

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 SAN CLEMENTE

Instituto Geofísico del Perú

Presidente Ejecutivo: Hernando Tavera

Director Científico: Danny Scipion

Autores

Isabel Bernal

Caracterización Sísmica del área urbana de San Clemente

Juan Carlos Gómez

Caracterización Geológica y Geotécnica del área urbana de San Clemente

Equipo de Evaluación Geológica y Geotécnica: Roberth Carrillo

Equipo de Evaluación Sísmica y Geofísica: Fabiola Rosado / Henry Salas / Wilfredo Sulla

Liliana Torres / Javier Oyola / Kelly Pari / Luz Arredondo / Jesús Huarachi / Orlando Huancoco

Personal de apoyo: Augusto Cárdenas / Roberth Yupanqui

Personal administrativo: Estela Torres

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 SAN CLEMENTE**

Distrito de San Clemente– Provincia de Pisco – Región Ica

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), Imperial (distrito de Imperial), Nuevo Imperial (distrito de Nuevo Imperial), Quilmaná (distrito de Quilmaná), San Antonio (distrito de San Antonio), San Clemente (distrito de San Clemente), San Luis (distrito de San Luis), Humay y Bernalles (distrito de Humay). 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 San Clemente”, información primaria que debe ser utilizada por ingenieros civiles y arquitectos en el diseño y construcción de estructuras apropiadas para cada uno de los tipos de suelos identificados en este estudio. Este documento técnico debe constituirse como herramienta de gestión de riesgo a ser utilizado por las autoridades locales y regionales.

ÍNDICE

RESUMEN

ÍNDICE

PARTE 1: Presentación

1. Introducción

1.1. Objetivo

1.2. Historia

1.3. Accesibilidad y clima

1.4. Economía

1.5. Estudios Previos

2. Condiciones locales de sitio

2.1. La Norma Técnica E.030

PARTE 2: Caracterización geológica y geotécnica para el área urbana de San Clemente.

PARTE 3: Caracterización sísmica y geofísica para el área urbana de San Clemente.

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS: Documentos y mapas se adjunta en 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, las Unidades de Ingeniería Sísmica y Geodinámica Superficial de 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.
- **Coayllo**, distrito de Coayllo, 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 centro ha sido afectada en varias oportunidades por eventos sísmicos de variada magnitud que han generado altos niveles de intensidad, puesta en evidencia con los daños observados post-sismo en la región de Piura (Silgado, 1978; Tavera et al. 2016). Al ser los sismos cíclicos, es de esperarse que, en el futuro, las mismas ciudades y/o áreas urbanas sean afectadas por nuevos eventos sísmicos con la misma o mayor intensidad. Entonces, no es tan importante el tamaño del sismo, sino la intensidad del sacudimiento del suelo, la educación de la población y la calidad de las construcciones.

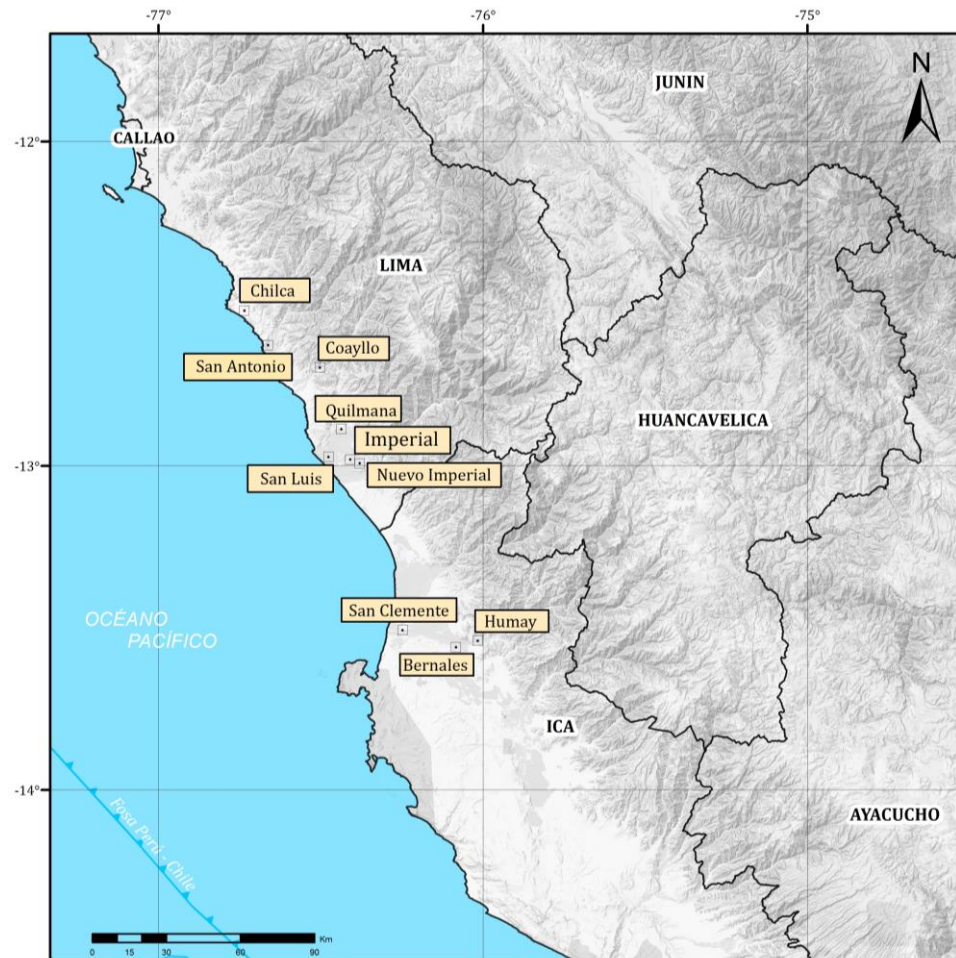


Figura 1: Distribución espacial de las ciudades intervenidas durante el año 2016.

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 de la localidad de San Clemente 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 del área urbana de San Clemente, provincia de Pisco, región Ica, a partir de la integración de los resultados obtenidos con 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 de la ciudad.

1.2. Historia

La ocupación de la cuenca del río Pisco data desde el periodo Precerámico (12000 a.n.e), específicamente en el litoral costero, cuyos primeros hombres vivían de la pesca y la recolección de vegetales. Se pueden citar como los primeros asentamientos durante este periodo a Otuma y No 14-VI-514, localizados en la bahía de Paracas (Bastiand, 2006).

Posteriormente, entre el periodo Inicial (1800 - 1200 a.n.e.) y el Horizonte Temprano (1200 - 200 a.n.e.), se inicia el desarrollo de las comunidades aldeanas que buscan la perfección del tallado de piedras y cerámica, construcción de canales de

riego para agricultura y la producción textil. A éste intervalo cronológico pertenecen los sitios de Disco Verde, Puerto Nuevo, Karwas, Warikayán, Cabezas Largas (quienes desarrollaron los Mantos Paracas) y el asentamiento de Chongos ubicado en la ribera sur del río Pisco (Modificado de Bastiand, 2006).

A partir del periodo Intermedio Temprano (200 a.n.e. - 600 d.n.e.), se inicia el proceso de influencia comercial de la cultura Nasca que recuperó el sitio de Cabezas Largas. De igual manera lo hicieron los Wari durante el Horizonte Medio (600 – 900 d.n.e.), expandiendo sus dominios a lo largo del valle de Pisco, con los sitios arqueológicos de Maymi, Pantayco, Huaya Chica, entre otros (Bastiand, 2006).

En el Intermedio Tardío (900 – 1450 d.n.e.), la cultura Chíncha tomó mayor relevancia e influencia comercial sobre los demás sitios establecidos en la zona litoral entre los valles de Acarí y Chíncha. Su habilidad en la navegación, llevó a realizar intercambios de productos hasta el Ecuador (Bastiand, 2006).

La llegada del imperio incaico al valle de Pisco en el Horizonte Tardío (1450 – 1532 d.n.e.), se suscitó desde las zonas andinas ocupando los sitios arqueológicos de los Wari, además de la construcción de nuevos caminos de enlace, tambos, edificios públicos, entre otros. El más representativo es Tambo Colorado ubicado en el distrito de Humay, es un centro administrativo del imperio incaico con ubicación estratégica para el dominio del valle (Bastiand, 2006).

En la época de la colonia se impulsó la agricultura mediante formación de haciendas vitivinícolas y la estabilización de los lugareños en la zona de Caucato, hacia el año de 1913, se empezó a desplazar gradualmente el cultivo de la caña de azúcar por el algodón, siendo definitivo este proceso en el año 1923; razón por el cual, los conocidos Ex Presidentes de la República trabajaron en ella: Don Augusto B. Leguía como cajero y Don Guillermo Bilinghurt como administrador haciéndose conocido, además un personaje ilustre llamado Don Fermín Tanguis que logró que el algodón del Valle de Pisco se cotizara mundialmente. El intercambio comercial entre los pueblos y su ubicación geográfica estratégica, fue clave para el asentamiento de nuevos pobladores y por consiguiente la fundación de San Clemente, uno de los primeros pobladores fue Alejandro Huayamares en el año 1950 proveniente de San Jacinto y las familias Valle, Cabezudo, Peña, Cabrera, Elías y Quispe.

Posteriormente, la construcción del puente Huamaní en el año 1951 permitió que la fuerza laboral se concentrara en esta zona; el transporte y la comunicación hicieron que una garita de control se estableciera en la futura enclave del distrito, que en la actualidad es ocupada por el puesto de la Policía Nacional del Perú (PNP) del distrito, esto a su vez permitió que las personas siguieran asentándose con sus respectivas familias. Entre tanto, la construcción de la vía “Los Libertadores Wari” y la carretera Panamericana Sur; jugaron un rol importante en el encuentro de estos pobladores con aproximadamente 70 familias. En el año 1952 se forma el núcleo de su primera Junta Directiva de Padres de Familia dirigida por el Dr. Néstor Díaz Castillo y acompañantes Celestino Cáceres, Guillermo Peña Camasca, Enrique Cabrera, Augusto Cabezudo y el señor Cordero; con el objetivo de construir una escuela estatal, la misma que contó con el apoyo económico de los padres de familia.

Con el pasar de los tiempos la finalidad de satisfacer las necesidades fundamentales lleva a los vecinos a que se construya la posta médica y la Plaza de Armas que fue ubicada en el sector de "Patrulla Juvenil"; así mismo se iniciaron las gestiones para el alumbrado público. En el año 1970 durante el Gobierno de Juan Velazco Alvarado, se eleva a la categoría de “Pueblo Joven San Clemente”, 15 años más tarde, un día 8 de junio es constituido distrito mediante el decreto ley N° 24161 (Municipalidad Distrital de San Clemente, 2015), con una población aproximada de 13260 habitantes, 8 años más tarde (1993) la suma de pobladores subió a 14200. En el 2007, la cantidad de hombres y mujeres en el distrito era de 19 300 personas. Cabe indicar que, en ese mismo año se suscitó un terremoto que ocasionó la migración de los pobladores de la ciudad de Pisco hacia San Clemente y a otros distritos del valle. Éste último acontecimiento social ocasionó el aumento del número de habitantes a 35000 según INEI (2012) en el mencionado distrito, con tendencia de crecimiento urbano actual hacia el lado norte (Figura 2).



Figura 2. Plaza principal de la ciudad de San Clemente.

El distrito de San Clemente se encuentra ubicado en el km 228 de la panamericana Sur, provincia de Pisco y región de Ica; en las coordenadas UTM: 374820 E, 8487283 N y cota promedio de 70 m.s.n.m; políticamente limita: Por el Norte: con Agua Santa; por el Este: con el distrito de Independencia. Por el Sur: con el Río Pisco y por el Oeste: con el distrito de Caucato y el Océano Pacífico (Figura 3).

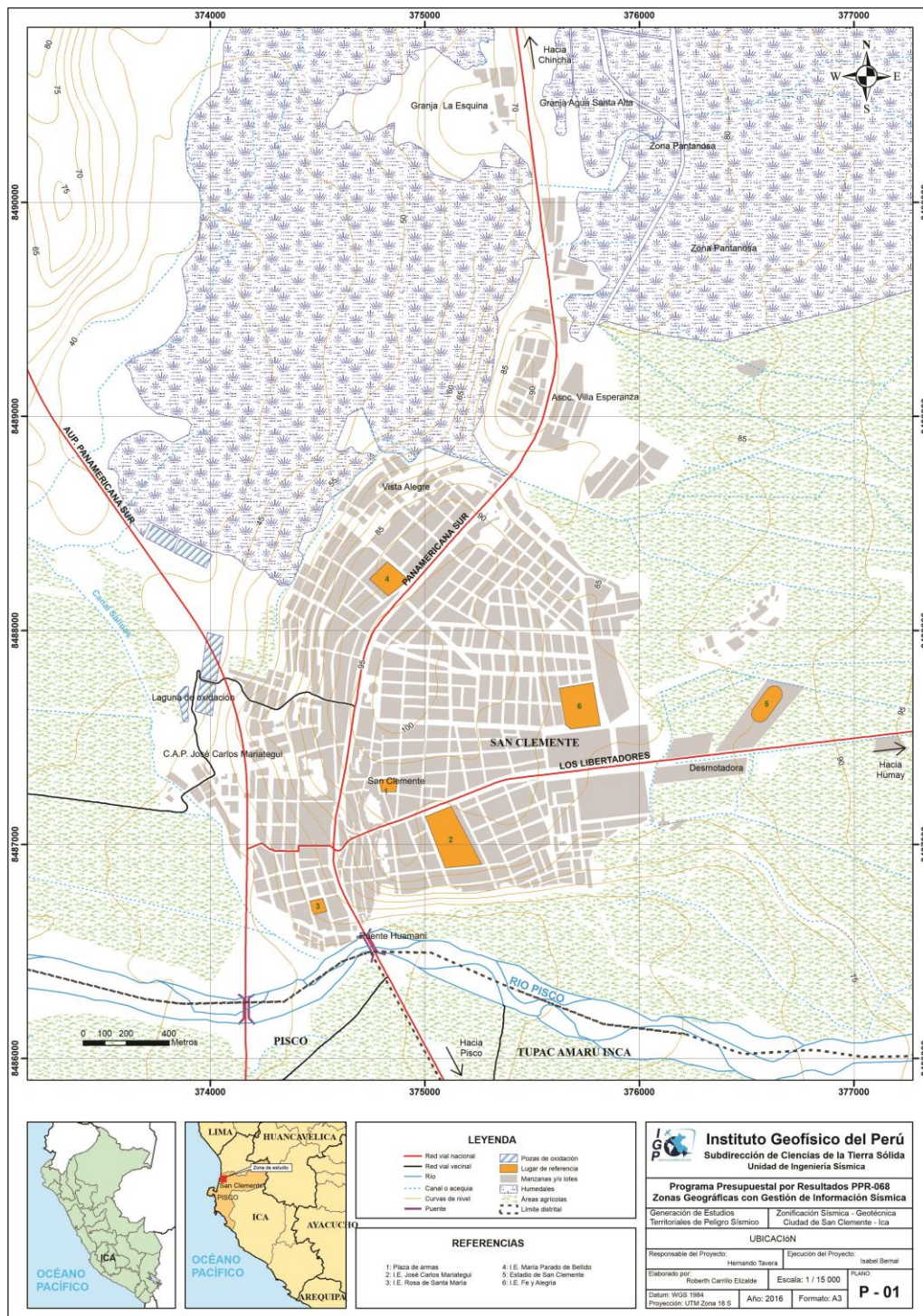


Figura 3. Mapa de ubicación geográfica de la ciudad de San Clemente.

1.3. Accesibilidad y Clima

El acceso a San Clemente desde la ciudad de Lima empieza desde carretera principal (Panamericana Sur) a través de una vía asfaltada en buen estado de conservación, cuyo recorrido es de aproximadamente 234 km. Desde la ciudad de San Clemente se puede tomar la Vía Los Libertadores con destino a los departamentos de Ayacucho y Huancavelica, esta ruta une las ciudades de Pisco, Huaytará, Ayacucho, Andahuaylas, Chincheros, Abancay, Cuzco-Iñapari.

Para conocer, las condiciones climáticas en San Clemente, se han tomado datos referenciales de la web del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). La información se ha obtenido de la estación meteorológica "Hacienda Bernal - 000650", que se encuentra ubicada a 21 Km al sureste de la ciudad en mención, en las coordenadas geográficas: Latitud 13°44'28.3", Longitud 75°57'58.9" y en la cota 305 m.s.n.m., período 2014-2015. San Clemente presenta clima variado: cálido durante los meses de diciembre – abril; mientras que, se presenta templado en los meses de mayo - noviembre, con temperaturas máximas promedio de 25 a 30 °C y mínimas promedio de 12 a 19°C, respectivamente. Los datos pluviométricos indican que las máximas precipitaciones alcanzan en promedio 4.5 mm mensuales, durante los meses de enero a marzo, ver Tabla 1.

Tabla 1: Registro de temperaturas mínimas, máximas y precipitaciones pluviales acumuladas, durante el período 2014 – 2015.

Variable	Año 2014											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
T° Max Promedio (°C)	29.20	29.51	29.46	27.61	23.68	23.32	22.26	21.69	23.03	24.19	25.44	26.76
T° Min Promedio (°C)	19.53	18.25	18.87	16.61	14.27	13.05	11.74	12.22	12.79	13.72	14.98	16.62
Precipitación (mm)	1.20	0.80	4.50	0.00	1.30	0.40	0.40	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00
Variable	Año 2015											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
T° Max Promedio (°C)	27.47	30.11	29.69	28.76	26.56	24.07	22.93	22.48	24.24	24.91	25.05	26.46
T° Min Promedio (°C)	17.61	20.08	20.05	18.18	15.23	13.86	12.16	12.44	13.51	14.46	14.99	16.80
Precipitación (mm)	0.30	0.50	1.50	0.00	0.00	0.20	0.90	0.30	1.00	0.40	1.00	0.60

1.4. Economía

La principal actividad económica del distrito de San Clemente, son el comercio y la agricultura, cuyo porcentaje de participación al PBI local es del 25 y 30 % respectivamente (INEI, 2007).

Según el INEI (2013), el 8 % (1744 hab.) de la población total de San Clemente se consideran pobres y dependen de los ingresos por prestaciones sociales (s/.209 884), programas sociales de apoyo obtenidos del gasto presupuestal total anual s/.7 670 025 (MEF, 2017). Considerando este gasto para los años 2017 y 2010, (s/. 5 250 501, MEF, 2010), se observa un incremento del presupuesto que indica aún, la continua dependencia de la municipalidad con el gobierno regional y nacional.

1.5. Estudios previos

Para el área urbana de San Clemente, 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:

- Ministerio de Agricultura – Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA), Evaluación y Ordenamiento de los Recursos Hídricos de la Cuenca del río Pisco. (2003). El estudio menciona que la cuenca hidrográfica presenta una superficie de drenaje, desde sus nacientes (lagunas Pultoc) hasta su desembocadura al Océano Pacífico de 4434.50 km² (recorrido de 187.86 km aprox.) y su principal sistema lo constituye el río Pisco, subdividiéndose en tres subcuencas: Baja y media (representa el 41.1 % del área total de la cuenca y está constituida por la provincia de Pisco) y alta (representa el 58.6 % del área total de la cuenca y está constituida por las provincias de Castro Virreyña y Huaytará). El río Pisco es el principal sistema hidrográfico de la subcuenca baja del río Pisco y presenta una pendiente promedio de 0.98%.
- Ministerio de Agricultura – Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA), Estudio hidrogeológico del valle Pisco (2006). Menciona que para determinar las condiciones y el área de influencia del acuífero de Pisco, fue necesario conocer

sus características geoelectricas de los horizontes que lo conforman y como resultado, se obtuvieron 5 secciones geoelectricas en las cuales se identificó que el horizonte saturado presenta valores de resistividad entre 10 y 35 ohm.m., así como espesores entre 20 y 90 m.

- INGEMMET – CESEL – INDECI, Investigaciones Geológicas – Geotécnicas Realizadas en el Distrito de San Clemente (2007). El estudio menciona que en la ciudad de San Clemente el substrato rocoso lo conforma la Fm. Pisco (Ns-P) del Mio-Plioceno que se encuentra conformada en la parte inferior por diatomitas blancas intercaladas con limoarcillitas blanquecinas y lutitas diatomíticas; mientras que, en la parte superior presenta areniscas poco compactas. Asimismo, indica que éstas rocas se encuentran fracturadas, meteorizadas y alteradas, por lo cual son de mala calidad y debido a ello las viviendas (construidas a base de concreto) ubicadas sobre estas rocas durante el sismo del 2007 colapsaron. Sobreyaciendo esta unidad geológica se encuentra la Fm. Huamaní (Ns-h) del Plioceno Superior que está conformada por areniscas arcillosas que se alternan con niveles de arcillas, gravas y conglomerados (diámetros de 3 a 5 cm), usualmente presenta capas de sal (costras de 50 cm de espesor) y en general, esta litología presenta calidad de mala a media; luego suprayacen los conglomerados fluviales del Pleistoceno que constituyen la Fm. Cañete y finalmente los depósitos aluviales del Cuaternario.

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 4.

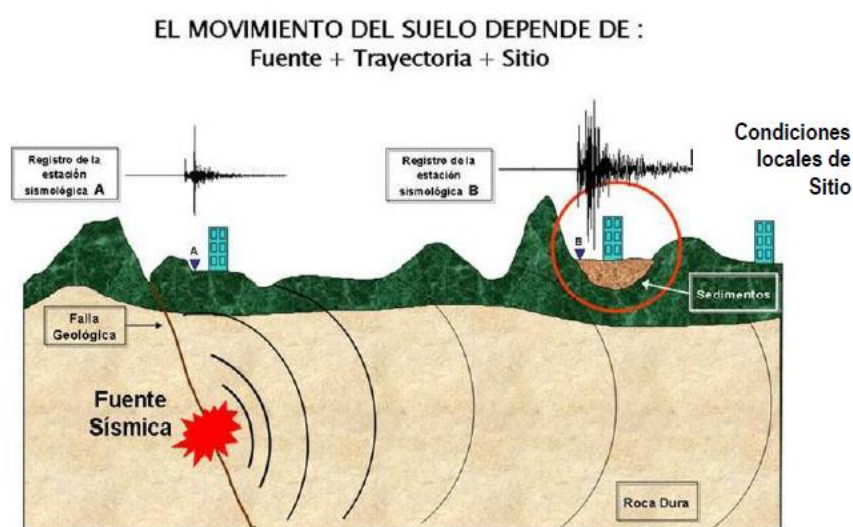


Figura 4: Las condiciones locales de sitio controlan la amplificación del sacudimiento del suelo, puesto en evidencia con la amplitud del registro sísmico obtenido sobre roca y sedimentos.

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 lo establecido por 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 físicas, tomando en cuenta la velocidad promedio de propagación de las ondas de corte, o alternatively, 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 establece 5 perfiles (Tabla 2).

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

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

Perfil	V_{s30} (m/s)	Descripción
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

- **Perfil Tipo S_3 : Suelos Blandos**, corresponden suelos flexibles con velocidades de propagación de onda de corte V_s menor o igual a 180 m/s.
- **Perfil Tipo S_4 : Condiciones Excepcionales**, corresponde a suelos excepcionalmente flexibles y los sitios donde las condiciones geológicas y/o topográficas son particularmente desfavorables, en los cuales se requiere efectuar un estudio específico para el sitio. Será determinado con un Estudio de Mecánica de Suelos (EMS).

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

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

Dónde:

d_i = espesor de cada uno de los estratos n.

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

En general, para cualquier estudio se deberá considerar el tipo de suelo que mejor describa las condiciones locales de 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: Comprende a suelos Tipo S1, cuyas velocidades de ondas de corte (V_s) varían entre 500 y 1500 m/s, correspondiendo a suelos rígidos a muy rígidos. Esta zona está conformada por estratos de grava coluvial que se encuentra a nivel superficial o cubiertos por un estrato de material fino. Los periodos predominantes en esta zona son de 0.1 y 0.3 segundos.

ZONA II: Comprende a suelos Tipo S2, cuyas velocidades de ondas de corte (V_s) varían entre 180 y 500 m/s, correspondiendo a suelos medianamente rígidos. Esta zona está conformada por estratos superficiales finos y suelos arcillosos con espesores de hasta 10 metros, subyaciendo a estratos de grava. Los periodos predominantes en esta zona son de 0.3 y 0.5 segundos.

ZONA III: Comprende a suelos Tipo S3, cuyas velocidades de ondas de corte (V_s) son <180 m/s, correspondiendo a suelos blandos. Esta zona está conformada por estratos superficiales finos y arenas de gran espesor que se encuentran en un estado suelto, subyaciendo a estratos de material gravoso. Los periodos predominantes en esta zona son de 0.5 y 0.7 segundos.

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: Comprende a suelos Tipo S4, cuyas características físicas y dinámicas son excepcionales. Esta zona está conformada por:

-Zona IVa: Depósitos eólicos, fluviales, marinos y/o suelos pantanosos.

-Zona IVb: Zonas de topografía irregular, susceptibles a generar derrumbe, flujos detríticos.

-Zona IVc: Depósitos de relleno sueltos, desmonte heterogéneos, rellenos sanitarios.

Esta zonificación condiciona el tipo de estructura que se debe construir; es decir, tipo de material, geometría y el número de pisos en las viviendas o de grandes

obras de ingeniería. Se debe buscar que el periodo fundamental de respuesta de la estructura no coincida con la del suelo a fin de evitar el fenómeno de resonancia y/o una doble amplificación sísmica.

**CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA
PARA EL ÁREA URBANA DE SAN CLEMENTE**

CONTENIDO

1. METODOLOGÍA

2. GEOMORFOLOGÍA

- 2.1. Base Topográfica
- 2.2. Modelo Digital de Terreno (MDT)
- 2.3. Pendientes
 - 2.3.1. Clasificación del grado de pendientes
- 2.4. Unidades geomorfológicas
 - 2.4.1. Colina
 - 2.4.2. Loma
 - 2.4.3. Acantilado
 - 2.4.4. Terrazas aluviales
 - 2.4.5. Llanura de inundación
 - 2.4.6. Lecho fluvial

3. GEOLOGÍA

- 3.1. Geología regional
 - 3.1.1. Geología histórica
 - 3.1.2. Geología estructural
- 3.2. Geología local
 - 3.2.1. Formación Pisco (Nm-pi)
 - 3.2.2. Formación Huamaní (Np-h)
 - 3.2.3. Formación Cañete (Qpl-ca)
 - 3.2.4. Depósitos Cuaternarios

4. GEODINÁMICA

- 4.1. Procesos de geodinámica interna
- 4.2. Procesos de geodinámica externa
 - 4.2.1 Caída o desprendimiento
 - 4.2.2 Inundaciones
- 4.3. Zonas Susceptibles a procesos geodinámicos externos

5.- ASPECTOS GEOTÉCNICOS

- 5.1. Exploraciones a cielo abierto (calicatas, norma ASTM D 420)
- 5.2. Densidad del suelo in-situ (Norma ASTM D1556)
- 5.3. Exploraciones con posteadora manual o mecánica (Norma ASTM D1452)
- 5.4. Ensayos de penetración dinámica ligera (norma DIN 4094)
- 5.5. Correlación entre el “N” DPL y el “N” SPT (ASTM D1586)
- 5.6. Cálculo del ángulo de fricción interna a partir del NSPT
- 5.7. Suelos clasificación SUCS
- 5.8. Ensayos de corte directo (Norma, ASTM D-3080)

5.9. Capacidad de carga admisible

5.9.1. Carga última (q_u)

5.9.2. Capacidad de carga admisible muy baja

5.9.3. Capacidad de carga admisible baja

5.9.4. Capacidad de carga admisible media

5.9.5. Capacidad de carga admisible alta

1. METODOLOGÍA

Para realizar la caracterización geológica y geotécnica de los suelos del área urbana de San Clemente se ha seguido la siguiente metodología:

- **Gabinete I:** Las actividades realizadas incluyeron la revisión de imágenes satelitales pancromáticas no estereoscópicas (WorlView-2 con resolución 0.5 m del servidor DigitalGlobe, año 2010). Asimismo, se procedió con la recopilación de información geológica regional y local existente (boletines geológicos, informes técnicos, entre otros).
- **Campo I:** Se realizó el cartografiado de las unidades geomorfológicas y litológicas aflorantes a escala 1: 25 000. Asimismo, se identificó y delimito los eventos geodinámicos de la zona: áreas potencialmente susceptibles a la ocurrencia de flujos de lodos y/o detritos. Paralelo a ello, se realizó un levantamiento topográfico del área de estudio (22 km² aprox.), a escala 1:15,000.
- **Campo II:** Realización de los siguientes ensayos geotécnicos:

Elaboración de 9 calicatas de profundidad promedio de 3.00 m; 2 ensayos de densidades de campo; 10 auscultaciones haciendo uso de posteadora manual (distribuidas en zonas intermedias a la ubicación de las calicatas) a fin de completar la información y 9 ensayos de Penetración Dinámica Ligera (DPL) a fin de determinar la resistencia de los suelos.
- **Laboratorio:** Procesamiento de muestras de suelos a través de ensayos del laboratorio: granulometría, plasticidad (clasificación SUCS), humedad, densidad y corte directo (capacidad de carga admisible).
- **Gabinete II:** Elaboración del informe técnico en los siguientes Anexos: Fichas geotécnicas (calicatas, densidad, posteos, DPL, correlación DPL con el SPT y análisis granulométrico), y planos temáticos a escala 1:25000.

2. GEOMORFOLOGÍA

La geomorfología estudia las diferentes formas de relieve de la superficie terrestre (geoformas) y los procesos que las generan, este relieve es el resultado de la interacción de fuerzas endógenas y exógenas. 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 San Clemente.

Previamente, en base al levantamiento fotogramétrico realizado y mediante herramientas computacionales SIG, se han elaborado los planos: Modelo Digital de Elevación (MDE) y Pendientes, con el fin de delimitar las características geomorfológicas del terreno (geoformas), éstas fueron verificadas y validadas durante el trabajo de campo, a través del cartografiado y delimitación de las unidades geomorfológicas existentes en el área del estudio.

2.1. Base Topográfica

Se obtuvo a partir de un levantamiento topográfico realizado en San Clemente en marzo del 2016, sobre un área de 490 hectáreas (sector urbano). 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 una estación total (marca Nivo 3.C con resolución de 3") de propiedad del Instituto Geofísico del Perú (IGP) y para las mediciones de la superficie del terreno, se consideró de un punto de

control, cuyas coordenadas fueron establecidas con una antena y receptor GPS/GNSS de doble frecuencia, Tabla 3.

Tabla 3: Punto de control ubicado en las inmediaciones del colegio Medrano.

BM	Este (m)	Norte (m)	Altitud (m.s.n.m)	Descripción
BM	374481	8487090	64	Ubicada en el colegio Medrano

Luego, desde el punto de control antes mencionado se estableció un polígono cerrado conformado por 8 vértices (Figura 1), y cuya corrección taquimétrica se describe en los Anexos. En total se tomaron 711 mediciones (puntos de relleno) que contienen información planimétrica (coordenadas este y norte) y altimétrica (elevación ortométrica) que fueron proyectados en el sistema Universal Transversal Mercator (UTM). Asimismo, con la finalidad de complementar la topografía de las zonas aledañas al sector urbano, representado por 2200 ha., se utilizaron imágenes SRTM en formato GeoTiff descargadas del Consortium for Spatial Information (CGIAR-CSI) y procesadas con los vértices citados.

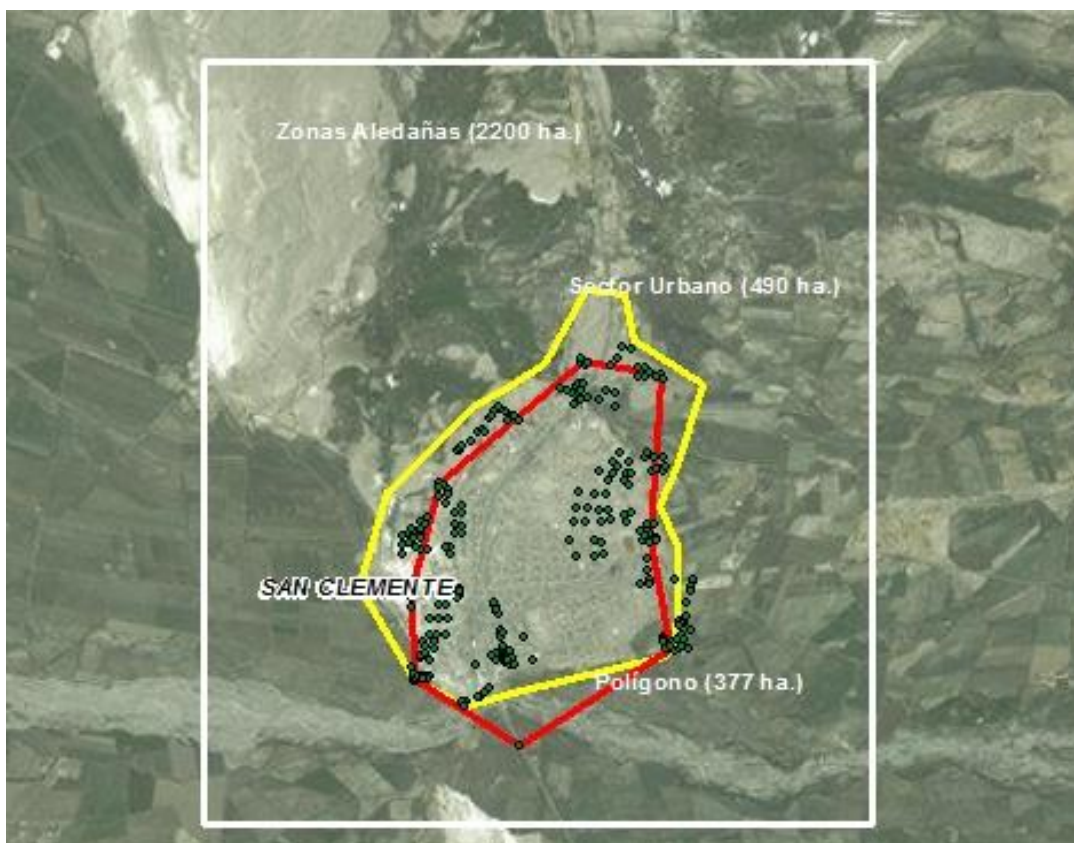


Figura 1: Se describe en línea roja el área del polígono (377 ha.), en amarillo el sector urbano (490 ha.) y en blanco las zonas aledañas (2200 ha.).

2.2. Modelo Digital del Terreno (MDT)

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

Para la elaboración del MDT del distrito de San Clemente, se utilizó como herramientas SIG, las curvas de nivel diseñadas anteriormente, obteniendo como resultado la representación digital de la superficie del terreno del área del estudio, (área de 20 km²), y que corresponden al 11.30% de la superficie distrital.

En base al MDT elaborado para el área urbana de San Clemente se ha reconocido que la parte central del área urbana se asienta sobre una colina que presenta un rango de cotas entre 75 y 115 m.s.n.m.; mientras que, hacia el oeste se distinguen elevaciones entre 30 y 75 m.s.n.m. (Figura 2)

2.3. Pendientes

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

El diseño del mapa de pendientes para el área urbana de San Clemente fue desarrollado a partir del MDT elaborado anteriormente y haciendo usos de herramientas de geoprocésamiento (área de influencia, construcción de modelos, análisis espacial, etc.), se diferencia gráficamente los ángulos de inclinación del relieve en el área de estudio en la figura anterior (Figura 3).

2.3.1. Clasificación del grado de pendientes

Para la clasificación de los rangos de pendientes se usó la propuesta de Fidel et. al. (2006), ver Tabla 4:

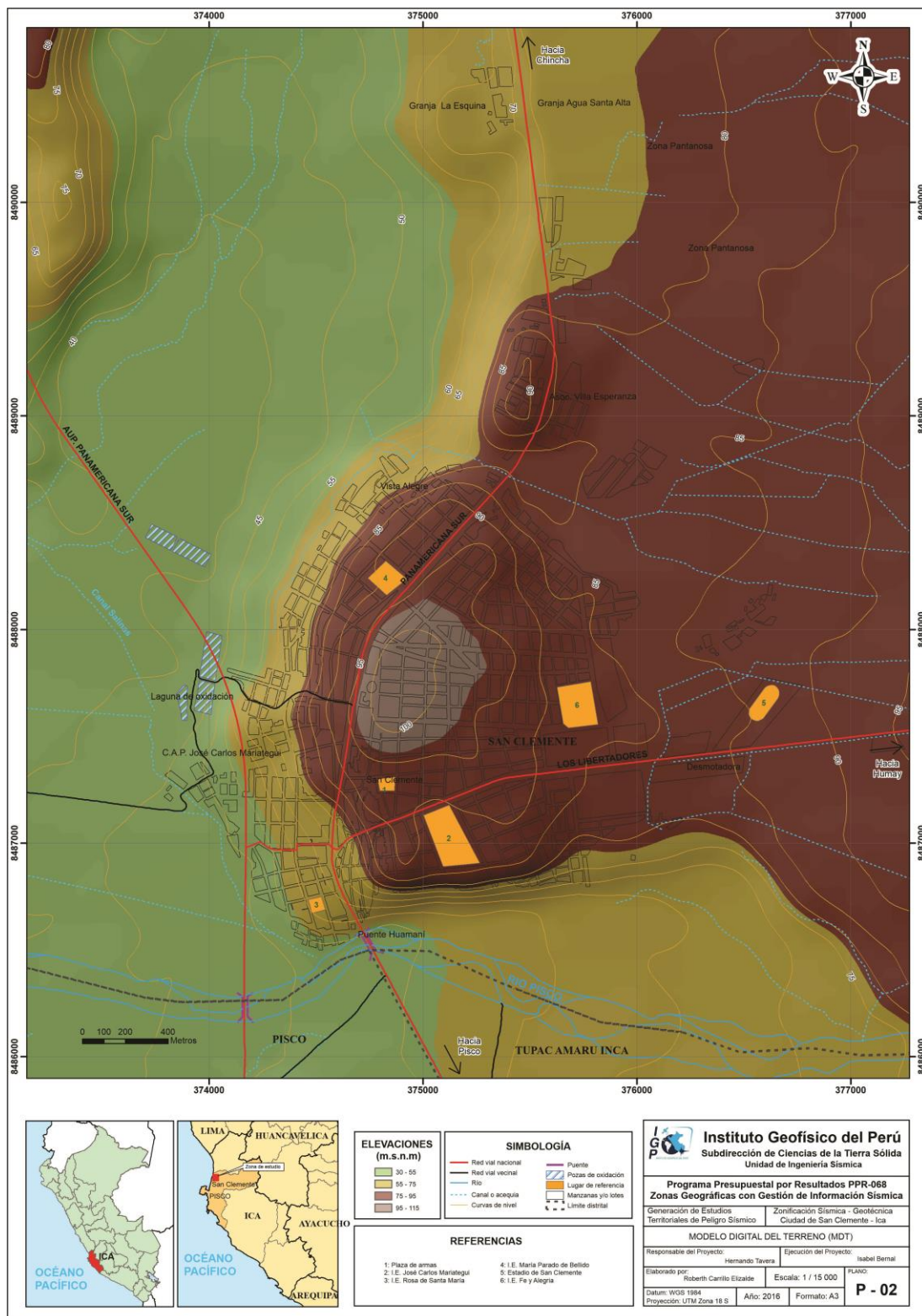


Figura 2: Mapa de modelo digital de elevación para el área urbana de San Clemente y alrededores.

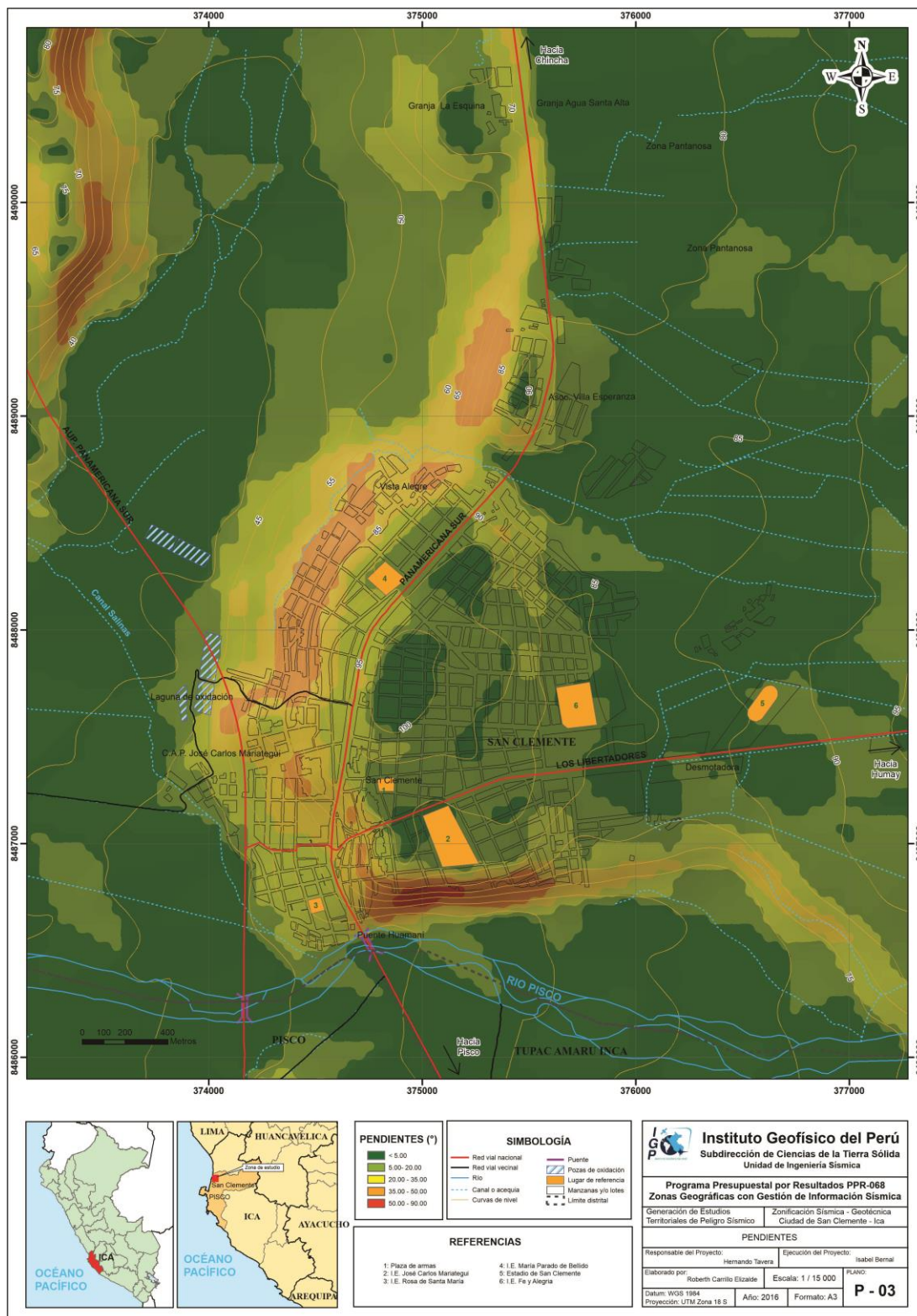


Figura 3: Mapa de pendientes del terreno para el área urbana de San Clemente y alrededores.

Tabla 4: Rangos de pendientes del terreno.

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 San clemente se encuentra asentada sobre una colina que presenta pendientes menores a 10° promedio. Por otro lado, en la parte occidental y sur del área de estudio se presentan acantilados y desniveles que tienen pendientes mayores a los 20°.

2.4. Unidades geomorfológicas

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

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

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

En base a las características físicas de las geoformas y su origen, en el distrito de San Clemente, se cartografiaron nueve unidades geomorfológicas: lecho fluvial, llanura de inundación, 4 terrazas aluviales, acantilado, loma y colina, ver Tabla 5 y Figura 4.

Tabla 5: Determinación de geoformas en el distrito de San Clemente en base a las características físicas y su origen.

GEOMORFOLOGÍA SAN CLEMENTE			
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		ORIGEN	UNIDAD GEOMORFOLÓGICA
Pendiente	<5°	Denudacional	Lecho fluvial
Geometría	Alargado		
Drenaje	Meándrico		
Pendiente	<5°	Depositacional	Llanura de inundación
Geometría	Irregular		
Drenaje	irregular		
Pendiente	<5°	Depositacional	Terraza aluvial 1
Geometría	Irregular		
Drenaje	irregular		
Pendiente	20° - 35°	Depositacional	Terraza aluvial 2
Geometría	Irregular		
Drenaje	irregular		
Pendiente	35° - 50°	Depositacional	Terraza aluvial 3
Geometría	Irregular		
Drenaje	irregular		
Pendiente	5° - 20°	Depositacional	Terraza aluvial 4
Geometría	Irregular		
Drenaje	irregular		
Pendiente	> 50°	Estructural	Acantilado
Geometría	Alargada		
Altura	20 m		
Pendiente	<35°	Denudacional	Loma
Altura	<300 m		
Geometría	Alargada		
Drenaje	Dendrítico		
Pendiente	<20°	Denudacional	Colina
Altura	<100 m		
Geometría	Redondeada		
Drenaje	Radial		

A continuación, se describen dichas unidades geomorfológicas:

2.4.1. Colina

Esta geoforma de origen denudacional presenta pendientes <20°, alturas <100m, geometría redondeada y drenaje dendrítico. Esta unidad abarca el 1.5 % del área de estudio y se encuentra formando un lineamiento con dirección norte – sur. Se ubica en la parte central del distrito de San Clemente. Además, y sobre se asienta el área urbana de la parte central de San Clemente, ver Figura 5.

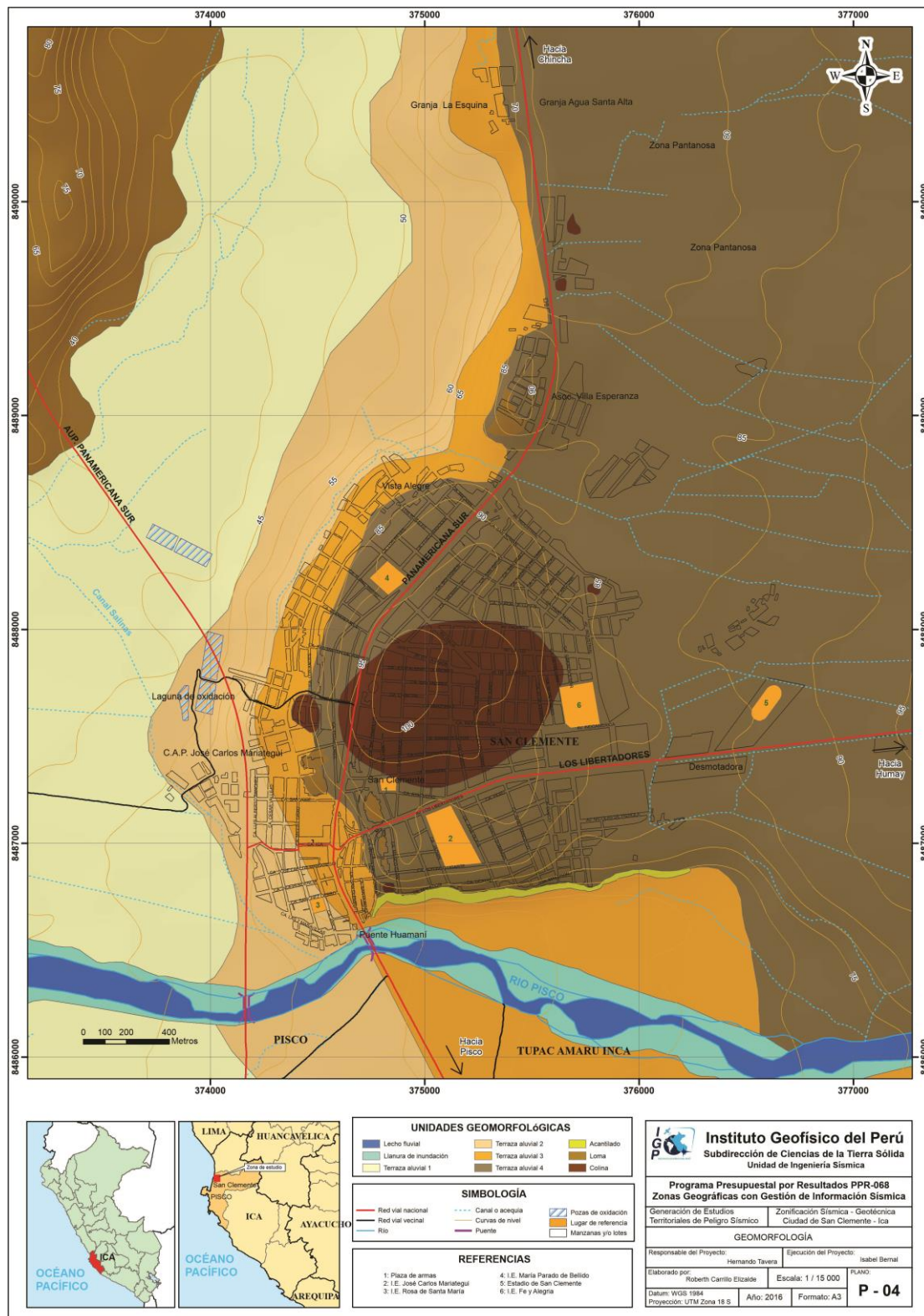


Figura 4: Mapa geomorfológico para la ciudad de San Clemente y alrededores.



Figura 5: Colina (línea roja) ubicada a 511 m al noroeste de la plaza principal de San Clemente, específicamente en las calles Nuevo Perú y Los Andes.

2.4.2. Loma

Esta geoforma presenta una pendiente $<35^\circ$, altura $<300\text{m}$, geometría alargada, drenaje dendrítico y origen denudacional. Esta unidad abarca el 8.2 % del área de estudio y se encuentra en tres zonas: En las inmediaciones de la AUP. Panamericana Sur (a 2.8 km al noreste de la plaza principal), en la Asoc. Villa Esperanza (a 2.4 km de la plaza principal) y en el extremo sur del distrito de San Clemente, ver Figura 6.



Figura 6: Loma (línea amarilla) ubicada a 118 m al suroeste de la plaza principal de San Clemente.

2.4.3. Acantilado

Esta geoforma presenta una pendiente $>50^\circ$, altura $<20\text{m}$, geometría alargada, drenaje dendrítico y origen estructural. Esta unidad abarca el 0.1 % del área de estudio y se encuentra en la parte sur de San Clemente, dividiendo el área urbana del valle del río Pisco, ver Figura 7 y 8.



Figura 7: Loma (línea amarilla) ubicada a 118 m al suroeste de la plaza principal del distrito de San Clemente.



Figura 8: El acantilado presenta aproximadamente 20 m de desnivel y se encuentra conformado por materiales granulares (conglomerados y areniscas meteorizadas) que son aprovechados como canteras de agregados.

2.4.4. Terrazas aluviales

Esta unidad geomorfológica de origen depositacional y en el distrito de San Clemente comprende el 85.1 % del área de estudio. Asimismo, en las inmediaciones de San Clemente se han distinguido hasta 4 terrazas aluviales, reconocidas en base a las pendientes y desniveles que presentan. A continuación, se detallan sus características:

-Terraza aluvial 1: Constituye la terraza más reciente, posee pendiente menor a 5° , así como una geometría y drenaje irregular. Actualmente, sobre esta unidad realizan actividades agrícolas y se identifica algunos humedales. Esta unidad geomorfológica se ubica en la parte occidental del área urbana de San Clemente.

-Terraza aluvial 2: Conformar una terraza inclinada de pendiente entre 20° a 35° , así como una geometría y drenaje irregular. Actualmente, sobre esta unidad se asientan algunas viviendas y algunos humedales. Esta unidad geomorfológica se ubica en la parte occidental del distrito de San Clemente, ver Figura 9 y 10.



Figura 9: Terraza aluvial 1 ubicada a 1 km al oeste de la plaza principal de San Clemente.



Figura 10: Terraza aluvial 2 ubicada a 560 m al oeste de la plaza principal de San Clemente.

-Terraza aluvial 3: Conformar una terraza inclinada de pendiente entre 35° a 50° , así como una geometría y drenaje irregular. Actualmente, sobre esta unidad se asienta parte de la zona urbana de San Clemente. Se ubica a 300 m al oeste del distrito de San Clemente, ver Figura 11.



Figura 11: Terraza aluvial 3 ubicada a 300 m al oeste de la plaza principal de San Clemente. Se caracteriza por presentar pendiente menor a 50° .

-Terraza aluvial 4: Constituye la terraza de mayor antigüedad, presenta geometría y drenaje irregular. Actualmente, sobre esta unidad se asienta la parte central de la ciudad de San Clemente, ver Figura 12.



Figura 12: Terraza aluvial 4 sobre la cual se asienta la parte central de la zona urbana de San Clemente.

2.4.5. Llanura de inundación

Esta unidad geomorfológica presenta una pendiente $<5^\circ$, así como una geometría y drenaje irregular. Esta unidad abarca el 8.1 % del área de estudio y se encuentra ubicada en ambos márgenes del río Pisco, ver Figura 13.



Figura 13: Llanura de inundación comprendida entre el río Pisco y la línea amarilla.

2.4.6. Lecho fluvial

Esta unidad geomorfológica presenta una pendiente $<5^\circ$, así como una geometría y drenaje irregular. Esta unidad abarca el 2.2 % del área de estudio y se encuentra ubicada a lo largo del cauce del río Pisco, cuyas aguas se movilizan de este a oeste, ver Figura 14.



Figura 14: Lecho fluvial del río Pisco ubicado en el extremo sur de la ciudad de San Clemente.

3. GEOLOGÍA

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

El intemperismo asociado a los procesos de meteorización, es básicamente un proceso químico, el agua actúa como disolvente, la remoción de los elementos más pequeños del cuerpo de roca dejan espacios por donde el agua sigue penetrando y acelerando el proceso de desintegración. La roca se vuelve porosa, después, se descompone en fragmentos cada vez más pequeños, hasta que, al ser transportada y depositada se convierte en suelo. Los procesos químicos son complejos y dependen de los diversos minerales que constituyen las rocas lo que determina también su dureza y fragilidad. Por ejemplo: la sílice (SiO_2) en forma de cuarzo es estable en climas templados, pero en climas ecuatoriales, las altas temperaturas y las precipitaciones pluviales contribuyen a su descomposición; es por ello que, es importante conocer los tipos de rocas y sus características físicas (Harvey, 1987). Estos procesos de meteorización, modelan tanto la roca como del suelo, dando como resultado las geoformas que componen el relieve, los factores condicionantes como la litología, pendiente, hidrología, etc; así como, los detonantes: sismos y precipitaciones pluviales ocasionan movimientos en masa (deslizamientos, flujos, caída de rocas).

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

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

3.1. Geología regional

El marco geológico regional de una ciudad es importante para comprender los procesos y eventos geológicos que ocurrieron a gran escala.

Es así que, se recopiló la información geológica regional del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET, 2002) a escala 1:50,000. En ésta, se describen las unidades litológicas aflorantes cuyas edades se encuentran desde el Neógeno (Mioceno) hasta el Cuaternario Reciente.

3.1.1. Geología histórica

Según Fernández Dávila, 1993, hace 541 millones de años, en la zona de estudio las grandes masas de rocas estuvieron expuestas a altas temperaturas y presión ligada a una deformación a gran escala (metamorfismo regional), lo que originó rocas tales como pizarras, esquistos, gneis, etc.

La Formación Chocolate, del Jurásico Inferior (201 Ma) fue depositada en un medio acuoso, siendo posible, que su ambiente haya sido continental, para luego sumergirse en un mar de aguas someras, depositándose sedimentos finos originando calizas intercaladas con volcánicos.

Durante el Jurásico Medio (168 Ma) la depositación se caracterizó por una regresión, donde la sedimentación en aguas someras y tranquilas, iba teniendo más influencia continental.

Los sedimentos del Grupo Yura del Cretácico Inferior (145 Ma) siguen depositándose en ambientes playeros con un ciclo de regresión marina. La presencia de cuarcitas con estratificación cruzada, indica un medio de alta energía (acción de olas y corrientes).

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.

La actividad volcánica continuó hasta el Paleógeno (66 Ma), plegando y fallando toda la secuencia para luego ser afectada por el emplazamiento del Batolito Andino, esto inició un período de erosión interrumpido por fallamiento normal que hizo descender la zona occidental y dar lugar a partir del Paleógeno Medio (41 Ma) a la depositación de las formaciones Paracas y Pisco.

En el Paleógeno Medio (Mioceno 23 Ma) la cuenca de Pisco sufrió un mayor hundimiento en el lado norte, originando la depositación de diatomitas, por el contrario en el sur la sedimentación fue somera con materiales tufáceos (roca ígnea volcánica).

A finales del Paleógeno (3.6 Ma), la zona desde Pisco hasta Ica ya tenía características de una penillanura, la actividad volcánica fue extensa en el sur, centro y probablemente en el norte, lo que originó la acumulación de una secuencia conformada por tobas volcánicas.

Durante la fase final de la formación de la penillanura, 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

En los alrededores de la zona de estudio se han reconocido dos zonas estructurales, entre las cuales se tienen: la zona plegada y la zona de bloques. De las cuales resalta, la segunda (zona de fallas en bloques) que comprende la zona costera y abarca desde la Bahía de Paracas hasta la parte occidental del río Ica.

Zona de plegamientos: La deformación se encuentra asociada a esfuerzos de compresión que se manifiestan en los plegamientos existentes en la Cordillera Occidental e interrumpidos por cuerpos intrusivos que forman parte del Batolito de la Costa.

En la zona de estudio y alrededores de San Clemente no se han encontrado dichas estructuras por estar localizadas más al este.

Zona de fallas: Las fallas geológicas pueden afectar grandes extensiones de paquetes de rocas y materiales, cambiando la geomorfología de la superficie y originando plegamientos en las rocas. Un ejemplo son los pliegues causados sobre los afloramientos de la Fm. Pisco (diatomitas) debido a la presencia de la flexura de Pisco (PE-56).

Esta flexura se encuentra relacionada a micro - fallas inversas que indican que los esfuerzos son compresivos y afectan sedimentos finos (marinos y continentales) de la formación Pisco, de tal manera que producen fuertes buzamientos hacia el este (N80°E).

3.2. Geología local

Consistió en el reconocimiento y cartografiado de las unidades litológicas aflorantes en la ciudad de San Clemente a escala 1:15,000, que abarcó un área de 20 km² aproximadamente. A continuación, se describen éstas unidades (Tabla 6) y sus características son (Figura 15):

Tabla 6: Columna cronolitoestratigráfica de las unidades aflorantes en las inmediaciones de San Clemente.

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS	SÍMBOLO	LITOLOGÍA
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	DEPÓSITOS ALUVIALES 1	Qh-al1	GRAVAS REDONDEADAS Y SUB-REDONDEADAS INMERSAS EN MATRIZ ARENO-LIMOSA
			DEPÓSITOS ALUVIALES 2	Qh-al2	
			DEPÓSITOS ALUVIALES 3	Qh-al3	
			DEPÓSITOS ALUVIALES 4	Qh-al4	
		PLEISTOCENO	DEPÓSITOS FLUVIALES 1	Qh-fl1	GRAVAS REDONDEADAS Y ARENAS CON POCA O NULA
			DEPÓSITOS FLUVIALES 2	Qh-fl2	
	NEÓGENO	PLEISTOCENO	FORMACIÓN CAÑETE	Qpl-ca	CONGLOMERADOS COMPACTOS
		PLIOCENO	FORMACIÓN HUAMANÍ	Np-h	ARENISCAS ARCILLOSAS CON CONTENIDO DE GRAVAS
		MIOCENO	FORMACIÓN PISCO	Nm-pi	DIATOMITAS, LIMOARCILLITAS Y LUTITAS.

3.2.1. Formación Pisco (Nm-pi)

Se encuentra representada por diatomitas blancas con intercalaciones de limoarcillitas y lutitas diatomíticas. Se caracterizan por presentar estratos que buzcan hacia el oeste, debido a la flexura de Pisco y por poseer contenido de plasticidad elevado (alrededor del 33%).

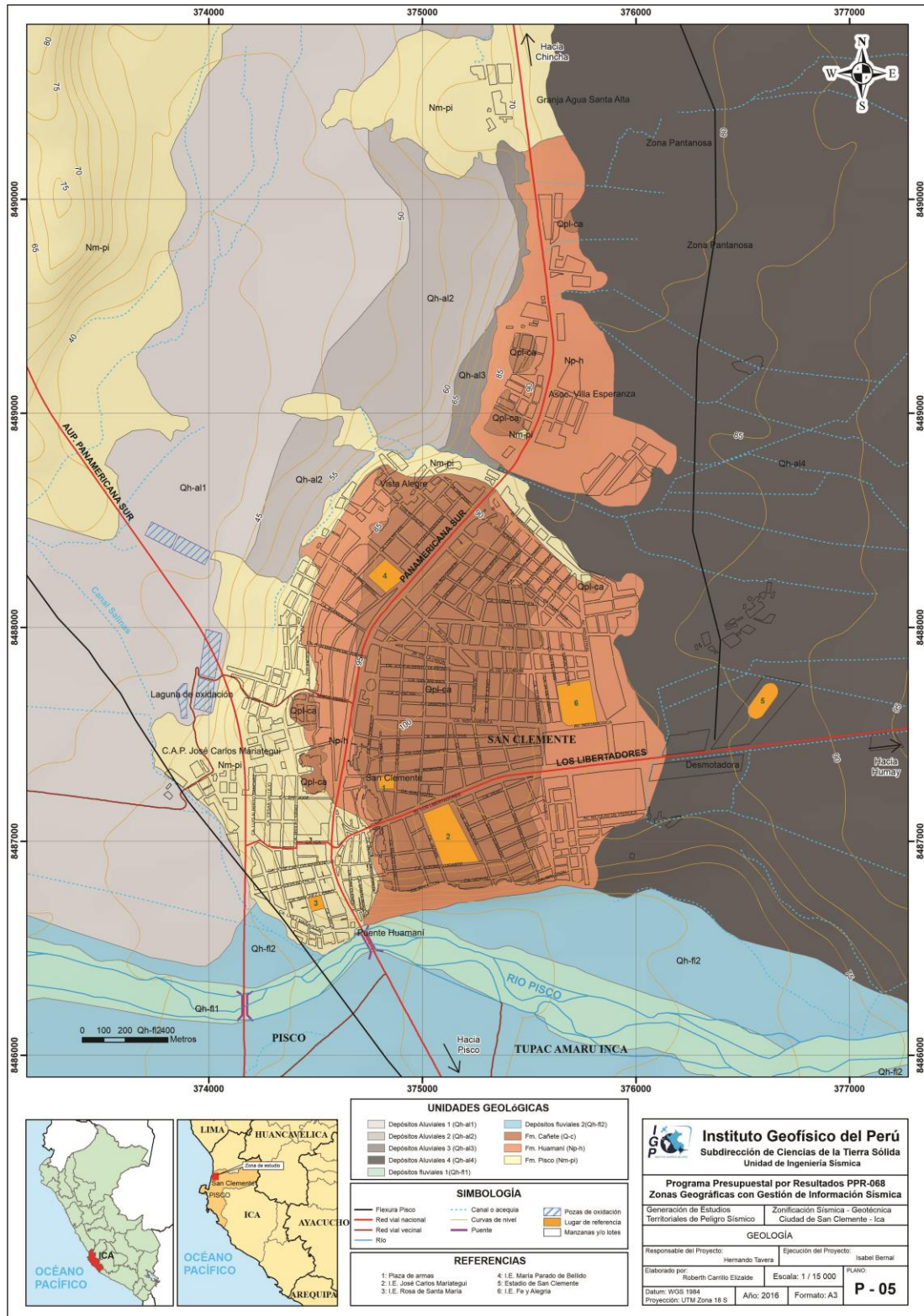


Figura 15: Mapa Geológico del área urbana de San Clemente y alrededores.

Esta unidad litológica yace en concordancia sobre la formación Paracas y aflora de forma discontinua en el área de San Clemente, específicamente en la parte occidental del área urbana, en el extremo noroeste y a 1.5 km al norte de plaza principal de dicha localidad (Figura 16 y 17).



Figura 16: Diatomita color blanco que se presenta en estratos de 20 cm de espesor. Aflora en la parte derecha del puente Huamaní, específicamente a 680 m al suroeste de la plaza principal.



Figura 17: Afloramientos de diatomita color blanco que se ubican a 2 km al noroeste de la plaza principal de San Clemente.

3.2.2. Formación Huamaní (Np-h)

Se encuentra representada por areniscas arcillosas de grano fino con contenido de gravas y restos de material calcáreo (sales y costras); además presenta estratos con espesores de 10 a 12 m de color amarillo y tonalidades rojizas.

Esta unidad litológica sobreyace en concordancia sobre la formación Pisco y aflora alrededor del área urbana de San Clemente, en los acantilados ubicados al extremo sur de la ciudad y finalmente, en su extremo norte (Figura 18).



Figura 18: Areniscas arcillosas con contenido de gravas. Aflora en los acantilados que se ubican en la parte derecha del puente Huamaní, específicamente a 680 m al suroeste de la plaza principal.

3.2.3. Formación Cañete (Qpl-ca)

Se encuentra representada por conglomerados heterogéneos (gravas de diversos tamaños de diámetro) muy compactos y de forma sub-angulosa a angulosa y matriz areno - limosa.

Esta unidad litológica sobreyace en discordancia erosional sobre la Formación Huamaní y en algunos casos directamente a la Formación Pisco. Aflora en las inmediaciones de la zona urbana, conformando lomas y colinas ubicadas hacia el extremo norte y la parte occidental de San Clemente, ver Figura 19.

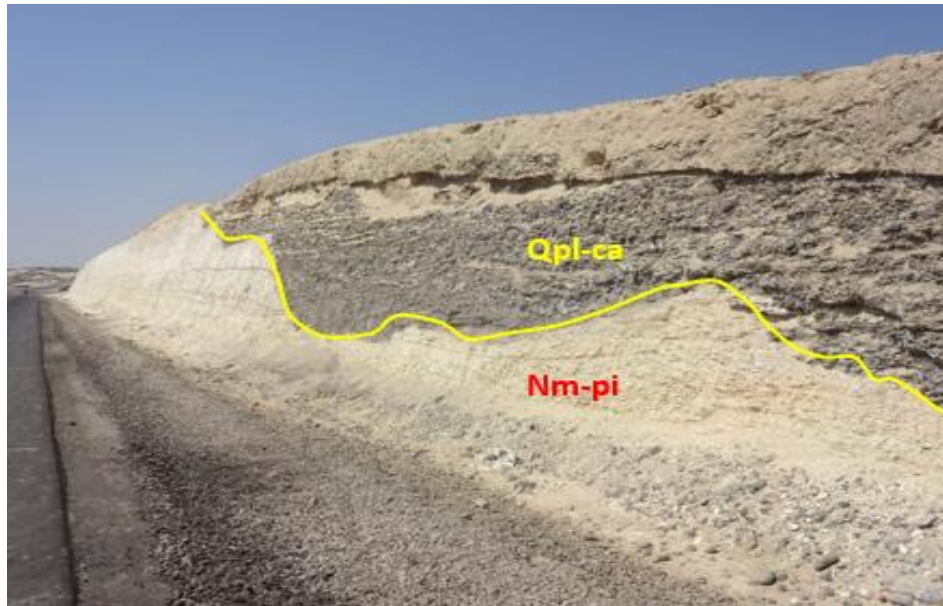


Figura 19: Conglomerados que sobreyacen la formación Pisco. Se ubican en el extremo norte de San Clemente, específicamente a 1.7 km de la plaza principal.

3.2.4. Depósitos Cuaternarios

Suprayaciendo al substrato rocoso, está conformado por diatomitas que se encuentran en los depósitos Cuaternarios de edad Holocena, principalmente de origen fluvial y aluvial. Sus características son:

-Depósitos aluviales: Materiales resultantes de los procesos de erosión vinculados a los cauces de las quebradas, que son transportados aguas abajo y depositados en zonas de menor pendiente (terrazas). Está constituida por gravas heterogéneas conformadas por clastos redondeados y sub-redondeados que se encuentran envueltos en matriz arenosa y/o limosa. En San Clemente se han identificado cuatro depósitos aluviales (Qh-al1, Qh-al2, Qh-al3 y Qh-al4), que se diferencian por el desnivel topográfico existente entre ellas.

-Depósitos fluviales: Materiales resultantes de la meteorización y/o erosión, traslado y depositación de rocas preexistentes, transportados por una corriente fluvial permanente, encontrándose depositados en el cauce de los lechos de los ríos existentes en el área estudiada. Conformados por gravas redondeadas y arenas de grano medio a grueso, no presentan plasticidad y se encuentran a lo largo del cauce del río Pisco, ver Figura 20.



Figura 20: Conglomerados que sobreyacen la formación Pisco. Se ubican en el extremo norte de San Clemente.

4. GEODINÁMICA

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

En general, 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 que contribuyen a la ocurrencia de eventos geodinámicos.

4.1. Procesos de geodinámica interna

Son transformaciones de la estructura interna de la Tierra en relación con los agentes (magmáticos, sísmicos y tectónicos). El territorio peruano está sometido a una constante actividad sísmica, debido a la subducción de la Placa de Nazca debajo de 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). Estos procesos aprovechan la fuerza de la gravedad, es decir las rocas descienden algunos metros debido a desplazamientos masivos de terreno o son transportadas por medio de las corrientes fluviales hasta depositarse. En general, estos procesos, transportan materiales desde la parte alta de la cuenca hacia la parte baja de ésta.

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

como el evento “El Niño”) y antrópicos (urbanismo, uso del suelo y construcción de vías de comunicación).

Como se indicó anteriormente existen dos procesos descritos a continuación:

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 varios 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, esto trae como consecuencia que se formen relieves por desgaste (degradación) y por depósito (agradación).

La acción por separado o en conjunto de los factores que dan origen a los procesos externos, favorecen a la ocurrencia de los eventos geodinámicos (Figura 21), los cuales se dividen según su origen en: fluvio-aluvial e hidro-gravitacional, descritos a continuación.

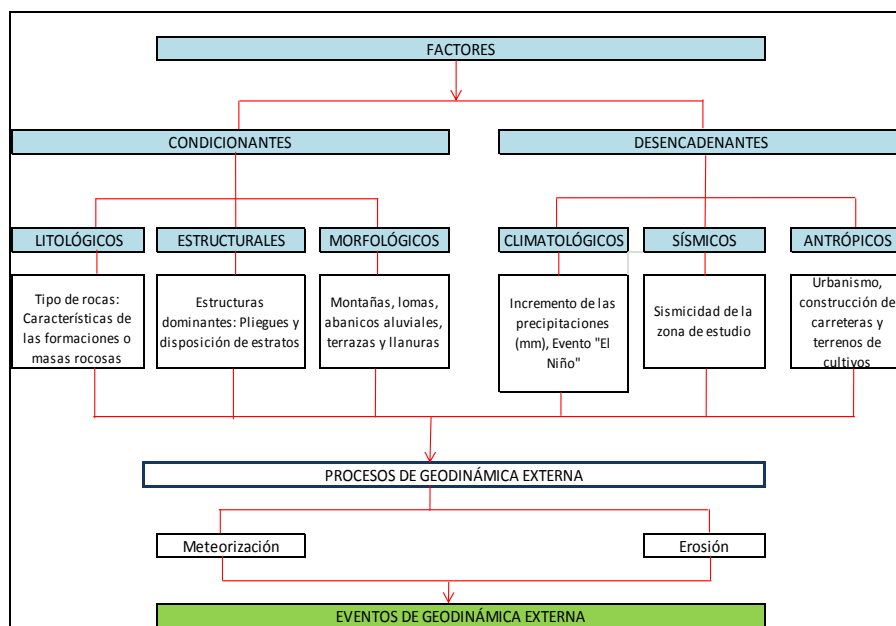


Figura 21: Factores asociados a procesos de geodinámica externa que contribuyen a la ocurrencia de eventos geodinámicos.

c) **Fluvio-aluvial:** Los procesos de erosión (carcaveo, incisión y desgaste laminar), son originados por las precipitaciones que se presentan en la cuenca fluvial, la cual genera la escorrentía superficial, esto provoca el arrastre progresivamente de los materiales a posiciones de menor energía potencial (menor pendiente). La carga de sedimentos transportados por la quebrada o río incrementen la acción erosiva y son capaces de producir remoción de los materiales (Brusi, 2013), como: Flujos de detritos e inundación.

Los eventos geodinámicos originados por procesos pluviales y que podrían afectar a la zona de estudio, son descritos a continuación:

- 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 depositan sus materiales en forma de conos de deyección (Figura 22).

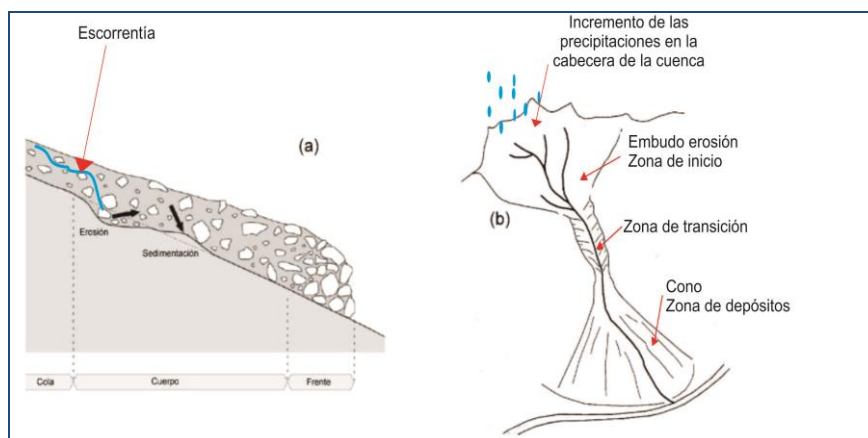


Figura 22: a) Proceso de erosión por las aguas de escorrentía y acumulación de material. b) Vista frontal de la cuenca y desarrollo del evento en cabecera de la cuenca por incremento de las precipitaciones, zona de transición (zona de almacenamiento de material y la depositación del material), modificado del GITS (Grupo de investigación de transportes de sedimentos).

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

incremento brusco del volumen de agua, denominado crecida. (Adaptado de CENEPRED, 2013).

Las inundaciones pueden ser consecuencia de varios factores naturales y humanos (Tarbuck, 2005). Cuando las lluvias superan el promedio normal de precipitación (mayor al 50%) de una zona se le denominan lluvias extraordinarias o tormenta extrema. Estas al desarrollarse generan crecidas causando inundaciones de las áreas circundantes al río, esta anomalía es conocida como un evento hidrometeorológico, ver Figura 23.

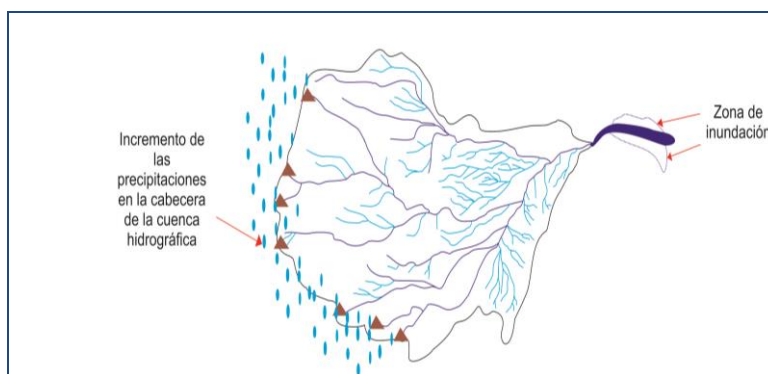


Figura 23: Inundación por incremento de las precipitaciones en la cabecera de la cuenca hidrográfica.

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

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

- **Caída o desprendimiento:** Es el resultado del debilitamiento de las masas de rocas, o varios bloques de clastos o suelo (GEMMA, 2007), debido a la

fragmentación y a la ausencia de soporte lateral, sin que a lo largo de esta superficie ocurra desplazamientos cortantes apreciables, produciendo un deterioro en la estructura del talud por la acción de la meteorización. Dependiendo del material desprendido se habla de una caída de roca, o una caída de suelo, ver Figura 24.

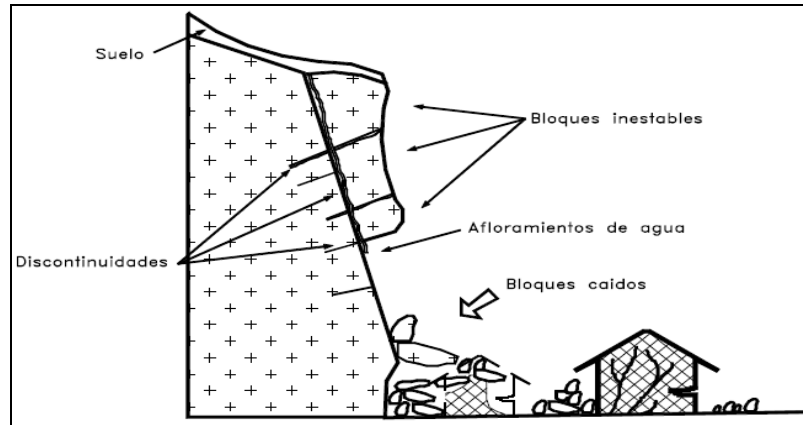


Figura 24: Proceso de caída de suelo y rocas (Suárez, 1998).

- **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, ver Figura 25.

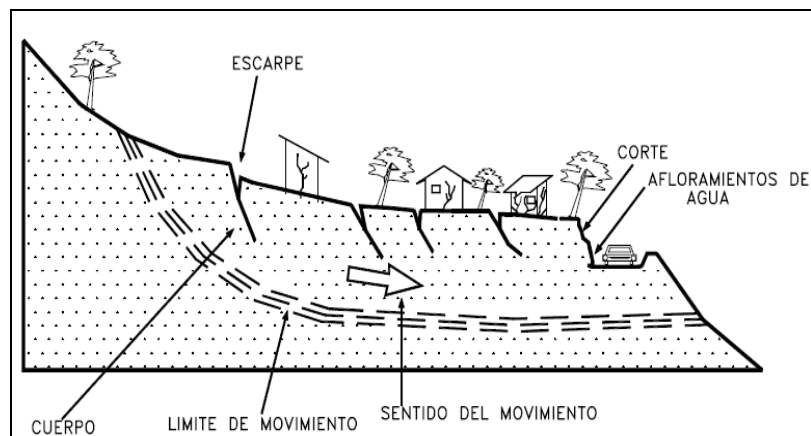


Figura 25: Proceso de caída de suelo y rocas (Suárez, 1998).

Se pueden clasificar en:

C. 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.

En el área urbana de San Clemente se han reconocido 2 tipos de eventos geodinámicas (Figura 26) y según los procesos y factores que intervienen, se han clasificado de la siguiente manera:

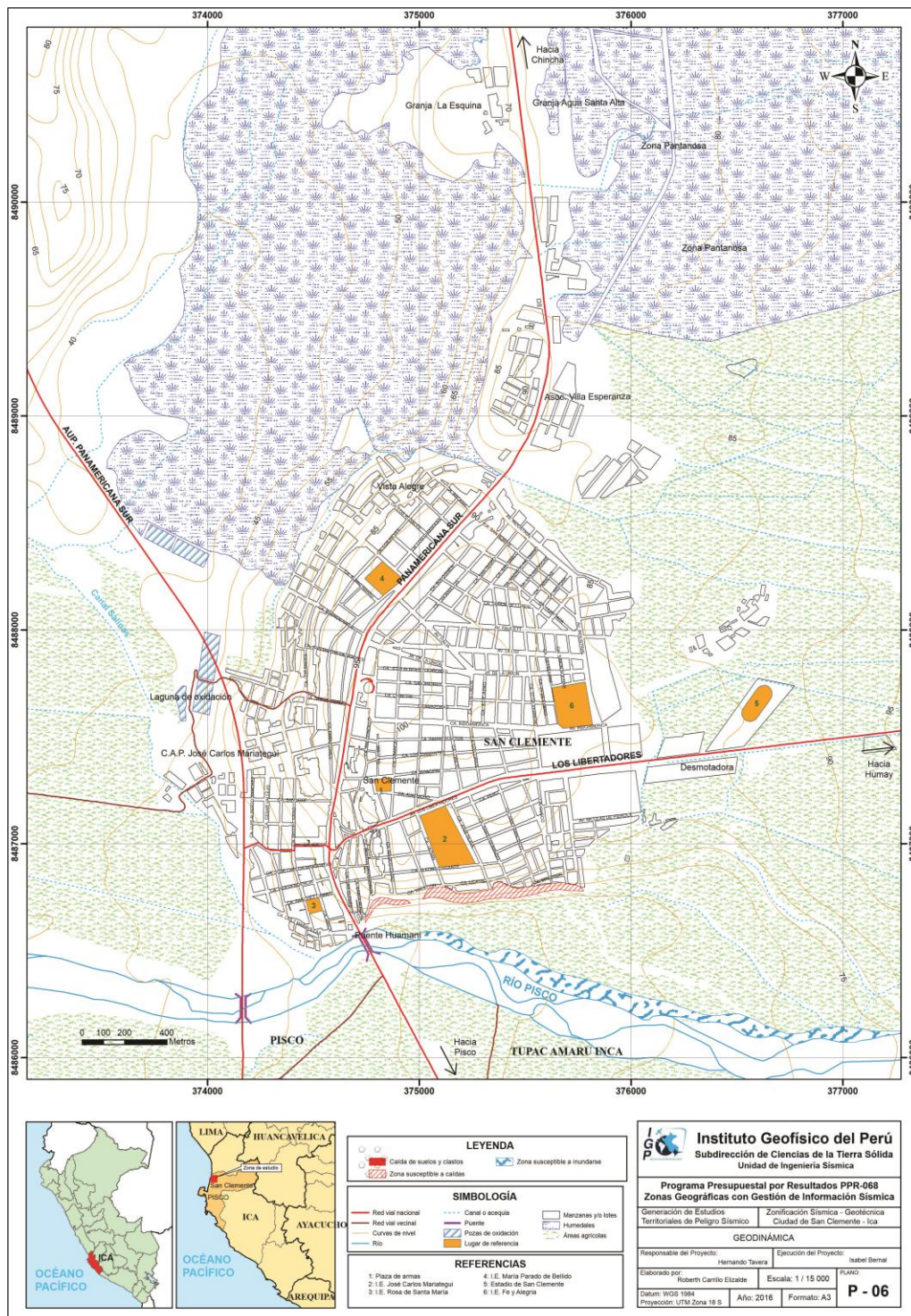


Figura 26: Mapa geodinámico del área urbana de San Clemente y alrededores.

4.2.1 Caída o desprendimiento

En este tipo de eventos, los clastos o gravas de la formación Huamaní y Cañete son afectados por los distintos procesos de erosión y meteorización, ya sean de origen natural o antrópico (corte de taludes), ocasionando sus desprendimientos.

Este tipo de eventos fueron reconocidos en el coliseo deportivo del sector 4 y $\frac{1}{2}$, así como en los acantilados que se ubican en el extremo sur de San Clemente, (Figuras 27, 28, 29 y 30).



Figura 27: Coliseo deportivo del sector 4 y $\frac{1}{2}$ ubicado a 470 m al norte de la plaza principal de San Clemente, se encuentra en una depresión de aproximadamente 10 m de profundidad. Se aprecia en la parte norte y oriental los conglomerados de la Formación Cañete con desprendimientos del suelo y clastos redondeados.



Figura 28: Materiales granulares que se desprenden hacia las gradas del coliseo.



Figura 29: Desprendimiento de suelo y clastos a lo largo del acantilado que se ubica en el extremo sur del área urbana de San Clemente, debido a factores antrópicos (corte de talud para extraer agregados).



Figura 30: Desprendimiento de suelo y clastos a lo largo del acantilado que se ubica en el extremo sur del área urbana de San Clemente, debido a factores antrópicos (corte de talud para extraer agregados).

4.2.2 Inundaciones

Ante la ocurrencia de precipitaciones pluviales durante los periodos lluviosos en la parte superior de la cuenca del río Pisco, se incrementa el caudal del mismo ocasionando desbordes e inundaciones en las zonas aledañas (150 m en el margen derecho).

En general, entre las áreas afectadas por este evento, de acuerdo a versión de los pobladores, se tienen zonas agrícolas como es el caso de los sectores Los Tigres, Patrulla, Lancha y Habad; todos ellos ubicados en el extremo sur de San Clemente, ver Figura 31.



Figura 31: Zona inundable (línea amarilla) ante el desborde del cauce del río Pisco. Entre los sectores afectados se tienen los sectores El Tigre, Patrulla, Lancha y Habad.

4.3. Zonas Susceptibles a procesos geodinámicos externos

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), depende de los factores: 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 la descripción contextual del evento geodinámico ocurrido en zonas adyacentes (antecedentes).

- a) **Zonas susceptibles a desprendimientos:** Ante la ocurrencia de un evento sísmico, en el sector 4 y $\frac{1}{2}$, así como en los acantilados ubicados en la parte sur de San Clemente, se han identificado materiales inestables que podrían ocasionar el desprendimiento de suelos y gravas, (ver Figura 32).



Figura 32: Zona susceptible a desprendimientos de suelos y clastos de gravas (línea roja) ante la ocurrencia de sismos.

Se ha estimado que, estos sectores susceptibles a la ocurrencia de desprendimientos, abarcan un área de 3.7 ha.

- b) **Zonas susceptibles ante inundaciones:** Corresponden a las zonas adyacentes al río Pisco, entre las cuales se tiene los sectores El Tigre, entre otros. Se ha estimado que las zonas susceptibles a ser inundadas afectarían a áreas agrícolas que comprenden 14 ha, ver Figuras 33 y 34.

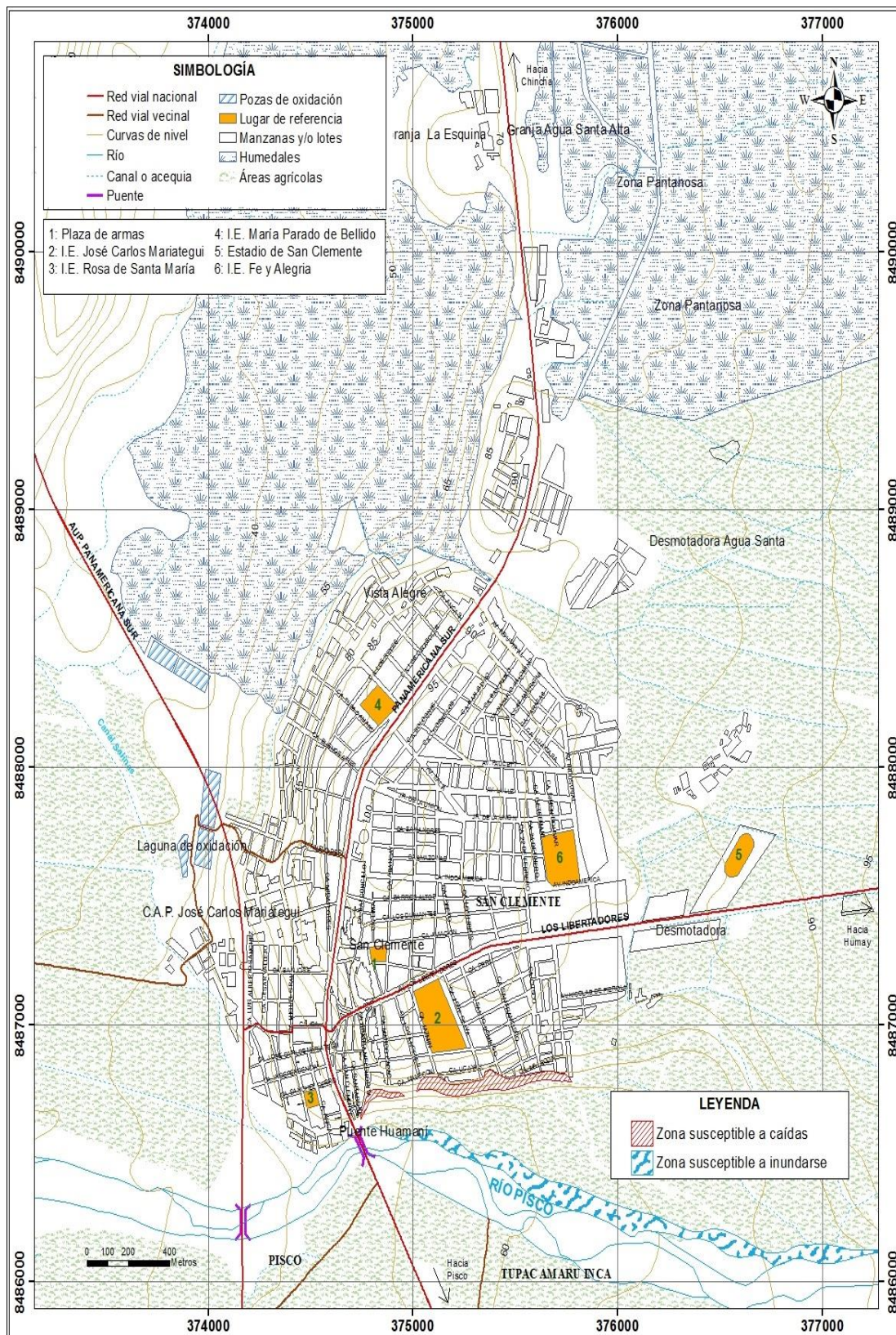


Figura 33: Zonas susceptibles a eventos geodinámicos.



Figura 34: Zonas agrícolas susceptibles a inundación (polígono amarillo) ante el desborde del río Pisco.

5.- ASPECTOS GEOTÉCNICOS

Los suelos son materiales inconsolidados conformados por minerales, materia orgánica, agua y aire entre sus poros, que se generan a partir de la alteración de la roca madre por agentes atmosféricos, erosionándola y formando una cobertura de variado espesor de sedimentos, que posteriormente han sido transportados y redepositados en las partes bajas de las cuencas hidrográficas, sobre los cuales se asientan las áreas urbanas. En geotecnia para clasificar los tipos de suelos se hace uso del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) para determinar las características granulométricas y los límites plásticos, mientras que, la capacidad de carga admisible de los materiales (arcillas, limos, arenas, gravas y clastos) se encuentra condicionada a las características litológicas de las rocas pre-existentes y la dinámica con que fueron depositados. En el diagrama líneas abajo se indica el origen de los suelos (Figura 35).

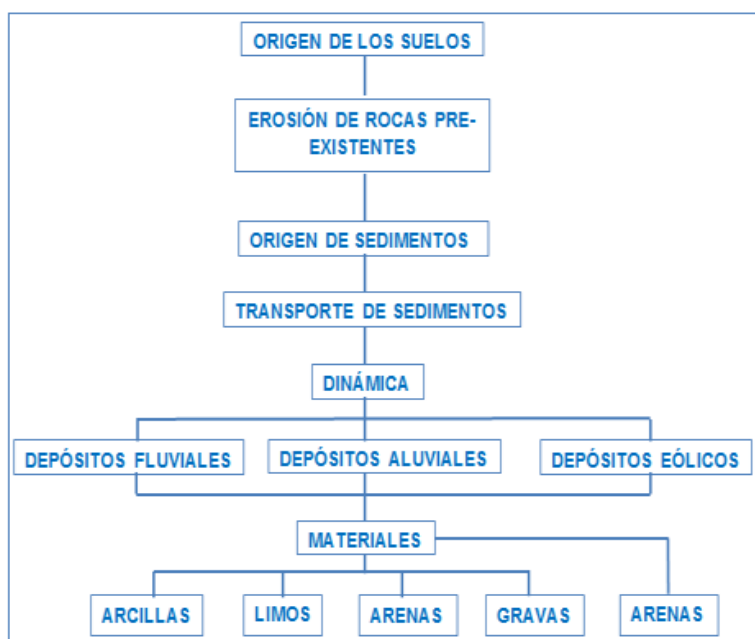


Figura 35: Diagrama del origen de los suelos.

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, ver Figura 35. En el área urbana de San Clemente, se realizó un estudio geotécnico que consistió en

la elaboración de calicatas, densidad de campo, posteos y ensayos de penetración dinámica ligera (DPL), ver Figura 36.

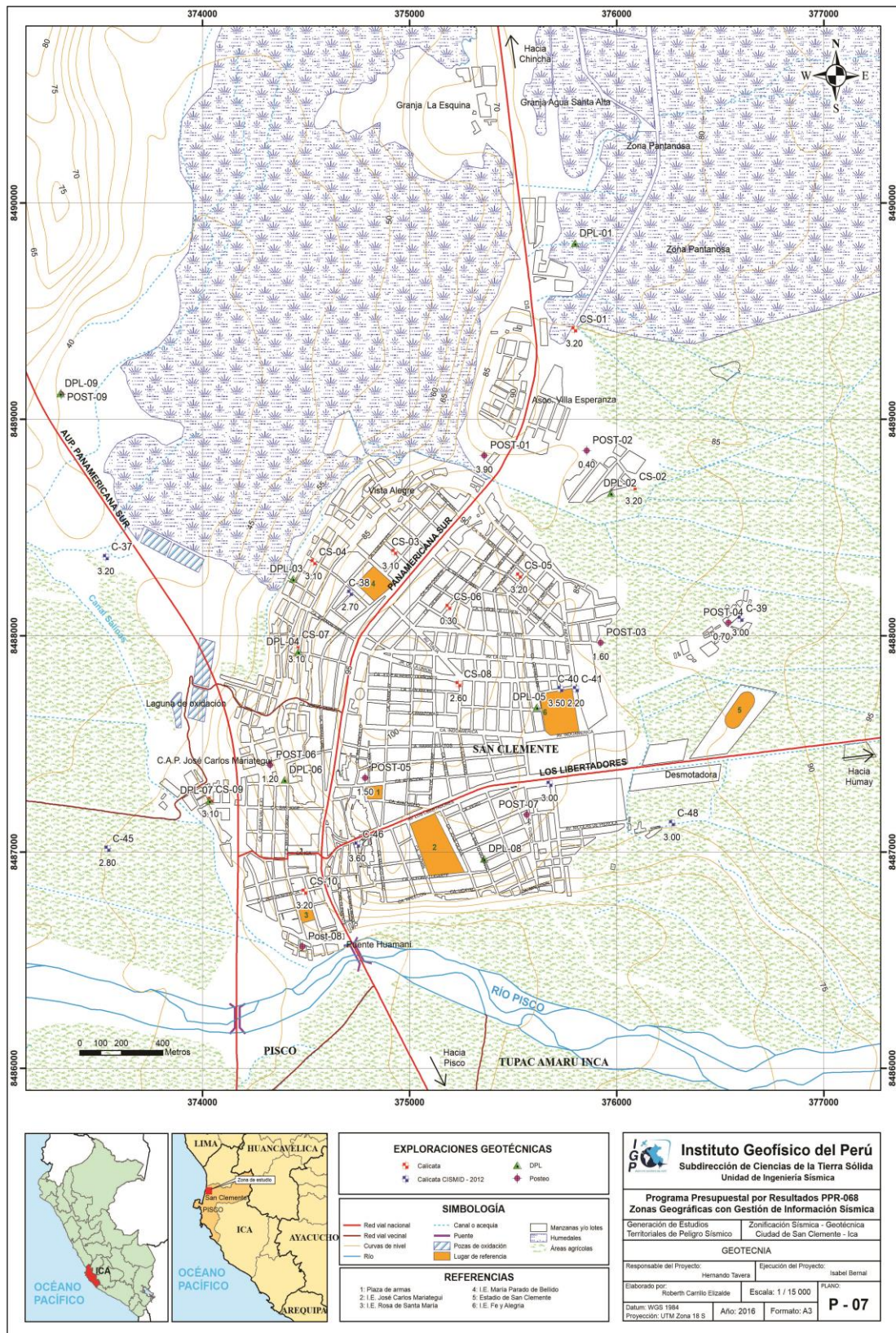


Figura 36: Mapa de ensayos Geotécnicos de la ciudad de San Clemente.

Las muestras recopiladas fueron enviadas al laboratorio de suelos a fin de realizar los ensayos de mecánica de suelos como: granulometría, plasticidad, corte directo y el cálculo de la capacidad de carga admisible. A continuación, se detallan dichos procedimientos:

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 m), se pretende 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.

5.1.1. Procedimiento

El procedimiento de campo incluyó las siguientes actividades:

Reconocimiento de la zona de estudio: Las exploraciones se realizaron de tal manera, que se distribuyan de forma geométrica uniforme en San Clemente, y para ello se consideró las características del terreno, accesibilidad y lugares apropiados donde ubicarlas.

Excavaciones: Estas tuvieron las siguientes dimensiones: 1.5 x 1.5 m. y aproximadamente 3 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.

5.1.2. Descripción de calicatas

Una vez terminada la excavación de la calicata, se procedió a describir el perfil estratigráfico del subsuelo y las fichas elaboradas se adjuntan en los Anexos. Las coordenadas de los puntos donde se realizaron las excavaciones se presenta en la Tabla 7.

Tabla 7: Ubicación de calicatas. (N.P. = No presenta nivel freático)

CALICATA	UTM ESTE (m)	UTM NORTE (m)	ELEVACIÓN (m.s.n.m)	PROFUNDIDAD (m)	NIVEL FREÁTICO A (m)
CS - 01	375795	8489415	73	3.20	2.70
CS - 02	376082	8488687	90	3.20	2.50
CS - 03	374927	8488386	104	3.10	3.10
CS - 04	374537	8488339	92	3.10	N.P.
CS - 05	375529	8488277	97	3.20	N.P.
CS - 06	375188	8488132	96	0.30	N.P.
CS - 07	374455	8487956	91	3.10	N.P.
CS - 08	375237	8487775	107	2.60	N.P.
CS - 09	374038	8487241	36	3.10	N.P.
CS - 10	374493	8486817	77	3.20	N.P.

En general, la profundidad de investigación promedio fue de 3 m, a excepción de las calicatas CS-06 y CS-08, debidas a que los suelos están compuestos por calichs), con lo cual la maquinaria presento inconvenientes para excavar en este tipo de suelos.

5.2. Densidad del suelo in-situ (Norma ASTM D1556)

Se define como la relación entre la masa del suelo (sólido y líquido) y el volumen total del suelo o la medida del estado de empaquetamiento del suelo. 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, para conocer la compactación y el contenido de humedad del suelo en condiciones naturales. Esta información es 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

5.2.1. Procedimiento

El procedimiento de campo incluyó las siguientes actividades:

- Excavación: Proceso de diseño de agujero (profundidad de 10 a 12 cm) haciendo uso de cinces y comba, se tiene como guía el diámetro de la placa metálica.
- Extracción de la muestra de suelo del agujero elaborado anteriormente y pesado del este material extraído.
- Posicionamiento de cono de arena pesado sobre la placa, se espera hasta que este deje de vaciar arena y se llene el agujero.

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

A continuación, en la Tabla 8 se presenta los resultados para las nueve calicatas a través del método del cono y las fichas de densidades se adjunta en los Anexos.

Tabla 8: Resultado de densidades in - situ.

CALICATA	MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	DENSIDAD HÚMEDA (gr/cm ³)	DENSIDAD SECA (gr/cm ³)
CS – 02	DC-CS - 02	1.00	1.47	0.87
CS - 04	DC-CS - 04	3.10	1.62	1.17
CS – 05	DC-CS - 05	3.20	1.56	1.22
CS – 07	DC-CS - 07	3.10	1.93	1.65
CS – 09	DC-CS - 09	3.20	1.29	0.23
CS - 10	DC-CS - 10	3.20	1.39	-0.03

En el Tabla 9, los suelos de San Clemente presentan rangos de densidad húmeda entre 1.29 – 1.93 gr/cm³, es decir, presentan baja densidad, debido a que están conformados por arcillas y limos inorgánicos; a excepción de la calicata 7 (CS-07) que está conformada por suelos granulares (arenas pobremente graduadas).

5.3. Exploraciones con posteadora (Norma ASTM D1452)

Se define como posteadora a un barreador manual en forma de "T" que permite realizar sondeos exploratorios (perforaciones) en suelos blandos (arcillas y arenas) hasta profundidades de 5 a 6 m. Las muestras extraídas se obtienen trituradas y

completamente alteradas; sin embargo, sirven para reconocer los tipos de suelos y el contenido de humedad que presentan.

La posteadora presenta restricciones en suelos con presencia de gravas y gravillas (las cucharas saca muestras se entrampan con este tipo de suelos).

5.3.1. Procedimiento

La posteadora penetra el subsuelo, desde la superficie, de tal manera que, se gira manualmente el equipo ejerciendo presión sobre el suelo. A medida que va incrementando la profundidad, se van conectando y añadiendo las varillas de 1 metro de extensión para la obtención de muestras con las cucharas acopladas en el extremo.

Estas exploraciones fueron distribuidas entre las calicatas, lugares donde no existía información geotécnica, a fin de obtener mejor caracterización de los suelos en San Clemente, y los resultados se muestran en la Tabla 9.

Tabla 9: Ubicación de Posteos y clasificación de suelos SUCS

POSTEOS	UTM ESTE (m)	UTM NORTE (m)	ELEVACIÓN (m.s.n.m)	PROFUN. (m)	TIPO DE SUELO (SUCS)	NIVEL FREÁTICO A (m)
POST - 01	375361	8488832	89	3.90	SC	2.20
POST- 02	375855	8488855	63	0.40	SM	N.P.
POST - 03	375922	8487967	98	1.60	SP	1.60
POST - 04	376540	8488060	77	0.70	SP	N.P.
POST- 05	374786	8487342	100	1.50	SP	N.P.
POST- 06	374327	8487402	78	1.20	SM	N.P.
POST - 07	375566	8487172	97	0.20	SM	N.P.
POST - 08	374483	8486562	72	0.30	SM	N.P.
POST - 09	373319	8489116	48	0.60	SM	N.P.

Las profundidades de este estudio varía de acuerdo al tipo de suelo, en las investigaciones superficiales se encontró materiales granulares como caliches y gravas; mientras que los de mayor profundidad corresponden a suelos finos con cohesión (SM, SC o SP con contenido de humedad).

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

Se realizan con 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), que permite estimar la resistencia del material (suelo) en kg/cm² al hincado del cono dinámico. La ventaja es que este equipo es muy práctico y se puede transportar fácilmente.

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

En general, este ensayo es aplicable en terrenos arenosos, arcillosos y limo-arenosos, no recomendables en gravas, fragmentos gruesos, conglomerados y terrenos rocosos.

5.4.1 Procedimiento

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 y posteos, a fin de obtener mayor información sobre la resistencia del suelo en el área estudiada.
- -Ensamble de equipo: Consiste en conectar los accesorios del equipo, considerando 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 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. Este procedimiento se

sigue hasta que el suelo ofrezca resistencia (no exceder los 45 golpes de acuerdo a norma técnica).

En la Tabla 10, se indica la ubicación de los 09 ensayos de penetración dinámica ligera (DPL) realizados en San Clemente. La profundidad total alcanzada y los datos obtenidos del ensayo (número de golpes y ángulo de fricción) fueron para una profundidad comprendida entre 0.90 y 1.20 m, debido a que en este nivel de profundidad se calculará los parámetros geotécnicos (ángulo de fricción y cohesión) y capacidad portante. Las fichas de los ensayos se adjuntan en los anexos del presente informe.

Tabla 10: Ubicación de ensayos de penetración dinámica ligera (DPL) y parámetros obtenidos. (ϕ = Ángulo de fricción interna).

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	375797	8489813	92	2.16	18 - 28	32.7
DPL-02	375971	8488658	92	4.00	3 - 4	27.2
DPL-03	374436	8488262	77	2.28	14 -19	32.0
DPL-04	374462	8487925	92	2.70	1 - 2	26.3
DPL-05	375613	8487669	99	1.07	22 - 35	33.9
DPL-06	374396	8487333	88	1.77	7	28.9
DPL-07	374032	8487237	--	4.00	3 - 4	27.2
DPL-08	375358	8486968	105	0.40	40	---
DPL-09	373313	8489119	--	0.77	30	---

En siete ensayos DPL (01, 02, 03, 04, 05, 06 y 07) se ha logrado alcanzar profundidades mayores a 1m y el resto, profundidades menores a 0.80 m, debido a la presencia de materiales granulares, conformados por gravas y arenas de grano grueso, con alta resistencia a la penetración.

5.5. Correlación entre el “NDPL” 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), se utilizó una fórmula empírica que relaciona los parámetros de los equipos DPL y SPT, tales como: peso del martillo, altura de caída del martillo, área de la punta cónica, el espesor de la hinca y los número de golpes obtenidos con el DPL. A continuación se detalla dichas relaciones.

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

Dónde:

N_1 = Número de golpes equivalente en SPT

N_2 = Número de golpes obtenidos en DPL

W_1 = Peso del martillo del DPL

W_2 = Peso del martillo SPT

H_1 = Altura de caída de DPL

H_2 = Altura de caída del SPT

A_1 = Área de la punta cónica del DPL

A_2 = Área de la punta cónica del SPT

e_1 = Espesor de la hinca del DPL

e_2 = Espesor de la hinca del SPT

Una vez calculado los valores de golpes con el SPT (N_{SPT}), se realizaron las 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.

5.6. Cálculo del ángulo de fricción interna a partir del NSPT

Para determinar el ángulo de fricción interna de los suelos de cimentación, existen varias fórmulas empíricas propuestas por diversos autores: Osaki (1959), Muromachi (1974), Peck (1974), Das (1995) y Katanaka - Uchida (1996). Para el caso de San Clemente, se empleó la relación experimental propuesta por Osaki (1959), debido a que, es la más usada internacionalmente y sus resultados son conservadores (Tabla 11).

De acuerdo a los datos de la Tabla 12, los suelos de San Clemente, en su mayoría son arcillosos y con contenido de limos (CL y ML), el valor de ángulo de fricción interna es menor a 33° para profundidades entre 1.00 y 1.20 m, por tanto, los suelos presentan compacidad media a suelta. Mientras que, entre 1.30 y 1.50 m; de

profundidad, el ángulo de fricción interna es menor a 35° y presentan compacidad relativa de muy suelta a media.

Tabla 11: Cálculo del ángulo de fricción interna, usando valores del NSPT.

ENSAYO	N _{SPT} CORREGIDO	ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA (ϕ'_{NSPT})	N _{SPT} CORREGIDO	ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA (ϕ'_{NSPT})
DPL-01	14.76	32.20	18.39	34.20
DPL 02	2.42	22.00	4.35	24.30
DPL -03	11.85	30.40	16.45	33.10
DPL -04	0.97	19.40	1.69	20.80
DPL -05	---	---	---	---
DPL -06	5.08	25.10	3.63	23.50
DPL -07	2.42	22.00	5.32	25.30
DPL -08	---	---	---	---
DPL -09	---	---	---	---
PROFUNDIDAD DEL ENSAYO	1.00 – 1.20 m		1.30 - 1.50 m	

Tabla 12: Compacidad relativa de los suelos en base al NSPT (J. Badillo & Rico, 1973).

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° - 36.80°	Compacta
15 - 30	6 - 12	Muy Compacta	53 - 60	42°.00 - 42.60°	Muy Compacta			
> 30	> 14	Dura						

Finalmente, se adjunta en los anexos del presente informe, las fichas resumen de cada uno de los ensayos realizados en campo y sus respectivos valores de ángulos de fricción interna (Figura 37).

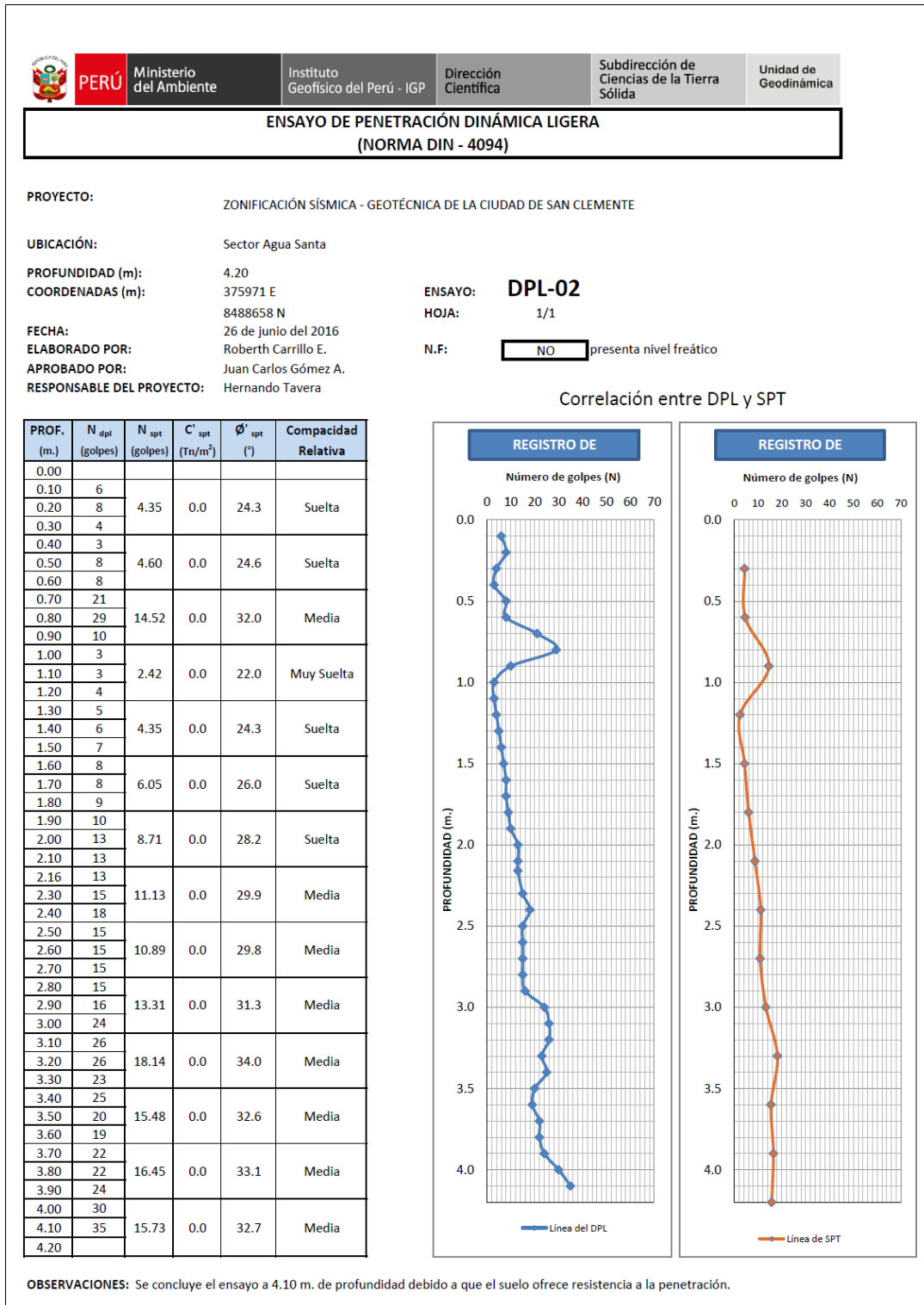


Figura 37: Diagrama de correlación entre el número de golpes del DPL y el número de golpes del SPT, y cálculo del ángulo de fricción interna corregido

5.7. Suelos clasificación SUCS

En base a la información geotécnica recopilada de las calicatas, posteos, DPL y la inspección visual del terreno en San Clemente, los resultados obtenidos de los ensayos granulométricos y de plasticidad, se ha identificado 08 tipos de suelos, los mismos que han sido agrupados haciendo uso del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) para una profundidad de 0.90 – 1.20 m, ver Tabla 13 y Figura 38.

- **Suelos tipo GC:** Constituidos por gravas arcillosas con poco contenido de material fino (15.24%), y contenido de humedad de 7.77 %. Constituyen suelos con grado de compactación media e índice plástico de 10.26. Los suelos que pertenecen a este tipo ocupan el 0.24 % del área de estudio y se han identificado en la calicata 05 (CS-01), que se ubica a 2.3 km al noreste de la plaza principal de San Clemente.
- **Suelo tipo SP:** Están conformados por arenas mal graduadas con material gravoso y contenido de humedad menor a 22.00%. Constituyen suelos con grado de compactación bajo a alto, y no presentan plasticidad (salvo la calicata CS-02, cuyo valor es menor al 2). Estos suelos representan el 27.62 % del área de estudio y se han identificado en las calicatas 05, 06, 07, 08 y 40 (CA-05, CA-06, CA-07, CA-08 y C-40), que se ubican en el área urbana central de San Clemente.
- **Suelo tipo SM:** Están conformados por arenas limosas, y contenido de humedad menor a 14.00%. Constituyen suelos con grado de compactación bajo a medio y no presentan plasticidad. Estos suelos representan el 1.75 % del área de estudio y se han identificado en las calicatas elaboradas por el CISMID (C-37, C-41, C-47) y en 2 posteos (POST-02 y POST-06), que se ubican en los extremos norte, este y oeste de San Clemente.
- **Suelo tipo SC:** Están conformados por arenas arcillosas de humedad media y constituyen suelos con grado de compactación bajo a medio con plasticidad media. Estos suelos representan el 1.49 % del área de estudio y se han identificado en el posteo 1 (POST-01), que se ubica a 1.6 km al noreste de la plaza principal de San Clemente.

Tabla 13: Diagrama de correlación entre el número de golpes del DPL y el número de golpes del SPT, y cálculo del ángulo de fricción interna corregido.

CALICATA	PROFUNDIDAD (m)	NIVEL FREÁTICO (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
CS - 01	3.20	2.70	57.30	27.50	15.24	33.72	23.46	10.26	7.77	GC	Grava arcillosa
CS - 02	3.00	N.P	0.40	15.10	84.40	42.80	28.60	14.20	36.40	GP	Grava pobremente graduada
CS - 03	3.10	3.10	37.40	53.50	9.16	N.P	N.P	N.P	8.37	SP	Arena mal graduada
CS - 04	3.10	N.P	1.80	11.20	87.07	38.68	31.58	7.10	28.19	OL	Limo orgánico
CS - 05	3.20	N.P	1.41	67.23	31.36	32.50	29.87	2.63	21.89	SM	Arena limosa
CS - 06	0.30	No se muestreo debido a que no se pudo profundizar									
CS - 07	3.10	N.P	6.00	73.50	20.49	N.P	N.P	N.P	14.81	SP	Arena mal graduada
CS - 08	2.60	N.P	36.60	51.00	12.45	N.P	N.P	N.P	0.69	SP	Arena mal graduada
CS - 09	3.10	N.P	0.00	15.90	84.12	101.32	68.08	33.24	81.87	OH	Limo orgánico
CS - 10	3.20	N.P	0.70	8.00	91.30	149.3	115.6	91.30	114.20	OH	Limo orgánico
C-37	3.20	2.80	0.00	25.30	74.70	34.00	21.00	13.00	33.10	CL	Arcilla inorgánica
C-38	2.70	2.70	0.00	36.70	63.30	30.00	17.00	13.00	25.10	CL	Arcilla inorgánica
C-39	3.00	N.P	0.00	17.10	82.90	46.00	27.00	19.00	30.90	CL	Arcilla inorgánica
C-41	2.20	N.P	1.90	85.50	15.60	N.P	N.P	N.P	3.20	SM	Arena limosa
C-46	3.60	3.60	0.00	45.20	54.80	25.00	22.00	3.00	22.90	ML	Limo inorgánico de baja plasticidad

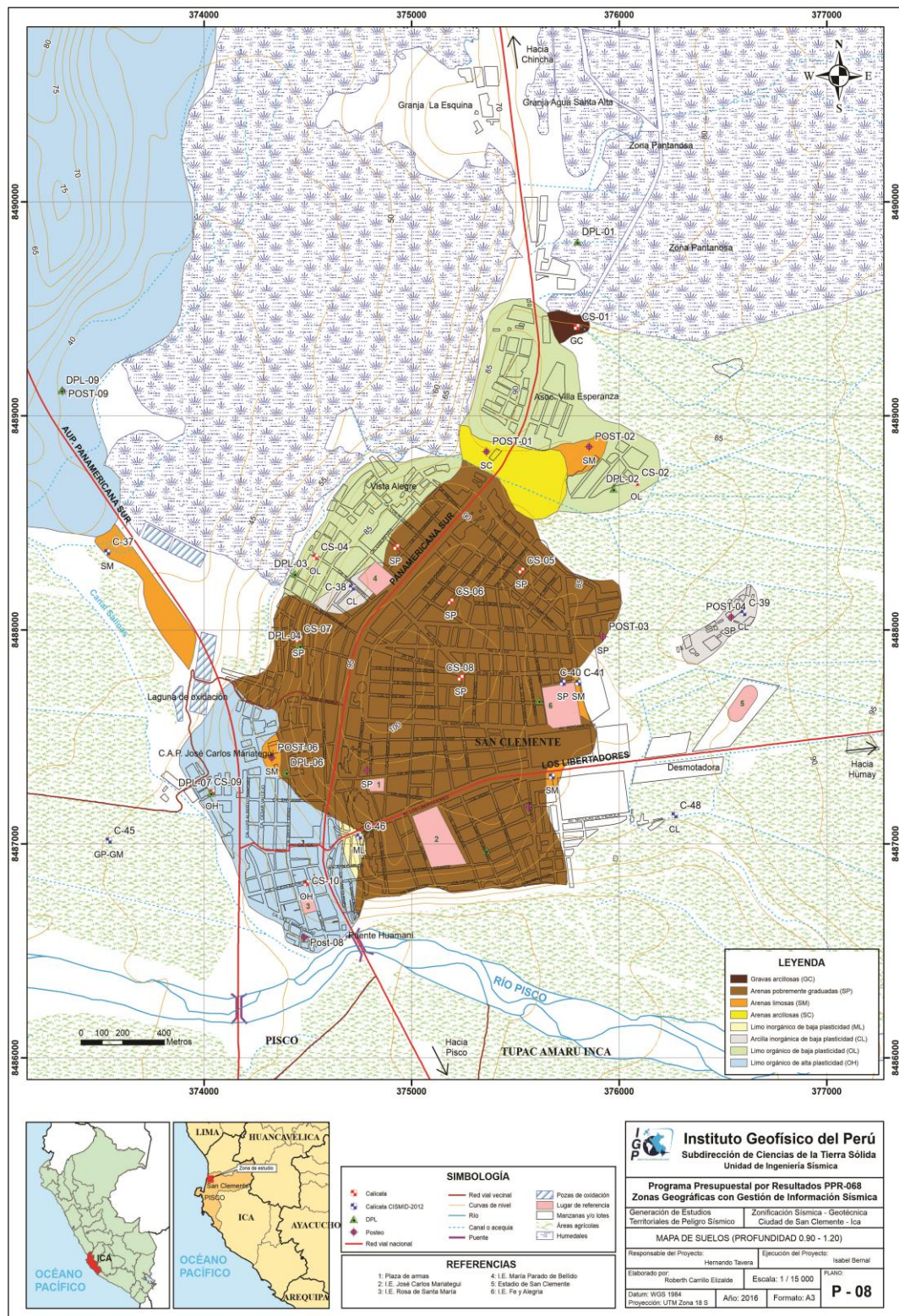


Figura 38: Mapa de tipos de Suelos de la ciudad de San Clemente y alrededores.

- **Suelos tipo ML:** Están conformados por limos inorgánicos y contenido de humedad de 22.90 %. Constituyen suelos con grado de compactación bajo, e índice plástico de 3. Cabe resaltar que, estos suelos representan el 0.25 % del área de estudio y se ha identificado en la calicata 46 elaborada por el CISMID (C-46), que se ubica a 263 m al suroeste de la plaza principal de San Clemente.
- **Suelos tipo CL:** Están conformados por arcillas inorgánicas, con contenido de humedad menor a 33.00%. Constituyen suelos con grado de compactación bajo, e índice plástico menor a 19 (plasticidad baja). Cabe resaltar que, estos suelos representan menos del 1.16 % del área de estudio y se han identificado en las calicatas 38 y 39 elaboradas por el CISMID (C-38 y C-39), que se ubican a 927 m al norte y 1.9 km al noroeste de la plaza principal de San Clemente, respectivamente.
- **Suelos tipo OL:** Están conformados por limos orgánicos, con contenido de humedad de 28.19 %. Constituyen suelos con grado de compactación bajo e índice plástico de 7.10 (plasticidad baja). Estos suelos representan 8.42 % del área de estudio y se han identificado en las calicatas 2 y 4 (CS-2 y CS-4), que se ubican a 1.1 km al noreste y 1.9 km al noreste (sector Vista Alegre) de la plaza principal de San Clemente, respectivamente.
- **Suelos tipo OH:** Están conformados por limos orgánicos con contenido de humedad comprendido entre 80 y 90 %. Constituyen suelos con grado de compactación bajo a medio y presentan índice plástico de 33 a 37 (plasticidad alta). Estos suelos representan el 59.00 % del área de estudio y se han identificado en las calicatas 9 y 10 (CS-9 y CS-10), que se ubican en la parte suroeste de la plaza principal de San Clemente (Inmediaciones de la I.E Rosa de Santa María).

5.8. Ensayos de corte directo (Norma, ASTM D-3080)

La finalidad de este ensayo es determinar la resistencia al esfuerzo 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.

En la Tabla 14 se presenta los resultados obtenidos para los ensayos de este corte directo.

Tabla 14: Valores obtenidos del ensayo de corte directo.

MUESTRA	Ángulo de fricción interna del suelo (ϕ)	Cohesión aparente del suelo (kg/cm^2)	Densidad natural (Tn/m^3)
CS-01	32.20	0.00	N.P
CS -02	22.44	0.07	1.62
CS -03	30.40	0.10	N.P
CS -04	30.40	0.00	1.62
CS -05	33.00	0.00	1.56
CS -06	32.10	0.00	N.P
CS -07	19.40	0.00	1.93
CS -08	32.00	0.00	N.P
CS -09	22.00	0.00	1.29
CS -10	25.04	0.05	1.29
C-38**	29.00	0.00	1.56
C-41**	27.00	0.00	1.63

De acuerdo a los resultados, la mayoría de los suelos no presentan cohesión y los valores del ángulo de fricción interna comprenden entre 22° y 33° aproximadamente, siendo estas características propios de suelos granulares (arenas y gravas) con contenido de limo y arcillas.

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

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

5.9.1. 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. 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 para determinar la capacidad de carga última, haciendo uso de las fórmulas de corte general (suelos granulares densos y cohesivos de consistencia dura a rígida) y local (suelos granulares sueltos y cohesivos de consistencia media a semidura) de Terzaghi (1943), ver Tabla 11.

Fórmula para falla por corte general:

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

Donde:

C: cohesión

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

N_c, N_q, N_γ : Factores de carga

Luego, en base a los resultado de la carga última (q_u) se calculó la capacidad de carga 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 15 y 16.

Tabla 15: Capacidad de carga admisible de nueve (9) muestras de suelo extraídas en la ciudad de San Clemente y dos (2) del CISMID

MUESTRA	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)
CS-01	4.25	1.42	11.93	3.98
CS-02	1.80	0.60	4.35	1.65
CS-03	2.00	0.67	2.79	0.93
CS-04	4.57	1.52	8.22	2.74
CS-05	12.12	4.03	16.04	5.35
CS-07	1.97	0.66	2.75	0.92
CS-08	7.97	2.66	10.68	3.56
CS-09	1.69	0.56	3.12	1.04
CS-10	1.62	0.54	4.38	1.46
C-38**	5.42	1.81	7.35	2.45
C-41**	4.19	1.40	5.72	1.91
DIMENSIONES DE CIMENTACIÓN	Profundidad: 1.00 m y ancho:1.00		Profundidad: 1.50 m y ancho:1.00	

Tabla 16: Capacidad de carga admisible (criterio de falla general) en base a los ensayos de DPL en la ciudad de San Clemente.

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 – 01	6.35	2.12	11.17	3.72
DPL – 02	3.32	1.11	4.82	1.61
DPL – 03	9.19	3.06	16.06	5.35
DPL – 04	1.67	0.56	2.75	0.92
DPL – 06	3.30	1.10	3.76	1.25
DPL – 07	1.51	0.50	3.12	1.04
DIMENSIONES DE CIMENTACIÓN	Profundidad: 1.00 m y ancho:1.00		Profundidad: 1.50 m y ancho:1.00	

De acuerdo a los resultados obtenidos anteriormente y tomando en cuenta los valores de la Tabla 17, se ha determinado que, la zona urbana de la ciudad de San Clemente, en su mayoría ha sido construida con cimentaciones de 1.00 m de profundidad. Ante ello, se ha clasificado los suelos con la siguiente capacidad de carga admisible (Figura 29):

Tabla 17: Rangos de Capacidad admisible.

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

5.9.2. Capacidad de carga admisible muy baja

Comprende rangos de capacidad de carga admisible menores a 1.00 kg/cm², correspondiendo al tipo de suelo limo orgánico (OH) e inorgánico (OL) pertenecientes a la Formación Pisco, cuyo grado de compactación es bajo. Abarca menos del 8.46% del área de estudio y se encuentra en la parte occidental del área urbana, específicamente a 400 m al oeste de la plaza principal de San Clemente.

5.9.3. Capacidad de carga admisible baja

Comprende rangos de capacidad de carga admisible entre 1.00 - 2.00 kg/cm², corresponde al tipo de suelo limo inorgánico (OL), arena limosa (SM) y arena arcillosa (SC), cuyo grado de compactación es bajo. Abarca el 64.65% del área de estudio y se encuentra a 1 km al norte de la plaza principal de San Clemente (sector Vista Alegre).

5.9.4. Capacidad de carga admisible media

Comprende rangos de capacidad de carga admisible entre 2.00 - 3.00 kg/cm², y corresponde al tipo de suelo arena mal graduada (SP), cuyo grado de compactación es de bajo a medio. Abarca el 17.16% del área de estudio y se encuentra cubriendo la parte central del área urbana de San Clemente.

5.9.5. Capacidad de carga admisible alta

Comprende rangos de capacidad de carga admisible mayores a 3.00 kg/cm², y se encuentran representados por arenas mal graduadas (SP) con contenido de gravas. Abarca el 9.73 % del área de estudio y se encuentra a 625 m al norte de la plaza principal.

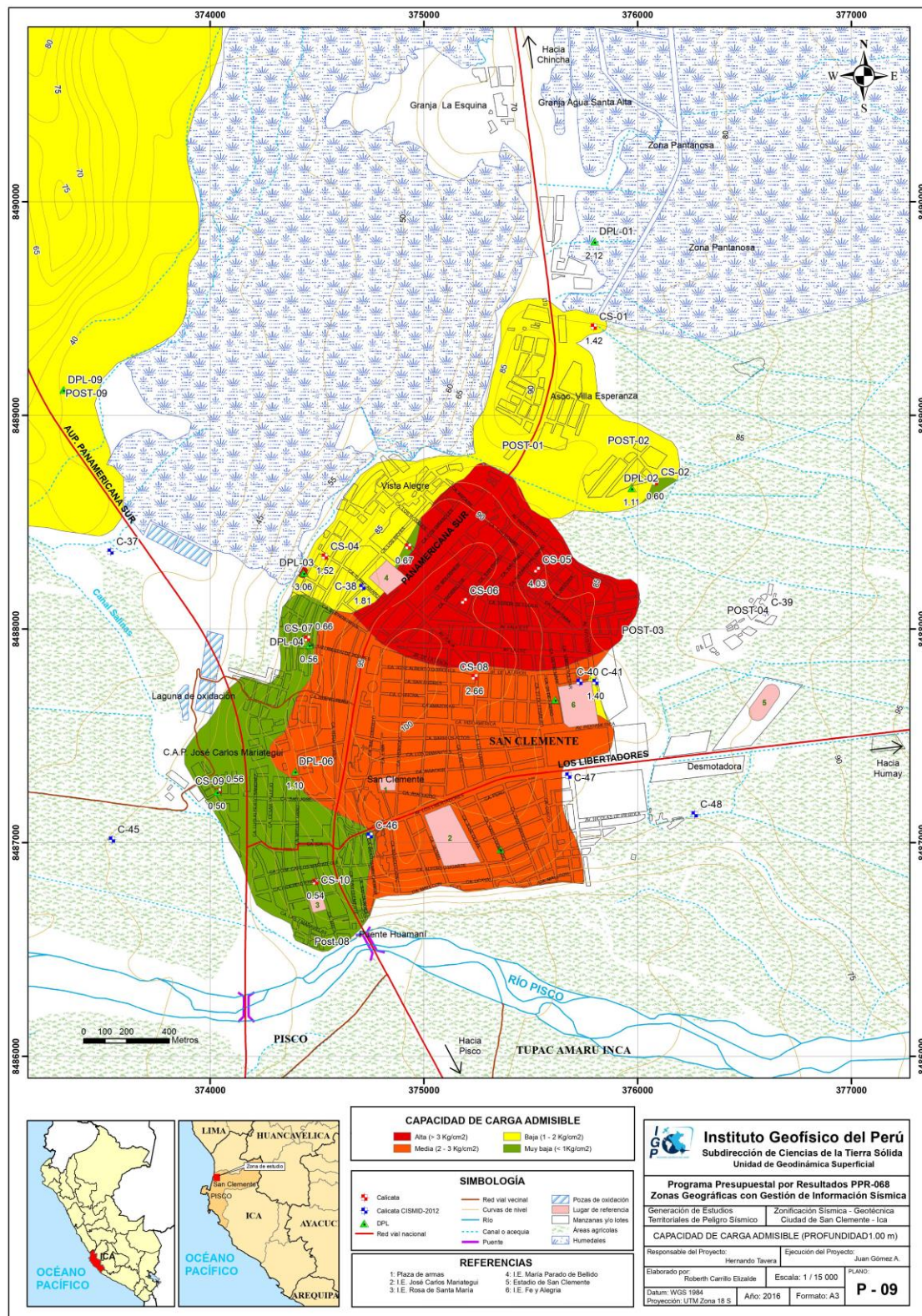


Figura 39: Mapa de capacidad portante de suelos de la ciudad de San Clemente y alrededores.

**CARACTERIZACIÓN SÍSMICA Y GEOFÍSICA
PARA EL ÁREA URBANA DE SAN CLEMENTE**

CONTENIDO

1.METODOLOGÍA

- 1.1.Razones Espectrales (H/V)
- 1.2.Multicanal de ondas Superficiales (MASW)
- 1.3.Tomografía de Resistividad Eléctrica (ERT)

2. ADQUISICIÓN DE DATOS

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

3.ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN SISMICA Y GEOFISICA

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

4. ZONIFICACIÓN SÍSMICA-GEOTECNICA

- 4.1. Mapa de Zonificación Sísmica-Geotecnica

CONCLUSIONES

1. METODOLOGÍA

El estudio de Zonificación Sísmica - Geotécnica para el área urbana de San Clemente se ha realizado con información recolectada en campo y con la aplicación de las metodologías que a continuación se describen:

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, obtener el cociente de los espectros de Fourier de las componentes horizontales entre la vertical (Nakamura, 1989), a fin de identificar las frecuencias predominantes y amplificaciones máximas relativas que caracterizan al tipo de suelo presente en el área de estudio. Estas características son definidas por las condiciones geológicas y geomorfológicas de las primeras decenas de metros del suelo 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.

- 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).

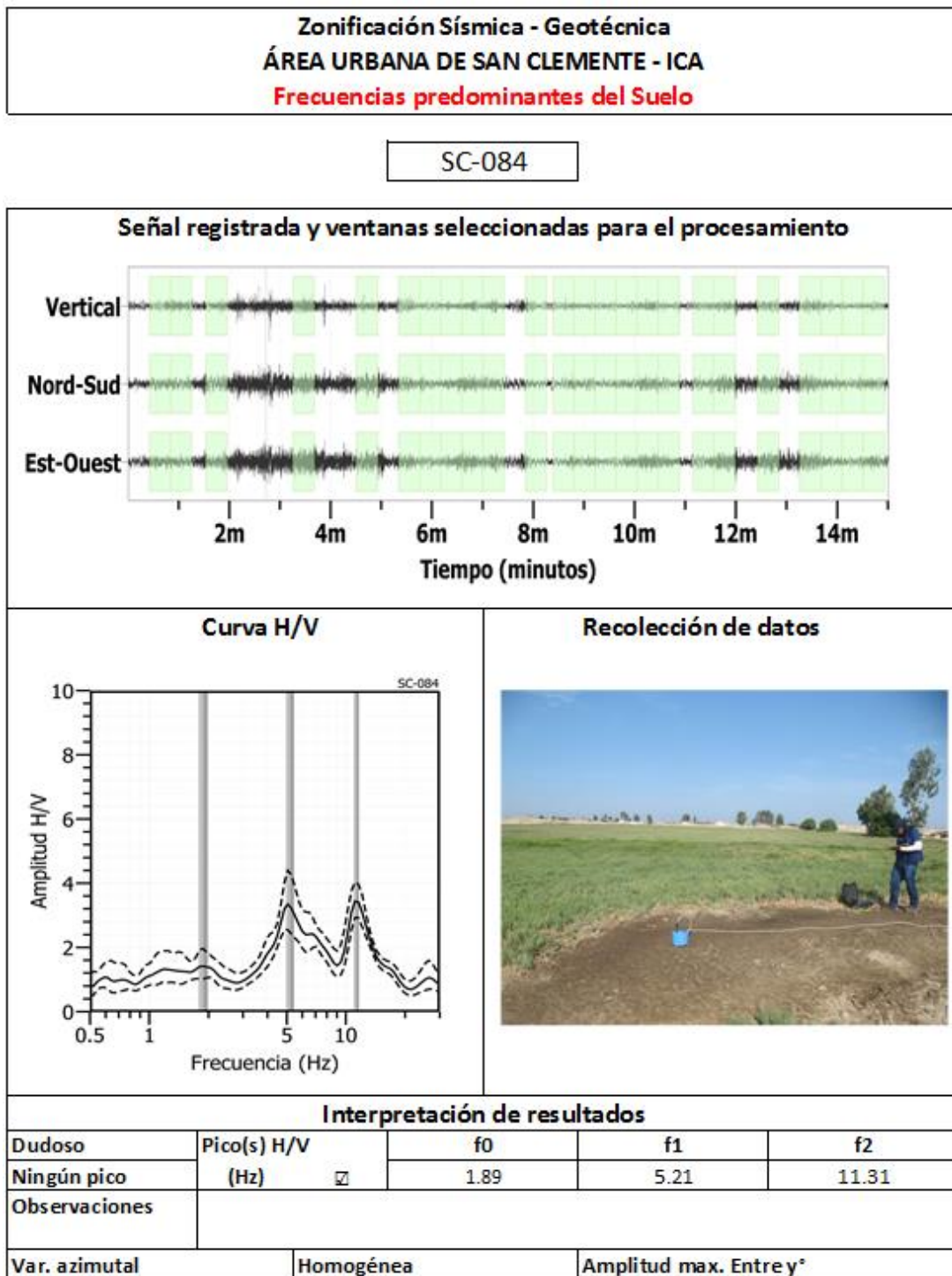


Figura 1: Ejemplo de la ficha H/V para el punto SC-084 en la cual se recopila la información registrada y analizada. Arriba, señal registrada; Medio; razón espectral (H/V) en línea gruesa y su desviación estándar en línea discontinua y Abajo; resultados.

En la Figura 1, se muestra un ejemplo del procedimiento seguido para el total de la información obtenida en campo. El primer recuadro presenta la selección de las ventanas de procesamiento para las tres componentes de la señal registrada (Vertical,

N-S y E-O), seguidamente la curva H/V, en la cual la curva continua negra es el promedio del cociente H/V; mientras que, las curvas discontinuas son la desviación estándar, las bandas grises identifican las frecuencias principales. Finalmente, para la presentación de los resultados, las frecuencias son expresadas en periodos dominantes.

Interpretación

Para la interpretación de los resultados se considera que: 1) Las frecuencias predominantes menores a 1 Hz corresponden a vibraciones generadas por el oleaje del mar, y/o cambios meteorológicos (periodos muy largos), 2) Las bajas frecuencias o periodos largos son debidas a la presencia de depósitos profundos y 3) Las frecuencias altas o periodos cortos son debidos a depósitos superficiales blandos y de poco espesor (SESAME, 2004; Bernal, 2006). Asimismo se evalúa la correspondencia de los parámetros físicos-dinámicos encontrados con los aspectos geológicos, geomorfológicos y geotécnicos que caracterizan a la zona de estudio.

1.2. Análisis Multicanal de ondas Superficiales (MASW)

La técnica MASW es un método indirecto y permite determinar la estratigrafía del subsuelo bajo un punto; es decir, obtener la velocidad de propagación de las ondas de corte V_s 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 con fuente artificial y su respectiva curva de dispersión.

El procesamiento de los datos obtenidos con la técnica MASW fue realizado en el programa de computación SeisImager y consiste en aplicar la transformada rápida de Fourier (FFT) con los registros sísmicos obtenidos para cada punto de disparo (Reynolds, 2011). El proceso 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, sigue 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 para un punto ubicado en la Asoc. de vivienda La Frontera. La imagen de la izquierda muestra la curva de dispersión obtenida y la de la derecha, muestra 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 representan la inversión de la curva de dispersión del dominio de frecuencia a profundidad. Esta curva permite verificar el nivel de confiabilidad o la profundidad mínima y máxima de investigación (área sombreada), en este caso; el perfil presenta dos capas sísmicas y un semiespacio, donde, el nivel de confiabilidad es de 2 a 30 metros de profundidad.

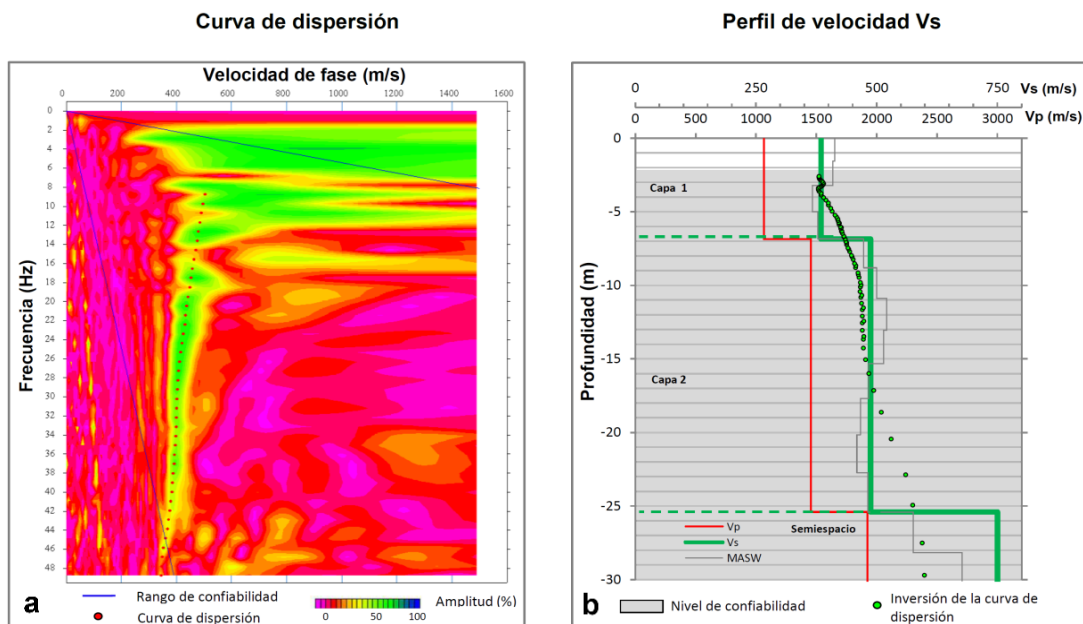


Figura 3: a) Curva de dispersión y b) perfil de velocidad obtenido a partir del ensayo realizado en la Asociación de Vivienda La Frontera.

- **Interpretación:** Para el análisis e interpretación de los resultados obtenidos en este estudio, se considera la clasificación de suelos según la Norma E.030, y la velocidad promedio de propagación de las ondas de corte para los 30 metros superiores (V_{s30}), considerando diferentes rangos de V_{s30} . Asimismo, en cada perfil las velocidades son representados con colores, la cual facilita su interpretación (Tabla 1).

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

Clasificación de los perfiles de Suelo				
N°	Vs	Norma E030	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 o roca blanda	
5	800 m/s a 1500 m/s		Roca moderadamente dura	
6	> 1500 m/s	Roca dura	Roca dura	

Finalmente, se realiza la correlación de las capas sísmicas obtenidas con la geología y geotecnia local, y con los niveles freáticos, parámetros que influyen en la variación de velocidad de ondas Vs.

1.3. Tomografía de Resistividad Eléctrica (ERT)

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

La tomografía eléctrica es un método convencional que se basan en introducir en el terreno, un campo eléctrico de corriente continua mediante dos electrodos de corriente (A y B) conectados a un miliamperímetro; mientras que, con los otros dos electrodos (M y N), que están conectados a un milivoltímetro donde se medirá cual es la diferencia de potencial eléctrica ΔV entre esos dos puntos (Figura 4).

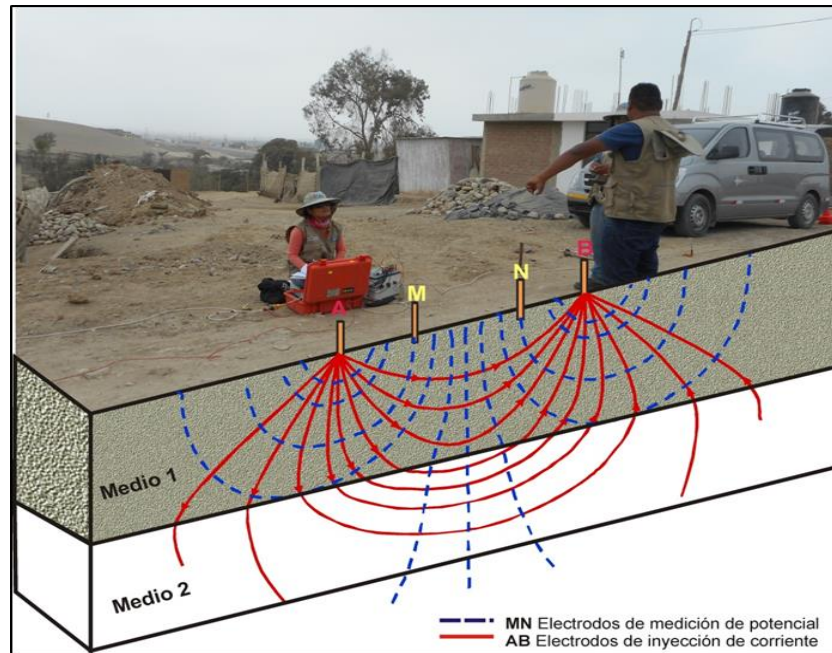


Figura 4: Principio del método de resistividad (LE05-CL), modificado de Orellana, E. (1982).

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.

- Interpretación:

La interpretación de la información considera todos los factores posibles que puedan influir en los resultados; es decir, grado de saturación del terreno, porosidad y la forma del poro, la salinidad del fluido, el tipo y composición de la roca, la

temperatura, los procesos geológicos que afectan a los materiales y la presencia de materiales arcillosos con alta capacidad de intercambio catiónico. Considerando la existencia de una estrecha relación entre la resistividad eléctrica y el grado de saturación del terreno, es posible definir la posible ubicación de las áreas de filtración y las zonas saturadas en el subsuelo. De existir incrementos de fluidos en el terreno, estos se verán reflejados por una disminución en valores de resistividad.

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

- **Muy Alto Resistivo (color rojo):** Comprende valores mayores a 1500 ohm.m. Se considera dentro de este grupo a rocas Ígneas y metamórficas, y dentro de las sedimentarias, a los conglomerados. Estos materiales estarán bajo condiciones de ausencia de agua; sin embargo, si hay presencia de arcillas y su grado de alteración, permitiría la disminución en los valores de resistividad del suelo.
- **Alto Resistivo (color anaranjado):** Comprende valores entre los 500 y 1500 ohm.m. Se considera dentro de este grupo a las rocas sedimentarias, ya sean de origen detrítico o químico. Asimismo, incluye a los suelos con muy baja composición de materiales orgánicos.
- **Medianamente Resistivo (color verde):** Comprende valores entre los 100 y 500 ohm.m. Dentro de este grupo se considera a suelos sedimentarios de composición variada; es decir, arenas, arcillas y limos, cada vez con mayor contenido de materiales orgánicos.
- **Bajo Resistivo (color celeste):** Comprende valores entre los 20 y 100 ohm.m. Según Loke (2001), estas resistividades corresponden a suelos saturados de agua y su variación depende de la relación existente entre la resistividad, porosidad y la permeabilidad de los materiales. Así mismo, se puede considerar dentro de este grupo a los suelos orgánicos, arcillosos, limosos y aquellos con contenido de carbón, los cuales se comportan como buenos conductores de corriente.
- **Muy Bajo Resistivo (color azul):** Comprende valores menores a 20 ohm.m y estos están referidos a suelos con presencia de agua, material orgánico, arcillas. Se debe considerar que el grado de salinidad del agua afecta los

valores de resistividad, permitiendo que estos alcancen valores del orden del 0.2 ohm.m., equivalente al agua de mar.

Para el presente estudio el rango de resistividades han sido resumidas en la Tabla 2.

Tabla 2: Clasificación de perfiles de suelo, a partir de la norma E.030.

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

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

2. RECOLECCIÓN DE DATOS

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

2.1. Registro de vibración Ambiental (H/V):

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

- En el área urbana de San Clemente, se consideró registros de vibración ambiental obtenidos de manera puntual en 89 puntos, (Figura 6).

-La distribución de los puntos donde se tomaran los registros de vibraciones ambientales, se define sobre el mapa catastral de San Clemente, teniendo en cuenta la información geológica y geomorfológica de la zona de estudio. En cada punto, se registran datos por un periodo de 15 minutos, lo cual permite disponer de buena cantidad de información para su posterior análisis.

En la Figura 7, se muestra la disposición del equipo sísmico al momento del registro de información, además de ejemplos de señales de vibración ambiental. La señal registrada en el punto SC-76 presenta bajos niveles de ruido; mientras que, la señal en SC-54, presenta diversidad de pulsos de variada amplitud, que al momento de su análisis fueron filtrados, a fin de no alterar los resultados.

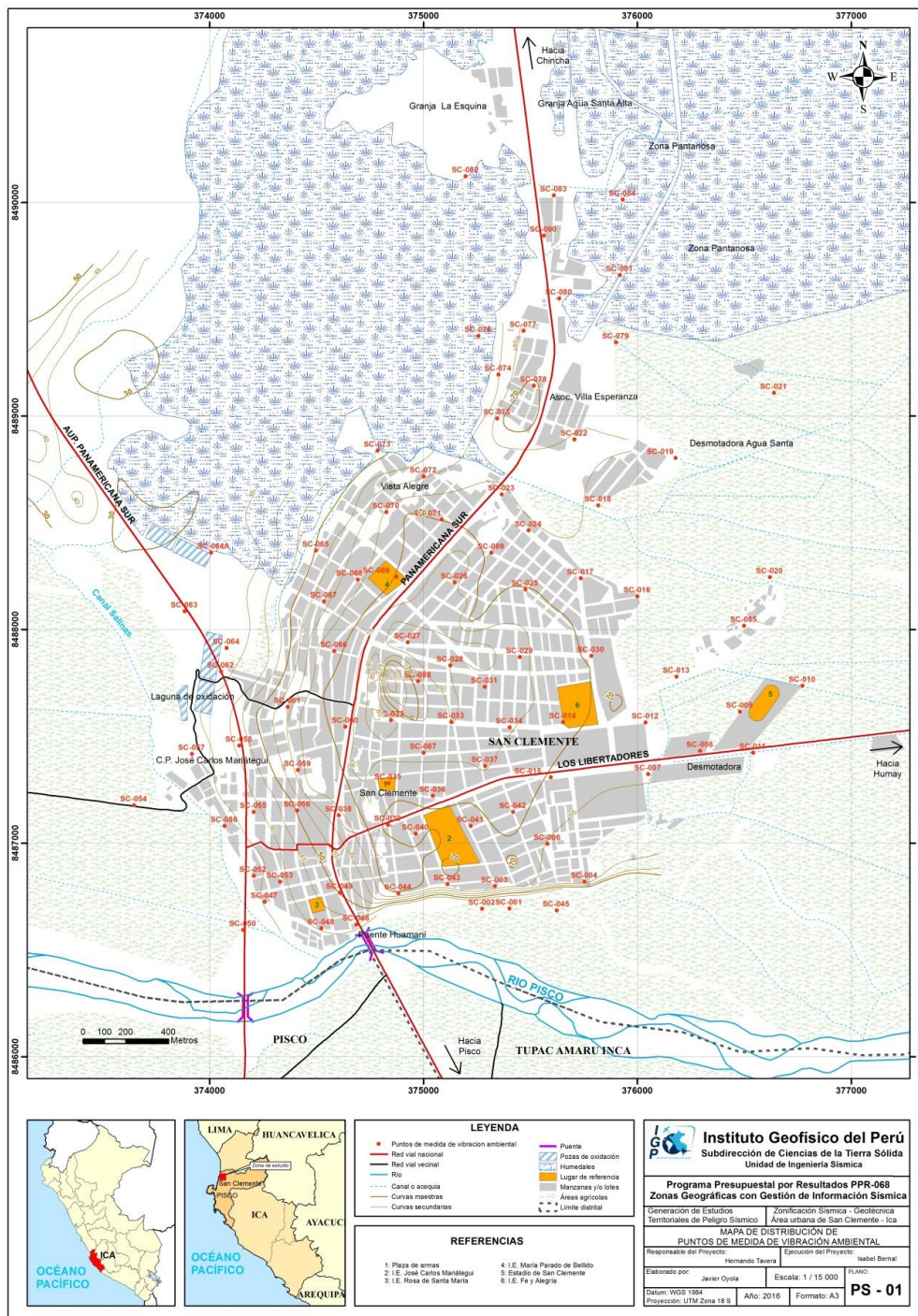


Figura 6: Mapa catastral del área urbana de San Clemente y la distribución de puntos donde se tomaron los registro de vibración ambiental.

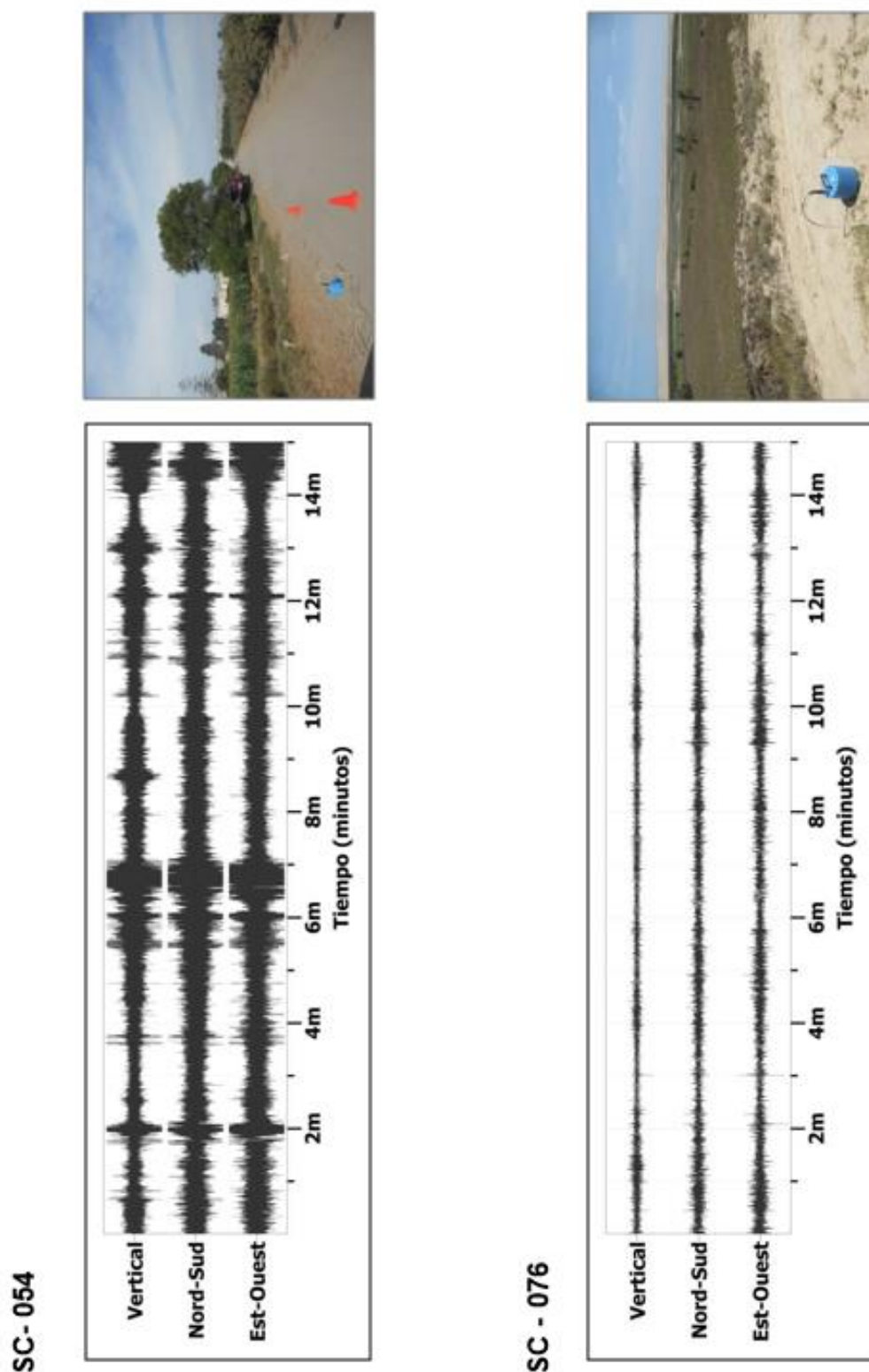


Figura 7. Ejemplos de la disposición del equipo sísmico para el registro de vibraciones ambientales. Ejemplos de registros de vibración ambiental obtenidos sobre una zona con ruido transitorio (SC-054) y otro con ruido de fondo constante (SC-076). Obsérvese las diferentes amplitudes de la señal registrada en cada punto.

Para el registro de información se ha utilizado un equipo sísmico de uso multipropósito, modelo GEODE de Geometrics, 24 sensores o geófonos de baja frecuencia (4.5 Hz). Como fuente de impacto y/o energía para generar las ondas sísmicas, se utilizó un martillo de 20 lbs y para dar inicio a la grabación el dispositivo Hammer Swith, ver Figura 8. 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.

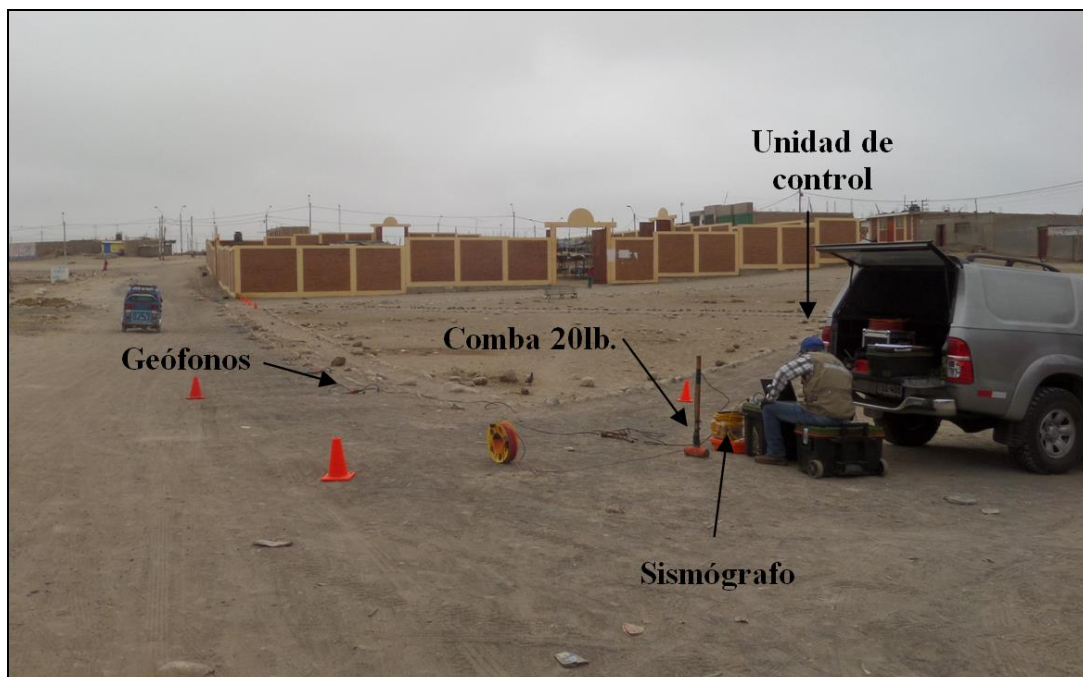


Figura 8. Equipos utilizados en la toma de datos de MASW en San Clemente (calle los Lirios).

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

A fin de evaluar la calidad de la data y el nivel de ruido, tal como se observa en la Figura 9, se verifica la relación señal/ruido mediante un apilamiento de señales (en cada punto de disparo se registran varios golpes y es acumulado al anterior), se realiza de cuatro a cinco golpes en cada punto “shot” y un procesamiento preliminar de la data.

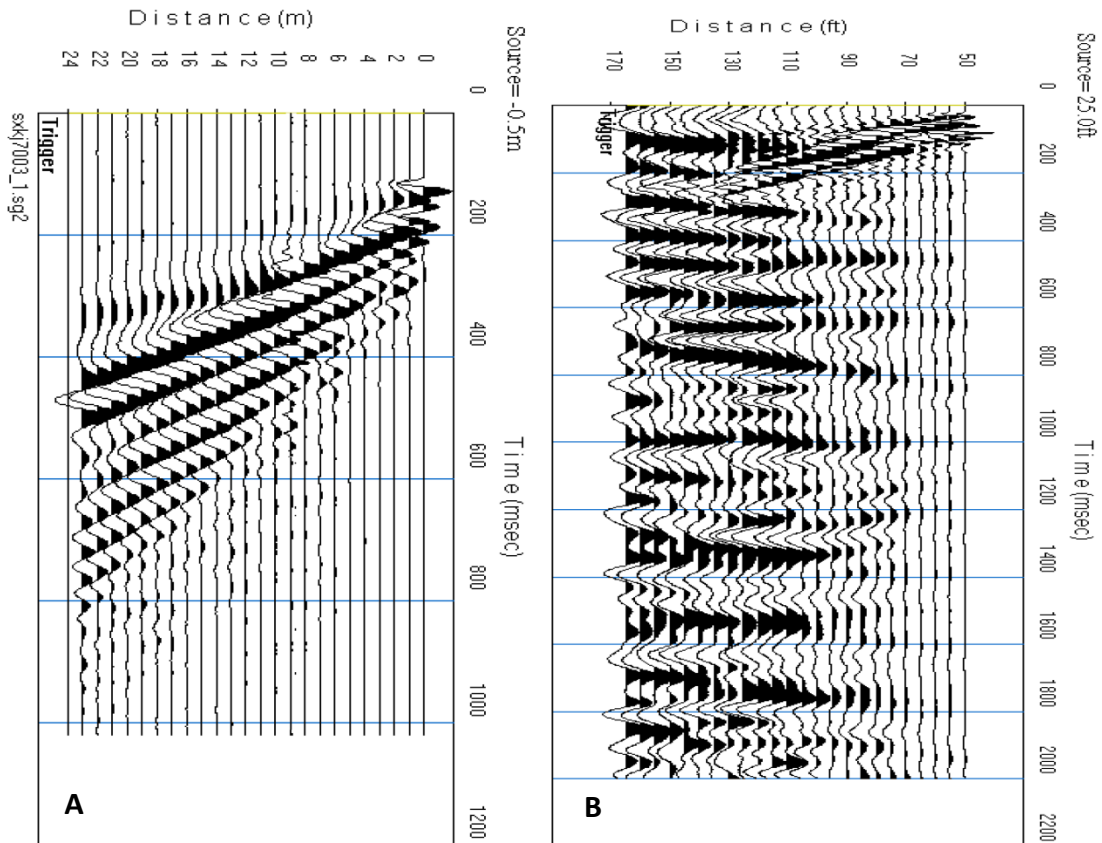


Figura 9: a) Registro sísmico con bajo contenido de ruido ambiental, es decir, alta calidad. b) Registro sísmico con alto contenido de ruido ambiental.

En la Figura 10, como ejemplo se muestra la disposición del equipo y el registro sísmico obtenido para la línea sísmica LS01-SC, ubicado en el C.P José Carlos Mariátegui. El sismograma contiene las señales sísmicas con presencia de poco 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.

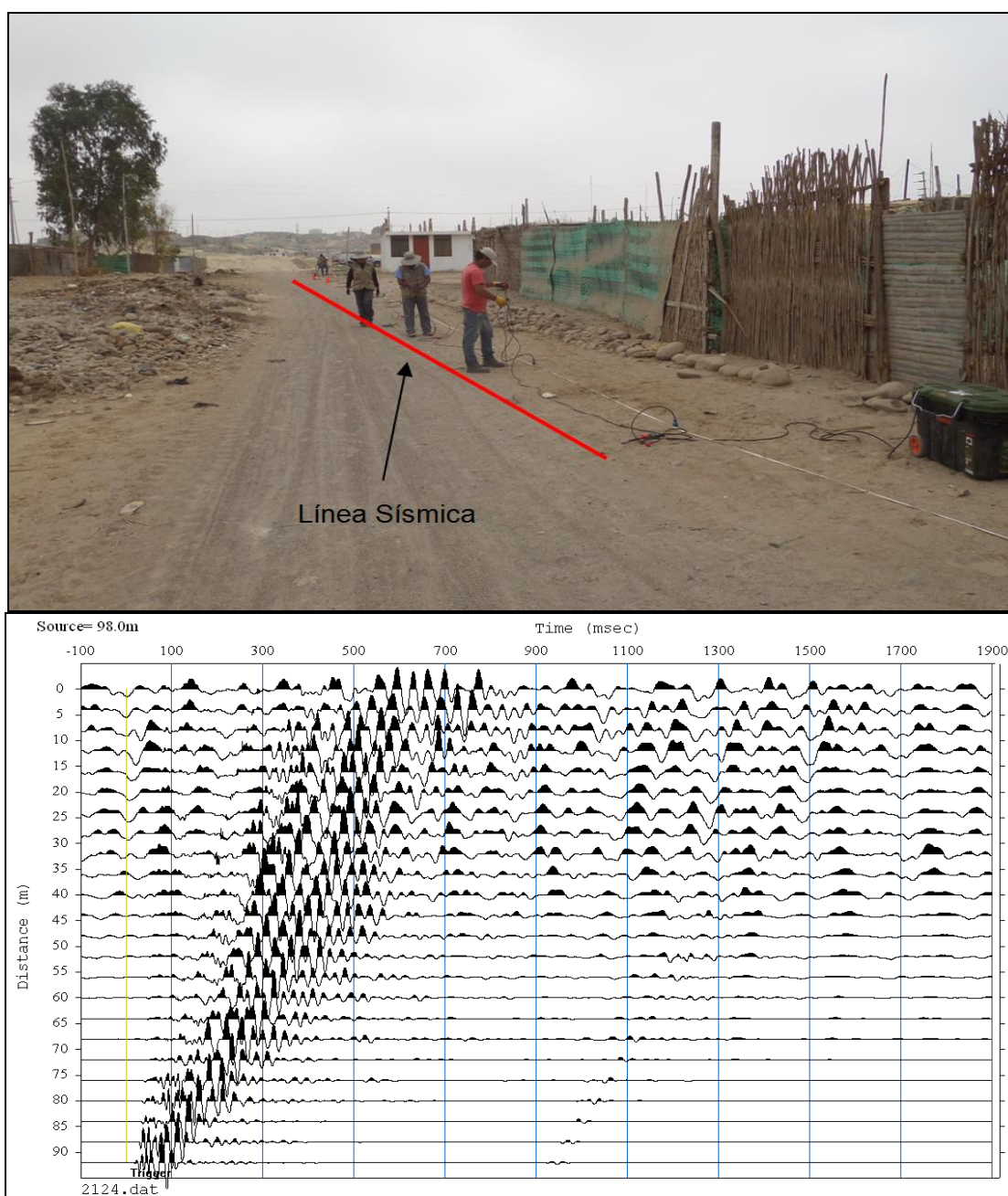


Figura 10: Disposición del equipo de adquisición por el método de MASW y el registro sísmico obtenido.

2.2. Registros de arreglos lineales (MASW)

En San Clemente se realizaron 08 arreglos sísmicos; y su distribución espacial y codificada como: LS01-SC, LS02-SC, se detalla en la Figura 11 y Tabla 3.

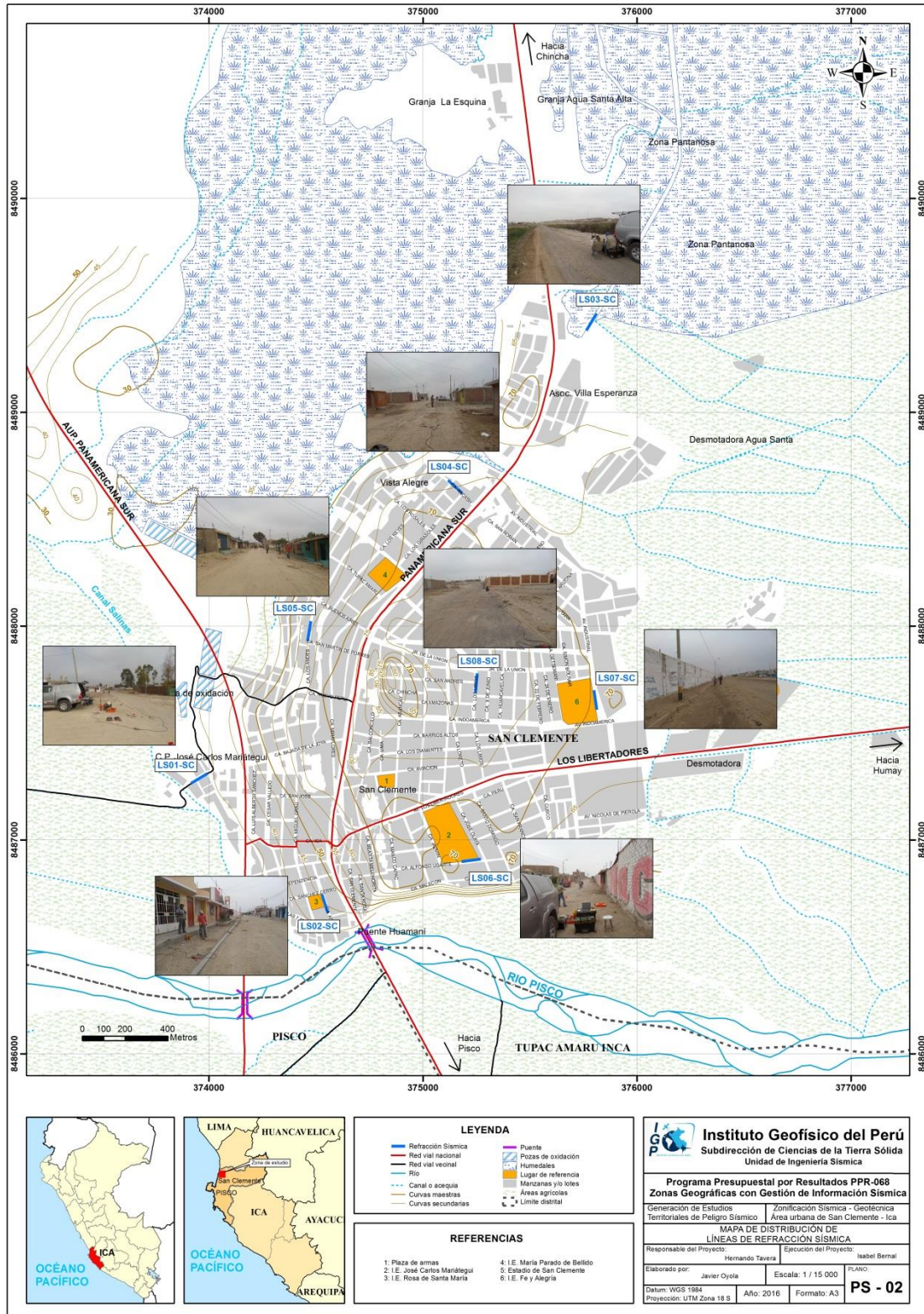


Figura 11. Mapa de San Clemente con la distribución espacial de las líneas sísmicas codificadas como: LS01-SC, ..., LS08-SC.

Tabla 3: Coordenadas y características de las Líneas Sísmicas.

Línea Sísmica	Este (m)	Norte (m)	Cota (m)	Espaciamiento o entre geófonos (m)	Longitud total (m)
LS01-SC	373917	8487265	56	4	92
	373993	8487311	61		
LS02-SC	374528	8486747	81	4	92
	374556	8486657	80		
LS03-SC	375763	8489382	98	4	92
	375811	8489462	97		
LS04-SC	375118	8488682	102	4	92
	375185	8488620	101		
LS05-SC	374476	8488023	86	4	92
	374461	8487931	87		
LS06-SC	375180	8486899	103	4	92
	375270	8486910	99		
LS07-SC	375812	8487609	92	4	92
	375799	8487700	92		
LS08-SC	375254	8487779	112	4	92
	375246	8487687	109		

2.3. Registros de la resistividad del suelo (ERT)

En el área urbana de San Clemente se han realizado 05 líneas de tomografía eléctrica (Figura 12) con el dispositivo polo-dipolo y la distribución de 30 electrodos. Para las líneas se consideró un espaciamiento que variaba entre 5 y 10 metros entre cada electrodo sobre un tendido longitudinal que variaba de 168, 240 y 290 metros, lo cual permitió tener alcances en profundidad del orden de los 29 y 39 metros.

La Tabla 4, muestra las coordenadas UTM (WGS84) de la partida donde se realizan las líneas eléctricas y en este caso corresponden a los puntos extremos de cada línea.

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

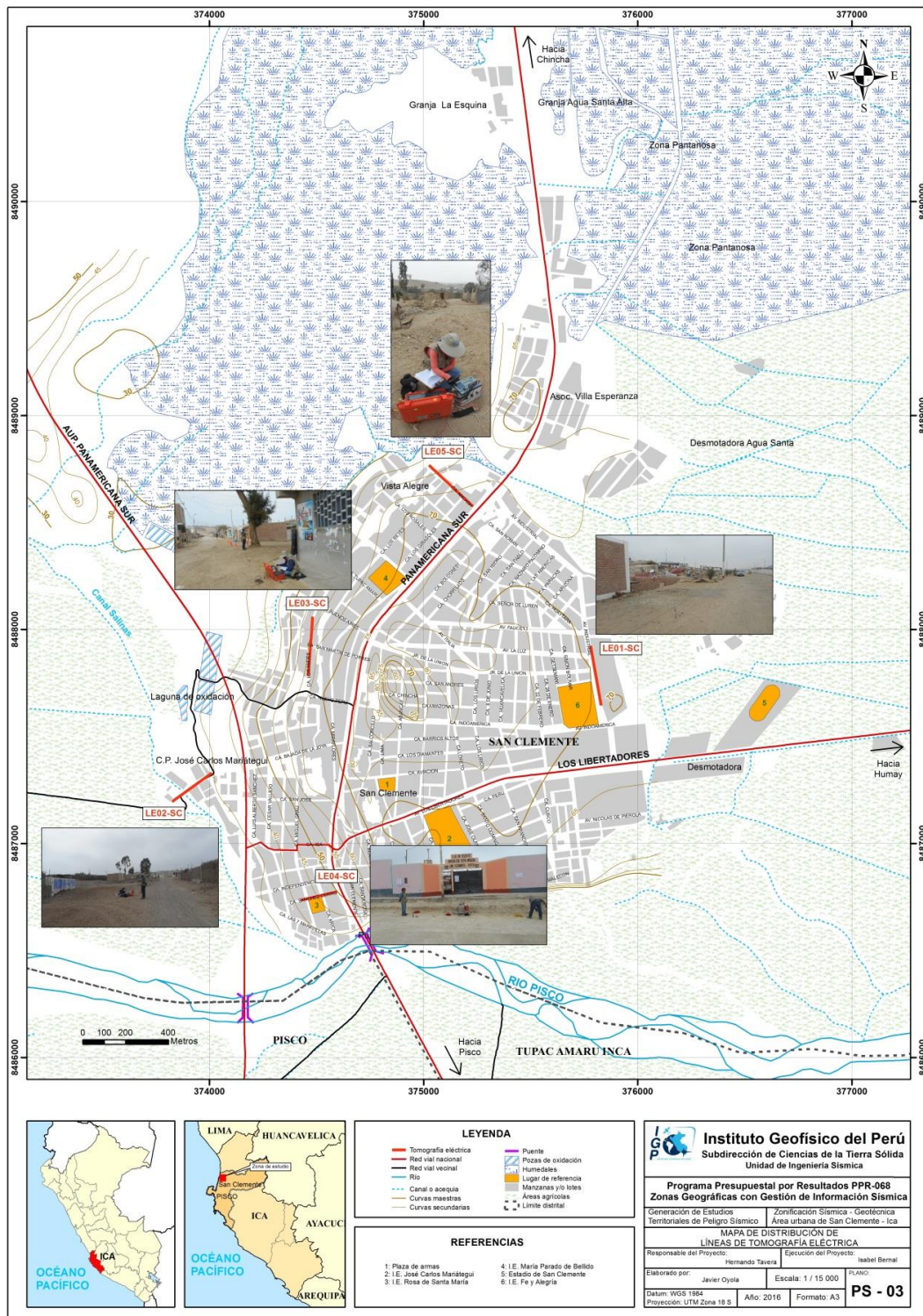


Figura 12. Mapa del área urbana de San Clemente y la distribución espacial de las líneas de tomografía eléctrica codificadas como: LE01-SC, ..., LE05-SC.

Tabla 4: Coordenadas de los puntos donde se realizan las Líneas eléctricas en el área de estudio

Línea Eléctrica	Este (m)	Norte (m)	Cota (m)	Espaciament o entre electrodos (m)	Longitud total (m)
LE01-SC	375780	8487924	103	10	290
	375829	8487645	100		
LE02-SC	374012	8487330	64	10	240
	373826	8487195	60		
LE03-SC	374482	8488060	86	10	290
	374461	8487782	87		
LE04-SC	374596	8486774	76	6	168
	374426	8486735	70		
LE05-SC	375025	8488768	92	10	290
	375231	8488575	108		

- ✓ 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 tienen la disposición del equipo eléctrico en campo y un ejemplo, del análisis preliminar de los datos obtenidos.

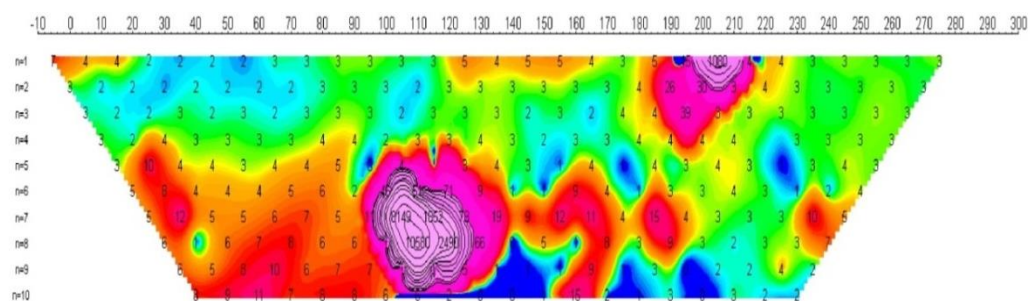


Figura 13: Disposición del equipo de adquisición por la técnica de ERT (LE01-SC) y registro eléctrico obtenido en campo.

3. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN SÍSMICA Y GEOFÍSICA

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 San Clemente.

3.1. Estudio Sísmico con la Técnica H/V

Esta información permite obtener espectros de Fourier para las tres componentes de registro de vibración ambiental obtenidos de manera puntual en 89 puntos y a partir de la razón de estos (componentes horizontales/componente vertical), conocer las frecuencias predominantes y/o periodos dominantes de vibración natural

.- 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, permiten identificar un pico de frecuencia que fluctúa entre 2.0 y 9.0 Hz, con bajas amplificaciones, excepto hacia los extremos Norte, Este y Oeste del área de estudio donde se alcanza amplificaciones de hasta 5 veces.

.- Frecuencias predominantes F_0 : En la Figura 14, se muestra el mapa con la distribución espacial de los valores de frecuencias predominantes y en la Figura 15, ejemplos de razones espectrales que caracterizan a diferentes sectores de San Clemente. En las razones (H/V) obtenidas para los puntos SC-046 (N), SC-048 (O) y SC-049 (P), entre el I. E. Rosa de Santa María y el río Pisco, sobresalen frecuencias de entre 7.0 y 8.0Hz con mínimas amplificaciones. Asimismo próximos a la Plaza de Armas, las frecuencias alcanzan valores mayores (10 Hz) con amplificaciones menores a 2 veces.

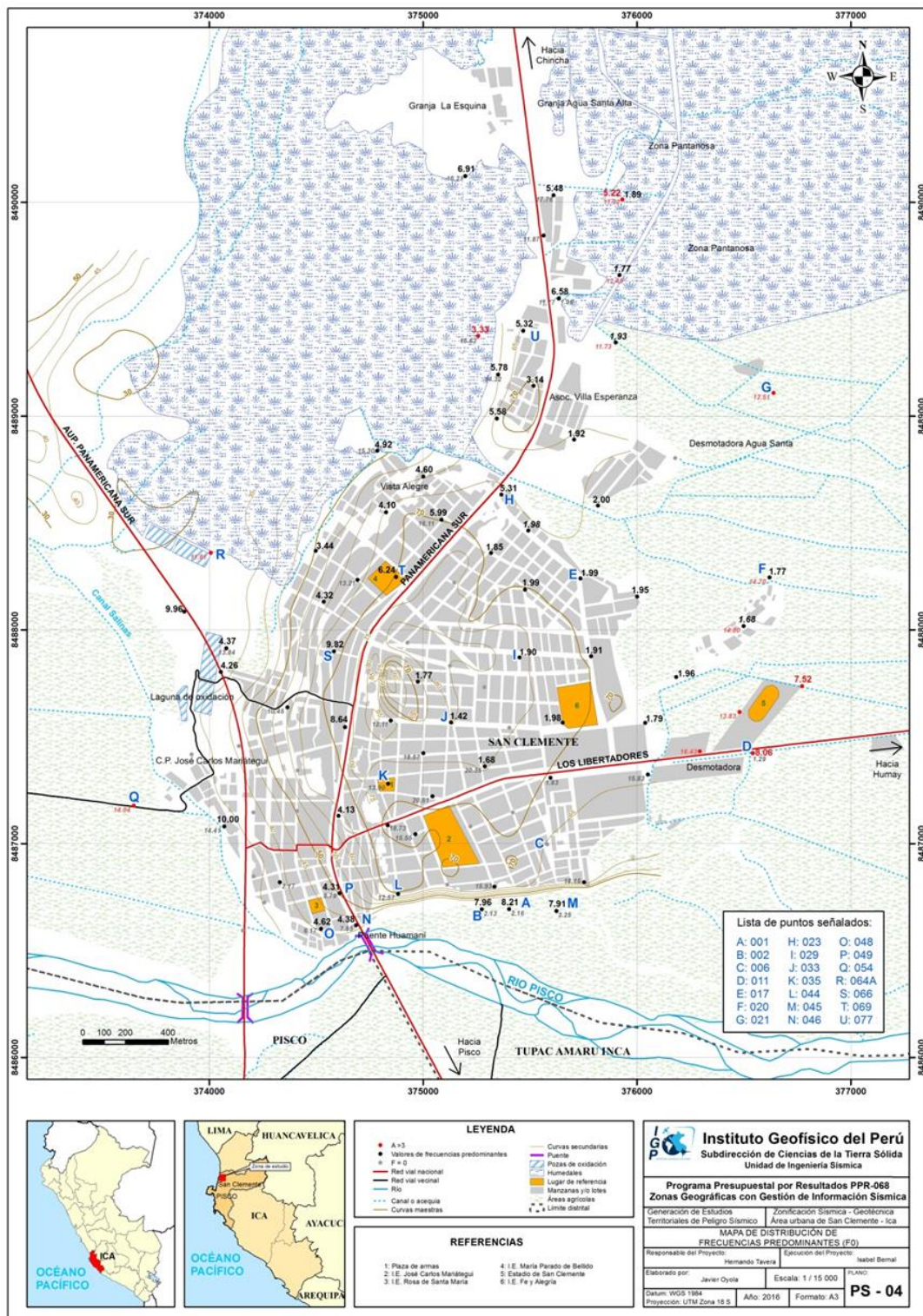


Figura 14: Mapa del área de estudio y la distribución espacial de las frecuencias predominantes.

Hacia el extremo NE de la Plaza de Armas, se concentra los puntos SC-017 (E), SC-029 (I) y SC-033 (J), con frecuencias menores a 2.0 Hz y misma sensibilidad; excepto en el punto E, que presenta una amplificación de 2 veces. Hacia el extremo NO de la plaza, se ubican los puntos SC-054 (Q), SC-064A (R) y SC-066 (S), donde sobresalen frecuencias mayores e iguales a 10 Hz con amplificaciones de hasta 6 veces hacia el extremo Oeste y de 2.5 veces hacia la zona céntrica. Hacia el extremo Norte del área de estudio se ubican los puntos SC-023 (H), SC-069 (T) y SC-077 (U), donde sobresalen frecuencias que fluctúan entre 5.0 y 6.0 Hz con mínimas amplificaciones, excepto en el punto ubicado en la Urb. Vista Alegre.

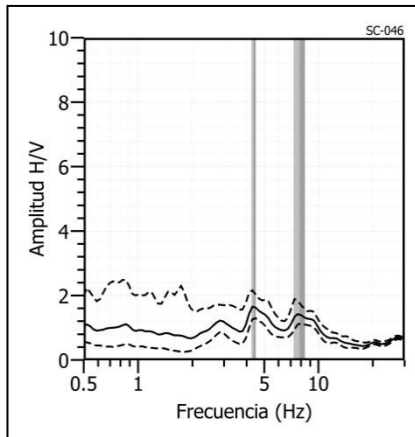
Asimismo hacia el extremo Este del área de estudio, se ubican los puntos SC-011 (D), SC-020 (F) y SC-021 (G) en donde predominan frecuencias de 8.0, 15.0 y 12.0 Hz con amplificaciones de hasta 6 veces, evidenciando que la capa superficial está compuesta por suelos blandos.

Hacia la zona baja del acantilado, próximo al río Pisco se tiene los puntos SC-001 (A), SC-002 (B) y SC-045 (M), donde con mínimas amplificaciones sobresalen los rangos de frecuencias: 2.0-2.5Hz y 7.0-8.0Hz. lo cual sugiere la presencia de suelos heterogéneos.

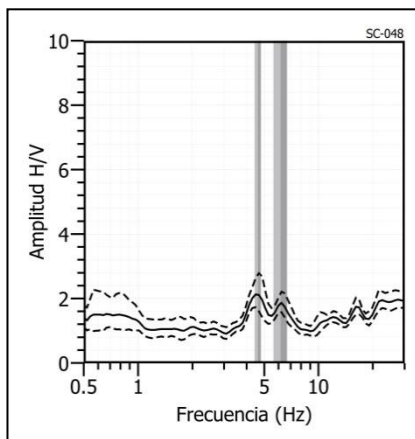
Interpretación

Los resultados obtenidos de las razones espectrales H/V, permite definir la presencia de un pico de frecuencia que fluctúa entre 2.0 y 9.0 Hz, con bajas amplificaciones, excepto hacia los extremos Norte, Este y Oeste del área de estudio donde se alcanza amplificaciones de hasta 5 veces. Estos resultados sugieren que los suelos superficiales hacia estos extremos, presentan una capa superficial de menor consistencia respecto a lo observado hacia el centro del área urbana que presenta suelos más rígidos.

SC - 046



SC - 048



SC - 049

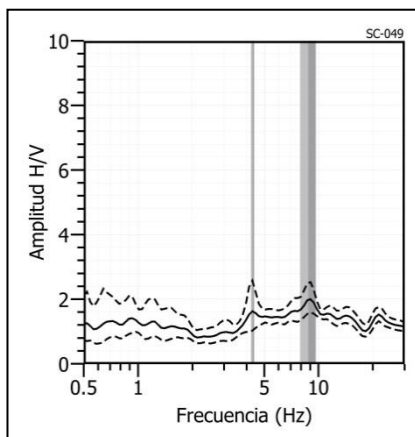
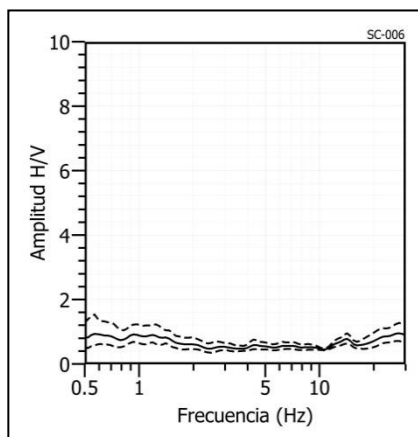
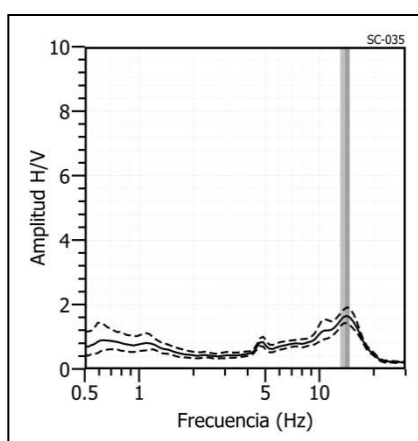


Figura 15: Ejemplos de razones espectrales (H/V): puntos SC-046 (N), SC-048 (O) y SC-049 (P), ubicados en el extremo SO del área de estudio, entre la I. E. Rosa de Santa María y el río Pisco. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

SC - 006



SC - 035



SC - 044

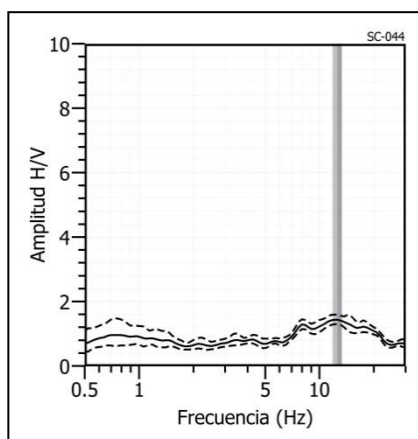
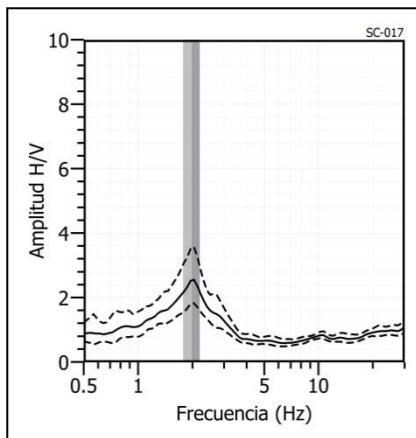
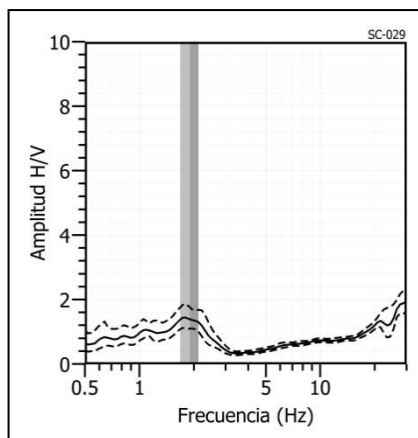


Figura 15: ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V): puntos SC-006 (C), SC-035 (K) y SC-044 (L), ubicados hacia el extremo SE del área de estudio y próximos a la Plaza de Armas. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

SC - 017



SC - 029



SC - 033

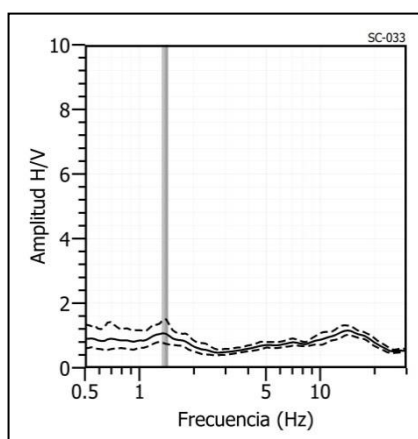
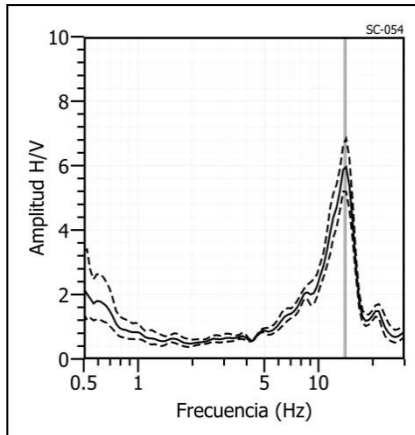
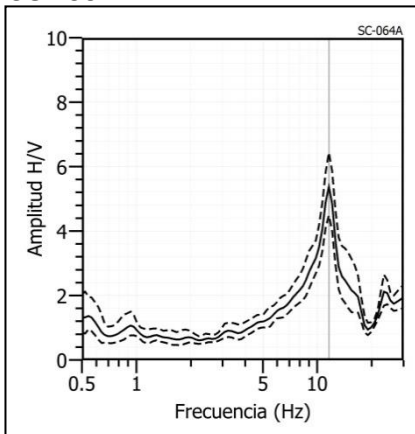


Figura 15: ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V): puntos SC-017 (E), SC-029 (I) y SC-033 (J), ubicados hacia el extremo NE de la Plaza de Armas. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

SC - 054



SC - 064A



SC - 066

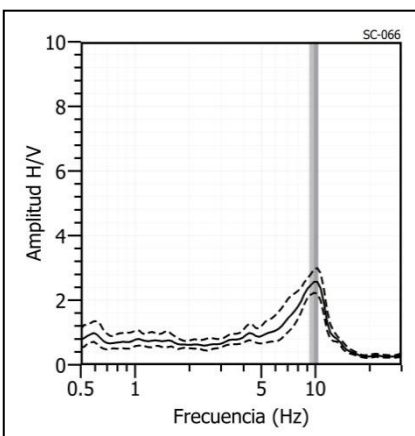
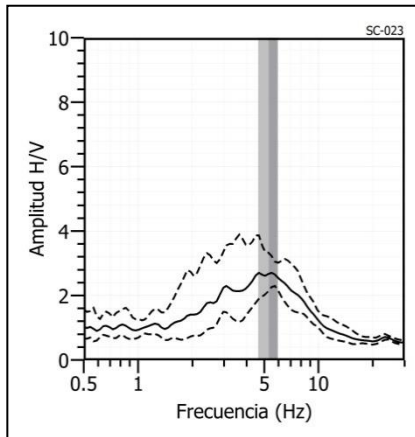
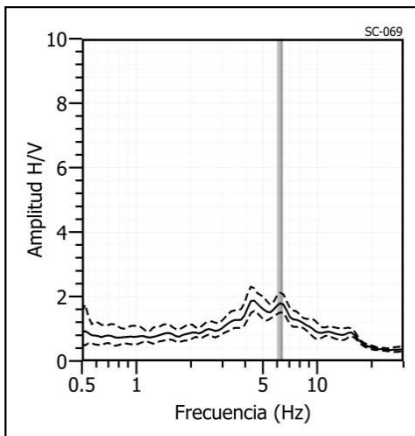


Figura 15: ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V): puntos SC-054 (Q), SC-064A (R) y SC-066 (S), ubicados Hacia el extremo NO de la Plaza de Armas de San Clemente. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

SC - 023



SC - 069



SC - 077

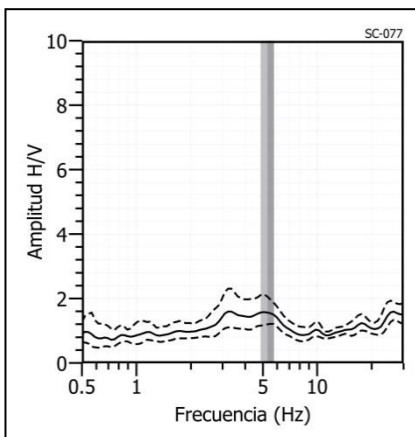
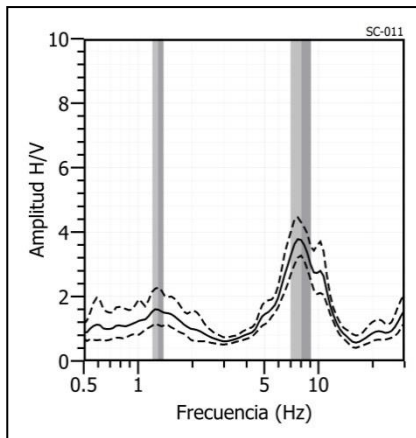
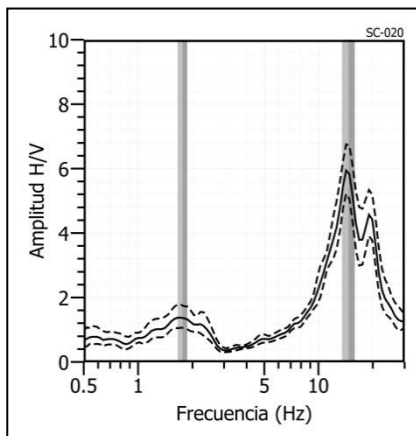


Figura 15:...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V): puntos SC-023 (H), SC-069 (T) y SC-077 (U), ubicados hacia el extremo Norte del área de estudio. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

SC - 011



SC - 020



SC - 021

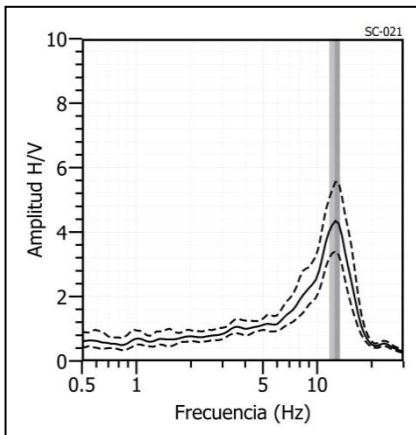
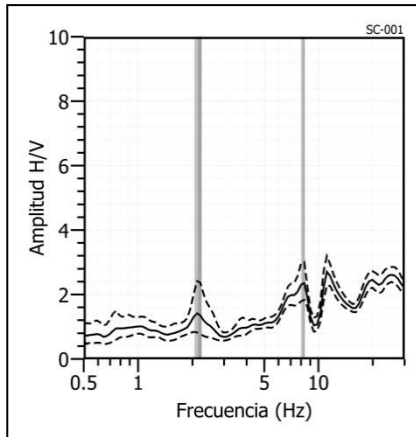
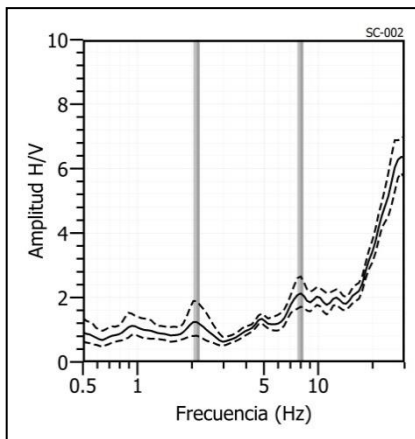


Figura 15: ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V): puntos SC-011 (D), SC-020 (F) y SC-021 (G), ubicados hacia el extremo Este del área de estudio. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

SC - 001



SC - 002



SC - 045

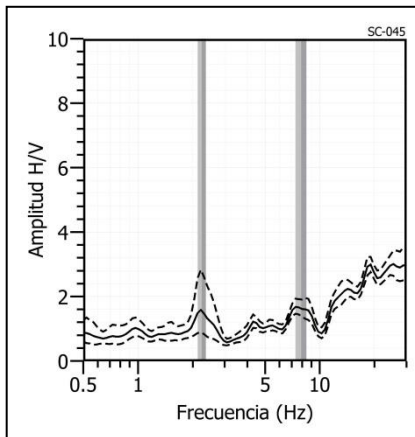


Figura 15: ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V): puntos SC-001 (A), SC-002 (B) y SC-045 (M), ubicados hacia la zona baja del acantilado, próximo al río Pisco. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

3.2. Registro de arreglos lineales (MASW)

Los modelos de velocidad de propagación (V_s) son una información muy útil en materia de riesgo sísmico y reconocimiento general de la estructura y naturaleza del subsuelo. El procesamiento de los datos permitió llegar hasta de observación del orden 30 metros en cada línea sísmica. Las líneas obtenidas LS01, LS02 y LS05 fueron realizadas entre la antigua y la nueva carretera Panamericana; LS03 y LS04 al norte y LS06 a LS08 al este de la zona urbana de San Clemente. A continuación, se describe los resultados obtenidos y para ello, las líneas fueron agrupadas según su similitud velocidades y ubicación:

Líneas sísmicas LS01-SC, LS03-SC y LS05-SC: Realizados en el C.P. José Carlos Mariátegui (LS01), en la Asoc. Villa Esperanza (LS03) y en la calle Los Andes (LS05). Indican la presencia de suelos conformados por dos capas: la primera de 3 a 5 metros de espesor y velocidades V_s de 151 a 179 m/s que sugiere la existencia de suelos blandos. La segunda capa, con velocidades entre 200 a 295 m/s y espesores de 8 a 10 metros compuestos por suelos medianamente rígidos. La superficie de contacto con el semiespacio, en el caso de la línea LS01 presenta velocidades $V_s > 325$ m/s que sugiere la presencia de suelos medianamente rígidos, a diferencia de las líneas LS03 y LS05 con velocidades $V_s > 364$ m/s que considera la presencia de suelos muy rígidos; es decir, el semiespacio en la línea LS01 presenta suelos menos compactos que los encontrados en las líneas sísmicas LS03 y LS05.

Líneas sísmicas LS02-SC y LS07-SC: Líneas sísmicas realizados en la calle Arica (LS02) y en la Av. Industrial (LS07). Indican la presencia de suelos conformados por una y dos capas: la primera de 3 a 9 metros de espesor y velocidades V_s de 224 a 278 m/s que sugiere la presencia de suelos medianamente rígidos. La segunda capa, solo está presente en la línea LS02, con un espesor de 8 metros y velocidades V_s de 302 m/s; por lo tanto, el suelo es medianamente rígido. La superficie de contacto con el semi-espacio presenta velocidades $V_s > 351$ m/s en ambas líneas sísmicas, lo cual sugiere la presencia de suelos rígidos.

Línea sísmica LS04-SC: Realizado en la calle Ancash, muestra la presencia de suelos conformados por dos capas: la primera con velocidades V_s de 385 m/s y espesores de 7 metros y la segunda, con V_s de 487 m/s y espesores de 19 metros, y en este caso, capas constituidos por suelos rígidos. La superficie de contacto con el

semi-espacio presenta velocidades de altas ($V_s > 750$ m/s), lo que sugiere la existencia de suelos muy duros.

Líneas sísmicas LS06-SC y LS08-SC: Realizados en las calles Alfonso Ugarte (LS06) y Los Lirios (LS08). Indican la presencia de suelos conformados por dos capas: la primera con velocidades V_s de 591 a 629 m/s y espesores de 5 a 7 metros y la segunda, con velocidades V_s entre 641 a 698 m/s y espesores de 19 a 20 metros; y en ambos casos, las capas están compuestas por suelos muy rígidos. Sin embargo, la superficie de contacto con el semi-espacio, presenta velocidades $V_s > 470$ m/s y sugieren la presencia de suelos rígidos; es decir, en ambas líneas el semi-espacio es menos compacto que las dos capas.

En la Tabla 5, se resume los valores de velocidad de ondas de corte (V_s) para los distintos tipos de perfiles de suelo Identificado en San Clemente.

Tabla 5: Valores de espesor y V_s para de las líneas sísmicas realizados en San Clemente.

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-SC	179	3	225	8	325	-	269
LS02-SC	224	3	302	8	474	-	372
LS03-SC	163	3	295	8	435	-	319
LS04-SC	385	7	487	19	750	-	474
LS05-SC	151	5	200	10	364	-	231
LS06-SC	629	7	698	19	498	-	636
LS07-SC	278	9	351	-	-	-	323
LS08-SC	591	5	641	20	470	-	587

Suelo blando (Vs < 180 m/s)

Suelo medianamente rígido (180 – 350 m/s)

Suelo rígido (350 – 500 m/s)

Suelo muy rígido o roca blanda (500 – 800 m/s)

Roca moderadamente duro (800 – 1500 m/s)

Interpretación

Los resultados obtenidos en este estudio definen la existencia de 2 capas sísmicas y un semiespacio y su correlación con la geología y geotecnia son descritos a continuación:

En las áreas del C.P. José C. Mariátegui y calle Los Andes (Figura 16), se tiene la presencia de suelos blandos para la primera capa (V_s 151 a 179 m/s) de 3 a 5

metros de espesor, presentando en profundidad suelos medianamente rígidos y conforme se avanza hacia la calle los Andes los son suelos rígidos, al corresponder a areniscas poco consolidadas de la formación Pisco. En Asoc. Villa Esperanza, los suelos son blandos en superficie (V_s 163 m/s) debido a la existencia de zonas pantanosas con espesores de hasta 3 metros; a mayor profundidad se tiene suelos medianamente rígidos a rígidos correspondientes a rocas de la formación Huamaní de pobre compactación y con contenido de humedad.

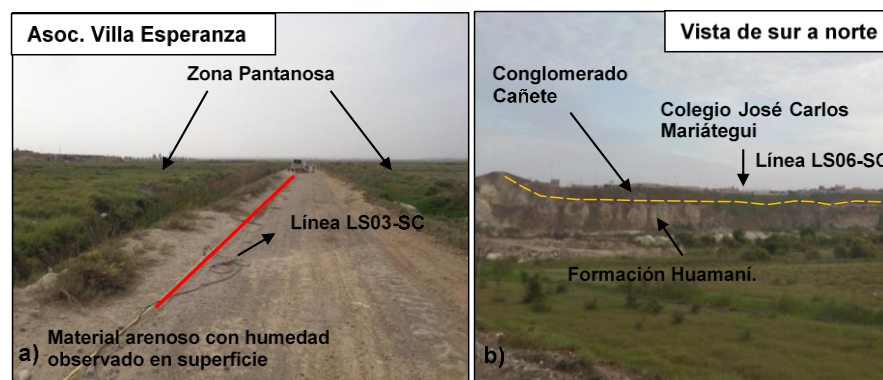


Figura 16: Ensayo sísmico realizado en San Clemente: a) capa superficial constituida por suelo blando (LS03-SC) y b) suelo muy duro (LS06-SC).

Por otro lado, por el colegio Rosa de Santa María (próximo a la Panamericana Sur) los suelos son medianamente rígidos (V_s 224 a 302 m/s) para la primera y segunda capa hasta una profundidad total de 11 metros, esta capa suprayace en profundidad a suelos duros. Estos suelos posiblemente están constituidos por areniscas con mediana compactación de la formación Pisco. Asimismo, en la zona de la Asoc. Vista Alegre, la primera y segunda capa (V_s 385 a 487 m/s) de 26 metros de espesor, presenta suelos duros y en profundidad, suelos muy duros que posiblemente corresponden a los conglomerados de la formación Cañete y Huamaní.

En el área urbana de San Clemente, un caso especial es la presencia de suelos muy duros en el área del colegio José Carlos Mariátegui y mercado Progreso, con un espesor de 26 metros constituidos por conglomerados de la formación Cañete que estarían depositados sobre suelos menos consolidados de la formación Huamaní. Sin embargo, conforme se avanza hacia el colegio Fe y Alegría y el cementerio de San Clemente desaparecen los suelos muy duros en superficie para pasar a suelos moderadamente duros (V_s 278 m/s) hasta una profundidad de 9 metros para pasar a suelos duros en profundidad. En estas los suelos corresponden a los depósitos de la

formación Huamaní con contenido de humedad debido a la existencia de áreas de cultivo en cotas más altas. (Figura 17)

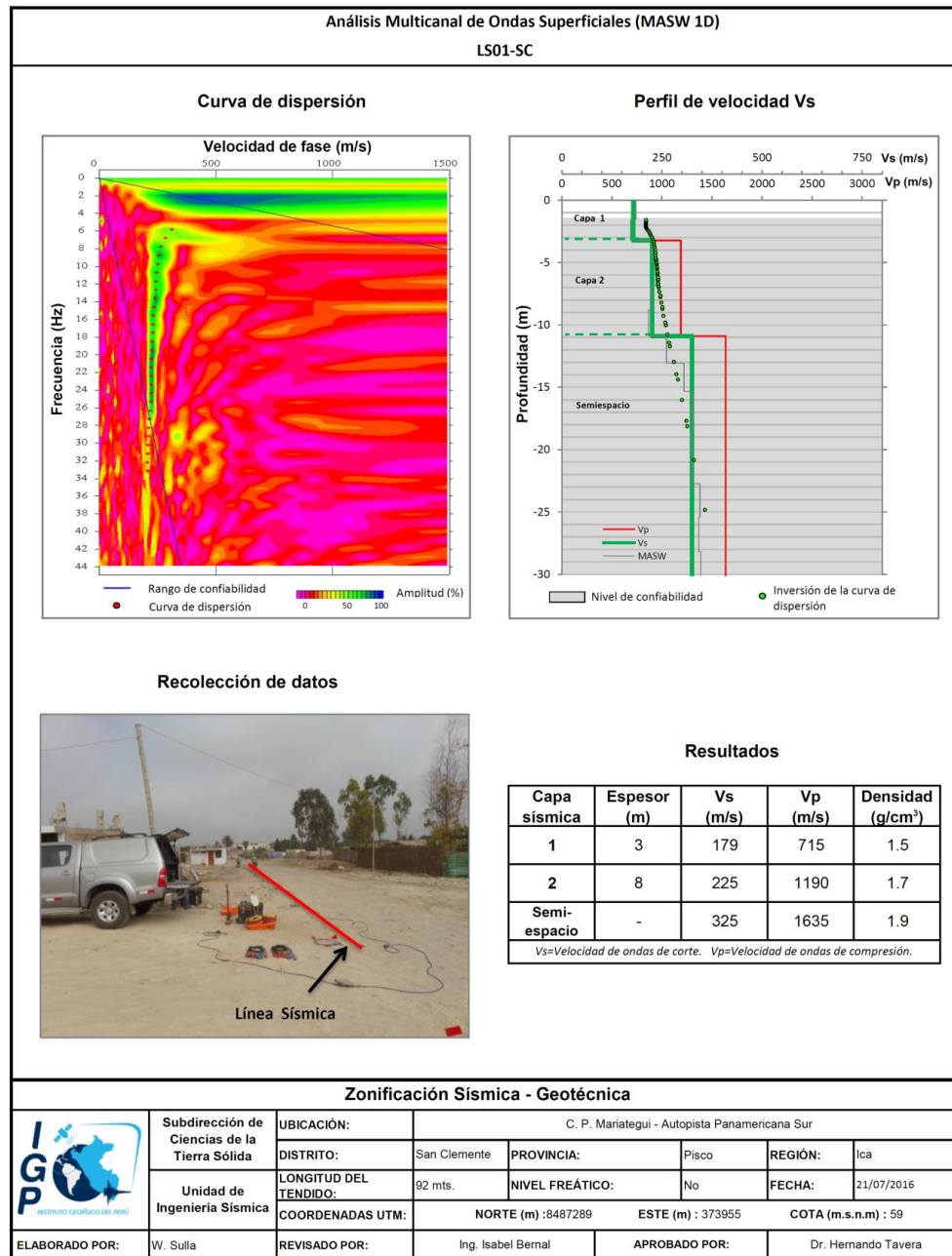


Figura 17: Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo LS01-SC.

3.3. Periodos Dominantes

Para presentar los resultados finales obtenidos con la técnica razones espectrales, los valores de frecuencias fueron transformados a periodos dominantes y para construir el mapa de periodos, se asignó a cada punto de medición un radio de confiabilidad de 10 metros, lo cual facilita los procedimientos seguidos para la

zonificación de los suelos. En la Figura 18 se muestra la distribución espacial de los valores de periodos dominantes para el área urbana de San Clemente.

Los periodos de 0.1 y 0.3 segundos, se distribuyen de manera casi uniforme sobre toda el área urbana de San Clemente, con diversas amplificaciones. Las mínimas amplificaciones se encuentran hacia la zona céntrica de San Clemente y conforme se tiende hacia los extremos Este, Norte y Oeste, se incrementa hasta 6 veces. Hacia los extremos Norte y Oeste, se ubican las zonas pantanosas y la laguna de Oxidación y hacia el Este, la Desmotadora Agua Santa. En diversos puntos, ubicados en la zona céntrica de San Clemente no sobresale ninguna frecuencia, evidenciando la presencia de suelos muy rígidos. De manera puntual hacia el extremo NE, se muestra sensibilidad del suelo a periodos de 0.5 segundos, con mínimas amplificaciones.

Los periodos dominantes que caracterizan los suelos de San Clemente están relacionados con sus 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 180 m/s, 300m/s y 600 m/s para las ondas de corte (V_s) y periodos de 0.1 y 0.2 segundos, se estima la presencia de una capa superficial con espesores de entre 4 y 9 metros, seguido por un estrato de 10 a 30 metros. Estos valores para los espesores de las capas fueron confirmados con los modelos de velocidad y espesores de capas obtenidos con los arreglos sísmicos.

En el área urbana de San Clemente, la distribución espacial de periodos bajos sugiere la presencia de una capa superficial de menor espesor que se asienta sobre suelos rígidos a muy rígidos. Esta capa superficial, presenta suelos blandos a muy blandos hacia los extremos de San Clemente; es decir, en la periferia del área urbana.

3.4. Estudio Eléctricos con la Técnica ERT

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

Líneas eléctricas LE01-SC, L02-SC, LE05-SC fueron realizadas sobre depósitos aluviales, y arenas de grano fino; y la línea LE04-SC sobre areniscas poco consolidadas de color gris amarillento de la Formación Pisco. Todas estas líneas

presentan sólo un horizonte geoelectrico, con bajas y muy bajas resistividades, indicando que el nivel freático en esta área está cerca de la superficie.

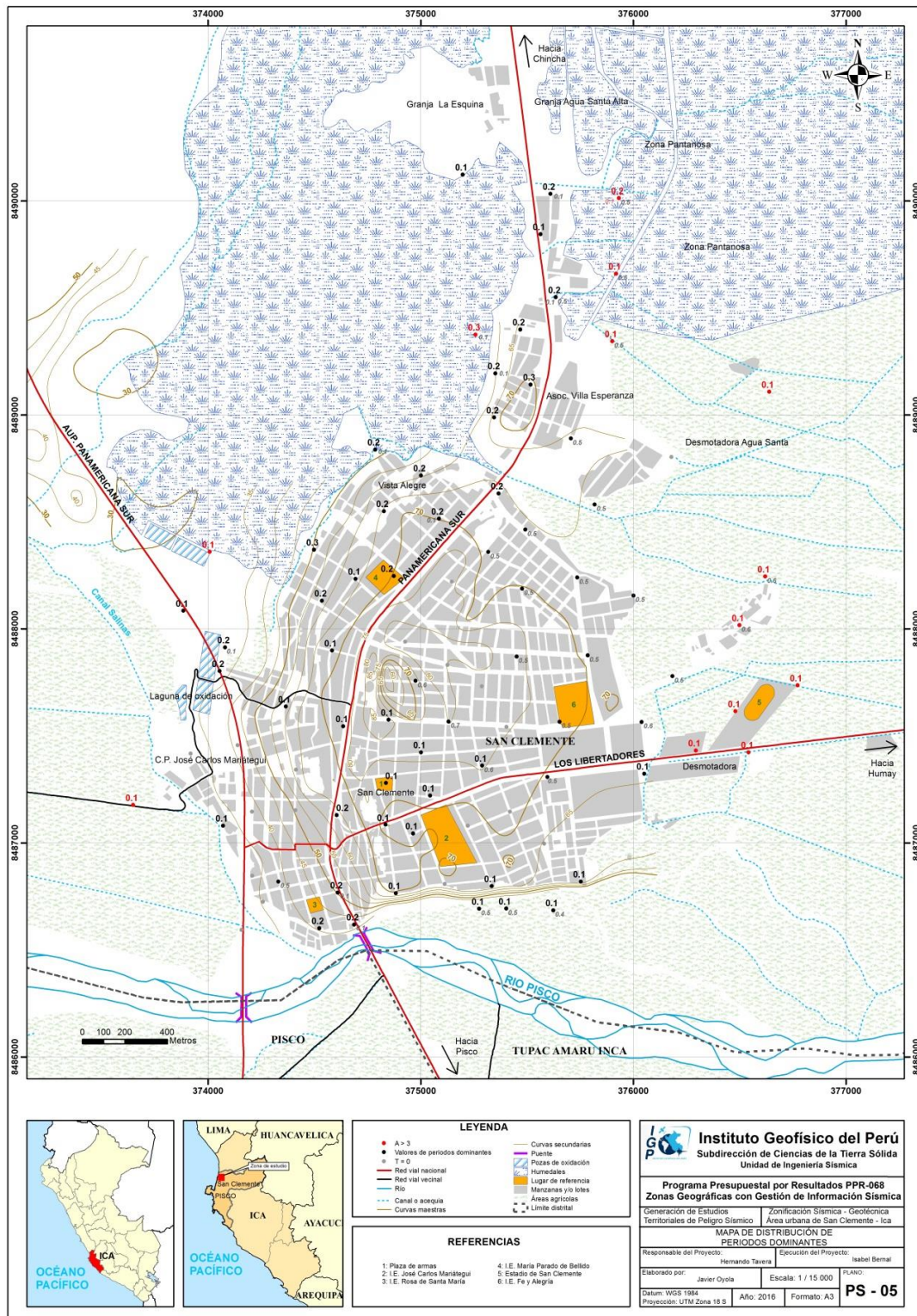


Figura 18: Mapa de la distribución espacial de los valores de periodos dominantes.

Asimismo, próximos al C.P. José Carlos Maritategui, Canal Salinas y a los terrenos de cultivo (Línea LE02-SC), existen pozos de agua y el nivel freático se encuentra a 3 metros de profundidad (Figura 19).



Figura 19. Presencia de pozos de agua próxima a la línea LE02-SC: CP. Jose Carlos Mareategui..

De manera similar, en el sector de Vista Alegre (Línea LE05-SC), existen pozos de agua próximos a la línea eléctrica (Figura 20); por lo tanto la capa freática se encuentra a 3 metros de profundidad, alternada con gravas, sedimentos arenosos y limosos. Además, hacia el Norte de la línea eléctrica se encuentra en el área pantanosa (humedales).



Figura 20. Presencia de pozos de agua próximo a la línea LE05-SC.

Mientras que, en la línea LE04-SC, realizada al SO de la Plaza de Armas cerca al río Pisco, presenta material tipo caliche, compuesto de arena, arcilla, grava y limo (Figura 21). Por su naturaleza, granulometría y la propiedad de conservar la humedad, la arcilla es considerada como un medio conductivo.



Figura 21: Presencia de caliche en la línea LE04-SC.

En la línea LE03-SC realizada al NO de la Plaza de Armas, se observa la presencia de material suelto en superficie y una matriz irregular; dos medios geoelectrónicos (Figura 22): el primero conformado por material medianamente resistivo y muy resistivo en profundidad conformado por conglomerados e intercalación de areniscas compactas. El segundo es un medio compuesto por material de bajas a muy bajas resistividades y donde el nivel freático es superficial.



Figura 22: Características superficiales observada en la línea LE03-SC.

Interpretación

De acuerdo a los resultados obtenidos en este estudio, se concluye que en el área de San Clemente predominan los suelos muy bajo resistivos a bajo resistivos. Al Norte de la plaza de armas de San Clemente, en la calle Los Andes, el nivel freático se encuentra a 3 metros de profundidad y al Sur de la plaza, el nivel freático se encuentra a 5 metros. Asimismo, al Este de la Plaza de Armas (LE01-SC) el nivel freático se

encuentra a los 3 metros de profundidad y al Oeste de la plaza, en el C.P. José Carlos Mariátegui y próximo al puente Huamaní; el nivel freático se encuentra a partir de los 3 metros de profundidad. Los niveles freáticos presentes en la zona, se pueden asociar a la presencia de humedales al Norte y a la presencia del río Pisco al Sur del área urbana.

Geológicamente, San Clemente presenta depósitos aluviales, y fluviales de las formaciones Pisco, Cañete y Huamaní: suelos provenientes de los depósitos aluviales los más importantes para la presencia de agua subterránea que alimentan la capa freática.

Esta capa freática es superficial y puede ser comprobado con los pozos existentes en la calle Ancash, (línea LE05-SC) en el C.P. José Carlos Mariátegui (línea LE02-SC).

En la Tabla 6, se ha clasificado las líneas de acuerdo a los rangos de resistividades identificadas, desde material muy bajo resistivo hasta muy resistivos. Asimismo, en la Figura 23, se presenta el resultado obtenido para la línea LE01-SC y en los Anexo el resultado para las demás líneas.

Tabla 6: Valores de resistividad obtenidos para el área de estudio.

<i>Líneas Eléctricas</i>	<i>Orientación</i>	<i>Profundidad de alcance (m)</i>	<i>Horizonte geoelectrico</i>	<i>Resistividad ($\Omega.m$)</i>	<i>Profundidad Nivel freático (m)</i>
LE01-SC	NS	39	1	< 20	3 m
			2	20 - 100	
LE02-SC	EW	31	1	< 20	3 m
			2	20 - 100	
LE03-SC	NS	39	1	100 - 1600	10 m
			2	< 100	
LE04-SC	EW	23	1	20 - 100	5 m
			2	< 20	
LE05-SC	NS	23	1	20 - 100	3 m
			2	< 20	

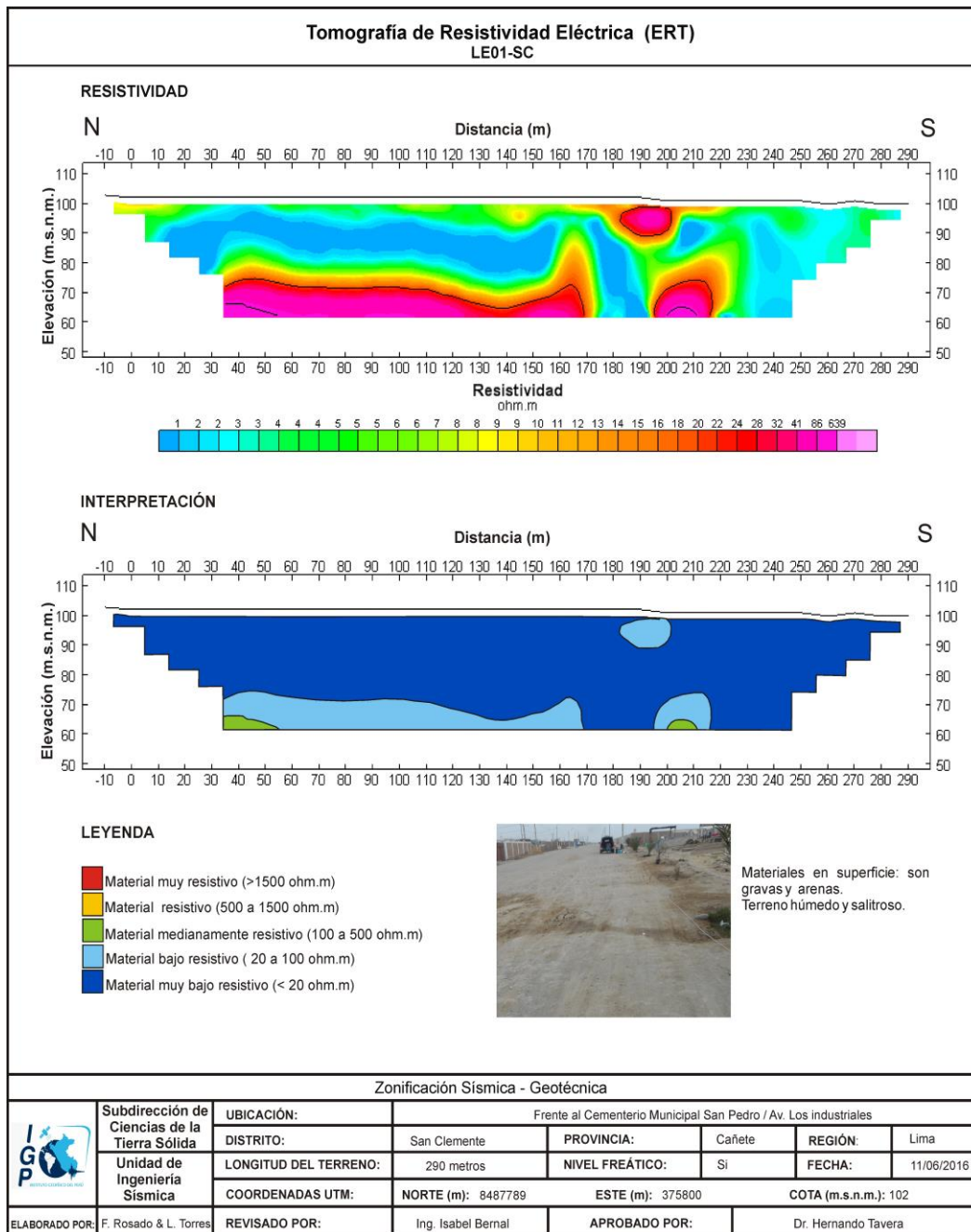


Figura 23: Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método de tomografía eléctrica para la línea LE01-SC.

4. ZONIFICACIÓN SÍSMICA Y GEOTÉCNICA

El mapa de zonificación sísmica y geotécnica se elabora en función de la integración de los resultados obtenidos con los estudios geológicos, geotécnicos y geofísicos realizado en el área urbana de San Clemente, en base en estos resultados, se ha delimitado zonas con características dinámicas similares en base a las características dinámicas del suelo, a sus propiedades mecánicas, y a la Norma de Construcción Sismorresistente E.030. Finalmente, se ha identificado la existencia de suelos Tipo S1, y áreas con máximas amplificaciones del suelo.

4.1. Mapa de Zonificación Sísmica-Geotécnica

Para el área urbana de San Clemente se propone la siguiente zonificación Sísmica – Geotécnica (Figura 24):

***.- ZONA I:** Conformada por estratos de conglomerados semi-consolidados que se encuentran a nivel superficial cubiertos por depósitos de material fino de poco espesor. Este suelo tiene un comportamiento rígido, con periodos de vibración natural que varían entre 0.1 y 0.3 segundos. Considerando las velocidades de ondas de corte (300 y 600 m/s) identificado para los suelos, se tiene el dominio de suelos Tipo S1 de la norma sismorresistente peruana. Estos suelos presentan una capacidad de carga admisible de 2.0-3.0 Kg/cm².*

En la Figura 24, con líneas en color rojo se delimita las áreas donde se presentan las máximas amplificaciones evidenciando la menor consistencia del estrato superficial de estos suelos ubicados en zonas próximas al pantano, a la laguna de Oxidación y la Desmotadora Agua Santa. Asimismo, en diversos puntos ubicados en la zona céntrica del área urbana no sobresale ninguna frecuencia evidenciando la presencia de suelos muy rígidos.

Para esta misma zona, se delimita con un malla, el área ubicada hacia el extremo NE de la zona central por el colegio José Carlos Mariátegui y mercado Progreso, por tener la presencia de capas con espesor total de 26 metros compuestos por suelos rígidos a muy rígidos (Vs 591 a 698 m/s) depositados sobre suelos menos consolidados de la formación Huamaní.

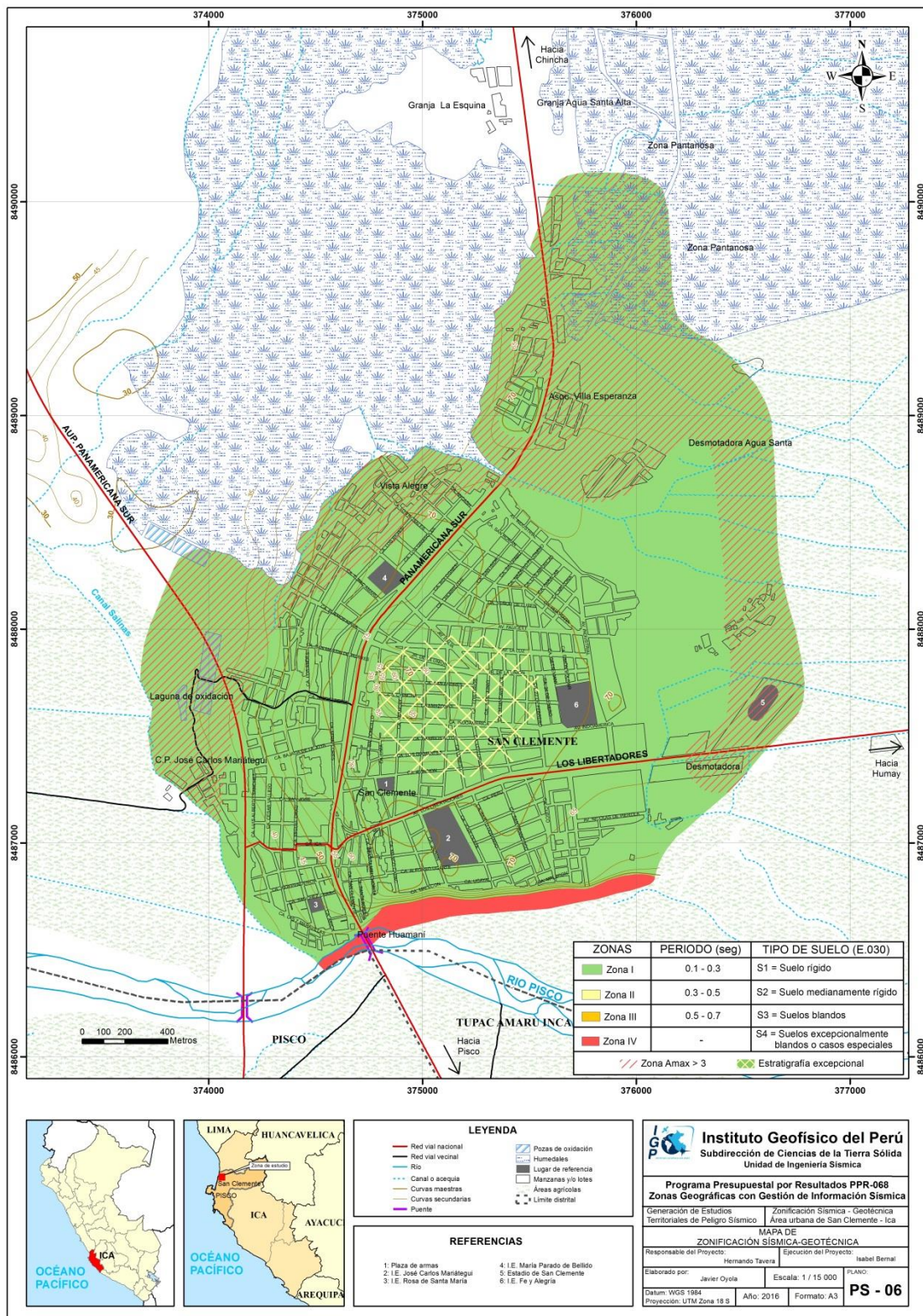


Figura 26. Mapa de Zonificación Sísmica del área urbana de San Clemente.

CONCLUSIONES

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

Conclusiones

- En el área de estudio se han identificado nueve unidades geomorfológicas: Colinas, lomas, acantilados, 4 terrazas aluviales, llanura de inundación y lecho fluvial, que ocupan el 1.5%, 8.2%, 0.1%, 85.1%, 8.1% y 2.2% respectivamente del área urbana de estudio y el área urbana de San Clemente se asienta sobre las terrazas aluviales.
- Los materiales que conforman el subsuelo de San Clemente corresponden a depósitos aluviales que se encuentran conformados por materiales heterogéneos (arenas limosas y clastos aislados de gravas) que suprayacen a los conglomerados de la Fm. Cañete y areniscas de la Fm. Huamaní. El substrato rocoso de la ciudad en mención lo constituyen rocas diatomitas y limo-arcillitas de la Formación Pisco.
- Se han identificado dos tipos de eventos geodinámicos: Inundación por desborde del río Pisco que afectaría terrenos de sembrío (sector el Tigre) y desprendimientos de materiales (suelos y gravas) en los acantilados ubicados al sur de la ciudad y en las inmediaciones del coliseo deportivo.
- Se han identificado ocho tipos de suelo en el área urbana de San Clemente, entre los cuales predominan: limos orgánicos de baja plasticidad (OL), arenas mal graduadas (SP) y limo orgánico de alta plasticidad (OH); los mismos que presentan capacidad de carga admisible baja ($1 - 2 \text{ Kg/cm}^2$) al extremo norte (Asoc. Villa Esperanza y Vista Alegre), alta ($> 3.00 \text{ kg/cm}^2$) al este de la I.E María Parado de Bellido, media ($2 - 3 \text{ Kg/cm}^2$) en el casco urbano central y capacidad de carga admisible muy baja ($< 1.00 \text{ kg/cm}^2$) en el extremo sur-occidental de la ciudad (inmediaciones de las lagunas de oxidación).
- Se evidenció presencia de nivel freático en la parte oriental de San Clemente a

1.60 m de profundidad y aisladamente, en las inmediaciones del área urbana, alrededor de 3.00 m de profundidad.

- En el área de estudio se definen la existencia de 2 capas sísmicas y un semiespacio. En el C.P. José C. Mariátegui y en la calle Los Andes, existen suelos blandos para la primera capa (V_s : 151 a 179 m/s) de 3 a 5 metros de espesor, siendo en profundidad suelos medianamente rígidos, los cuales conforme se avanza hacia la calle Los Andes, son suelos rígidos. En esta zona existen suelos conformando por areniscas poco consolidadas de la formación Pisco. En la Asc. Villa Esperanza, también se presenta suelos blandos en superficie (V_s 163 m/s) debido a la existencia de zonas pantanosas en esta área de hasta 3 metros de espesor y suelos medianamente rígidos a rígidos en profundidad correspondientes a rocas de la formación Huamaní de pobre compactación. Hacia el extremo SE, próximo a la carretera Panamericana (por el colegio Rosa de Santa María), los suelos son medianamente rígidos (V_s 224 a 302 m/s) para la primera y segunda capa con un espesor total de 11 metros. Esta capa suprayace a suelos duros en profundidad.
- En la zona de estudio predominan suelos muy bajos resistivos a bajos resistivos. Al Norte de la plaza de armas de San Clemente, el nivel freático se encuentra a 3 metros de profundidad y en la dirección Sur a 5 metros. Al Este y Oeste de la Plaza de armas, el nivel freático se encuentra a los 3 metros de profundidad. El alto nivel freático de la zona, se asocia a la presencia de zonas pantanosas al extremo norte y en la proximidad al río Pisco.
- Los resultados obtenidos para el área urbana de San Clemente han permitido identificar, según las características dinámicas del suelo, sus propiedades mecánicas y el procedimiento establecido en la Norma E.030, la existencia de Solo una (1) zona sísmica correspondiente a suelos Tipo S1 (suelos rígidos), Las áreas con mayor amplificación de suelos se encuentran en los extremos Este, Norte y Oeste del área de estudio.

BIBLIOGRAFÍA

- APESEG (2005). Estudio de vulnerabilidad y riesgo sísmico en 42 distritos de Lima y Callao, CISMID, 10 pag.
- Atala A., César A., (2011). Estudio Experimental sobre Correlaciones en Suelos Granulares Finos (Arenas) Compactados, Usando Equipos de Penetración.
- Bard, P-Y y SESAME (2001) The SESAME project: an overview and main results. 13 World Conference on Earthquake Engineering Vancouver, B.C., Canada August 16, 2004 Paper No. 2207
- Bard, P-Y. (1995) Effects of surface geology on ground motion: Recent results and remaining issues, In Proc. 10 European Conf. Earth. Eng., ed. Duma, Balkema, Rotterdam, 305-323
- Bastiani, M. (2006). Tesis de maestría: Propuesta de nuevos turísticos en la cuenca del río Pisco: los sitios prehispánicos en relación a su medio ambiente, como recursos culturales potencialmente turísticos. UNMSM, Lima.
- Belaústegui, S. (1999) - Pendientes del terreno y fundamentos del caudal máximo no erosivo. Hoja técnica N° 07. Buenos Aires - Argentina. 4 p.
- Beresnev, I.A., K.L. Wen, and Y.T. Yeh 1995a, "Nonlinear Soil Amplification: It's Corroboration in Taiwan. Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 85, pp. 496-515
- Bernal, I. (2002) Microzonificación 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
- Cahill & Isacks, (1992) - Seismicity and shape of the subducted Nazca Plate. Journal Geophys. Res., 97, 17503-17529.
- Dorbath, L., Cisternas, A., Dorbath, C. (1990). Assessment in the size of large and great historical earthquake in Peru. B.S.S.A., 80,551-576
- Felcísimo, M. (1994) - Modelos digitales del terreno. Oviedo-España: Pentalfa. 222 p. ISBN: 84-7848-475-2. 222 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

- Garrido G., Alonso A., (2011). Análisis de Variación del Índice de Penetración Dinámico (N10) por Influencia de la Precipitación en Taludes de Campo.
- Gasulla, M.; Jordana, J.; Pallás, R.; Torrents, J.M. (1998). Subsurface resistivity measurements using square waveforms. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 47(1): 74-77.
- GITS - Grupo de investigación de transportes de sedimentos.
- Gutiérrez, M. (2008) - Geomorfología. Edit. Pearson/Prentice Hall, Madrid, 898 p. ISBN 97884832-23895.
- Hartzel, S. H. (1992). Site response estimation from earthquake data. Bull. Seism. Soc. Am. 82, 2308-2327
- Harvey, J. C., (1987) – Geology for geotechnical engineers (Cambridge University Press), 5p y 13p.
- 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 Encyclopedia 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.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2007). Censos Nacionales 2007 XI de Población y VI de Vivienda. Recuperado de <https://www.inei.gob.pe/estadisticas/censos/>
- 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
- Juaréz, 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.
- Macharé, J., Benavente, C., Audin., Laurence. (2008) – Síntesis descriptiva del mapa neotectónico [Boletín C-40]
- Ministerio de Economía y Finanzas. (2010). Distribución del Gasto del Gobierno Local por Fuentes de Financiamiento y Grupo Genérico de Gastos
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2015) – https://www.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/mapas_viales.html
- Monge, R. & Montoya C. (2002) - Geología de los cuadrángulos de Pisco (escala 50000). INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional.
- Municipalidad Distrital de San Clemente. (2015). Plan de Desarrollo Concertado 2016 – 2025. Ica – Perú.
- Nakamura Y. (1989). A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. Quaterly Report Railway Tech. Res. Inst., 30-1, 25-30.
- Naranjo A., Hector & Dranichnikov T. (2012). Cálculo de la capacidad portante basado en geofísica y método convencional: El caso del puente sobre el río Maicito.
- Orellana, E. (1982). Prospección geoeléctrica en corriente continua. Madrid: Ediciones Paraninfo.
- Park, C. B., Miller, R. D. y Xia, J. (1999). Multichannel analysis of surface waves Geophysics 64 800-8.
- Park, C. B., Miller, R. D., Xia, J., & Ivanov, J. (2007). Multichannel analysis of surface waves (MASW)—active and passive methods. The Leading Edge, 26 (1), 60–64.
- Park, C.B. (2014). MASW for geotechnical site investigation. The Leading Edge, 32(6):656-662.
- Park, C.B. (2015). Data acquisition. Retrieved 23 June, 2015, from <http://www.masw.com/DataAcquisition.html>
- Perrone, A., Iannuzzi, A., Lapenna, V., Lorenzo, P., Piscitelli, S., Rizzo, E., and Sdao, F. (2004). Highresolution electrical imaging of the Varco d'Izzo earthflow

- (southern Italy), J. Appl. Geophys., 56, 17–29, doi:10.1016/j.jappgeo.2004.03.004
- PNUD (2010). Riesgo sísmico y medidas de reducción del riesgo en Lima. PNUI, INDECI, Proyecto N° 00058530 Recuperado de https://www.mef.gob.pe/contenidos/presu_publico/sectr_publico/presu_2010/anexos/Anexo5.pdf.
- Reynolds, J.M. (2011). An Introduction to Applied and Environmental Geophysics. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, 2nd ed., 712 pp.
- Roma, V. (2010). Seismic geotechnical site characterization by means of MASW and ReMi methods. FastTIMES, 15(3):16-28.
- Samouëlian, A., I. Cousin, A. Tabbagh, A. Bruand y G. Richard, (2006). Electrical resistivity survey in soil science: a review. Soil Till Res 83, 173-193
- SESAME European research project WP12 – Deliverable D23.12: (2004). Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations measurements, processing and interpretation.
- Silgado, E. (1978). Historia de los sismos más notables ocurridos en el Perú entre 1513 y 1974. Instituto Geológico Minero del Perú, Lima, Perú, 120 pag.
- Socco, L.V., Boiero, D., Comina, C., Foti, S., y Wisen, 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.
- Tarbut, E., D. Lutgens, F., K., (2005) Ciencias de la Tierra. Una introducción a la Geología Física Prentice Hall. Cap16. 8a edición. 710 pp.
- Tavera, H. & Buforn, E., (2001) - Source Mechanism of Earthquake in Peru. Journal of Seismology, en prensa.
- Tavera, H., (2014) - Escenario sísmico en base a la intensidad máxima esperada en un probable sismo frente a la zona costera de Lima.
- Tavera, H., Buforn, E. (2001). Source mechanism of earthquakes in Peru. Journal of Seismology 5: 519–539, 2001.
- Terzaghi K., & Peck R., B. (1967). Soil Mechanics in Engineering Practice, John Wiley, New York.
- Terzaghi Karl, Peck, Ralph & Mesri Gholamreza (1996). Soil Mechanics in Engineering Practice, third edition.

- 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.
- 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.
- 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.
- Zinck, J. (1988) - Physiography and soils. Lecture notes. Enschede, The Netherlands: International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC).

ANEXO

La información que se detalla está contenida en formato digital que se adjunta al presente Informe Técnico: “Zonificación Sísmica – Geotécnica del área urbana ciudad de San Clemente”.

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 Temáticos