	35.11	36.00
20	11.85	3.88	1.12	46	55.73	39.48	41.70
21	12.37	4.17	1.35	47	60.91	44.45	49.30
22	12.92	4.48	1.55	48	66.80	50.46	59.25
23	13.51	4.82	1.74	49	73.55	57.41	71.45
24	14.14	5.20	1.97	50	81.31	65.60	85.75
25	14.80	5.60	2.25				

Luego, en base a los resultados de la carga última (q_u) se calculó 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 una profundidad de cimentación de 1.50 m y ancho de zapata de 1.00 m. Los resultados de capacidad de carga admisible para los 02 tipos de suelos analizados se presentan en las Tablas 14 y 15; además de las Figuras 37 a,b.

Tabla 14: Capacidad de carga admisible de siete (07) muestras extraídas en el área urbana de Chilca.

MUESTRA	Capacidad de carga última (Tn/m ²)	Capacidad de carga admisible (Kg/cm ²)	Capacidad de carga última (Tn/m ²)	Capacidad de carga admisible (Kg/cm ²)
CA-01	5.46	1.82	6.72	2.24
CA-02	5.45	1.8	6.7	2.26
CA-03	5.5	1.79	6.63	2.2
CA-04	5.5	1.8	6.6	2.3
CA-05	5.52	1.84	6.65	2.3
CA-06	6.15	2.05	7.14	2.38
CA-07	6.2	2.1	7.09	2.4
DIMENSIONES DE CIMENTACIÓN	Profundidad: 1.00 m y ancho:1.00		Profundidad: 1.50 m y ancho:1.00	

Tabla 15: Capacidad de carga admisible en base a los ensayos de DPL para el área urbana de Chilca.

ENSAYO	Capacidad de carga última (kg/cm ²)	Capacidad de carga admisible (Kg/cm ²)	Capacidad de carga última (kg/cm ²)	Capacidad de carga admisible (Kg/cm ²)
DPL – 02	0.9	0.3	1.3	0.43
DPL – 03	3.77	1.26	6.57	2.19
DPL - 06	4.11	1.37	9.36	3.12
DPL - 07	1.17	0.39	2.74	0.91
DIMENSIONES DE CIMENTACIÓN	Profundidad: 1.00 m y ancho:1.00		Profundidad: 1.50 m y ancho:1.00	

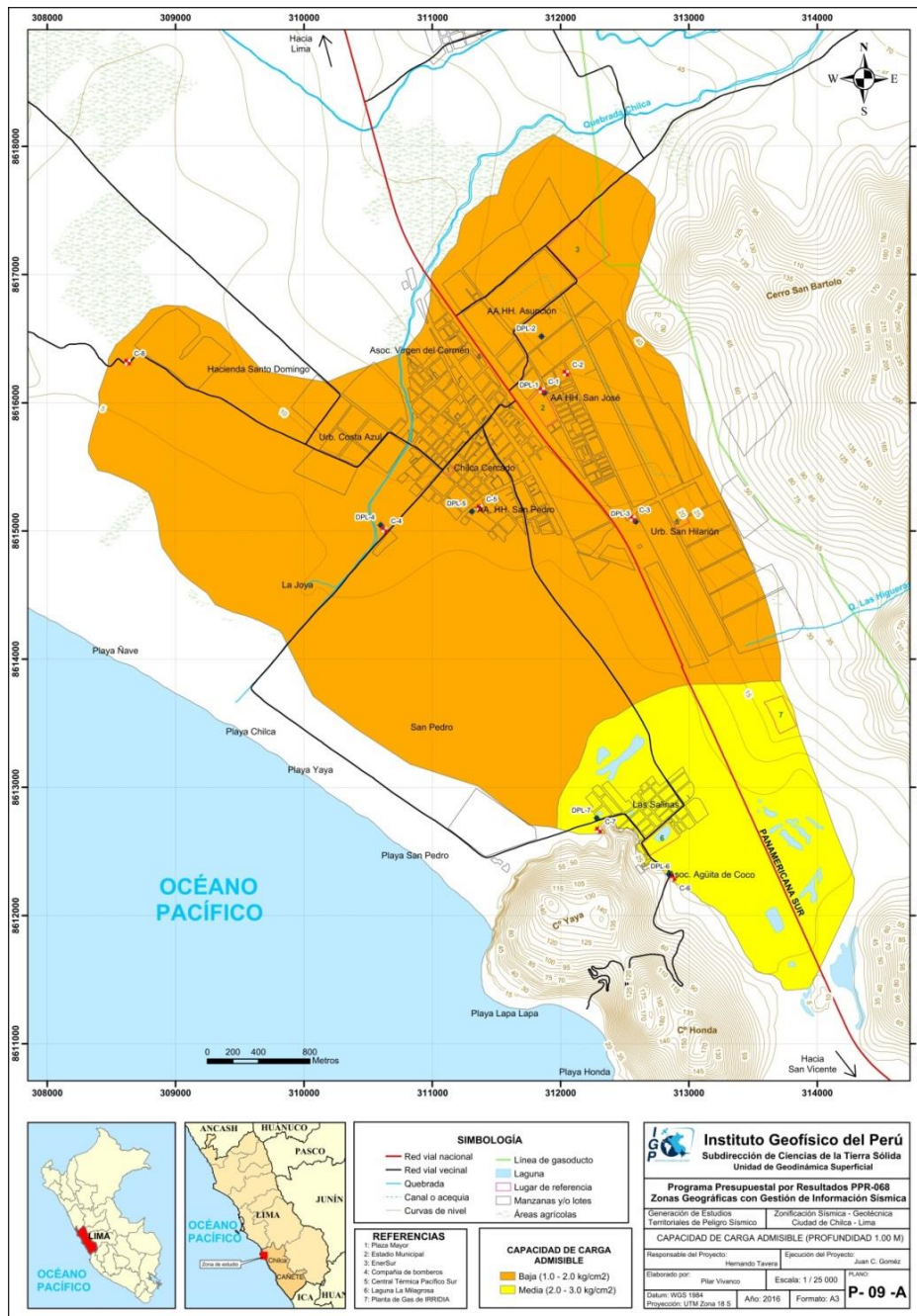


Figura 37a: Mapa de capacidad de carga admisible a profundidades de 1 metro para el área urbana de Chilca y alrededores

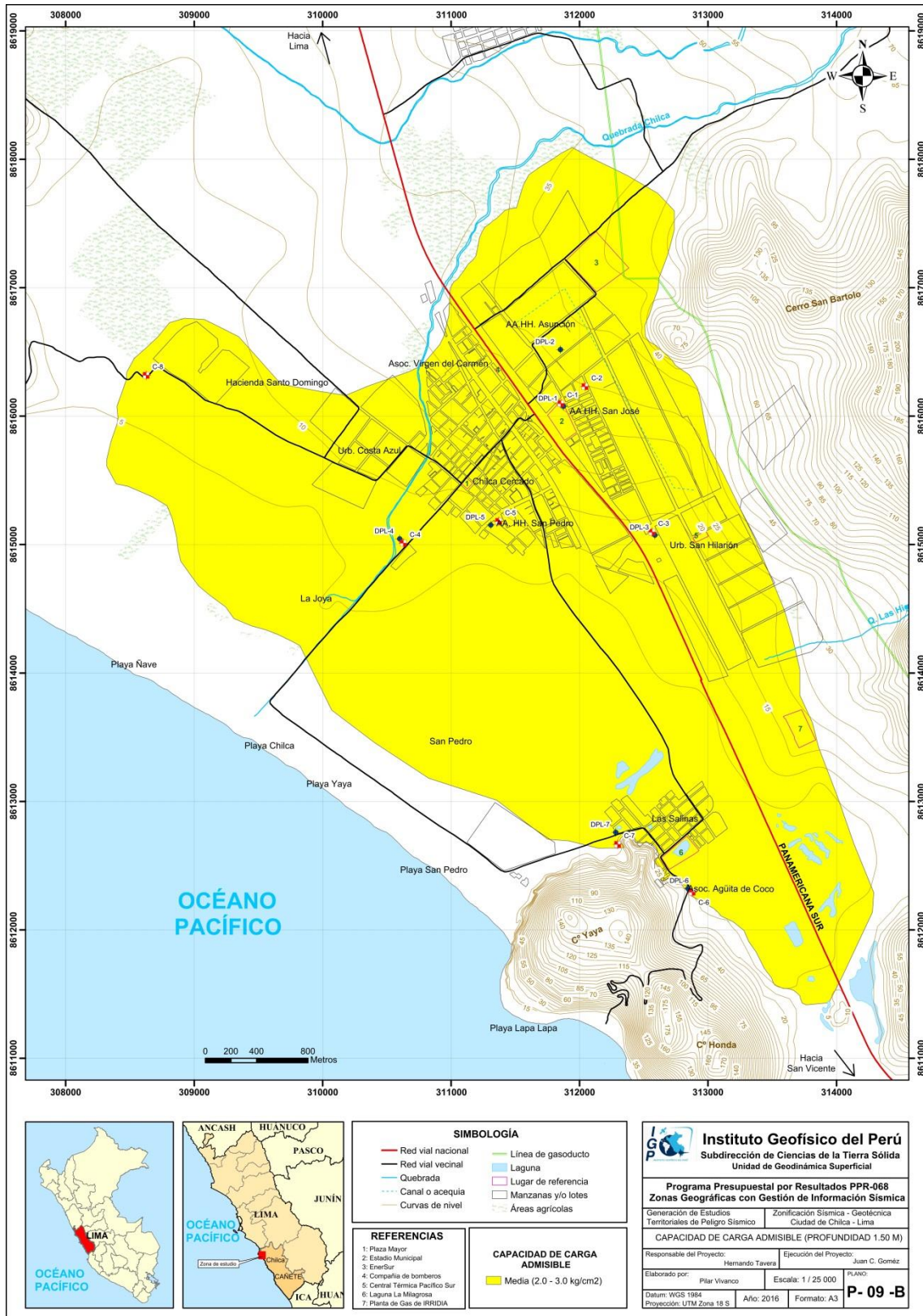


Figura 37b: Mapa de capacidad de carga admisible a profundidad de 1 metro para el área urbana de Chilca y alrededores

De los resultados obtenidos y tomando en cuenta los valores de la Tabla 16, se ha determinado que, la zona urbana de Chilca presenta suelos con la siguiente capacidad de carga admisible:

Tabla 16: Rango de capacidad de carga admisible

CAPACIDAD CARGA ADMISIBLE (kg/cm ²)	DENOMINACION
< 1.0	MUY BAJA
1.0 - 2.0	BAJA
2.0 - 3.0	MEDIA
> 3.0	ALTA

5.7.2. Capacidad de carga admisible baja

Comprende rangos de capacidad de carga admisible entre 1.00 - 2.00 kg/cm², y se encuentran representados por suelos arenosos (SP) y arena arcillo-limosas (SC-SM), con grado de compactación bajo. Representa menos del 10 % del área de estudio. Se identificaron en los suelos del sector Las Salinas y en el sector urbano hasta una profundidad de 1.00 m.

5.7.3. Capacidad de carga admisible media

Comprende rangos de capacidad de carga admisible entre 2.00 - 3.00 kg/cm², a partir de 1.50 m. de profundidad, representado por suelos arenosos (SP), con grado de compactación bajo. Representa menos del 90% del área de estudio. Se identificó en el sector urbano de Chilca, Las Salinas, Urb. San Hilarión y AA.HH. San José, San Pedro.

5.8. Problemas geotécnicos

Entre los problemas de suelos que se presentan con mayor frecuencia en el área urbana de Chilca tiene la licuación de suelos, asociado a la ocurrencia de eventos sísmicos. A continuación se detalla su dinámica y el procedimiento para su determinación:

Presencia de aguas superficiales: En la zona de estudio se ha identificado presencia de aguas superficiales en el sector Las Salinas que se encuentran formando lagunas como La Milagrosa, Los Mellizeros y La Encantada (Figura 38).

Estas aguas se forman debido a que la napa freática contenida en el acuífero es libre y superficial, siendo su fuente de alimentación las aguas que infiltran desde la parte alta y media de la cuenca del río Chilca (zona húmeda), así como, las aguas de los canales de riego no revestidos en las áreas de cultivo. En el sector Las Salinas, el agua subterránea tiene una orientación noreste-suroeste y fluctúan entre 3.00 – 6.00 m.s.n.m.



Figura 38: Presencia de aguas superficiales en el sector Las Salinas.

Estas aguas contienen cloruro de sodio, sulfato y carbonato de calcio, cuyos valores corresponden a agua dulce a salubre (de baja a alta mineralización), (INRENA, 1994).

Licuación de suelos: Se define como la pérdida rápida de la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos saturados debido al incremento súbito en las presiones de poros, bajo condiciones no drenadas y cargas cíclicas principalmente (Pachon et al., 2000).

Análisis del potencial de licuación de suelos: Para determinar el potencial de licuación de suelos se debe definir la relación entre la resistencia cíclica (CRR) y el esfuerzo cíclico (CSR), el primero se define como la oposición que presenta un suelo ante la licuación y el segundo como la excitación o demanda sísmica de un determinado estrato de suelo.

Para el cálculo del esfuerzo cíclico se aplica la fórmula de Seed e Idris (1999):

$$CSR = \left(\frac{\tau_{SV}}{\sigma'_{V0}} \right) = 0.65 \left(\frac{a_{max}}{g} \right) \left(\frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{V0}} \right) r_d$$

Dónde:

a_{max} = Aceleración máxima para un sismo de diseño

g = Aceleración de la gravedad

σ_{v0} = Esfuerzo normal vertical respecto al suelo

σ'_{v0} = Esfuerzo normal vertical efectivo respecto al suelo

r_d = Coeficiente de reducción de esfuerzo, tomando en cuenta la deformabilidad del perfil del suelo

De acuerdo a Idriss 1991, r_d está dado por:

$$r_d = e^{[\alpha(z) + \beta(z) * M_W]}$$

Dónde:

$$\alpha(z) = -1.01 - 1.06 \sin\left[\frac{z}{11.73}\right] + 5.133 \quad \beta(z) = 0.106 + 0.118 \sin\left[\frac{z}{11.28}\right] + 5.142$$

Mientras que, la resistencia del suelo se determinó en base a número de golpes del SPT (N_{SPT}) que fue correlacionado en el presente informe con los datos de campo tomados a partir del ensayo DPL que hayan pasado 1.00 m de profundidad. Datos que, se aplicaran en la siguiente formula:

$$CRR = \frac{1}{34 - N} + \frac{N}{135} + \frac{50}{(10N + 45)^2} - \frac{1}{200}$$

Dónde:

$$N = N \text{ corregido } (N_1)_{60}$$

Finalmente, la relación entre la Resistencia del suelo (CRR) y el esfuerzo cíclico (CSR) brinda un factor de seguridad (FS), si este es menor a 1 ocurrirá licuación, en caso contrario no se presentará, según la siguiente relación:

$$FS = \left(\frac{CRR}{CSR} \right) MSF^*$$

*MSF**: Factor de Escala de Magnitud, para un sismo de 7.5 Mw este valor es igual a 1.

La zona a evaluar es el sector Las Salinas - Barrio Agüita de Coco, zona actualmente en expansión urbana, cuyo suelo está constituido por arenas y nivel freático superficial a 1.50 m. de profundidad (Tabla 17). El análisis de potencial de licuación de suelos se efectuó para un sismo de Mw=7.5

Tabla 17: Resumen de datos para el cálculo de potencial licuación de suelos

Calicata	σ_v (N/m ²)	σ'_v (N/m ²)	rd	CRR	NÚMERO DE GOLPES CORREGIDO	CSR= M=7.5
C-06	23151.6	18246.6	0.94	0.25	22.74	0.39

Entonces:

$$FS = \frac{0.25}{0.39} = 0.65$$

El valor obtenido es de 0.65; es decir, un factor de seguridad menor a 1 y según Seed e Idris (1999), esto indica que el Barrio Agüita de Coco presenta potencial de licuación de suelos.

CONCLUSIONES

- En el área de estudio se han identificado tres unidades geomorfológicas: abanico aluvial (sobre el cual se asienta el centro urbano de Chilca), loma (sector Las Salinas y zona industrial) y playa (San Pedro, Yaya, Chilca y Ñave), que ocupan el 88%, 10.4% y 1.6% respectivamente.
- Los materiales que conforman el subsuelo del área urbana de Chilca corresponden a depósitos aluviales (gravas redondeadas a subredondeadas envueltos en una matriz areno-limosa y arcillosa) con un espesor aproximado de 30 m. El substrato rocoso está constituido por rocas del tipo calizas de la Formación Pamplona que afloran a 3 km al sureste del área urbana en mención.
- Se han identificado dos tipos de eventos geodinámicos: caída de rocas en el balneario Lapa Lapa e inundaciones por desbordes de las aguas de la quebrada Chilca, ante el incremento de las precipitaciones y producto del arrojo de desechos antrópicos que colmatan el cauce, lo cual afectaría 2290 Ha del AA.HH. Asunción y Asociación Virgen del Carmen (33% de la zona de estudio).
- Se han identificado dos tipos de suelos en el área urbana de Chilca que corresponden a: arenas mal graduadas con gravas (SP) con capacidad de carga admisible baja a media (1.79 – 2.10 kg/cm²): AA.H. San José, Urb. San Hilarión, AA.HH. San Pedro y Sector Las Salinas. Arena limo arcillosa (SC-SM) con capacidad de carga admisible baja (1.80 kg/cm²), constituyen los suelos sobre el cual se asienta el cercado de Chilca, La Hacienda Santo Domingo y La Joya.
- Se evidenció presencia de nivel freático superficial en el sector Las Salinas, en la zona frente a las granjas San Fernando y a 700 m. al este aproximadamente de la playa Ñave a una profundidad de 1.50 m; sin embargo, informes anteriores al año 2004, indican que el nivel freático se encuentra a 2.00 m.; por tanto, se puede deducir que en los últimos 12 años hay un ascenso de 0.50 m.
- El sector Las Salinas - Barrio Aguita de Coco, es una zona que presenta potencial de licuación de suelos.

**CARACTERIZACIÓN SÍSMICA GEOFÍSICA
DEL ÁREA URBANA DE CHILCA**

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. Razones espectrales (H/V)
- 2.2. Arreglos Sísmicos (MASW)
- 2.3. Tomografía Eléctrica (ERT)

3. ANALISIS E INTERPRETACION

- 3.1. Estudio sísmico con la Técnica H/V
- 3.2. Estudio sísmico con la Técnica MASW
- 3.3. Periodos dominantes
- 3.4. Estudio eléctrico con la Técnica ERT

4. ZONIFICACION GEOFISICA- GEOTÉCNICA

- 4.1. Mapa de Zonificación Sísmica – Geotécnica

CONCLUSIONES

1. METODOLOGÍA

Para obtener el Mapa de Zonificación Sísmica – Geotécnica para el área urbana de Chilca se ha aplicado las siguientes técnicas sísmicas y geofísicas:

1.1. Razones Espectrales (H/V)

Para la aplicación de esta técnica se obtiene registros de vibración ambiental y se procede a construir las razones espectrales H/V; es decir, 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, geomorfológicas y geotécnicas 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.

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 los datos obtenidos 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.

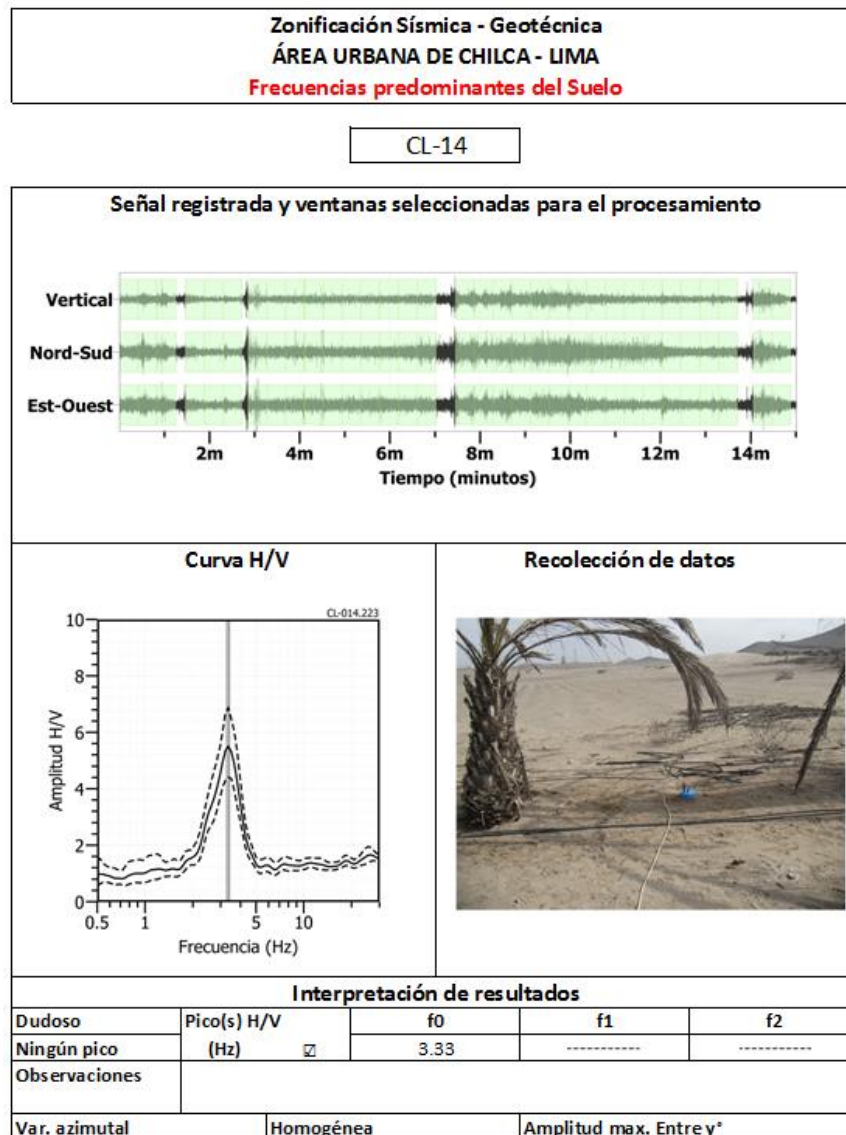


Figura 1: Ejemplo de la ficha H/V para el punto CL-14 en la cual se recopila los datos registrados y analizados Arriba, señal registrada; Medio; razón espectral (H/V) en línea gruesa y su desviación estándar en línea discontinua y Abajo; resultados.

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 dominan en la zona de estudio.

1.2. Análisis Multicanal de ondas Superficiales (MASW)

La técnica MASW es un método indirecto que 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 se muestra en la Figura 2.

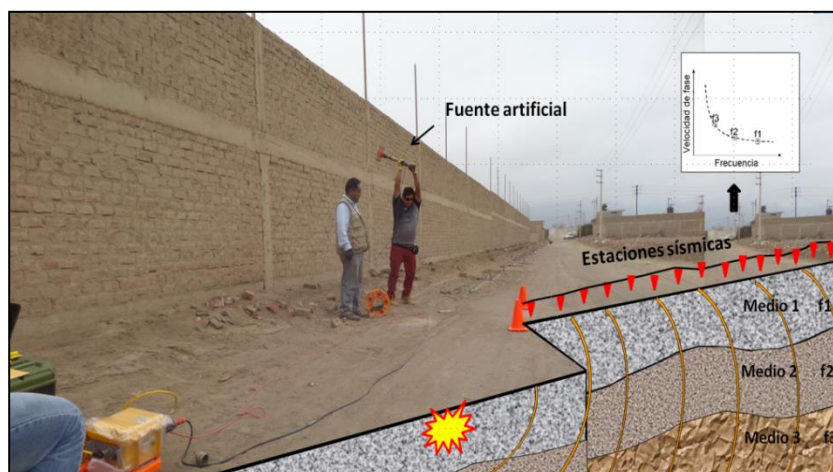


Figura 2: Generación de ondas Rayleigh usando fuentes artificiales y su respectiva curva de dispersión.

El procesamiento de los datos de MASW fue realizado con el programa SeisImager y consiste en aplicar la transformada de Fourier (FFT) 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 Vs en una dimensión (1D) (Park, 2014; Roma, 2010; Socco et al., 2008).

En la Figura 3, se muestra un ejemplo de los resultados obtenidos del ensayo ubicado próximo a la Hacienda Palmar. La imagen de la izquierda muestra la curva de dispersión y a la derecha, el perfil de velocidad de ondas de corte Vs (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 en el dominio de frecuencia y profundidad. Esta curva permite verificar el nivel de confiabilidad o la profundidad mínima y máxima de investigación (área sombreada) y en este caso; el perfil presenta una capa sísmica y un semiespacio, donde, el nivel de confiabilidad es hasta los 30 metros de profundidad.

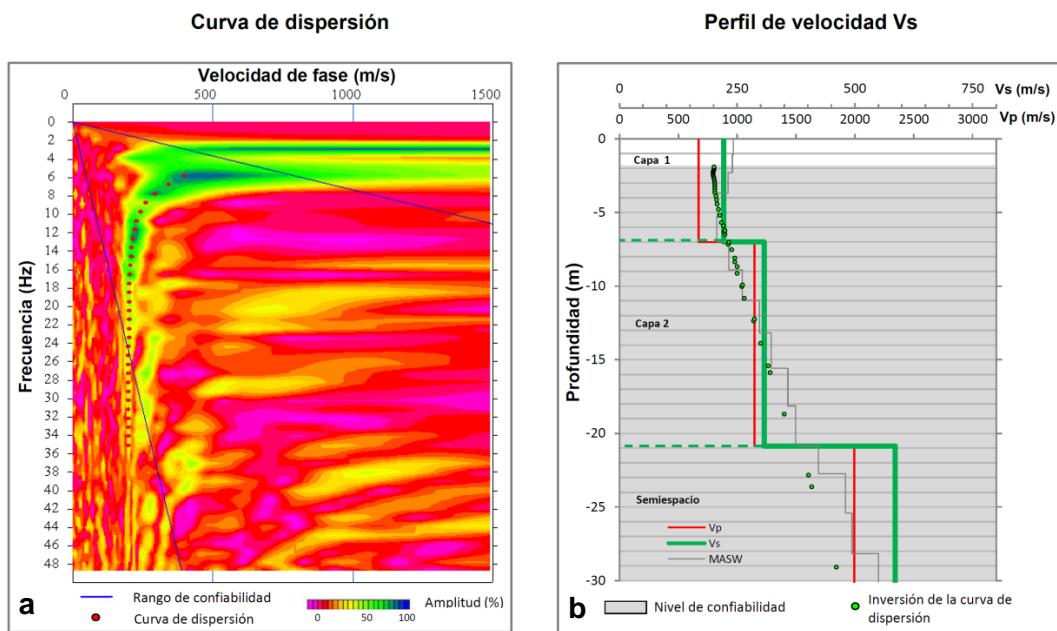


Figura 3: a) Curva de dispersión y b) perfil de velocidad obtenido a partir del ensayo realizado en la Av. Mariano Ignacio Prado.

Para el análisis e interpretación de los resultados obtenidos en este ítem se considera la clasificación de suelos según la Norma E.030, que considera la velocidad promedio de propagación de las ondas de corte para los primeros 30 metros (Vs30). En este caso, las velocidades de los perfiles de suelo S1 y S2 se subdividen para tener mayor detalle de la distribución de este parámetro (Tabla 1). Asimismo, cada perfil de

velocidad es representado con colores, para mayor comprensión de los resultados obtenidos..

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	Suelo blando	Suelo blando
2	180 m/s a 350 m/s	Suelo rígido	Suelo medianamente rígido
3	350 m/s a 500 m/s		Suelo rígido
4	500 m/s a 800 m/s	Roca o suelo muy rígido	Suelo muy rígido
5	800 m/s a 1500 m/s		Roca fracturada
6	> 1500 m/s	Roca dura	Roca dura

Finalmente, se realiza la correlación de las capas sísmicas obtenidas con la geología local y el nivel freático de los suelos, 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 resistividad del subsuelo asociado a la presencia de capas y superficies con mayor o menor contenido de agua, o de sales disueltas presentes en las fracturas de las rocas o 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 ΔV entre esos dos puntos (Figura 4). Para este estudio se realizó el dispositivo polo-dipolo.

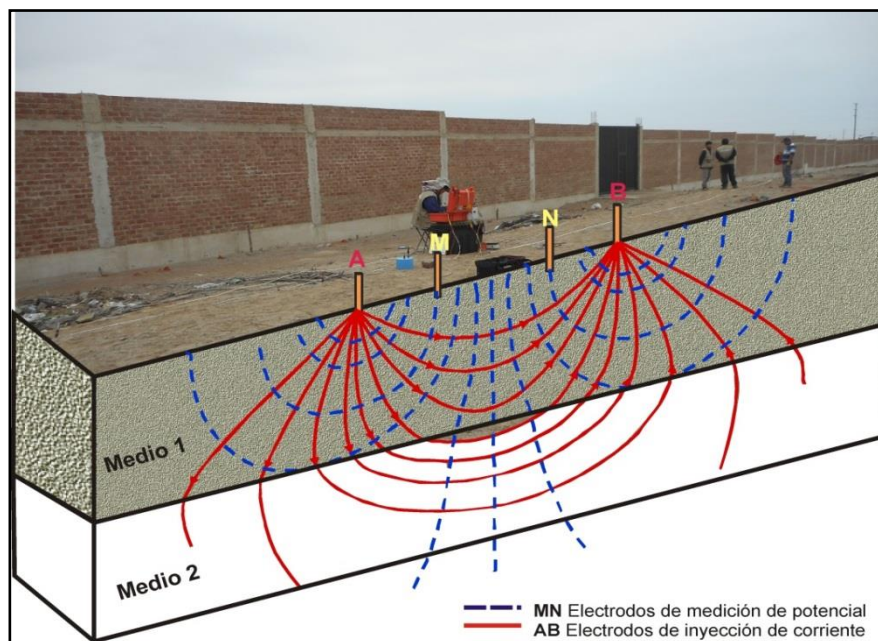


Figura 4: Principio del método de resistividad (LE05-CL), modificado de Orellana, E. (1982).

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, V_p : 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.

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.

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.*
- Resistivo o Resistividad Moderada (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, los rangos de resistividades se han resumido en la Tabla 2.

Tabla 2: Rangos de Resistividades

Rango de resistividades	ohm.m	Tipo de suelo	
Material muy alto resistivo	> 1500	Más competente	
Material alto resistivo	500 a 1500		
Material resistivo o resistividad moderada	100 a 500		
Material bajo resistivo	20 a 100		
Material muy bajo resistivo	< 20	Blandos / saturados	

Dada la estrecha relación que existe entre la resistividad eléctrica y el grado de saturación del terreno, es posible definir la ubicación de las áreas de filtración y las zonas saturadas en el subsuelo. Por lo tanto, 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, como la técnica de razones espectrales (H/V) utilizando registros de vibración ambiental; MASW y ERT para conocer la resistividad del suelo. A continuación, se describe los procedimientos seguidos para la recolección de datos.

2.1. Razones espectrales (H/V)

Para la obtención de los registros de vibración ambiental se utiliza un 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 Chilca: sensores Lennartz (2N) y registrador CityShark II

En el área urbana de Chilca, se obtuvo registros de vibración ambiental para 150 puntos distribuidos sobre el mapa catastral de Chilca y teniendo en cuenta la información geológica y geomorfológica de la zona de estudio (Figura 6). 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 datos, además de ejemplos de señales de vibración ambiental. La señal registrada en el punto CL-35 presenta bajos niveles de ruido; mientras que, la señal en CL-64, presenta diversidad de pulsos de variada amplitud, que al momento de su análisis fueron filtrados con la finalidad de no alterar los resultados.

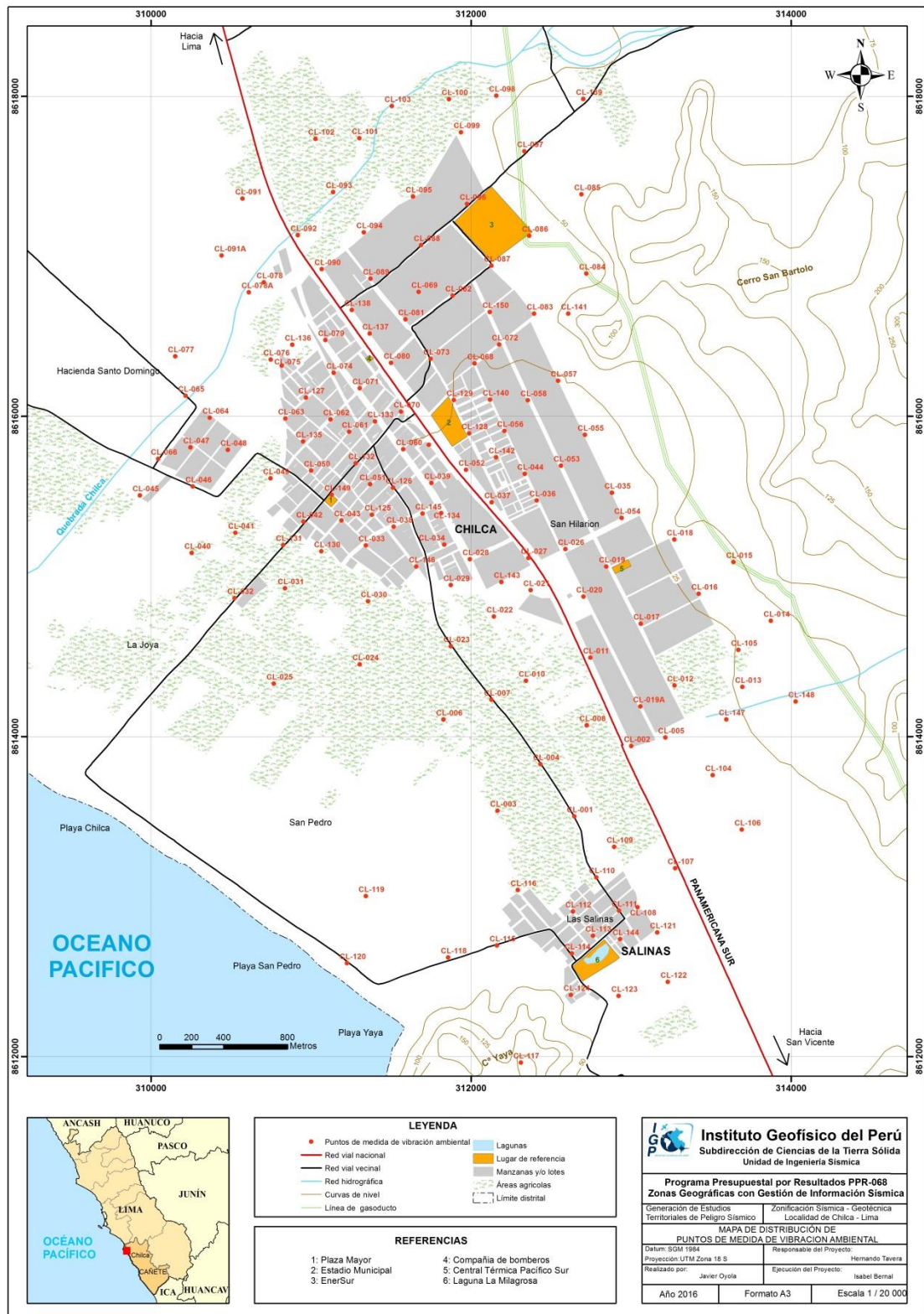


Figura 6: Mapa catastral del área urbana de Chilca con la distribución de puntos donde se obtienen los registro de vibración ambiental.

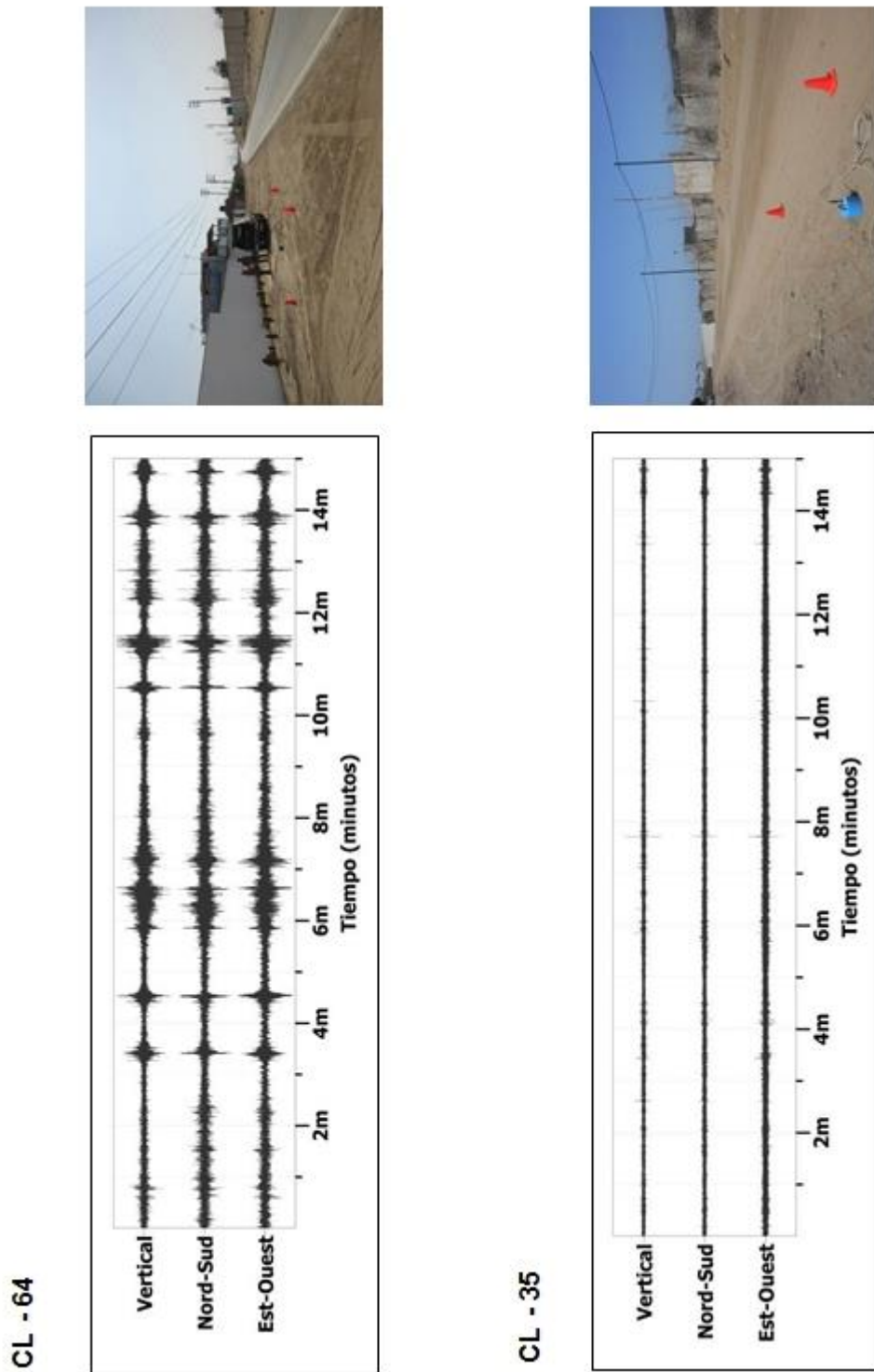


Figura 7: Ejemplos de la disposición del equipo sísmico para el registro de vibraciones ambientales. Ejemplos de registros de vibración ambiental obtenidos sobre una zona con ruido transitorio (CL-64) y otro con ruido de fondo constante (CL-35). Obsérvese las diferentes amplitudes de la señal registrada en cada punto.

2.2. Arreglos Sísmicos (MASW)

En el área urbana de Chilca se realizaron 11 arreglos sísmicos codificados como: LS01-CL, ...,LS11-CL (Tabla 3) y cuya distribución espacial se muestra en la Figura 8.

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-CL	312729	8613033	14	4	92
	312797	8613093	14		
LS02-CL	313493	8614071	36	4	92
	313581	8614098	37		
LS03-CL	311922	8614505	23	4	92
	311869	8614579	22		
LS04-CL	312845	8615080	30	4	92
	312886	8615000	30		
LS05-CL	311416	8615134	25	4	92
	311489	8615074	26		
LS06-CL	311087	8616357	32	4	92
	311106	8616315	32		
LS07-CL	312113	8616133	39	4	92
	312093	8616174	39		
LS08-CL	311505	8617298	51	4	92
	311468	8617270	51		
LS09-CL	310236	8615993	33	4	92
	310182	8615918	32		
LS10-CL	313182	8612400	18	4	92
	313112	8612339	18		
LS11-CL	310736	8615095	27	4	92
	310673	8615025	27		

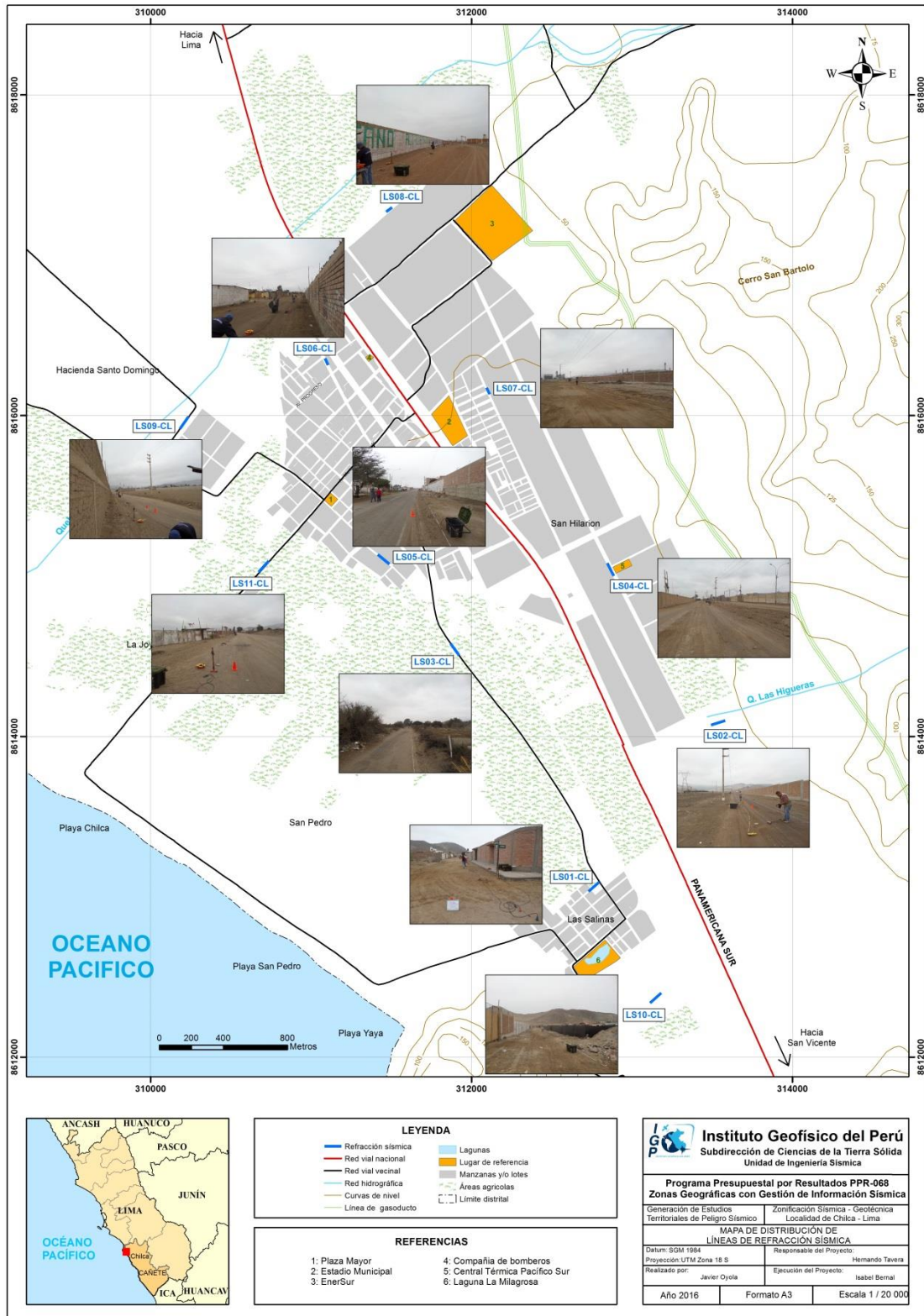


Figura 8: Mapa del área urbana de Chilca y distribución espacial de las líneas sísmicas codificadas como: LS01-CL, ..., LS11-CL.

Para el registro de los datos se ha utilizado un equipo sísmico (sismógrafo) de uso multipropósito, modelo GEODE de Geometrics de 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.

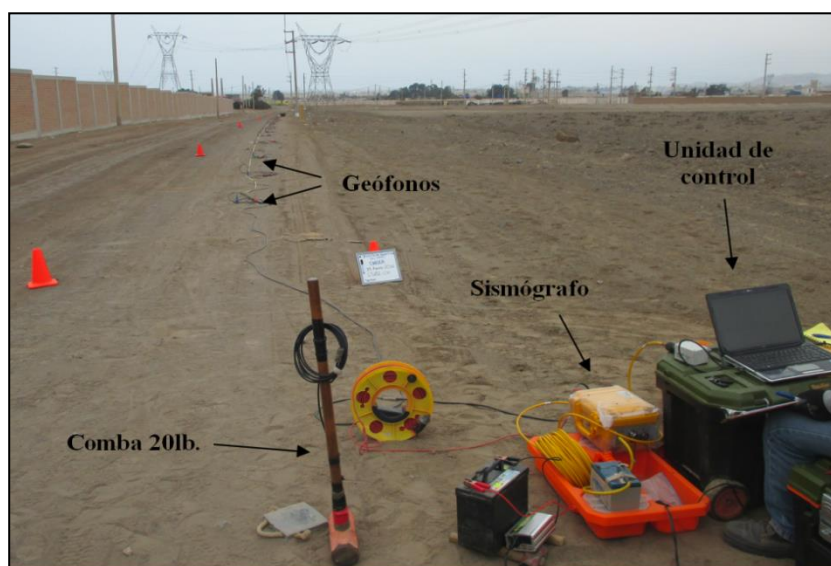


Figura 9: Equipos utilizados en la toma de datos de MASW realizado en el Jirón Daniel A. Carrión.

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 los datos y el nivel de ruido, tal como se observa en la Figura 10, es verificada según la relación señal/ruido y el apilamientos de señales (en cada punto de disparo se registran varios golpes y es acumulado al anterior), obtenidos después de haber realizado cuatro a cinco golpes en cada punto “shot”.

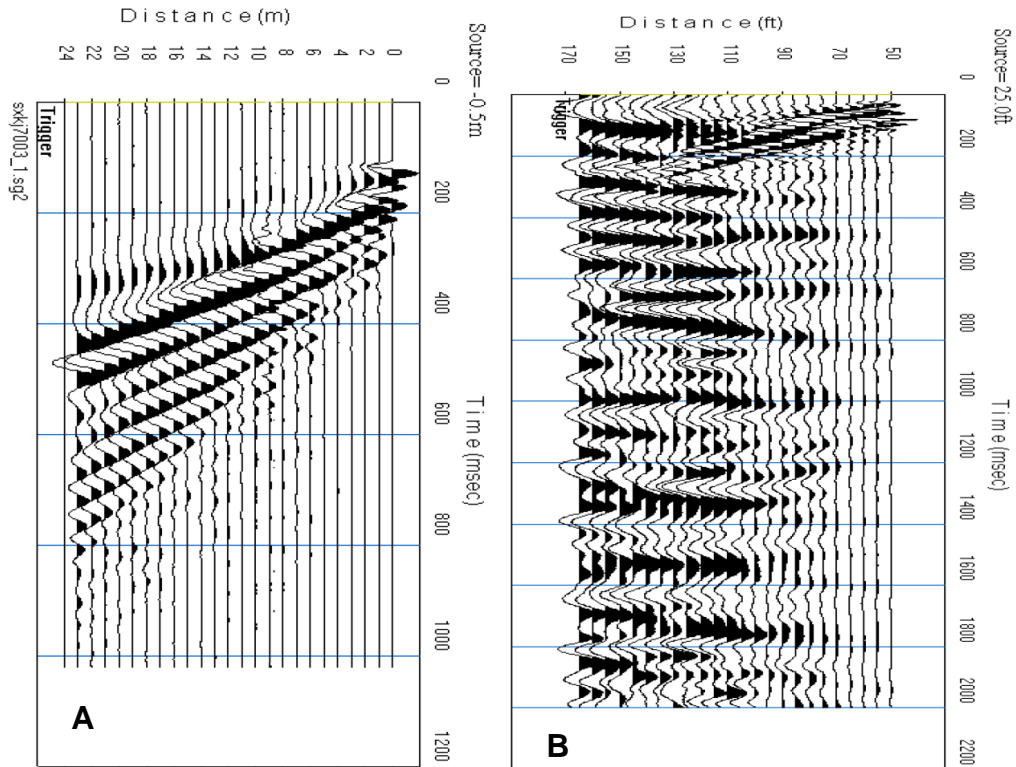


Figura 10.: a) Registro sísmico con bajo contenido de ruido ambiental, es decir, alta calidad. b) Registro sísmico con alto contenido de ruido ambiental.

En la Figura 11, como ejemplo se muestra la disposición del equipo y el registro sísmico obtenido para la línea sísmica LS07-CL, ubicado próximo en la Asociación. San José. El sismograma contiene las señales sísmicas con presencia de bajo ruido ambiental, registrados por sensores ubicados a lo largo de la línea y cuyo punto de disparo se encuentra a una distancia de 6 metros al final de la línea sísmica.

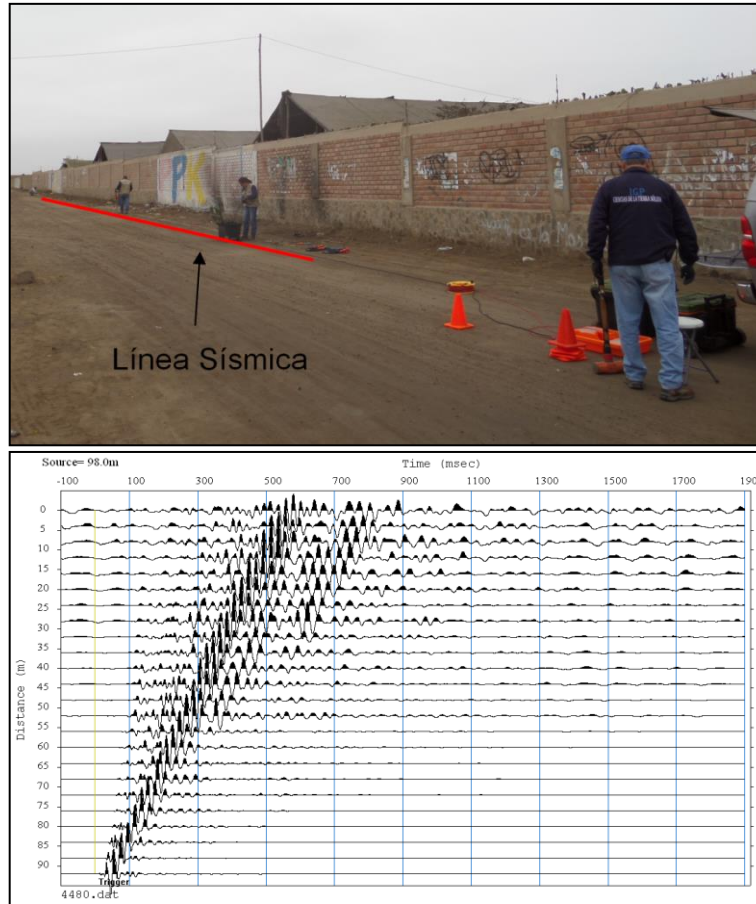


Figura 11: Disposición del equipo de adquisición por el método de MASW y el registro sísmico obtenido.

2.3. Tomografía Eléctrica (ERT)

En la zona urbana y de expansión de Chilca se han realizado 07 líneas de tomografía eléctrica (Figura 12) con el dispositivo polo-dipolo y la distribución de 30 electrodos. Para las líneas se consideró un espaciamiento de 10 metros, entre cada electrodo sobre un tendido longitudinal que variaba de 260 y 290 metros, lo cual permitió tener alcances en profundidad del orden de los 39 metros.

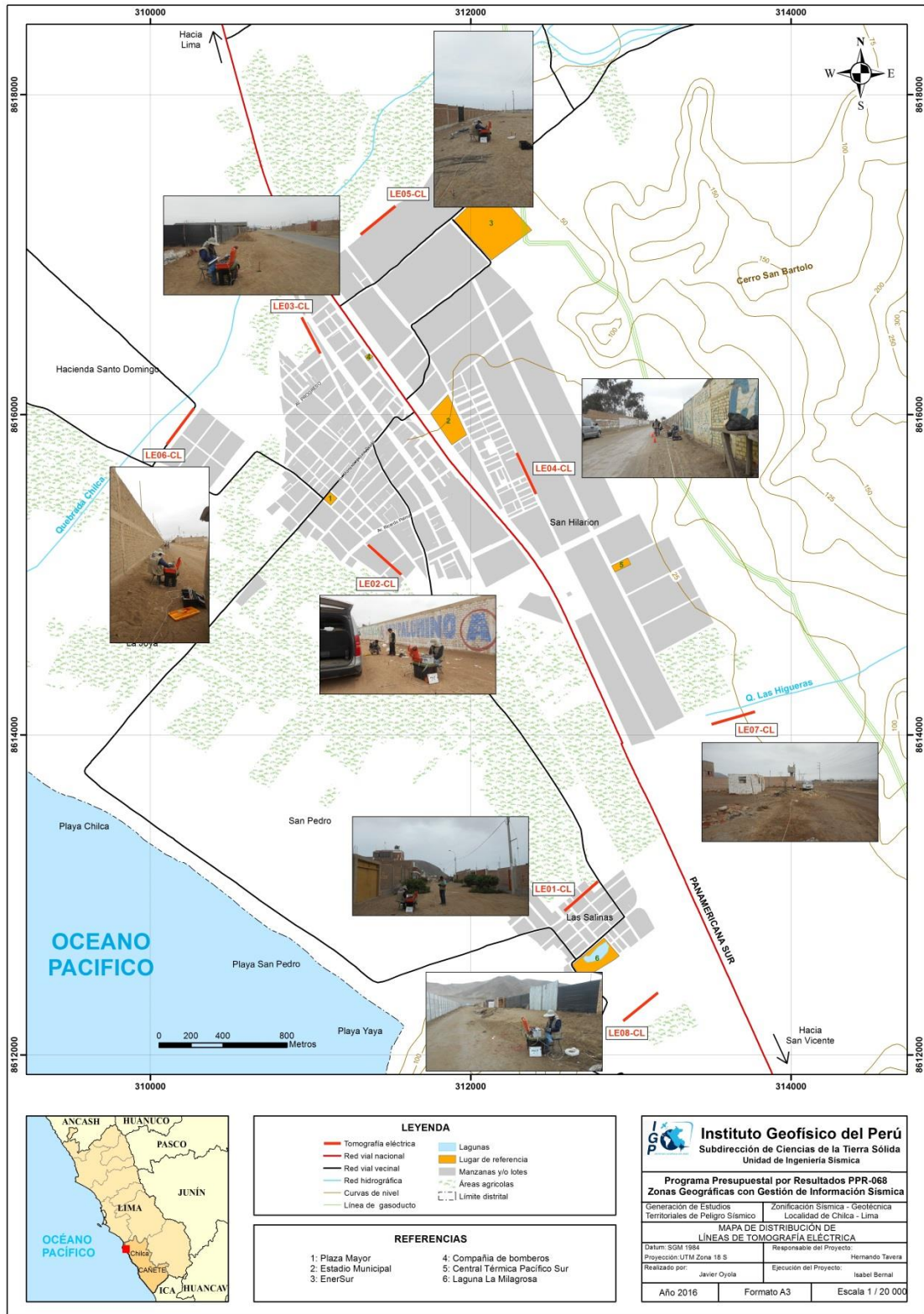


Figura 12: Mapa del área urbana de Chilca y distribución espacial de las líneas de tomografía eléctrica codificadas como: LE01-CL, ..., LE08-CL.

La Tabla 4, muestra las coordenadas UTM (WGS84) para la ubicación de las líneas eléctricas y que corresponden a los puntos extremos de cada línea.

Tabla 4: Coordenadas de las Líneas eléctricas (LE) realizadas en Chilca

Línea Eléctrica	Este (m)	Norte (m)	Cota (m)	Espaciamiento entre electrodos (m)	Longitud total (m)
LE01-CL	312795	8613084	19	10	290
	312585	8612900	18		
LE02-CL	311359	8615187	30	10	290
	311567	8615000	29		
LE03-CL	310944	8616608	37	10	260
	311061	8616382	35		
LE04-CL	312287	8615761	39	10	290
	312408	8615505	37		
LE05-CL	311530	8617303	57	10	290
	311313	8617126	52		
LE06-CL	310271	8616040	22	10	260
	310102	8615815	20		
LE07-CL	313776	8614145	41	10	290
	313504	8614065	34		
LE08-CL	313170	8612389	16	10	290
	312953	8612213	16		

La calidad de la señal eléctrica de cada registro fue evaluado mediante un test de resistencia de contacto entre los electrodos y el terreno, garantizando de este modo, que los datos a obtenerse sean confiables para el procesamiento, ya que 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 proceso permitió evaluar la calidad de datos la comparativa de los dos valores de resistividad, siendo los más confiables aquellos con menores diferencias. Para cuantificar los resultados a obtenerse, 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 Ωm .

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 tiene la disposición de equipo eléctrico en campo y un ejemplo del análisis preliminar del registro obtenido.

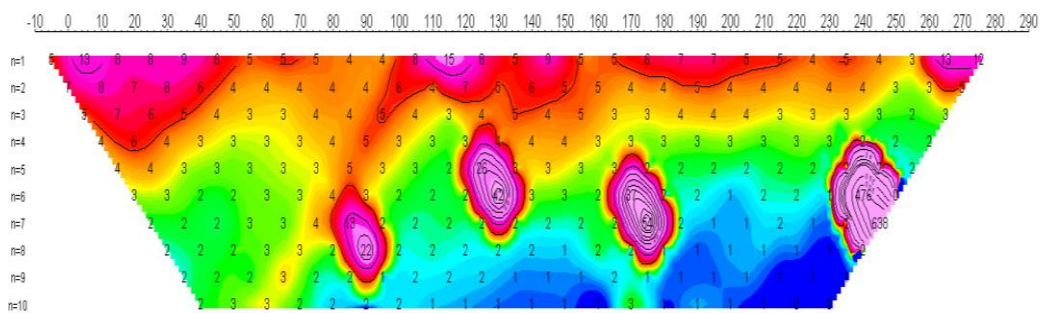


Figura 13: Disposición del equipo de adquisición por la técnica de ERT (LE01-CL) y el registro eléctrico obtenido en campo.

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 Chilca.

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 150 puntos (Figura 6) y a partir de su razón espectral (componentes horizontales/componente vertical), conocer las frecuencias predominantes 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, permite definir la presencia de un pico de frecuencia bien definido, y otro de menor amplitud con tendencia a frecuencias con valores mayores. A continuación, se describe y analiza la distribución espacial de las frecuencias predominantes identificadas en el área urbana de Chilca.

- Frecuencia predominante F_0 : *En la Figura 14, se muestra el mapa con la distribución espacial de las frecuencias predominantes, F_0 sobresaliendo en la zona céntrica valores entre 1.0 y 2.0 Hz. Hacia la margen derecha de la quebrada de Chilca y en la Urb. Costa Azul, valores bajos entre 0.8 y 1.0 Hz. Por otro lado, conforme se tiende hacia el extremo NE del área urbana, estos valores tienden a incrementarse hasta 5.0 Hz. Las mayores amplificaciones se presentan hacia los extremo Oeste y SE del área de estudio.*

En la Figura 15, se muestra ejemplos de razones espectrales para los puntos CL-70(I), CL-149(W) y CL-150(X), ubicados en la zona céntrica de Chilca. (Plaza de Armas) y en el AA.HH. Asunción, con el predomina un pico bien definido a frecuencias de 1.8, 1.0 y 1.9 Hz con amplificaciones de hasta 4 veces. En estas mismas áreas, de manera irregular sobresale un segundo pico, de frecuencias entre 4.0 y 5.0 Hz con mínimas amplificaciones y en algunos casos, con

amplificaciones de hasta 2 veces (punto CL-150). Este segundo pico, desaparece, conforme se tiende hacia el extremo SO de la zona urbana de Chilca, donde se ubican los puntos CL-32 (F), CL-46(G) y CL-77(J); distribuidos entre la Urb. Cerro Azul y La Joya, donde sobresale un pico bien definido entre 0.9 y 1.0 Hz con amplificaciones de hasta 6.0 veces. Estos valores evidencian la presencia de suelos sueltos y complejos.

En los puntos CL-78A (K), CL-92 (M) y CL-101 (N), ubicados hacia el extremo NO de la zona urbana de Chilca, y paralelos a la Quebrada Chilca, sobresalen frecuencias entre 1.0 y 2.0 Hz, con amplificaciones de hasta 3 veces. A diferencia de lo observado hacia el extremo SE de la zona céntrica de Chilca, donde se ubican los puntos CL-23 (D), CL-28 (E) y CL-58 (H), y con las mismas frecuencias pero con amplificaciones máximas relativas de hasta 7 veces. Estos resultados sugieren que la capa superficial del suelo de Chilca muestra menor consistencia hacia su extremo SE con respecto de lo observado en su extremo NO.

Conforme se avanza hacia el extremo NE del área de estudio, se tiende a valores mayores de frecuencias y amplificaciones bajas, por su proximidad al cerro San Bartolo. En los puntos CL-12 (A), CL-19 (C) y CL-104 (O), ubicados en la Urb. San Hilarión, predominan frecuencias de 3.62, 3.37 y 5.76 Hz con amplificaciones de hasta 5 veces, y en los puntos CL-18 (B), CL-85 (L) y CL-141 (V), ubicados en la ladera del Cerro San Bartolo, próximos a la líneas de gasoducto, sobresale frecuencias a 3.89, 6.88 y 16.0 Hz con amplificaciones de hasta 2.2 veces.

Hacia la Urb. Salinas, ubicada al SO del área urbana de Chilca, se consideraron los puntos CL-112 (P), CL-116 (R) y CL-122 (S) ubicados en la zona céntrica de esta urbanización, donde predominan las frecuencias de 2.0, 1.8 y 1.9 Hz, con amplificaciones máximas relativas de hasta 8 veces. A diferencia de lo observado en los puntos CL-113 (Q) y CL-123 (T), que se ubican entre la zona céntrica de la Urb. Las Salinas y la Asoc. Agüita de Coco, aquí predominan frecuencias entre 3.0 y 4.0 Hz con amplificaciones de hasta 4 veces. El punto CL-124 (U), se ubica hacia el extremo SE de esta urbanización, próximo al Cerro Yaya, donde resalta un pico a 18.0 Hz.

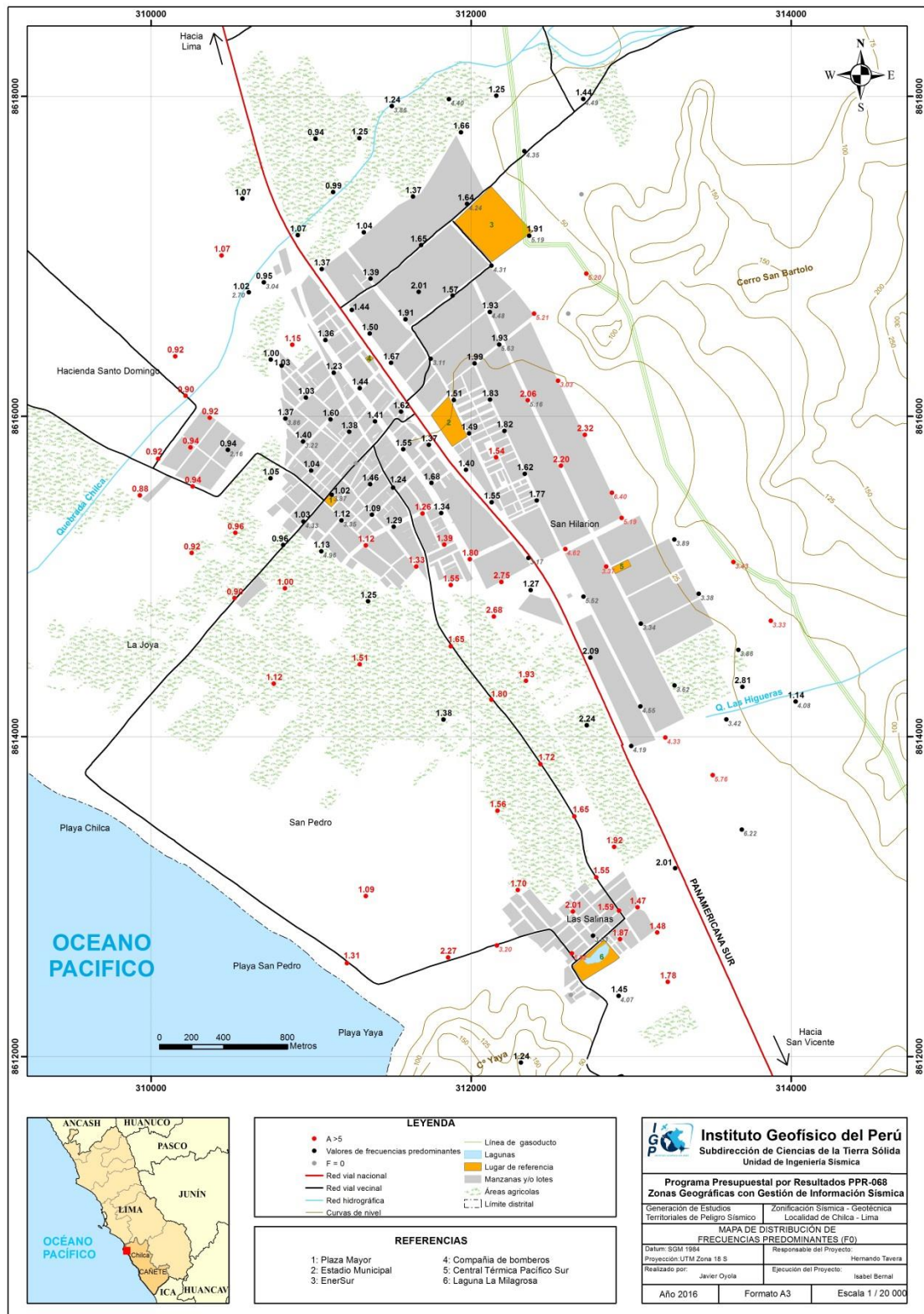
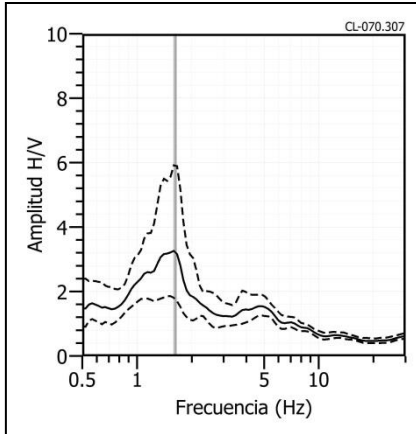
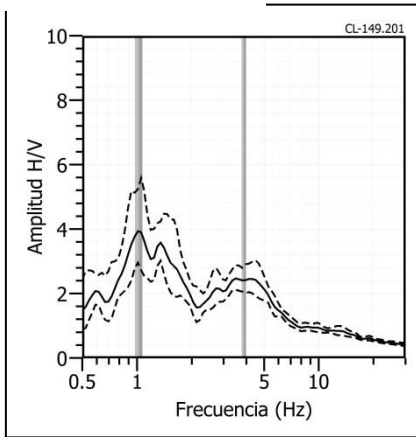


Figura 14: Mapa del área de estudio con la distribución espacial de las frecuencias predominantes definidas en cada punto. Las letras indican la ubicación de los gráficos en la Figura 16.

CL - 070



CL - 149



CL - 150

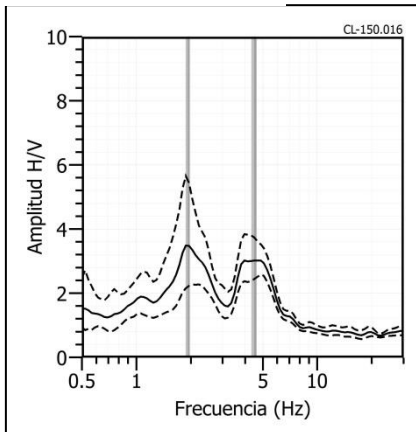
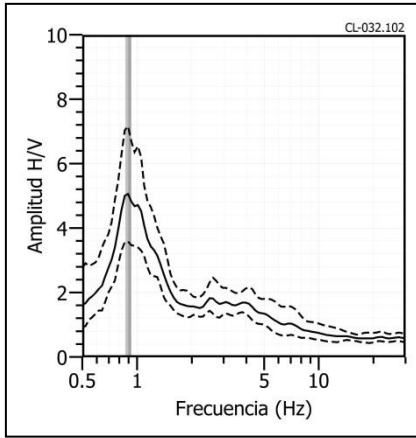
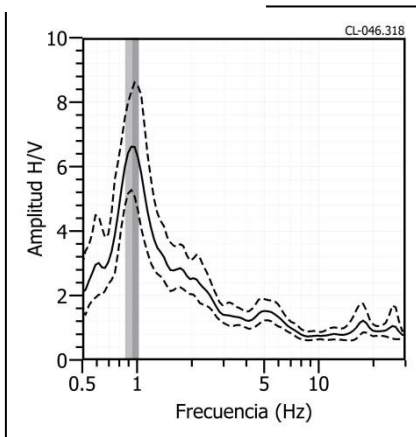


Figura 15: Ejemplos de razones espectrales (H/V): Puntos CL-70 (I), CL-149 (W) y CL-150 (X), ubicados en la zona céntrica de Chilca (Plaza de Armas) y el AA.HH. Asunción. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

CL - 032



CL - 046



CL - 077

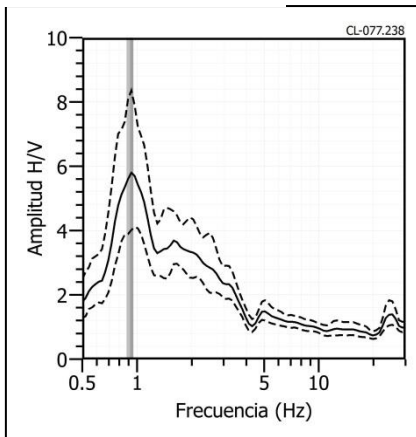
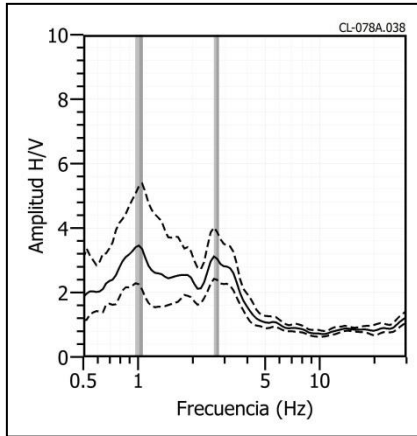
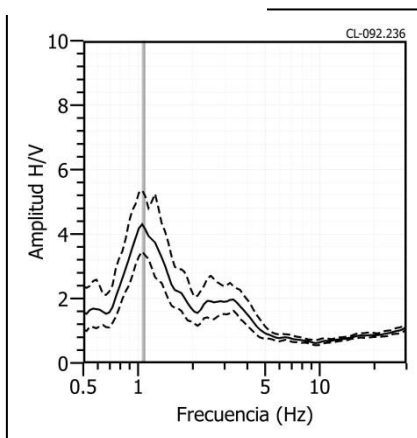


Figura 15: ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V): Puntos CL-32 (F), CL-46 (G) y CL-77 (J), ubicados en el extremo SO de la zona urbana de Chilca, entre la Urb. Costa Azul y La Joya. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

CL - 078A



CL - 092



CL - 101

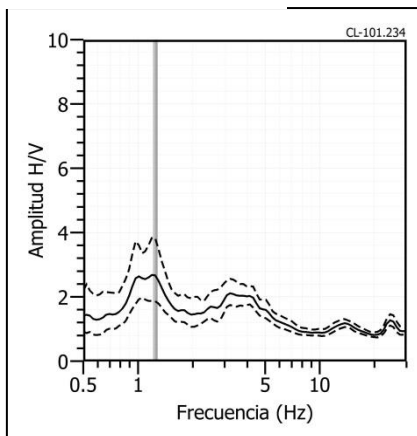
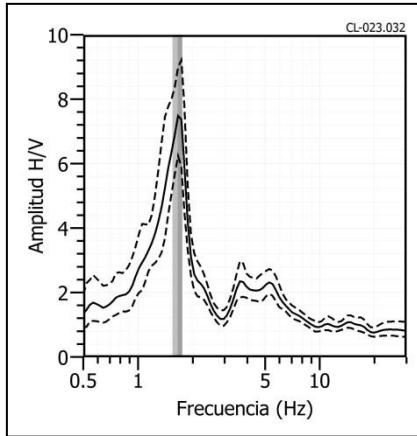
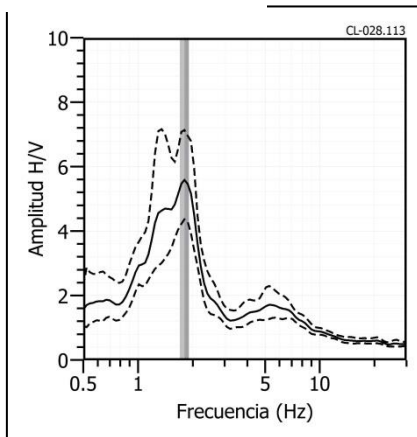


Figura 15: ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V): Puntos CL-78A (K), CL-92 (M) y CL-101 (N), ubicados en el extremo NO de la zona urbana de Chilca, distribuidos (paralelo a la quebrada Chilca). Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

CL - 023



CL - 028



CL - 058

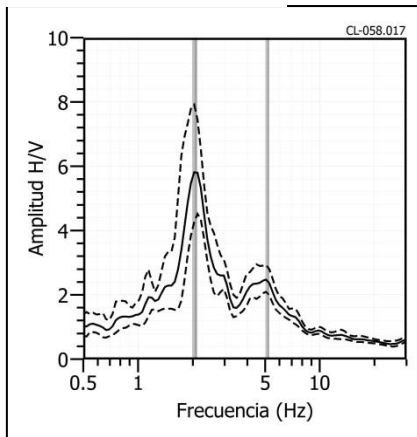
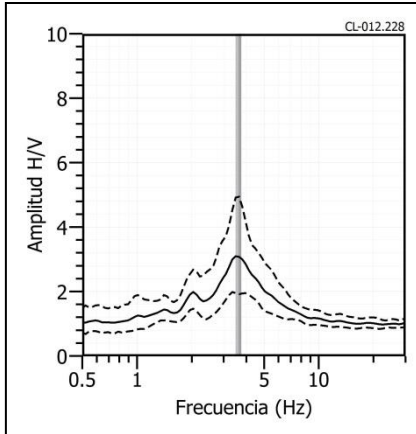
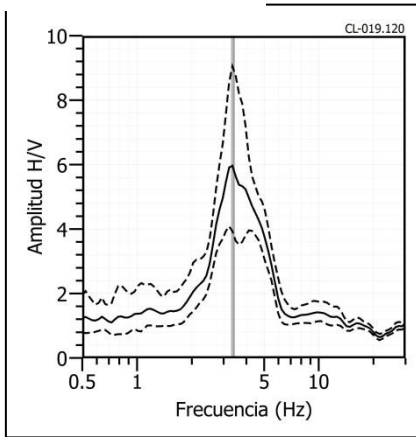


Figura 15: ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V): Puntos CL-23 (D), CL-28 (E) y CL-58 (H), ubicados en el extremo SE de la zona céntrica de Chilca, entre el AA.HH. San Pedro y AA.HH. San José. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

CL - 012



CL - 019



CL - 104

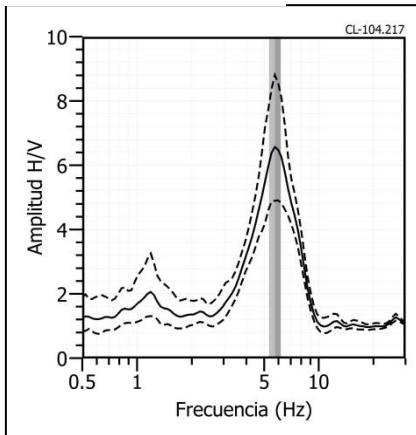
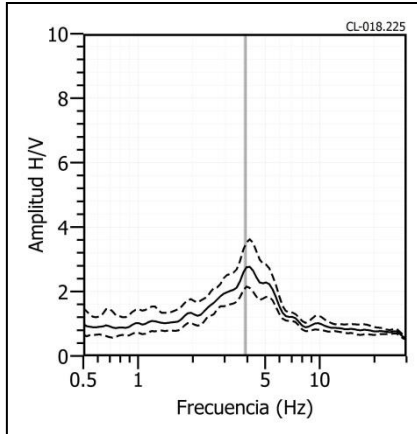
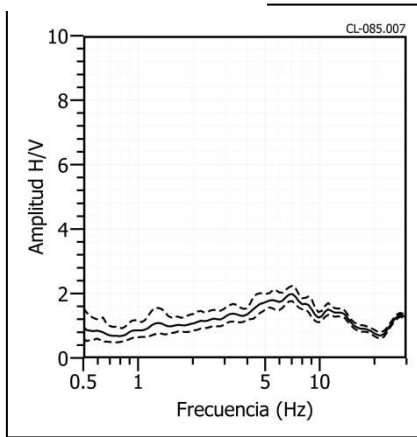


Figura 15: ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V): Puntos CL-12 (A), CL-19 (C) y CL-104 (O), ubicados en la Urb. San Hilarión, distribuidos próximos a la quebrada las Higueras. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

CL - 018



CL - 085



CL - 141

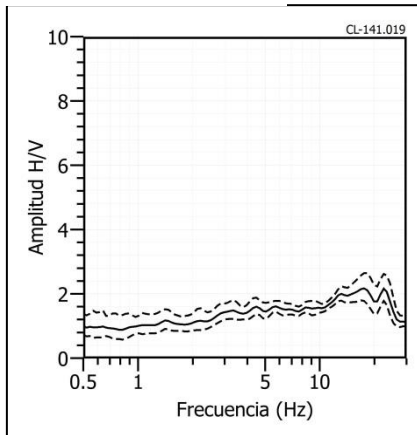
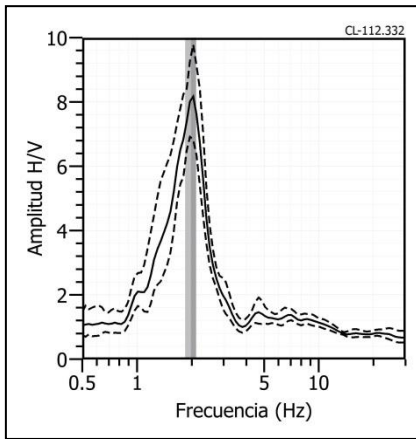
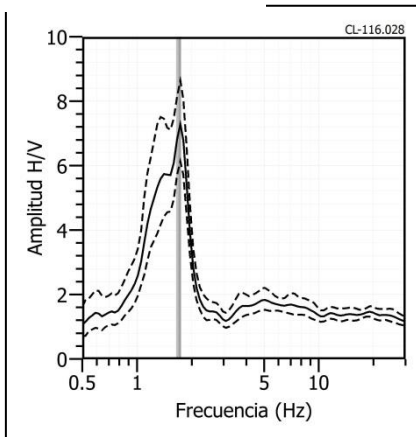


Figura 15: ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V): Puntos CL-18 (B), CL-85 (L) y CL-141 (V), ubicados al NE del área urbana de Chilca, próximos al Cerro San Bartolo y a la línea del gasoducto. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

CL - 112



CL - 116



CL - 122

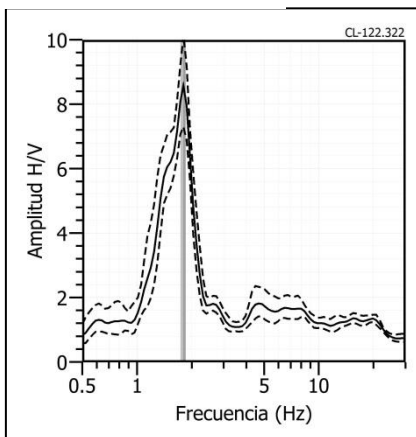
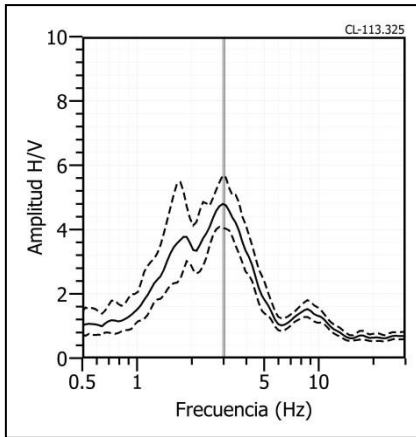
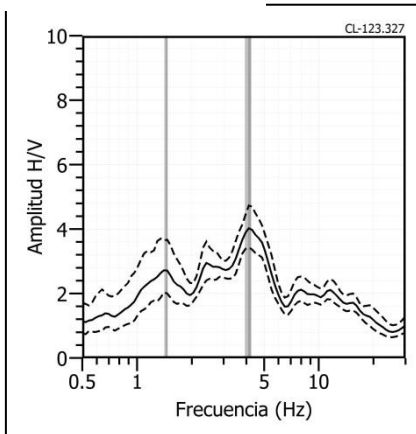


Figura 15:.....Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V): Puntos CL-112 (P), CL-116 (R) y CL-122 (S), ubicados al SO del área urbana de Chilca, sobre la Urb. Las Salinas. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

CL - 113



CL - 123



CL - 124

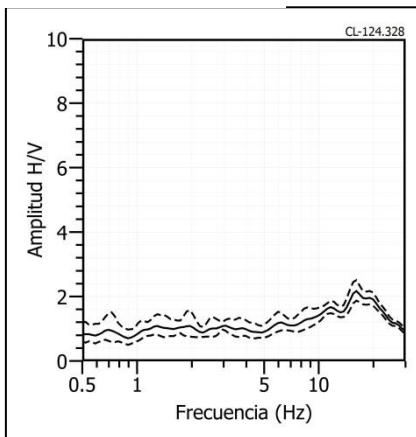


Figura 15:.....Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V): Puntos CL-113 (Q), CL-123 (T) y CL-124 (U), ubicados al SO del área urbana de Chilca, entre la zona céntrica de la Urb. Las Salinas y la Asoc. Agüita de Coco, próximo al cerro Yaya. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

Interpretación

En la Figura 14, se muestra el mapa con la distribución espacial de las frecuencias predominantes, sobresaliendo en la zona céntrica valores de entre 1.0 y 2.0 Hz. Hacia la margen derecha de la quebrada Chilca y en la Urb. Costa Azul, valores son bajos entre 0.8 y 1.0 Hz, y por sus elevadas amplificaciones se asocian a la presencia de que los depósitos eólicos que dominan la zona, aunque a niveles superficiales se presentan regularmente compactados. Los valores menores a 1.0 Hz, definen la presencia de capas de arcillas con respuesta dinámica compleja. Las mayores amplificaciones se presentan hacia los extremo Oeste y SE del área de estudio.

4.2. Estudio Sísmico con la Técnica de MASW

Los modelos de velocidad de propagación (V_s) representan ser una información muy útil para conocer la estructura y naturaleza del subsuelo. En este estudio, el registro y procedimientos de datos sísmicos.

Permitió llegar desde profundidades mínimas de 2 y 3 metros hasta profundidades mayores a los 30 metros en cada línea sísmica. Las líneas sísmicas LS01 y LS10 fueron realizadas en la zona de Salinas; LS02, LS04, LS07 y LS08 en la zona industrial y LS03, LS05, LS06, LS09 y LS11 en la zona urbana del área de estudio (Figura 8). A continuación, se describe los resultados obtenidos, agrupados según su similitud de velocidad V_s en el perfil sísmico y ubicación:

Líneas sísmicas LS01-CL, LS07-CL y LS09-CL: Realizadas en la AA.HH. San José (LS07), en la Urb. Costa Azul (LS09) y en el Jirón Las Palmeras (LS01), ver Figura 8. Según los perfiles se tiene la presencia de suelos conformados por dos capas: la primera de 4 a 13 metros de espesor y velocidades V_s entre 200 a 205 m/s y la segunda, con velocidades V_s de 286 a 312 m/s y espesores de 7 a 14 metros, ambas capas sugieren la presencia de suelos medianamente rígidos. La superficie de contacto con el semiespacio, presenta velocidades $V_s > 417$ m/s, lo que sugiere la presencia de suelos duros.

Línea sísmica LS02-CL: Realizada próxima a la planta de gas IRRIDIA (Figura 8) e indica la presencia de suelos conformados por dos capas: la primera de 7 metros de espesor y velocidades V_s de 328 m/s, lo que sugiere la presencia de suelos

medianamente rígidos. La segunda, con velocidades V_s de 510 m/s, correspondiente a suelos muy rígidos. La superficie de contacto con el semiespacio presenta velocidades $V_s > 658$ m/s que sugiere también la existencia de suelos muy rígidos.

Líneas sísmicas LS04-CL, LS08-CL y LS10-CL: Líneas realizadas en la Asoc. Aguita de Coco (LS10), frente a la central Térmica Pacífico del Sur (LS04) y próximo a Enersur (LS08), ver Figura 8. Indican la presencia de suelos conformados por dos capas: la primera de 4 a 9 metros de espesor y velocidades V_s entre 210 a 254 m/s que sugiere la existencia de suelos medianamente rígidos. La segunda capa, con velocidades V_s de 357 a 386 m/s y espesores de 14 a 22 metros correspondientes a suelos rígidos. La superficie de contacto con el semiespacio presenta velocidades $V_s > 511$ m/s, lo cual sugiere la presencia de suelos muy rígidos.

Líneas sísmicas LS03-CL, LS05-CL, LS06-CL y LS11-CL: Líneas sísmicas realizados en la Av. Lima (LS03 y LS06), en la Av. San Francisco (LS05) y en la Av. Mariano Ignacio Prado (LS11), ver Figura 8. Indican la presencia de suelos conformados por dos capas: la primera de 4 a 7 metros de espesor y velocidades V_s entre 202 a 221 m/s y la segunda, con velocidades V_s de 277 a 335 m/s y espesores de 8 a 19 metros, ambas capas sugieren la presencia de suelos medianamente rígidos. La superficie de contacto con el semiespacio, presenta velocidades $V_s > 510$ m/s que sugiere la existencia de suelos muy rígidos.

En la Tabla 5, se resume los valores de velocidad de ondas de corte V_s para los distintos tipos de perfiles de suelo, según lo indicado en la Tabla 1. Asimismo, en la Figura 16 se presenta los resultados de la línea sísmica LS01, siendo para las líneas LS02 a LS11 mostrados en los Anexos.

Interpretación

Los resultados obtenidos para MASW definen la presencia de 2 capas sísmicas y un semiespacio (Tabla 5) y su análisis, en correlación con la geología local, dan los siguientes resultados:

En la zona sur por el sector Salinas (Figura 8), se presentan suelos medianamente rígidos para la primera capa (Vs 202 a 227 m/s) con 4 metros de espesor, siendo en profundidad suelos rígidos, que conforme se avanza al sur presentan suelos muy rígidos (Asoc. Agüita de Coco). Esta diferencia en profundidad puede deberse a que se encuentran próximos a la ladera del cerro Yaya. En cambio la zona sureste (Quebrada la Higueras), presenta suelos medianamente rígidos para la primera capa (Vs de 328 m/s) de 7 metros de espesor a suelos muy rígidos en profundidad (Vs 510 a 658 m/s); es decir, suelos más consolidados que en la zona sur, posiblemente en esta zona las intrusiones de rocas pueden encontrarse muy superficiales cubiertos de depósitos aluviales de poco espesor.

Tabla 5: Valores de espesor y Vs de las líneas sísmicas realizados en Chilca mediante el método de MASW.

		Superficie → Profundidad					
Línea Sísmica	N° DE CAPA						
	1		2		Semiespacio		VS30 (m/s)
	Vs (m/s)	Esp. (m)	Vs (m/s)	Esp. (m)	Vs (m/s)	Esp. (m)	
LS01-CL	202	4	312	7	417	-	342
LS02-CL	328	7	510	11	658	-	488
LS03-CL	209	7	315	8	510	-	339
LS04-CL	210	4	368	22	759	-	353
LS05-CL	215	4	277	9	529	-	347
LS06-CL	202	4	335	19	604	-	331
LS07-CL	200	4	302	14	489	-	330
LS08-CL	254	9	386	14	511	-	344
LS09-CL	205	13	286	12	487	-	251
LS10-CL	227	4	357	17	517	-	363
LS11-CL	221	7	307	14	585	-	313

	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)

El área Industrial, que se expande de noroeste a sureste en la zona este de Chilca, presenta suelos medianamente rígidos para la primera capa (Vs 200 a 254 m/s) y en profundidad, suelos rígidos a muy rígidos (Vs 368 a 759 m/s) en la zona sureste (C.T. Pacífico del Sur) y conforme se dirige al norte, en la zona este (Asoc. San José) suelos medianamente rígidos a muy rígidos (Vs 302 a 489 m/s) y en el extremo noroeste (próximo ENGIE, antes EnerSur) nuevamente suelos rígidos a muy rígidos (Vs 386 a 511 m/s) en profundidad.

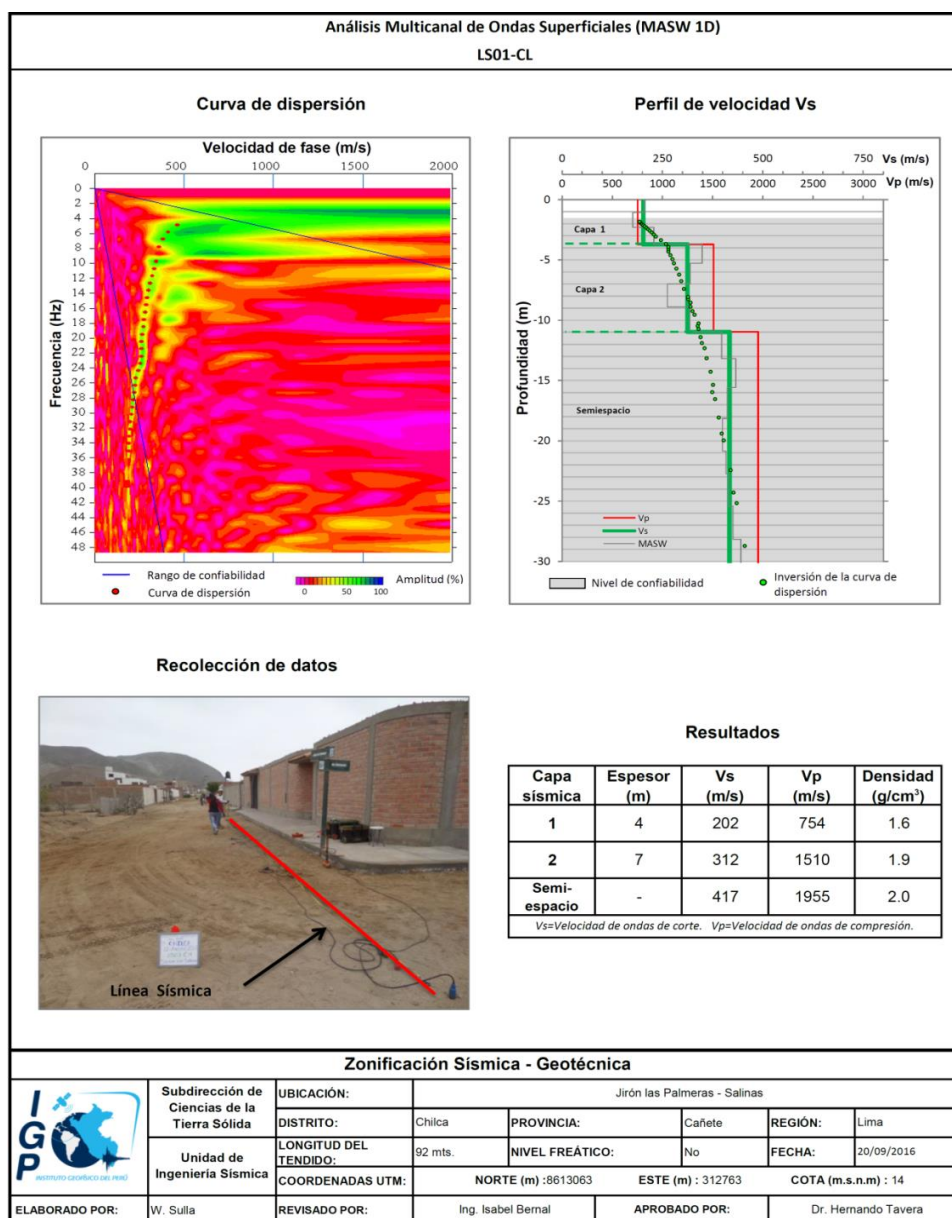


Figura 16: Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo LS01-CL.

La zona céntrica (Figura 8), presenta también suelos medianamente rígidos para la primera y segunda capa (V_s 202 a 335 m/s) con espesor del orden de 13 a 23 metros a suelos muy rígidos (V_s 510 a 604 m/s) en profundidad. Asimismo, en la zona noroeste (Urb. Costa Azul), se observa suelos medianamente rígidos para la primera y segunda capa (V_s 205 a 286 m/s) de 25 metros de espesor total, y rígidos (V_s 487 m/s) en profundidad, a diferencia de la zona céntrica. Según lo expuesto, los suelos de mayor espesor están presentes conforme se avanza al oeste (Av. Mariano Ignacio Prado) y al noroeste (Urb. Costa Azul). Según la geología local, estos suelos constituyen los depósitos aluviales consolidados en diferente grado en profundidad.

4.3. Periodos Dominantes

Para presentar los resultados finales obtenidos con la técnica de 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 17 se muestra la distribución espacial de los valores de periodos dominantes para el área urbana de Chilca, los cuales han sido separados en dos grupos, en números pequeños los periodos menores a 0.3 segundos y en números grandes los periodos mayores.

Los periodos de 0.5 y 0.8 segundos, se distribuyen de manera casi uniforme sobre la zona céntrica de Chilca, y hacia un extremo Oeste se concentran periodos entre 1.0 y 1.1 segundos. Asimismo, hacia el extremo SE del área de estudio, los periodos tienden a valores menores, entre 0.5 y 0.6 segundos. Por otro lado, sobre la Urb. San Hilarion y próximos al Cerro San Bartolo, los periodos fluctúan entre 0.4 y 0.2 segundos. En general, las máximas amplificaciones se presentan hacia el extremo Oeste del área urbana de Chilca.

Los periodos dominantes que caracterizan los suelos del área urbana de Chilca 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 250 m/s y 350 m/s para las ondas de corte (V_s) y periodos de 0.4 y 0.6 segundos, se estima la presencia de una capa superficial con espesores de entre 18 y 26 metros, asentada sobre un estrato más rígido con espesores de entre 30 y 70 metros. Estos valores son confirmados con los modelos de velocidad y espesores de capas obtenidos con los arreglos sísmicos.

En Chilca, la distribución espacial de periodos mayores a 0.5 segundos sugiere la presencia en el subsuelo de una capa profunda de gran espesor y los periodos menores, una capa superficial de menor espesor, donde la primera influye moderadamente sobre la segunda. Por otro lado, los valores de 0.6 segundos con altas amplificaciones se distribuyen principalmente en el AA.HH. San Pedro y la Urb. Las Salinas. Asimismo, los valores de 1.1 segundos, con elevadas amplificaciones, se concentran en la Urb. Costa Azul, sugiriendo que los suelos en estas zonas son más flexibles en comparación con el resto del área de estudio.

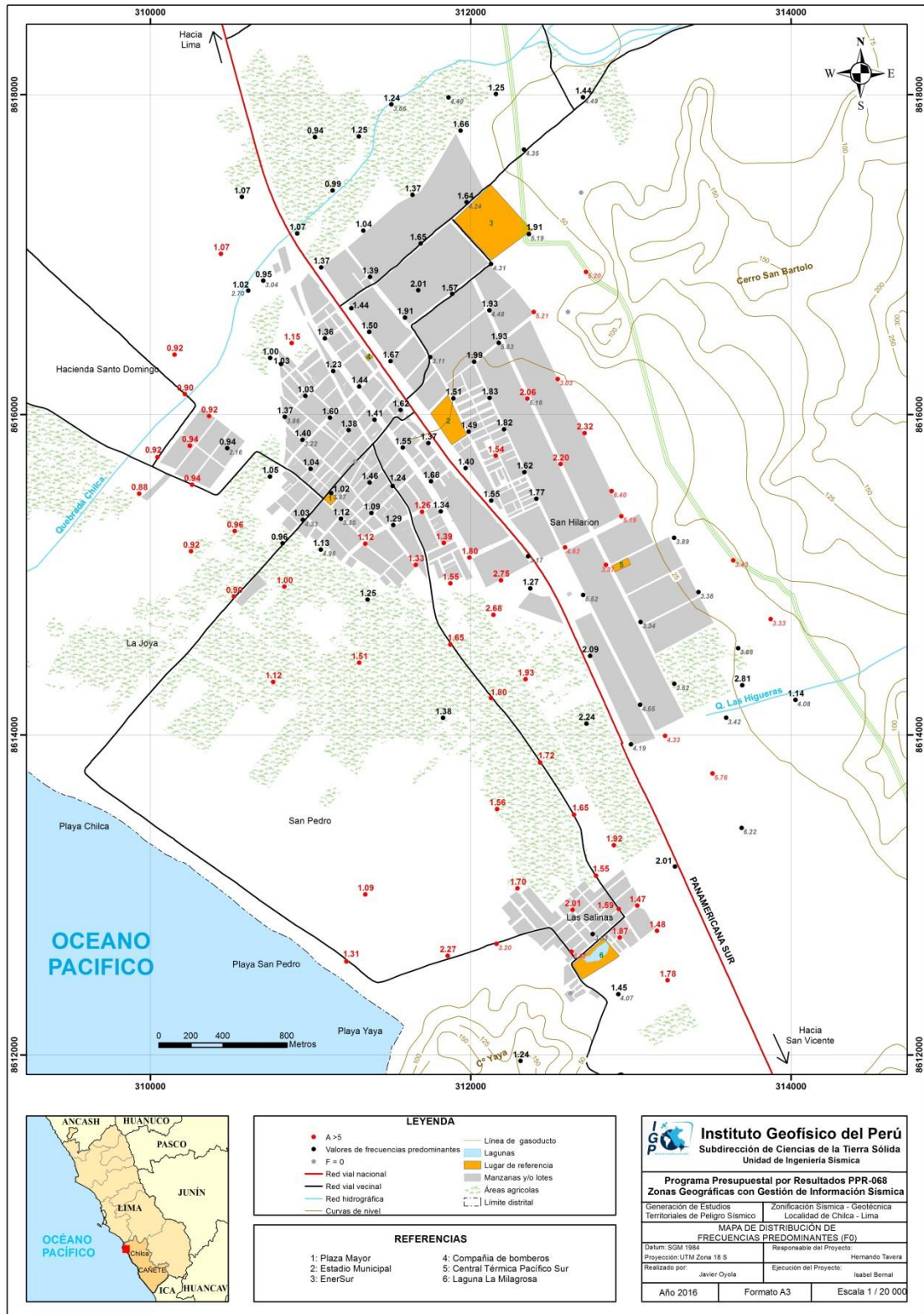


Figura 17: Mapa de la distribución espacial de los valores de periodos dominantes en el área urbana Chilca y alrededores.

3.4. Estudio Eléctricos con la Técnica de ERT

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

Líneas eléctricas LE01-CL y LE08-CL: Realizadas en los sectores de Las Salinas y en Agüita de Coco, (Figura 18). Según las líneas eléctricas los suelos están completamente saturados, (valores muy bajos resistivos $<20 \Omega.m$), lo que sugiere la presencia de materiales asociados a depósitos aluviales y eólicos; es decir, materiales no consolidados, pudiendo almacenar agua subterránea hasta profundidades de 2 y 3 metros desde la superficie.

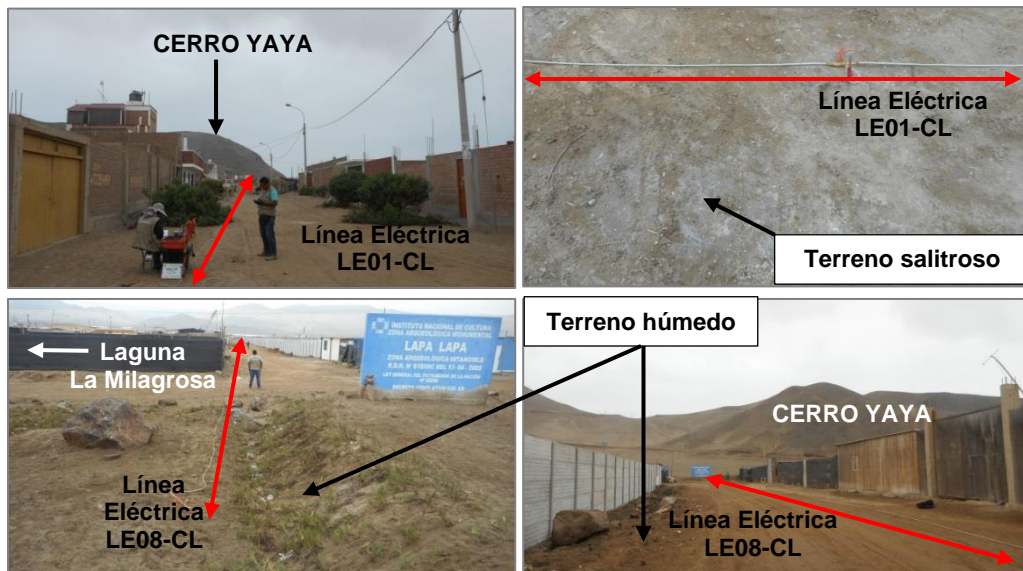


Figura 18: Vista de las líneas eléctricas LE01-CL y LE08-CL

Líneas eléctricas LE02-CL, LE03-CL, LE04-CL, LE06-CL y LE07-CL Realizadas en el cercado de Chilca y alrededores, próximas a la Central Térmica Pacífico Sur, Urb. San Hilarión, Av. Ricardo Palma, Av. Progreso y Urb. Costa Azul (Figura 9). En estas áreas se presenta humedad en el terreno a nivel superficial y torres de alta tensión próximas a la línea de la Central Térmica Pacífico Sur (Figura 19).

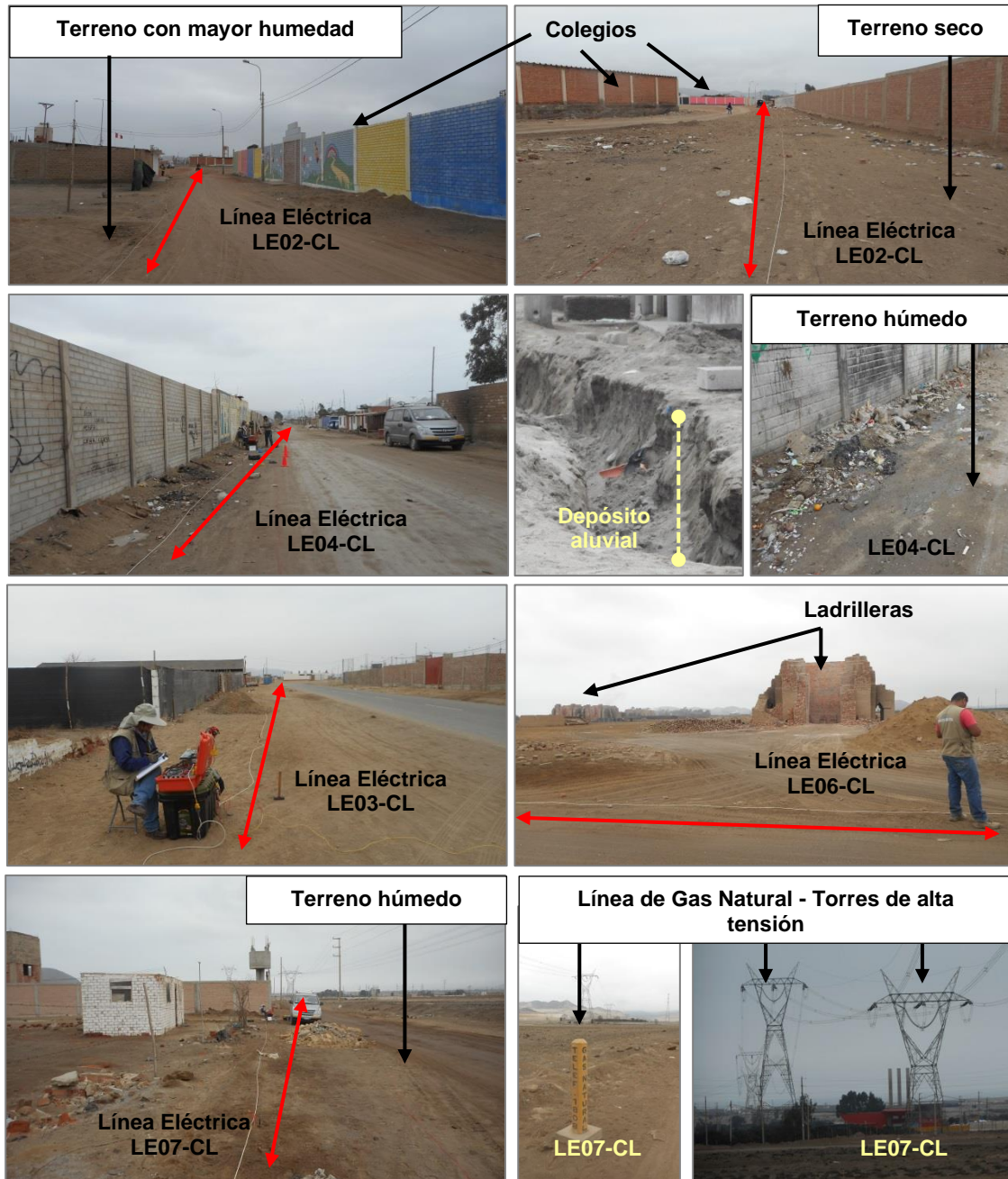


Figura 19: Vista de las líneas eléctricas LE02-CL, LE03-CL, LE04-CL, LE06-CL y LE07-CL.

Estas líneas eléctricas fueron tomadas sobre depósitos aluviales y eólicos, y en los cuales se identifican dos medios geoelectrónicos: el primero conformado por material medianamente resistivo (100 a 500 $\Omega.m$) aunque se presenta en menor porcentaje, tanto en superficie como en profundidad, no es un horizonte continuo debido a que está conformado por materiales retransportados. Respecto al segundo medio conductivo, los materiales que la conforman presentan baja a muy baja resistividad (< 100 $\Omega.m$), desde la superficie hasta mayor profundidad; por lo tanto, la napa

freática del acuífero de Chilca es libre y superficial, entre 5 y 20 metros de profundidad.

Por otra parte, la **línea eléctrica LE05-CL** (Figura 12) realizada próxima a la Quebrada Chilca y a EnerSur (Figura 20), y sobre depósitos aluviales. En ella se identificaron tres medios geoelectrónicos: el primero conformado por material medianamente resistivo (100 a 500 $\Omega.m$) desde la superficie y en profundidad conformado por materiales compactados y que engloban a un segundo medio de material resistivo a muy resistivo (500 a 1700 $\Omega.m$), atribuido a material re-transportado por la quebrada Chilca o del Cerro San Bartolo, como material volcánico-sedimentario y rocas clásticas. El tercer medio conductivo, presenta materiales de baja a muy baja resistividad. En este medio el nivel freático se encontraría a profundidades mayores a los 39 metros (siendo 39 metros el alcance máximo en profundidad).



Figura 20: Vista de la línea eléctrica LE05-CL

Interpretación

De acuerdo a los datos analizados en este estudio, los materiales muy bajo resistivos a bajo resistivos son los que predominan en el suelo superficial de Chilca, a excepción de la zona Noreste de la plaza de Chilca (línea LE05-CL), donde el material predominante es el medianamente resistivo. Una compilación de la información obtenida se presenta en la Tabla 6.

Al Sur de la plaza de Chilca, en la zona denominada Las Salinas y la Asoc. Agüita de Coco (LE01-CL y LE08-CL), el nivel freático se encuentra a 2 metros de profundidad y ello se asocia a la proximidad de las lagunas existentes en la zona. En el AA.HH. San Pedro, la Asoc. Virgen del Carmen, la Urb. San Hilarión y la Urb. Costa Azul (LE02-CL, LE03-CL, LE04-CL, LE06-CL y LE07-CL), que se encuentran entre las quebradas de

Chilca y las Higueras, el nivel freático se presenta a partir de los 5 metros de profundidad; mientras que, al Noreste de la plaza, próximo a Enersur (LE05-CL) se presentaría a más de 39 metros de profundidad. En Chilca, el nivel freático es producto de las infiltraciones que se producen en la parte alta de la cuenca y por la contribución de los canales de regadío.

Asimismo, geológicamente en el área de estudio, se tiene la presencia de depósitos eólicos, aluviales y marinos que por sus características, no consolidados pueden almacenar agua subterránea. Los materiales que conforman el acuífero con cantos rodados de diversos tamaños, arenas, limos y arcillas regularmente compactados, y depositados en forma alternada, ubicándose el material más fino en las zonas más profundas del acuífero.

Finalmente, el nivel freático en Chilca es superficial, esto se puede correlacionar con los pozos existentes en la zona y la presencia de lagunas que por su proximidad al mar, estarían siendo contaminadas, proceso conocido como intrusión marina.

Tabla 6: Valores de resistividad obtenidos para las líneas eléctricas en Chilca

Líneas Eléctricas	Orientación	Profundidad de alcance (m)	Horizonte geoelectrico	Resistividad ($\Omega.m$)	Nivel freático (m)
LE01-CL	EW	39	1	100 – 500 500 - 1000	2 m
			2	< 100	
LE02-CL	NS	39	1	100 – 500 500 - 900	5 m
			2	< 100	
LE03-CL	NS	32	1	100 – 500	5 m
			2	< 100	
LE04-CL	NS	39	1	20 - 100	5 m
			2	< 20	
LE05-CL	EW	39	1	100 – 500	> 39 m
			2	< 100	
LE06-CL	EW	39	1	100 – 500 500 - 900	5 m
			2	< 100	
LE07-CL	EW	39	1	100 – 500	5 m
			2	< 100	
LE08-CL	EW	39	1	20 - 100	2 m
			2	< 20	

En la Tabla 6, se ha realizado la clasificación de los suelos acuerdo a los rangos de resistividades de la Tabla 4, desde material muy bajo resistivo hasta muy resistivos y en la Figura 21, se presenta el resultado para la línea LE01–CL. En los anexos se presentan los resultados para las demás líneas.

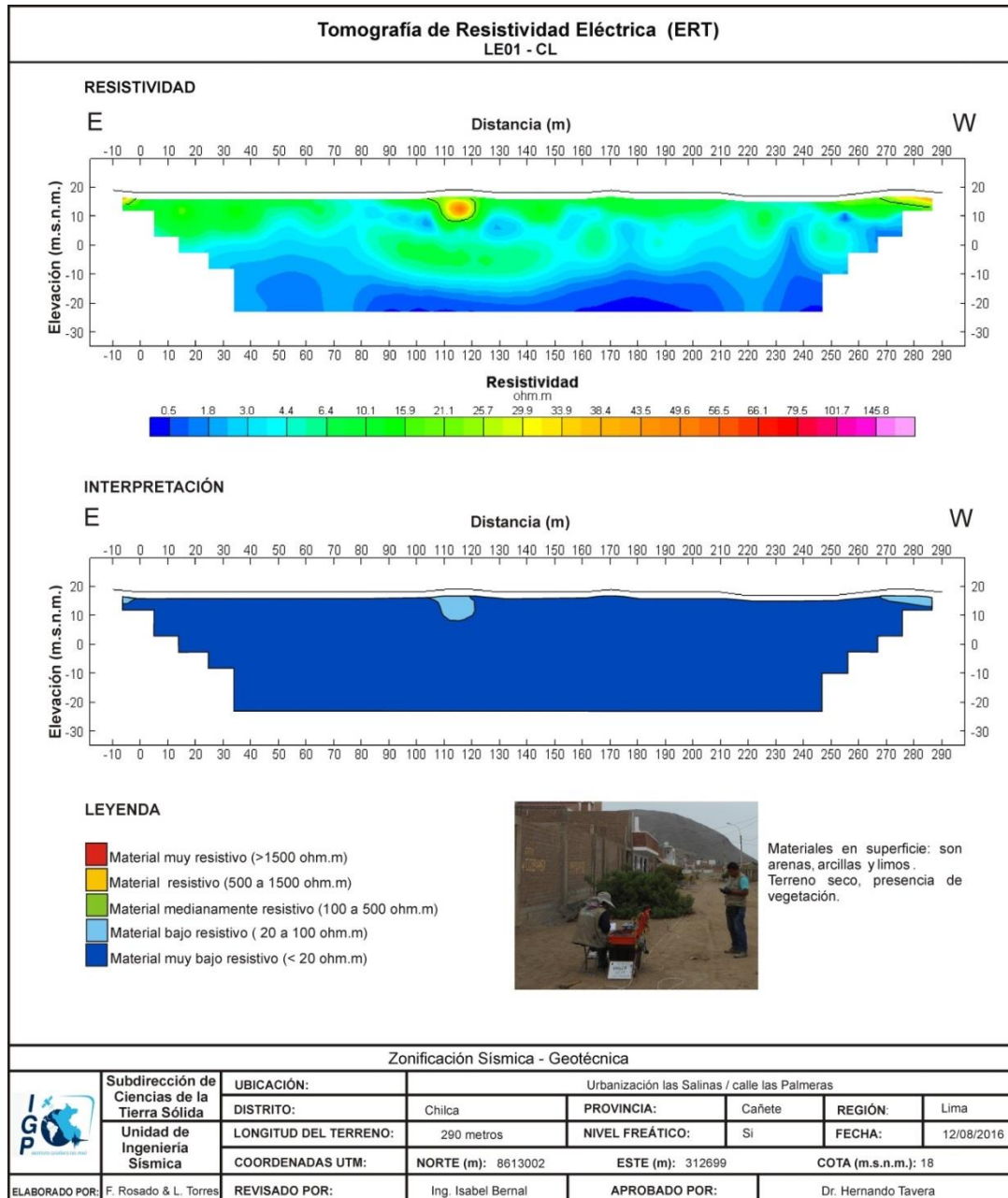


Figura 21: Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método de tomografía eléctrica para la línea LE01-CL.

4. ZONIFICACION SÍSMICA - GEOTÉCNICA

El mapa de Zonificación Sísmica – Geotécnica se elabora en función de la integración de los resultados de los estudios geológicos, geotécnicos y geofísicos, y en base en estos resultados, se ha delimitado zonas con suelos, cuyas características dinámicas son similares. Las características dinámicas del suelo y sus propiedades mecánicas, han permitido identificar en el área de estudio, de acuerdo a la Norma de Construcción Sismorresistente E.030, la existencia de suelos de Tipo S1, S2 y S4; que corresponden a suelos rígidos, medianamente rígidos y excepcionales respectivamente. Asimismo, se define como caso especial al sector ubicado entre la Urb. Costa Azul y La Joya, donde sobresalen periodos de 1.0 y 1.1, con amplificaciones de hasta 8 veces; resultados que sugieren la presencia de suelos blandos con una respuesta dinámica compleja ante la ocurrencia de sismos.

5.1. Mapa de Zonificación Sísmica - Geotécnica

Para el área urbana de Chilca y alrededores se propone la siguiente Zonificación Sísmica – Geotécnica (Figura 22):

***.- ZONA I:** Conformada por estratos de grava coluvial que se encuentran, a nivel superficial cubiertos por depósitos de material fino (arenas finas) con mínimos espesores. Este suelo tiene un comportamiento rígido, con periodos de vibración natural que varían entre 0.1 y 0.3 segundos. Considerando velocidades de ondas de corte de entre 360 y 500 m/s, hay un dominio de suelos Tipo S1 según la norma sismorresistente peruana. Asimismo, presentaría capacidad de carga admisible de 2.0-3.0 Kg/cm².*

Esta zona se presenta próxima al Cerro San Bartolo, extremo NE de la Urb. San Hilarión y en la ladera inferior del Cerro Yaya. Por otro lado, dentro de esta zona, con líneas en rojo se delimitan áreas donde se presentan las máximas amplificaciones, evidenciando una menor consistencia de los depósitos de material fino.

***ZONA II:** En la zona se incluye las áreas de terreno conformado por estratos superficiales de suelos granulares finos a gruesos con espesores que varían entre 10 y 26 m., subyaciendo a estos estratos se tiene grava con espesores de entre 30*

y 70 m. Este suelo tiene un comportamiento medianamente rígido, con periodos de vibración natural que varían entre 0.3 y 0.5 segundos. Considerando velocidades de ondas de corte de 250 y 350 m/s, los suelos son del Tipo S2 según la norma sismorresistente peruana. Estos suelos presentan una capacidad de carga admisible de 1.0-2.0 Kg/cm².

La respuesta de los suelos de esta zona es especial, ya que cerca del 80% de su área presenta periodos dominantes entre 0.5 y 0.8 segundos, tendiendo los mayores valores de periodo y amplificaciones hacia el extremo Oeste del área de estudio.

Caso especial: Se considera como caso especial al sector ubicado entre la Urb. Costa Azul y La Joya, donde sobresalen periodos de 1.0 y 1.1, con amplificaciones de hasta 8 veces; resultados que sugieren la presencia de suelos blandos con una respuesta dinámica compleja ante la ocurrencia de sismos.

ZONA III: Esta zona corresponde a suelos Tipo S3, los cuales no fueron identificados en la zona de estudio.

ZONA IV: Zona constituida por depósitos marinos. Su comportamiento dinámico ha sido tipificado como suelo Tipo S4 de la norma sismorresistente peruana. Según la Norma E.030, esta zona presenta condiciones excepcionales en su respuesta ante la ocurrencia de sismos.

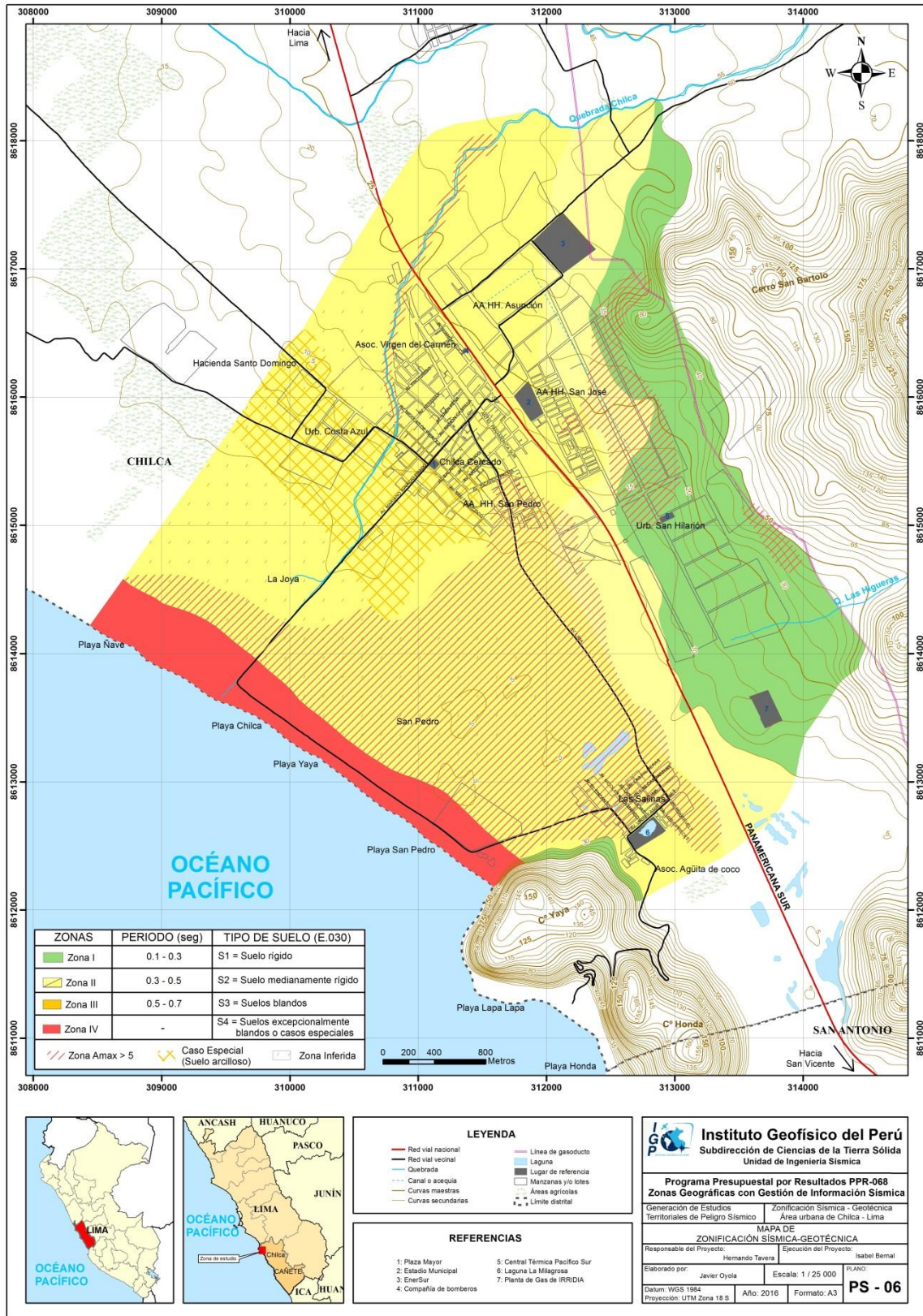


Figura 22: Mapa de Zonificación Sísmica- Geotécnica para el área urbana de Chilca y alrededores.

CONCLUSIONES

El estudio de Zonificación Sísmica - Geotécnica (Comportamiento Dinámico del Suelo) para el área urbana de Chilca y alrededores, ha permitido llegar a las siguientes conclusiones y recomendaciones:

-Los resultados obtenidos con las razones espectrales H/V, permite observar que en la zona céntrica del área urbana de Chilca, predominan frecuencias de entre 1.0 y 2.0 Hz. Hacia la margen derecha de la quebrada de Chilca y en al Urb. Costa Azul, los valores son entre 0.8 y 1.0 Hz, pero con mayores amplitudes que se asocian a la presencia de depósitos eólicos en la zona, pero que a niveles superficiales, se presentan regularmente compactados. Los valores menores a 1.0 Hz, se deben a la presencia en el subsuelo de capas de arcillas cuya respuesta dinámica es compleja. Por otro lado, conforme se tiende hacia el extremo NE, próximos al Cerro San Bartolo, estos valores tienden a incrementarse hasta 7.0 Hz, con menores amplificaciones. Las mayores amplificaciones se presentan hacia los extremo Oeste y SE del área de estudio.

-En la Urb. Salinas, ubicada al SO del área urbana de Chilca, predominan las frecuencias a 2.0, 1.8 y 1.9 Hz, con amplificaciones máximas relativas de hasta 8 veces, y conforme se tiende hacia el extremo SE de esta urbanización, próximo al Cerro Yaya, los valores de frecuencias se incrementan llegando hasta alcanzar picos a 18.0 Hz. Estos resultados se asocian a la geomorfología de la zona, y la disminución de la capa superficial de sedimentos conforme se tiende hacia los cerros.

-De acuerdo a los resultados obtenidos con el método MASW, para el área de estudio se define la presencia de 2 capas sísmicas y un semiespacio. En la zona céntrica del Chilca, la primera capa presenta suelos medianamente rígidos y la segunda capa (V_s 202 a 335 m/s), con espesores del orden de 13 a 23 metros, suelos muy rígidos (V_s 510 a 604 m/s). Asimismo, en la zona noroeste (Urb. Costa Azul), se identifica la presencia de suelos medianamente rígidos para la primera y segunda capa (V_s 205 a 286 m/s) con espesores de 25 metros y a mayor profundidad, se tendría la presencia de suelos rígidos (V_s 487 m/s). Según lo expuesto, los suelos de mayor espesor están presentes en dirección oeste sobre la Av. Mariano Ignacio Prado y al noroeste, por la Urb. Costa Azul. Según estos

resultados, los suelos de Chilca, están constituidos por depósitos aluviales consolidados en diferente grado a diferentes niveles de profundidad.

-En la zona sur (sector Salinas), se identifica la presencia de suelos medianamente rígidos para la primera capa (V_s 202 a 227 m/s) de 4 metros de espesor, presentando a mayor profundidad suelos rígidos, que conforme se avanza al sur, pasan a ser muy rígidos (Asc. Aguita de Coco). Esta diferencia en profundidad, puede deberse a que se encuentran próximo a la ladera del cerro Yaya. En cambio, hacia la zona SE (Quebrada la Higueras), se identifica la presencia de suelos medianamente rígidos para la primera capa (V_s de 328 m/s) de 7 metros de espesor y que tienden a ser muy rígidos en profundidad (V_s 510 a 658 m/s); es decir, suelos más consolidados que en la zona sur. Posiblemente, en esta zona las intrusiones de rocas pueden encontrarse muy superficiales y cubiertos de depósitos aluviales de poco espesor. De manera similar, en el área Industrial, que se expande de NE a SE en la zona este de Chilca, se presentan suelos de medianamente rígidos a muy rígidos y hacia el extremo NO (próximo ENGIE, antes EnerSur), en profundidad, suelos rígidos a muy rígidos (V_s 386 a 511 m/s).

-En general, los suelos de Chilca responden a periodos de 0.5 y 0.8 segundos, que se distribuyen de manera casi uniforme sobre la zona céntrica del área urbana; mientras que, hacia su extremo Oeste se concentran periodos de entre 1.0 y 1.1 segundos. Asimismo, hacia el extremo SE del área de estudio, los periodos tienden a valores menores que fluctúan entre 0.5 y 0.6 segundos, conforme se tiende al extremo SE del área urbana, sobre la Urb. San Hilarion y próximos a Cerro San Bartolo, los periodos fluctúan entre 0.4 y 0.2 segundos. En general, las máximas amplificaciones se presentan hacia el extremo Oeste del área urbana de Chilca. Los periodos dominantes que caracterizan a los suelos de Chilca están relacionados con las condiciones físico-dinámicas a través de la relación $T_0=4H/V_s$, y asumiendo velocidades de 250 m/s y 350 m/s para las ondas de corte (V_s) y periodos de 0.4 y 0.6 segundos, se estima la presencia de una capa superficial con espesores de entre 18 y 26 metros, asentada sobre un estrato más rígidos por debajo de los 30 y 70 metros. Estos valores para los espesores de las capas son confirmados con espesores de capas obtenidos con los arreglos sísmicos

-Según los resultados de Tomografía eléctrica, en la zona de Chilca y a niveles superficiales predominan la presencia de materiales muy bajos resistivos a bajos

resistivos. Al sur de la plaza de Chilca, en la zona denominada Las Salinas, el nivel freático se encuentra a 2 metros de profundidad, esto puede ser debido a su proximidad de las lagunas existentes en la zona. Entre las quebradas Chilca y las Higueras, el nivel freático se presenta a partir de los 5 metros de profundidad, y al NE de la plaza, próximo a Enersur se presentaría a más de 39 metros de profundidad. El nivel freático que se presenta en Chilca se debería a la infiltración de la parte alta de la cuenca, así como por canales de regadío no revestidos.

-Para el área urbana de Chilca, según las características dinámicas del suelo, propiedades mecánicas y el procedimiento establecido en la Norma E.030, se ha identificado la presencia de tres (3) zonas sísmicas – geotécnica, correspondientes a suelos Tipo S1, S2 y S4; es decir, suelos rígidos, medianamente rígidos y excepcionales respectivamente. Asimismo, se define como caso especial al sector ubicado entre la Urb. Costa Azul y La Joya, donde sobresalen periodos de 1.0 y 1.1, con amplificaciones de hasta 8 veces; resultados que sugieren la presencia de suelos blandos con una respuesta dinámica compleja ante la ocurrencia de sismos

BIBLIOGRAFÍA

- 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
- 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
- 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 sísmica 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.
- Brusi, D., et al (2013) - Enseñanza de las Ciencias de la Tierra. ISSN: 1132-9157. Pág. 181-194.
- Cahill & Isacks (1992) - Seismicity and shape of the subducted Nazca Plate. Journal Geophys. Res., 97, 17503-17529.
- CERESIS (2008) - Centro Regional de Sismología para América del Sur. Informe Técnico, 2008 "El Terremoto de Pisco 15 de agosto 2007".
- CISMID (2016) - Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres.
- Cruden, D, M. (1991) - A Simple definition of a landslide: Bulletin of the International Association of Engineering Geology.
- Felicitísimo, M. (1994). Modelo Digitales del Terreno, Oviedo-España: Pentalfa 222 p. ISBN: 84-7848-475-2 p.
- 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
- Gasulla, M.; Jordana, J.; Pallás, R.; Torrents, J.M. (1998). Subsurface resistivity measurements using square waveforms. IEEE Tansactions on Instrumentation and Measurement, 47(1): 74-77.
- Gutiérrez, M. (2008) - Geomorfología. Edit. Pearson/Prentice Hall, Madrid, 898 p. ISBN 97884832-23895.

- Guzmán, A. et al, (1998) - Estudio Geotécnico de futuras áreas de expansión urbana entre Lima y Cañete Estudio Geodinámico de la Cuenca del río Cañete. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 8. 172 p.
- 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.
- Hauser, A, (1985) - Flujos de barro en la zona preandina de la Región Metropolitana: Características, causas, efectos, riesgos y medidas preventivas. Revista Geológica de Chile No. 24, p. 75-92.
- Hauser, A, (1993) - Remociones en masa en Chile. Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería, Boletín N° 45.
- Hutchinson, J., N., (1968) - Mass Movement. In the Enciclopedia of Geomorphology (Fairbridge, R.W., ed., Reinhold Book Corp., New York). 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.). 1, 3-35 p. Rotterdam: Balkema.
- INEI, (2007). Instituto Nacional de Estadística e Informática, IX Censo Nacional de población y VI de Vivienda Lima.
- INRENA, (1994) -. Proyecto de Irrigación Chilca-Mala-Asia. Instituto Nacional de Recursos Naturales.
- INRENA, (2005) - Técnica del distrito de Riego Chillón-Rímac-Lurín: Inventario de fuentes de agua Subterránea en el valle del Chilca. Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA)- Intendencia de Recursos Hídricos-Administración.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2007). XI censo de Población y VI de Vivienda. Recuperado de <http://censos.inei.gob.pe/cpv2007/tabulados/>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2013). Mapa de pobreza provincial y distrital 2013. Recuperado de https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1261/Libro.pdf
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (2007). Censos Nacionales 2007 XI de Población y VI de Vivienda. Recuperado de [https://www.inei.gob.pe/estadisticas/censos/Municipalidad de Chilca. \(s.f.\). Reseña histórica. Recuperado de http://chilca.awardspace.com/Inf_Historia.html](https://www.inei.gob.pe/estadisticas/censos/Municipalidad_de_Chilca_(s.f.)._Reseña_histórica._Recuperado_de_http://chilca.awardspace.com/Inf_Historia.html)
- INTRADEVCO INDUSTRIAL S.A, (2012) - Proyecto: Anexión al área urbana y asignación de Zonificación Industrial para Gran Industria pesada I-4 (Ubicación: Av. Santo Domingo de los Olleros S/N distrito de Chilca).
- Juárez, B. & Rico, A., (1973) – Mecánica de suelos. Tomo II.

- 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.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2015) - <http://renac.mtc.gob.pe/inventariovial/default2.aspx>
- Ministerio de Economía y Finanzas. (2017). Distribución del Gasto del Gobierno Local por Fuentes de Financiamiento y Grupo Genérico de Gastos. Recuperado de <https://www.mef.gob.pe/es/presupuesto-del-sector-publico/aprobacion-presupuestal/nacional-regional-y-local/182-presupuesto-publico/programacion-formulacion-y-aprobacion/1954-presupuesto-aprobado-ano-2007-nacional-regional-y-local>.
- Ministerio de Economía y Finanzas. (2010). Distribución del Gasto del Gobierno Local por Fuentes de Financiamiento y Grupo Genérico de Gastos. Recuperado de https://www.mef.gob.pe/contenidos/presu_publ/sectr_publ/presu_2010/anexos/Anexo5.pdf
- Ministerio de Agricultura, (1981) - Estudio Básico de las cuencas de los ríos Chilca, Mala y Asia. ALBORIC E.I.R.L.
- Nakamura Y. (1989). A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. Quarterly Report Railway Tech. Res. Inst., 30-1, 25-30.
- Orellana, E. (1982). Prospección geoelectrica en corriente continua. Madrid: Ediciones Paraninfo.
- Park, C.B. (2015). Data acquisition. Retrieved 23 June, 2015, from <http://www.masw.com/DataAcquisition.html>
- Park, C.B. (2014). MASW for geotechnical site investigation. The Leading Edge, 32(6):656-662.
- 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., Miller, R. D. y Xia, J. (1999). Multichannel analysis of surface waves Geophysics 64 800-8.
- 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., 5 56, 17–29, doi:10.1016/j.jappgeo.2004.03.004
- 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.

- Salazar, H. & Landa, T., C. (1993) - Geología de los cuadrángulos de Mala, Guadalupe, Lunahuaná, Tupe, Conayca, Chinchá, Tantara y Castrovirreyna 26-j, 26-k, 26-l, 26-m, 27-k, 27-l y 27-m. Boletín Serie A: Carta Geológica Nacional, 44. 105p
- 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.
- Sepúlveda, S.A., (2000) - Metodología de Evaluación del Peligro de Flujos de Detritos en Ambientes Montañosos. *Revista Comunicaciones*, Departamento de Geología, Universidad de Chile, No.51, p. 3-28.
- 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.
- Suárez, D., J., (1998) – Estabilidad de Taludes en Tropicales. Instituto de Investigación sobre erosión y deslizamientos. Colombia. Ed. Ingeniería de Suelos Ltda. 550 p.
- 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.
- Tarback, E., D. Lutgens, F., K., (2005) *Ciencias de la Tierra. Una introducción a la Geología Física* Prentice Hall. Cap16. 8a edición. 710 pp.
- 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. 20-47 p.
- Varnes, D. J., (1978) - Slope Movement: Types and Proceses. In Scuster R. L. y Krizek, R. J., ed. *Landslides analysis and control*: Washington, D. C. National Academy Press, Transportation Research Board Special report 176. 9-33 p.
- Wyllie, D., C. & Norrish, N., I., (1996). "Stabilization of rock slopes". *Landslides investigation and mitigation*. Special report 247. Transportation Research Board. National research council, pp. 474-504.
- 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.

ANEXOS

ANEXOS

La documentación del presente informe técnico: “Zonificación Sísmica – Geotécnica del área urbana de Chilca”.

1. Información Geológica Geotécnica:

- Fichas de eventos geodinámicos
- Registros de calicatas
- Densidad de campo
- Fichas de granulometría
- Registro de posteos
- Registro de DPL
- Registro de capacidad de carga admisible
- Mapas

2. Información Geofísica

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