



PERÚ

Ministerio
del Ambiente



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

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



ZONIFICACIÓN GEOFÍSICA – GEOTÉCNICA DE LA CIUDAD DE SAN LUIS

Lima - Perú

2017

Instituto Geofísico del Perú

Presidente Ejecutivo: Hernando Tavera

Director Científico: Danny Scipion

Autores

Isabel Bernal

Caracterización Geofísica de la Ciudad de San Luis

Juan Carlos Gómez

Caracterización Geológica y Geotécnica de la Ciudad de San Luis

Equipo de Evaluación Geológica y Geotécnica: Julio Cesar Lara

Equipo de Evaluación Sísmica y Geofísica: Fabiola Rosado / Henry Salas / Wilfredo Sulla Liliana Torres / Javier Oyola / Kelly Parí / 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 GEOFÍSICA – GEOTÉCNICA DE LA
CIUDAD DE SAN LUIS**

Distrito de San Luis – Provincia de Cañete – Región Lima

RESUMEN

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

El análisis e interpretación de los datos obtenidos permiten tener como resultado la “Zonificación Geofísica – Geotécnica de los suelos de la ciudad de San Luis”, 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 de la ciudad de San Luis.

PARTE 3: Caracterización sísmica y geofísica de la ciudad de San Luis.

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS: Documentos y Anexos se adjuntan en formato digital

1. INTRODUCCIÓN

Dentro del Programa Presupuestal por Resultados N°068 “**Reducción de la Vulnerabilidad y Atención de Emergencias por Desastres**”, el Instituto Geofísico del Perú ejecutó durante el año 2016 el Proyecto “**Zonas Geográficas con Gestión de Información Sísmica**” y como parte del mismo, la Sub-Dirección de Ciencias de la Tierra Sólida desarrollo la Actividad “**Generación de Estudios Territoriales de Peligro Sísmico**” a fin de obtener el Mapa de Zonificación Geofísica – Geotécnica (Comportamiento Dinámico del Suelo) para el área urbana de las siguientes ciudades (Figura 1):

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

De acuerdo a la historia sísmica del Perú se ha demostrado que su borde occidental presenta un alto índice de ocurrencia de eventos sísmicos y de acuerdo a su magnitud, muchos de ellos han producido daños importantes en ciudades y localidades distribuidas cerca de la zona costera. La ocurrencia de efectos secundarios como asentamientos, licuación de suelos, derrumbes, caídas de roca y tsunamis propiciaron el incremento de pérdidas humanas y materiales en el área epicentral (Silgado, 1978; Dorbath et al., 1990; Tavera y Buforn, 2001). 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.

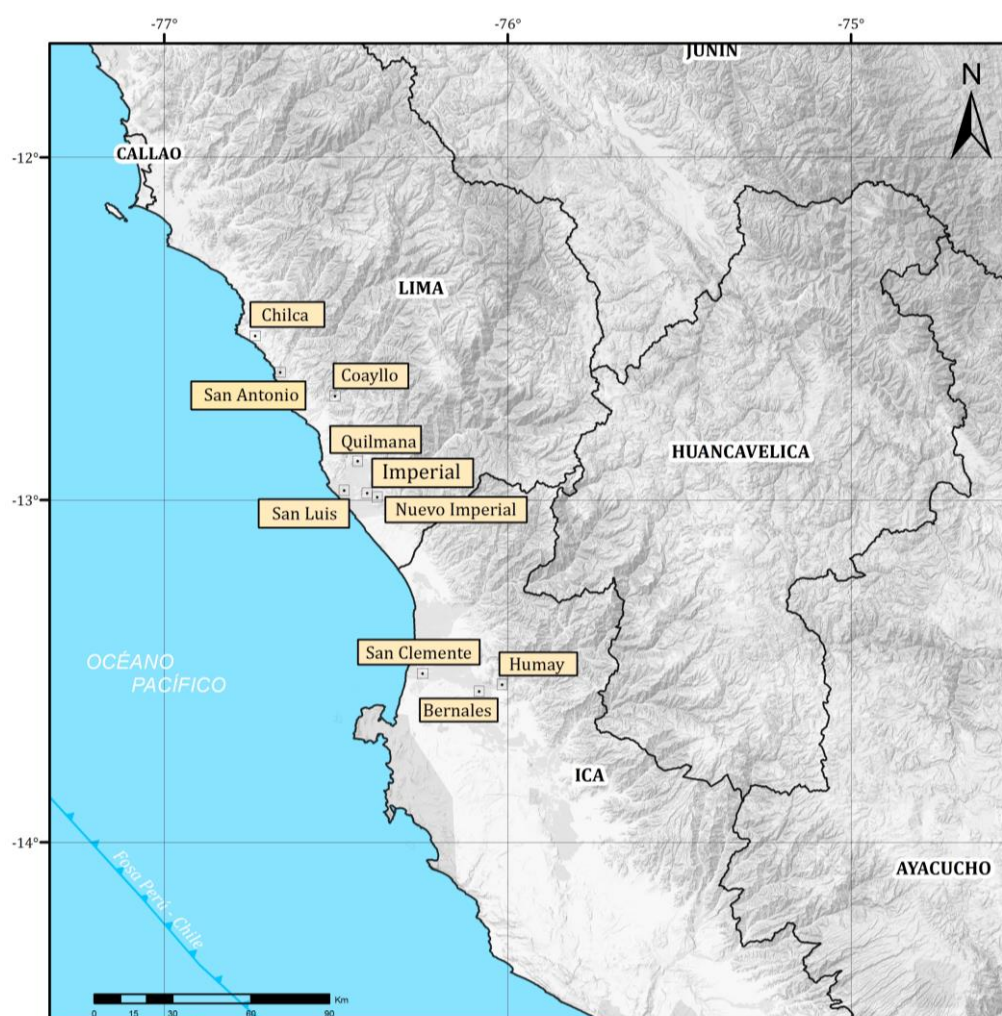


Figura 1: Distribución espacial de las ciudades intervenidas con estudios de Zonificación Sísmica- Geotécnica de suelos.

Los estudios de Zonificación Geofísica – Geotécnica (Comportamiento Dinámico del Suelo), permitirán tener mayor conocimiento sobre las características dinámicas del suelo sobre el cual se levantan las ciudades y/o futuras áreas de expansión. Para ello se realiza la aplicación de diferentes metodologías que consideran datos sísmicos, 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 ciudad de San Luis 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 Geofísica – Geotécnica.

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

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

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

1.1. Objetivo

El principal objetivo a cumplir en este estudio es obtener el mapa de Zonificación Geofísica - Geotécnica para la ciudad de San Luis, provincia de Cañete región Lima, 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 (Figura 2).

1.2. Historia

Durante el Intermedio Tardío (1000-1400 d.n.e.), en la parte baja del valle de Cañete, se establecieron los Huarcos, un grupo social que aprovechó el recurso marino y la fertilidad de los suelos del lugar para desarrollar actividades agrícolas (Rostworowski, 1983). Más al este, en la zona alta del citado valle se encontraban asentados los Yauyos, una cultura antigua que alcanzó un gran desarrollo en el cultivo

y aclimatación de muchas variedades de plantas, además de la domesticación de animales.



Figura 2: Mapa de ubicación geográfica de la ciudad de San Luis.

Según Cieza de León (1550), a la llegada del imperio incaico (a partir del siglo XV), el valle bajo del río Cañete se encontraba poblado por 30000 habitantes bajo el dominio de un señorío. El confrontamiento disputado entre los incas y los lugareños del valle por el dominio de tierras, tuvo una duración aproximada de 4 años con una victoria estratégica de los invasores incaicos (Modificado de Cieza de León, 1962 [1550]).

Con la finalidad de afianzar el poderío administrativo e ideológico del imperio, Túpac Yupanqui estableció la fortaleza Incahuasi (ubicado a 30 km al Este de la actual ciudad de Cañete) como centro administrativo del valle y dependiente del Cuzco, cuya relación perduró hasta la conquista española (siglo XVI). Posteriormente, en la época colonial, a partir de las órdenes del virrey Hurtado de Mendoza se fundan las villas en el Perú. Cañete no fue ajeno a estas nuevas configuraciones político-administrativas, bajo el nombre de Villa Santa María de Cañete se crea el primer pueblo de españoles (30 de agosto de 1556) en Puerto de la Fortaleza (localizado entre los actuales distritos de Cerro Azul y San Luis).

A consecuencia de los constantes saqueos de piratas ingleses y la destrucción ocasionado por el terremoto de 1578, los habitantes del pueblo español citado anteriormente se trasladan al pie del “cerro de los celosos” (actual San Luis), donde radicaron hasta el año de 1687, finalmente, cansados de los aún perennes saqueos migran a San Vicente de Mártir (actual San Vicente de Cañete), donde se inicia el desarrollo de actividades económicas agrícolas afianzados por el establecimiento de grandes fundos y el crecimiento demográfico a causa de la llegada de inmigrantes nacionales y extranjeros (asiáticos y africanos). En la época de la República, San Luis fue ascendido al rango de distrito el 12 de enero de 1871 e integrado por los anexos La Quebrada, Laura Caller, Santa Bárbara, Santa Cruz y Hacienda Arona (Municipalidad de San Luis, s.f.)

El distrito de San Luis se encuentra ubicado en la zona costera de la provincia de Cañete, a 138 km al sur de la ciudad de Lima, abarca un área de 37 km² (98% del total del distrito), conformada por los anexos: La Quebrada, Laura Caller, Santa Bárbara, Santa Cruz, Los Olivos, Don Luis y San Pablo, en las coordenadas UTM (Universal Transversal Mercator) 344888 E, 8556773 N y cota promedio de 26 m.s.n.m.; geopolíticamente limita: por el norte con distrito de Quilmaná, al este con el distrito de Imperial, al sur con el distrito de San Vicente de Cañete y por el oeste con el

distrito de Cerro Azul. Desde el punto de vista jerárquico de la Iglesia católica del Perú, forma parte a la prelatura de Yauyos (Figura 2).



Figura 3: Plaza principal de la ciudad de San Luis.

Actualmente, según el censo realizado por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) en el 2017, el distrito de San Luis registró un total de 13 436 hab. Con una densidad 348.72 hab/km².

1.3. Accesibilidad y Clima

El acceso al distrito de San Luis se realiza por la carretera Panamericana Sur, vía asfaltada en buen estado de conservación, hasta el kilómetro 138, hasta llegar a la municipalidad distrital de San Luis. (Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones MTC).

Las condiciones climáticas en la ciudad de San Luis, presenta un clima típico de valle costeño: sub-tropical, caracterizado por ser muy seco y semi-cálido, y escasa precipitación pluvial, que es de 26.6 mm anuales. Presenta una temperatura promedio, en verano, de 28 °C y en invierno oscila entre los 14 y 20 °C. La estación invernal es fría, con un alto porcentaje de humedad atmosférica, su promedio mensual varía de 81% en verano a 87% en invierno (INDECI, 2008).

1.4. Economía

La principal actividad económica del distrito de San Luis, es la agricultura, cuyo porcentaje de participación al PBI local es del 47.5% (INEI, 2007).

Según el INEI (2013), el 17.25% (2270 hab.) de la población total de San Luis son pobres y dependen de los ingresos por prestaciones y programas sociales de apoyo, obtenidos del gasto presupuestal total anual s/.4 314 968 (MEF, 2017).

Considerando el gasto presupuestal anual del 2017 y del 2010, el monto último asciende a la suma de S/.2 602 455 (MEF, 2010), se observa un incremento del presupuesto que indica, una continua dependencia de la municipalidad con el gobierno regional y nacional.

1.5. Estudios previos

Para la ciudad de San Luis, 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 cumplir con los objetivos del presente estudio, además de complementar los resultados a obtenerse. Entre los principales documentos técnicos consultados, se tiene:

- INDECI (2002). Mapa de peligros, plan de usos del suelo y propuesta de las medidas de mitigación de los efectos producidos por los desastres naturales de las ciudades de la Provincia de Cañete. El informe indica que los peligros geológicos más relevantes que afectarían el distrito de San Luis son los sismos, tsunamis (anexo Santa Bárbara) e inundaciones por desbordes de la acequia María Angola (anexo La Quebrada). Además, en dicha acequia se vierten desechos domésticos, así como, el arrojado de desechos sólidos en su cauce.

- Salazar & Landa (1993). Geología de los cuadrángulos de Mala, Lunahuaná, Tupe, Conayca, Chíncha, Tantarà y Castrovirreyna. El estudio muestra la descripción litológica de las distintas unidades geológicas del Cuadrángulo de Chíncha a escala 1: 100,000 donde se encuentra el distrito de San Luis. Las unidades geológicas identificadas en la zona de estudio son rocas sedimentarias de la Formación Cañete (conglomerados semiconsolidados con clastos redondeados y subredondeados de litología variada, en matriz arenolimosas), depósitos Cuaternarios (aluviales y marinos) y rocas intrusivas de la Super Unidad Linga (monzogranito).

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 y geofísicas de los suelos. En conjunto, estos controlan la amplificación de las ondas sísmicas causantes de los daños a observarse en superficie después de ocurrido un evento sísmico.

Las condiciones locales de sitio son evaluadas en los estudios de Zonificación Geofísica - geotécnica y el resultado es considerado como una de las herramientas más importantes para minimizar los daños producidos por los sismos. La finalidad es evaluar el comportamiento dinámico de los suelos (CDS), teniendo en cuenta que la intensidad del sacudimiento sísmico 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.

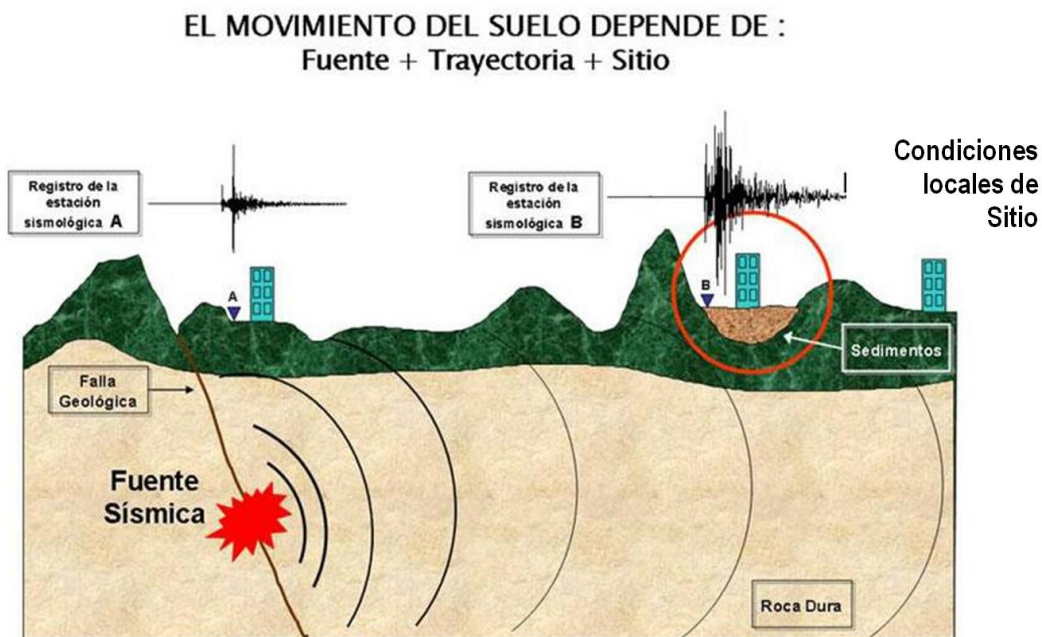


Figura 4: Las condiciones locales de sitio controlan la amplificación del sacudimiento del suelo, puesto en evidencia con la amplitud del registro sísmico obtenido sobre roca y sedimentos.

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 Geofísica - Geotécnica que debe constituirse como el documento más importante en las tareas y programas de gestión del riesgo ante la ocurrencia de sismos.

2.1. La Norma Técnica E.030

En el Perú, la construcción de obras civiles de cualquier envergadura debe considerar la Norma Técnica E.030 “Diseño Sismorresistente” del Reglamento Nacional de Edificaciones, modificada según Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda. Básicamente, esta norma considera los perfiles de suelos en función de sus propiedades físicas, tomando en cuenta la velocidad promedio de propagación de las ondas de corte, o alternativamente, para suelos granulares, considera el promedio ponderado de los N_{60} obtenidos mediante un ensayo de penetración estándar (SPT), o el promedio ponderado de la resistencia al corte en condición no drenada S_u para suelos cohesivos. Se estable 5 perfiles (Tabla 1).

- **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 1: Clasificación de los perfiles de suelo según la norma E.030

| Perfil | V_{s30} (m/s) | Descripción |
|----------------------|--------------------------------|---------------------------|
| S₀ | > 1500 | Roca dura |
| S₁ | 500 a 1500 | Roca o suelo muy rígido |
| S₂ | 180 a 500 | Suelo medianamente rígido |
| S₃ | < 180 | Suelo blando |
| S₄ | Clasificación basada en el EMS | Condiciones Excepcionales |

- **Perfil Tipo S₃: Suelos Blandos**, corresponden suelos flexibles con velocidades de propagación de onda de corte V_s menor o igual a 180 m/s.
- **Perfil Tipo S₄: Condiciones Excepcionales**, corresponde a suelos excepcionalmente flexibles y los sitios donde las condiciones geológicas y/o topográficas son particularmente desfavorables, en los cuales se requiere efectuar un estudio específico para el sitio. Será determinado con un Estudio de Mecánica de Suelos (EMS).

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 Geofísica – Geotécnica se realiza en función de las características mecánicas y dinámicas de los suelos que conforman el terreno de cimentación del área de estudio y de las consideraciones dadas por Norma E.030 (Diseño Sismorresistente). En tal sentido y de acuerdo a los estudios realizados, se establece la existencia de 5 zonas cuyas características son:

ZONA I: Zona conformada por estratos de grava coluvial-eluvial que se encuentran a nivel superficial o cubiertos por un estrato de material fino de poco espesor. Este suelo tiene comportamiento rígido con periodos de vibración natural determinados por las mediciones de microtrepidaciones (registros de vibración ambiental) que varían entre 0.1 y 0.3 s, con velocidad de las ondas de

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

ZONA II: En la zona se incluye las áreas de terreno conformado por estratos superficiales de suelos granulares finos y suelos arcillosos con espesores que varían entre 3.0 y 10.0 m., subyaciendo a estos estratos se tiene grava eluvial o grava coluvial. Los periodos predominantes del terreno, determinados por las mediciones de microtrepidaciones, varían entre 0.3 y 0.5 s, con velocidades de las ondas de corte (V_s) que varía entre 180 y 500 m/s, correspondiendo a suelos Tipo S2 de la norma sismorresistente peruana.

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

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

ZONA V: Zona constituida por áreas puntuales conformadas por depósitos de rellenos sueltos correspondientes a desmontes heterogéneos que han sido colocados en depresiones naturales o excavaciones realizadas en el pasado con espesores entre 5 y 15 m. En esta zona se incluye también a los rellenos sanitarios que en el pasado se encontraban fuera del área urbana y que, en la actualidad, han sido urbanizados. El comportamiento dinámico de estos rellenos es incierto por lo que requieren de estudios específicos.

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

CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA DE LA CIUDAD DE SAN LUIS

CONTENIDO

1. METODOLOGÍA

1.1. Base Topográfica

2. GEOMORFOLOGÍA

2.1. Modelo Digital del Terreno (MDT)

2.2. Pendientes

2.3. Unidades geomorfológicas

3. GEOLOGÍA

3.1. Geología regional

3.1.1. Geología histórica

3.1.2. Geología estructural

3.2. Geología local

4. GEODINÁMICA

4.1. Procesos de geodinámica interna

4.2. Procesos de geodinámica externa

4.3. Zonas susceptibles a procesos geodinámicos externos

5. ASPECTOS GEOTÉCNICOS

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

5.1.1. Descripción de calicatas

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

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

5.4. Ensayo de penetración dinámica ligera (Norma DIN4094)

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

5.4.2. Calculo del ángulo de fricción interna

5.5. Clasificación SUCS para suelos

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

5.7. Capacidad de carga admisible

5.7.1. Carga última

5.7.2. Capacidad de carga admisible baja

5.7.3. Capacidad de carga admisible media

5.7.4. Capacidad de carga admisible alta

1. METODOLOGÍA

El estudio de cartografiado geológico, geomorfológico, geodinámico y de exploraciones geotécnicas realizadas en la ciudad de San Luis, se desarrollarán en 3 fases:

- ✓ **Gabinete I:** Las actividades realizadas incluyeron la revisión de imágenes satelitales georeferenciadas GeoEye-1 del Servidor Digital Globe (2013), con resolución 0.46 m, con la finalidad de delimitar la zona de estudio. Asimismo, la recopilación de información bibliográfica de la zona a escala regional y local (boletines geológicos, informes técnicos, entre otros).
- ✓ **Campo I:** Se realizó el cartografiado de las unidades geomorfológicas y litológicas aflorantes a escala 1: 30 000. Asimismo, se identificó y delimito los eventos geodinámicos de la zona como las caídas de rocas, tsunamis e inundaciones (desborde de acequias).

Paralelo a este trabajo, se realizó la topografía de la zona a escala 1:30 000.

- ✓ **Campo II:** Elaboración de ensayos geotécnicos:

Elaboración de calicatas: Estas se realizaron a una profundidad promedio de 3.00 m. En San Luis se realizaron 7 calicatas distribuidas equitativamente entre el casco urbano y área de expansión urbana.

Ensayos de Penetración Dinámica Ligera (DPL): Estos se realizaron con el fin de determinar la resistencia de los suelos al ser penetrados. En San Luis se llevaron a cabo 7 DPL.

Ejecución de auscultaciones haciendo uso de posteadora: estas se distribuyeron alternas a la ubicación de las calicatas, con el fin, de determinar el tipo de suelo. En el área de estudio se llevaron a cabo 6 posteos.

- ✓ **Laboratorio:** Procesamiento de las muestras de suelos, a través de ensayos del laboratorio tales como granulometría, (tipo de suelos SUCS), humedad, densidad y corte directo (capacidad portante).

- ✓ **Gabinete II:** Elaboración del informe técnico que adjunta los siguientes anexos: Fichas geotécnicas (calicatas, posteos, DPL,), fichas geodinámicas (identificación de zonas susceptibles a movimientos en masa e inundaciones) y planos temáticos a escala 1:30 000.

1.1. Base Topográfica

Se obtuvo a partir de un levantamiento topográfico realizado en la ciudad de San Luis, sobre un área de 75 hectáreas (sector urbano). Este trabajo se realizó con el propósito de obtener la representación digital del relieve que conforma el área de estudio (terrazas, colinas, montañas, entre otros).

Para la ejecución del levantamiento topográfico, se utilizó una estación total (marca Nivo 3.C con resolución de 3") para realizar las mediciones de la superficie del terreno, se considera un punto de control, cuyas coordenadas fueron establecidas con una antena y receptor GPS/GNSS de doble frecuencia descrito (Tabla 1).

Tabla 1: Punto de control ubicado en las inmediaciones del colegio Medrano.

| BM | ESTE | NORTE | ALTITUD (m.s.n.m.) | DESCRIPCIÓN |
|----|--------|---------|--------------------|--------------|
| BM | 353494 | 8556031 | 53 | Cerro de Oro |

Luego, desde el punto de control antes mencionado se estableció un polígono cerrado conformado por 5 vértices (Figura 1), además se tomaron 192 mediciones (puntos de relleno) que contienen información planimétrica (coordenadas este y norte) y altimétrica (elevación ortométrica), 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 11,200 ha., se utilizaron imágenes SRTM en formato GeoTiff, descargadas de Consortium for Spatial Information (CGIAR-CSI) y procesadas con los vértices.

A partir del uso de un software de Diseño Asistido por Computador (CAD) y los datos recabados del levantamiento topográfico y del SRTM, se obtuvo un plano topográfico a escala 1:15000 que contiene curvas de nivel (líneas que unen puntos con igual altitud) con resolución espacial de 5 m.

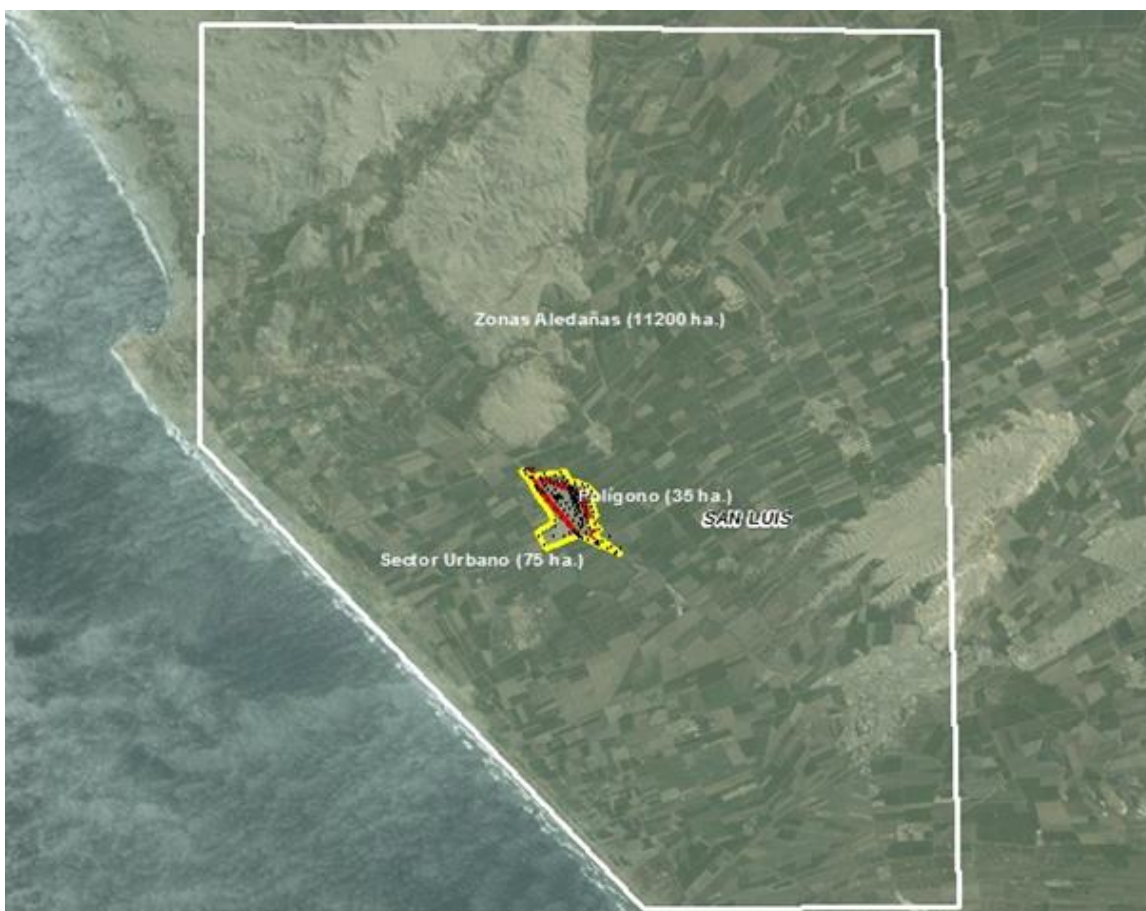


Figura 1: Se describe en línea roja el área del polígono (35 ha), en amarillo el sector urbano (75 ha) y en blanco las zonas aledañas (11200 ha)

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 la ciudad de San Luis, en relación a su origen. Previamente, en base al levantamiento topográfico realizado y mediante herramientas computacionales (SIG) se han elaborado los planos: Modelo Digital del Terreno (MDT) y pendientes, con el fin de delimitar las características geomorfológicas del terreno (geoformas). Esta información fue verificada y validada durante el trabajo de campo. Asimismo, fue útil para delimitar las unidades geomorfológicas del área de estudio.

2.1. Modelo Digital del Terreno (MDT)

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

Para la elaboración del MDT de la ciudad de San Luis, se tomó en cuenta el uso de herramientas SIG sobre las curvas de nivel diseñadas anteriormente, obteniendo como resultado la representación digital de la superficie del terreno que cubre un área de 37 km² aproximadamente (Figura 2).

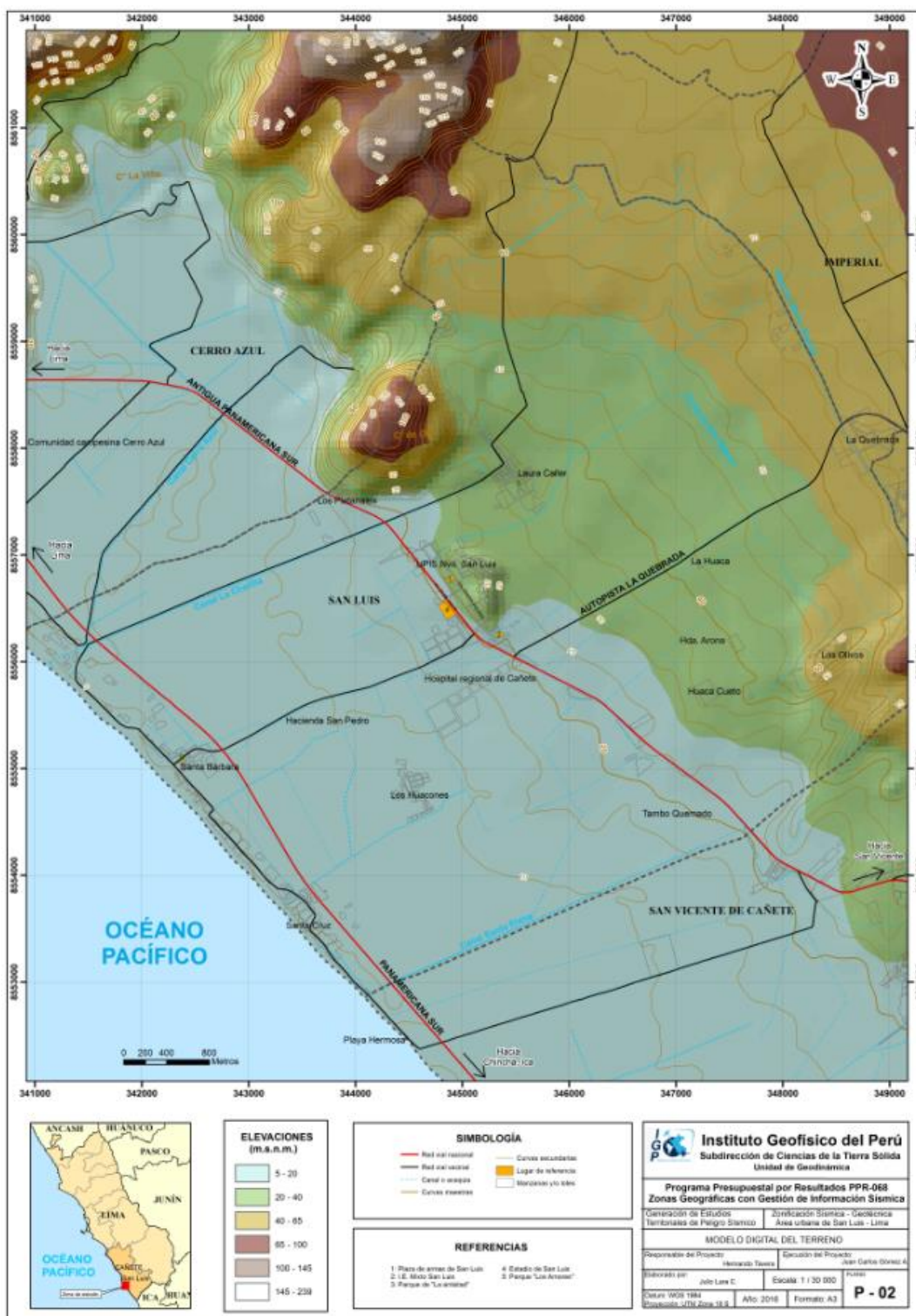


Figura 2: Mapa de modelo digital del terreno para la ciudad de San Luis y alrededores

En base al MDT elaborado de la ciudad de San Luis se ha reconocido que la zona urbana se asienta sobre una llanura aluvial, la cual presenta un rango de cotas entre 20 y 40 m.s.n.m. En los alrededores, hacia la parte noroeste de la ciudad, se observan lomas que presentan un desnivel máximo de 145 m.

2.2. Pendientes

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

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

2.2.1. Clasificación del grado de pendientes

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

Tabla 2: Rangos de pendientes del terreno (Fidel et al., 2006).

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

La mayor parte de la ciudad de San Luis se encuentra asentada sobre una llanura aluvial que presenta pendientes menores a 5°; promedio y al noroeste de dicha ciudad se encuentran lomas con laderas que presentan inclinaciones superiores a 20°.

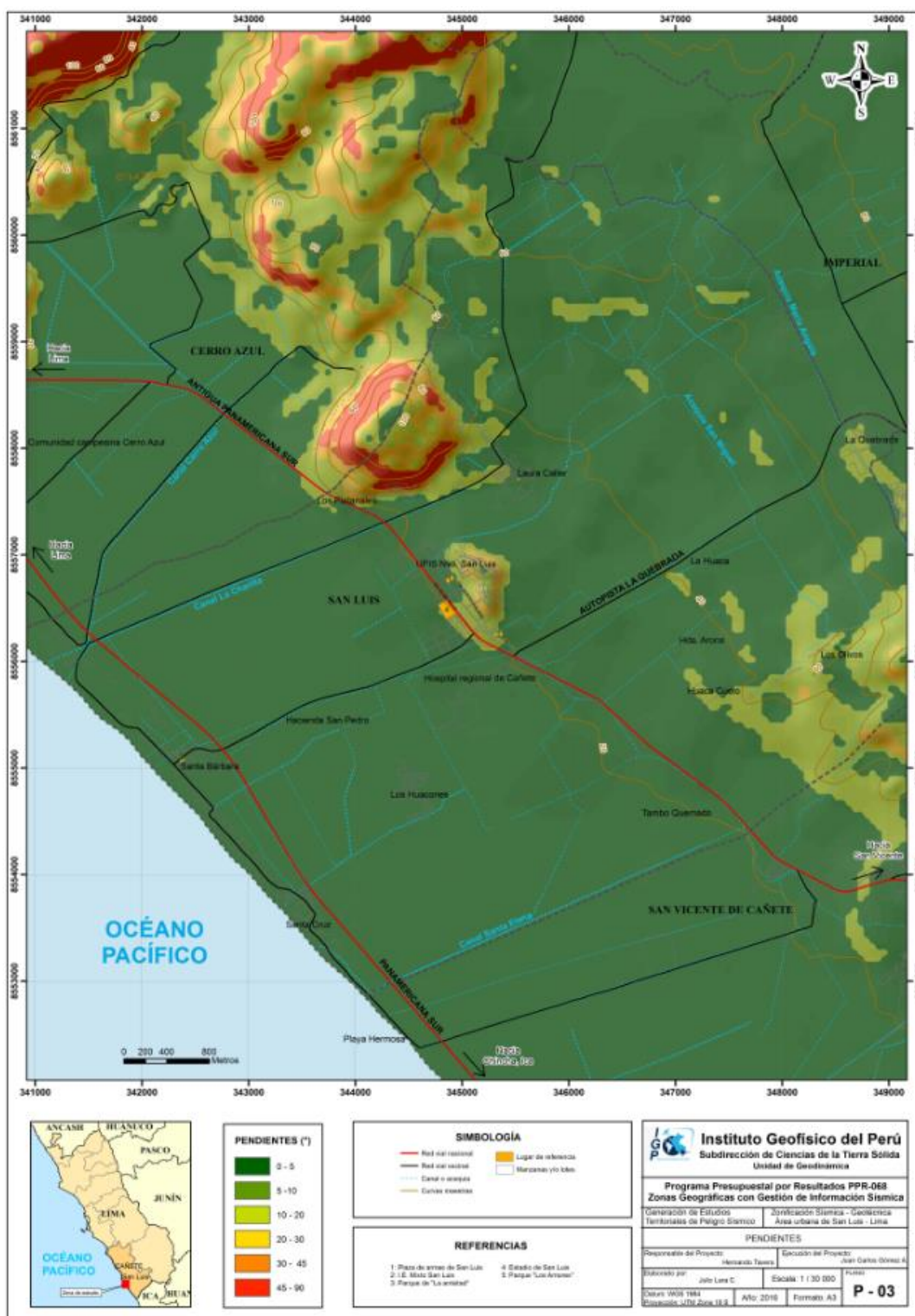


Figura 3: Mapa de pendientes del terreno para la ciudad de San Luis y alrededores

2.3. Unidades geomorfológicas

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

Características físicas: Las características físicas de la forma; 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 como el agua, el viento, temperatura, entre otros, desencadenan diversos procesos externos tales como: intemperismo, meteorización, erosión, transporte y depositación que generan diferentes geoformas. Esto se clasifica de acuerdo a su origen, en depositacional y denudacional (erosional). Otros procesos internos como el magmatismo y tectonismo generan geoformas de origen estructural.

En base a las características físicas de las unidades geomorfológicas y su origen, en la ciudad de San Luis, se cartografiaron 3 unidades: llanura aluvial, loma y playa (Tabla 3). Asimismo, se ha elaborado una sección geomorfológica (A-A' y B-B') haciendo uso de la herramienta CAD para resaltar los desniveles de las unidades geomorfológicas presentes en el área de estudio (Figura 4).

Tabla 3: Descripción de las unidades geomorfológicas, en la ciudad de San Luis, en base a las características físicas y su origen

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

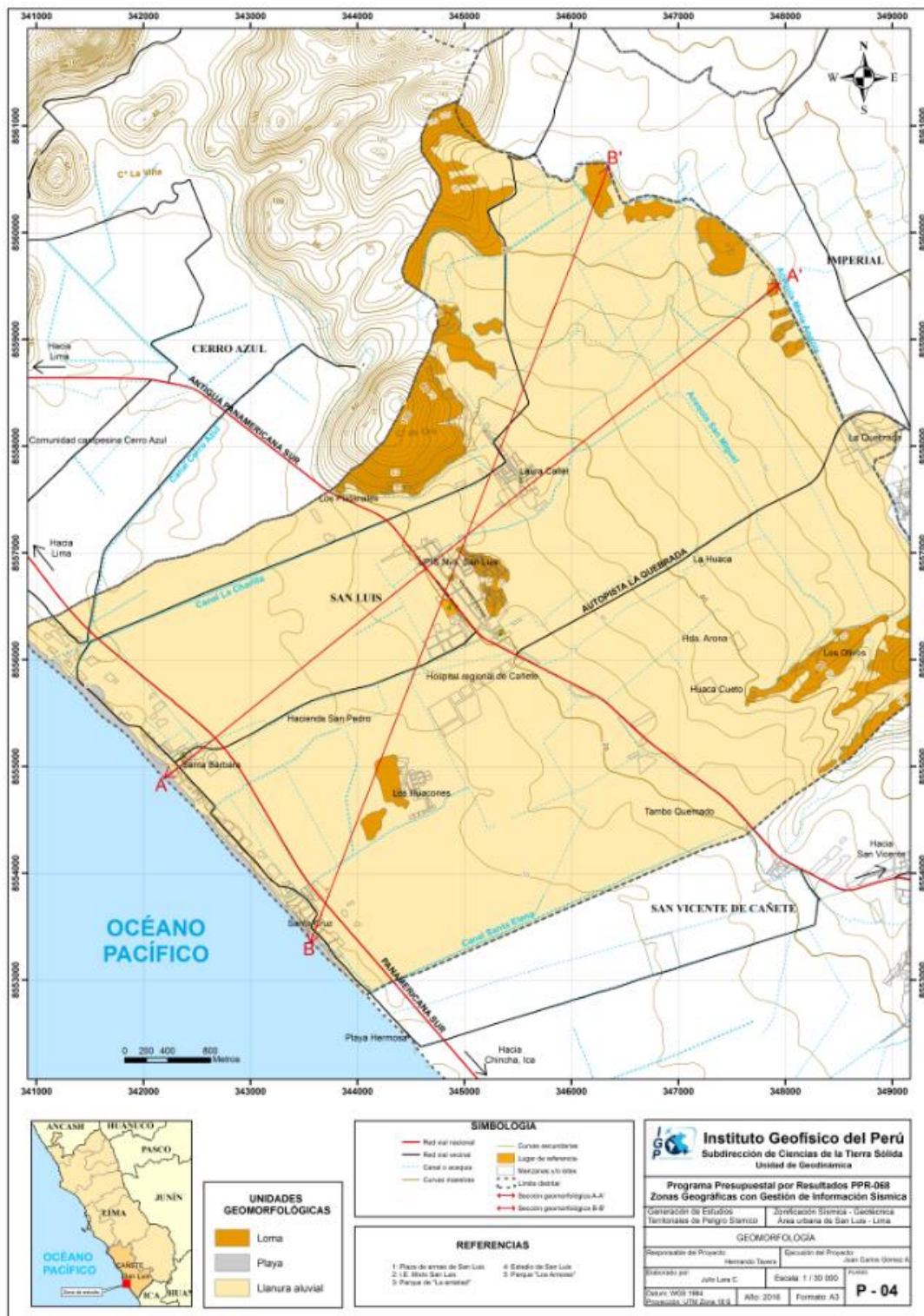


Figura 4: Mapa geomorfológico para la ciudad de San Luis y alrededores

Llanura aluvial: Esta unidad geomorfológica de origen depositacional presenta una pendiente $<5^\circ$, así como una geometría y drenaje irregular. Esta unidad abarca el 82% de la zona en estudio (Figura 5).



Figura 5: Llanura aluvial sobre la cual se asienta la zona urbana de la ciudad de San Luis

Loma: Esta unidad geomorfológica presenta pendientes $<35^\circ$ y alturas <300 m, con una geometría alargada, drenaje dendrítico y un origen denudacional. Esta unidad abarca el 10% de la zona de estudio. El trabajo de campo ha permitido identificar lomas al noroeste, sureste a 1 km y 3 km, de la ciudad de San Luis, sobre estas se asientan el asentamiento humano Los Olivos (Figura 6).

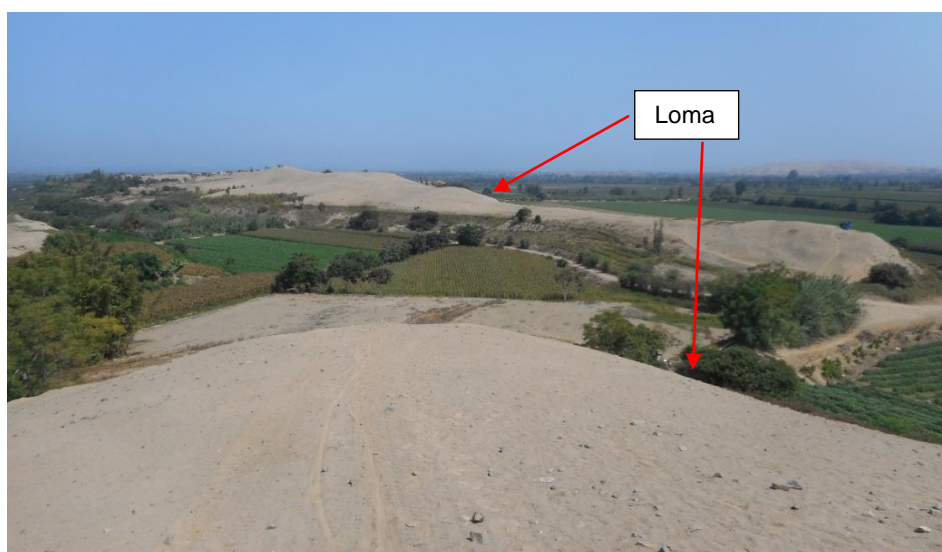


Figura 6: Loma en el anexo Los Olivos, sobre la cual se asienta el AA. HH. del mismo nombre.

Playa: Esta unidad geomorfológica de origen depositacional presenta una pendiente $<5^\circ$, geometría alargada y drenaje variable. Esta unidad barca el 8% de la zona en estudio. Se extiende a lo largo de 4.7 km aproximadamente, con un ancho promedio de 0.14 km, en dirección SW-NE, se produce la dinámica erosiva y de sedimentación (Figura 7).



Figura 7: Playa, con un ancho promedio de 0.14 km, en el anexo Santa Cruz.

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 (proceso de meteorización).

El intemperismo asociado a los procesos de meteorización, es básicamente un proceso químico, el agua actúa como disolvente, la remoción de los elementos más pequeños del cuerpo de roca deja espacios, por ende 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 asociada se convierte en suelo. Los procesos químicos son complejos y dependen de los diversos minerales que constituyen las rocas lo que determina también su naturaleza 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 el 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, caídas de rocas).

Para entender el comportamiento dinámico 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 en conjunto permiten explicar el cómo, cuándo y que procesos actuaron en el desplazamiento de las rocas y materiales que constituyen los suelos sobre los que se asienta la zona de estudio.

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, 1993) a escala 1:100,000. En ésta, se describen las unidades litológicas aflorantes cuyas edades se encuentran desde el Cretáceo Inferior (145 Ma) hasta el Cuaternario reciente.

Geología histórica: Según Salazar & Landa (1993), hace 145-140 Ma, la zona de estudio, se enmarca a una cuenca deltaica sometida a erupciones submarinas intermitentes, representada por la Formación Puente Piedra y lateralmente hacia el este por la Formación Asia, en el área de Lima por los estratos Puente Inga.

Durante 140-136 Ma se produjo la sedimentación del Grupo Morro Solar; mientras que en la zona oriental de la cuenca se depositó la secuencia clástica Goyllarisquizga en un ambiente continental a semicontinental, alternando con facies marinas someras. La moderada Fase Peruana de G. Steinmann (85-83 Ma) pliega suavemente las secuencias preexistentes con el posterior retiro del mar y sedimentación de la serie clástica de molasas denominadas Formación Casapalca.

Durante la tectogénesis de la Fase Incaica (40-33 Ma) ocurre la fase principal de plegamiento de la orogenia andina; a este movimiento se asocia el magmatismo intrusivo y efusivo del Terciario inferior. La Fase Poroche (28-23 Ma) produce el plegamiento suave de la secuencia volcánico-sedimentario-piroclástica del Terciario inferior representado por la Formación Tantará y el Grupo Sacsaquero.

Durante la Fase Quichuana (5-3 Ma) se produce el plegamiento moderado de las formaciones Caudalosa, Auquivilca y Huichinga por la fase tectónica Quichuana. A este movimiento se asocia un magmatismo intrusivo y efusivo de subvolcánicos durante el Plioceno. En su fase final el ciclo tectónico andino está relacionado a un largo periodo de erosión que produjo la superficie Puna. Luego tuvieron lugar los movimientos epirogenéticos que formaron el edificio andino por fallamiento gravitacional tipo “horst” hace 5-0.01 Ma.

Finalmente, la morfología de la cadena andina actual guarda relación con las etapas de glaciación que tuvieron lugar desde el Pleistoceno al Cuaternario Reciente (<0.01 Ma), lapso en el que se desarrollaron las etapas de erosión de valles y cañones.

Geología estructural: Comprende el ciclo geotectónico andino y la tectónica reciente de la zona de estudio.

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.

-Ciclo geotectónico andino (Jurásico-Terciario). Este ciclo comprende el ámbito de sedimentación andina en las diferentes etapas de su desarrollo y que fueron afectados por eventos de compresión (tectogénesis). En la evolución andina se distinguen cinco pisos estructurales, los que están evidenciados por discordancias orogénicas, epirogénicas, etc. El primer piso estructural corresponde a una epirogénesis y tectónica de fractura entre fines del Liásico y el Jurásico superior que afectan el sector occidental de la Cadena Hercínica de la Cordillera Oriental. El segundo piso estructural de Tectogénesis moderada seguida por epirogénesis y tectónica de fractura de fines del Cretáceo (Fase Peruana de Steinmann) comprende los terrenos cretáceos que resultaron de la sedimentación en una cuenca epicontinental subsidente. El tercer piso estructural corresponde a la Tectogénesis del Eoceno superior (Fase Incaica). Se evidencia por el plegamiento con dirección predominantemente NO-SE de la secuencia Mesozoica incluyendo a la Formación Casapalca. El cuarto piso estructural (Fase Poroche) se traduce en ondulamiento y emersión de los terrenos del Terciario inferior, lo cual se manifiesta con pliegues de flancos moderados, generalmente con ejes espaciados y orientados en sentido N 30 O a N-S. El quinto piso estructural se desarrolla durante el Mioceno medio al Plioceno inferior (Fase Quechua), produce el plegamiento de la secuencia miocénica durante un evento tectónico al que se denominó “Fase Quechua”.

En la actualidad, en la región andina se reconoce la existencia de dos fases de plegamiento que afectaron a la columna miocénica. La más antigua fase tectónica (Fase Castrovirreyña) estaría localizada en el Mioceno medio. La segunda fase o Quechua Tardía, ocurre en el intervalo Mioceno superior- Plioceno inferior afectando

secuencias volcánico-sedimentarias del Mioceno con plegamientos moderados y ejes orientados en sentido NNO-SSE.

Tectónica reciente. En su etapa final el ciclo tectónico andino estuvo relacionado a movimientos epirogenéticos (emersión y fallamiento gravitacional tipo horst) que influyeron en la formación de la cadena andina actual. Este episodio se inicia con el desarrollo de la superficie Puna durante el Plioceno inferior y posterior levantamiento hasta alcanzar una altura mayor a los 4, 000 m.s.n.m., asociado con un plegamiento de gran radio de curvatura y pliegues menores. Se asocia a esta tectónica reciente un gran magmatismo relacionado a centros volcánicos.

3.2. Geología local

Consistió en el reconocimiento y cartografiado de las unidades litológicas aflorantes en la ciudad de San Luis a escala 1:30,000, abarcando un área de 37 km² aproximadamente, ver Tabla 4 se describen estas unidades. Se ha tomado como base el cuadrángulo geológico de Chincha 27-k (Salazar & Landa, 1993) a escala 1: 100,000, donde se encuentra ubicada la ciudad de San Luis y se reconocieron las siguientes unidades litológicas aflorantes (Figura 8):

Tabla 4: Columna cronolitoestratigráfica de las unidades aflorantes en las inmediaciones de la ciudad de San Luis.

| ERATEMA | SISTEMA | SERIE | UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS |
|-----------|-------------|-------------|------------------------------|
| CENOZOICO | CUATERNARIO | Reciente | Depósitos marinos |
| | | | Depósitos aluviales |
| | | Pleistoceno | Formación Cañete |
| | TERCIARIO | Plioceno | Formación Paracas |
| Eoceno | | | |
| MESOZOICO | CRETÁCEO | Superior | Super Unidad Linga |

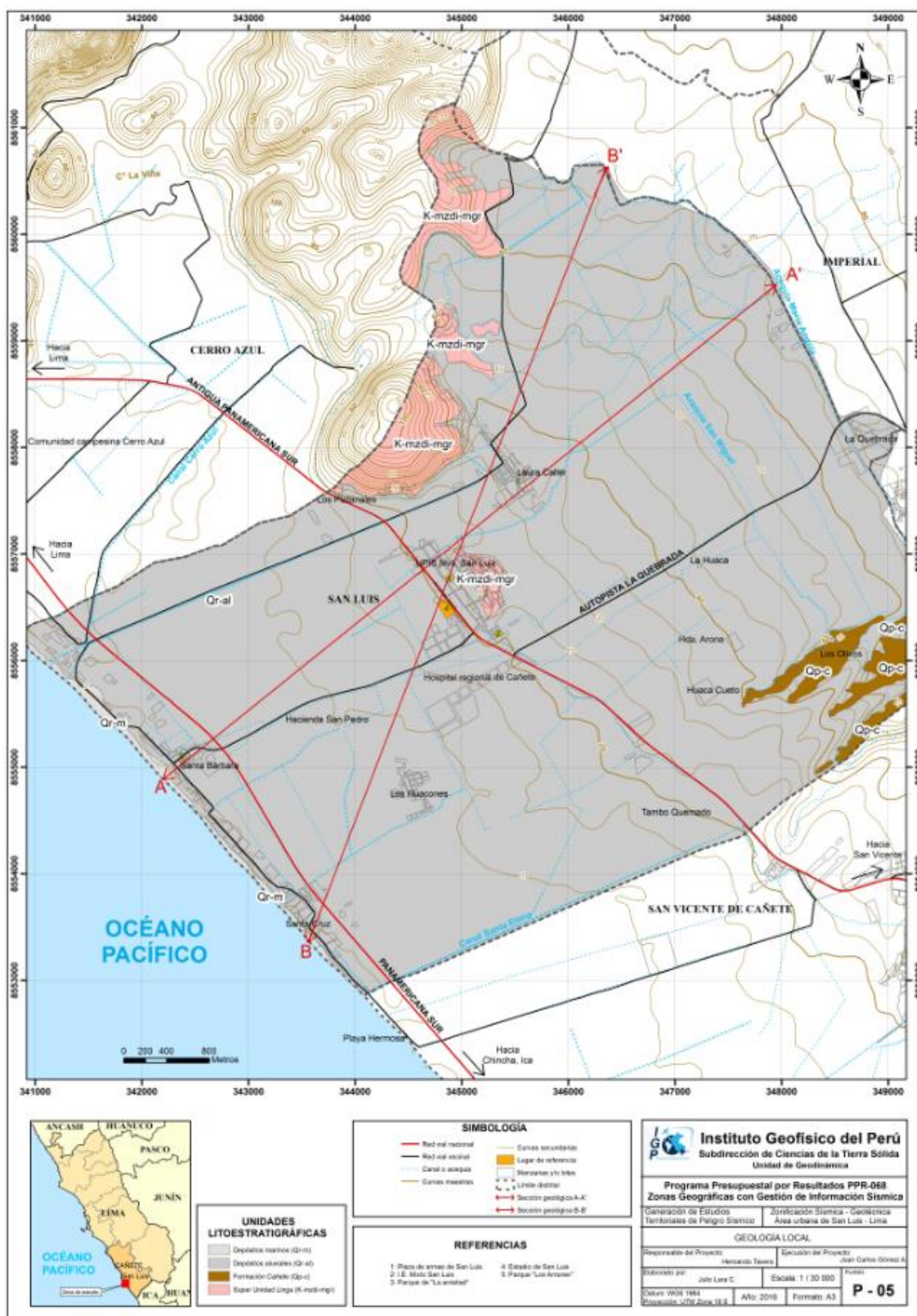


Figura 8: Mapa de geología local para la ciudad de San Luis y alrededores.

Formación Cañete (Qp-c): Consiste en un conglomerado consolidado constituido por gravas redondeadas a subredondeadas de tamaño y litología variada (principalmente intrusivos), englobados en una matriz areno-limosa. Esta unidad se encuentra aflorando en el anexo Los Olivos, conformando las lomas ubicadas al noreste de la zona urbana del distrito de San Luis (Figura 9).

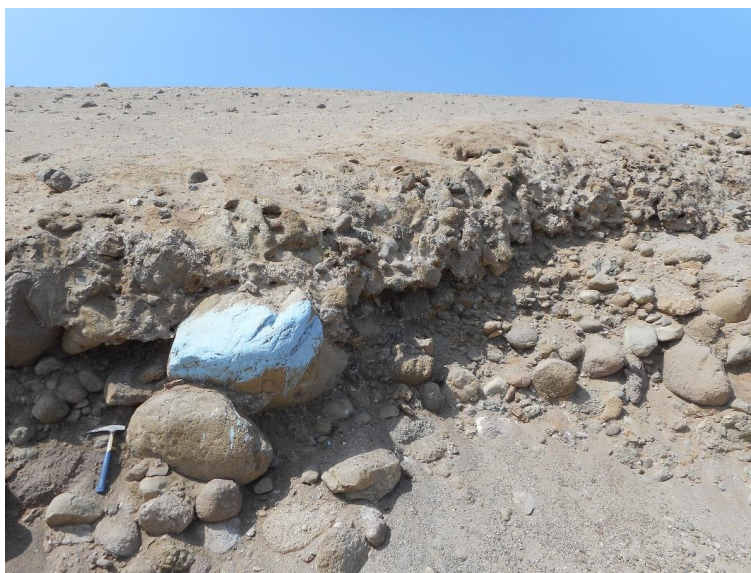


Figura 9: Conglomerado consolidado constituido por gravas redondeadas a subredondeadas de tamaño y litología variada de la Formación Cañete, aflorando en el anexo Los Olivos a 4 km de la zona urbana del distrito de San Luis.

Depósitos Cuaternarios: Suprayaciendo al substrato rocoso, conformado por rocas intrusivas de la Super Unidad Linga, se encuentran de manera dispersa y con espesores distintos los depósitos Cuaternarios de edad Holocena, principalmente de origen aluvial y marino.

Depósitos aluviales (Qr-al): Están conformados por arenas de grano fino a medio con intercalaciones de limos arcillosos. Es la unidad litológica de mayor distribución en el área de estudio y presenta un espesor de 4 m aproximadamente que conforma la extensa llanura aluvial, sobre la cual se asienta la zona urbana del distrito de San Luis (Figura 10).

Depósitos marinos (Qr-m): Están conformados por arenas de grano medio a grueso. Es la unidad litológica de mayor distribución en la zona costera, sobre la cual se asienta parte de la población de los anexos Santa Bárbara y Santa Cruz (Figura 11).



Figura 10: Depósitos os aluviales, conformados por arenas de grano fino a medio con intercalaciones de limos arcillosos, sobre los cuales se asienta la zona urbana del distrito de San Luis

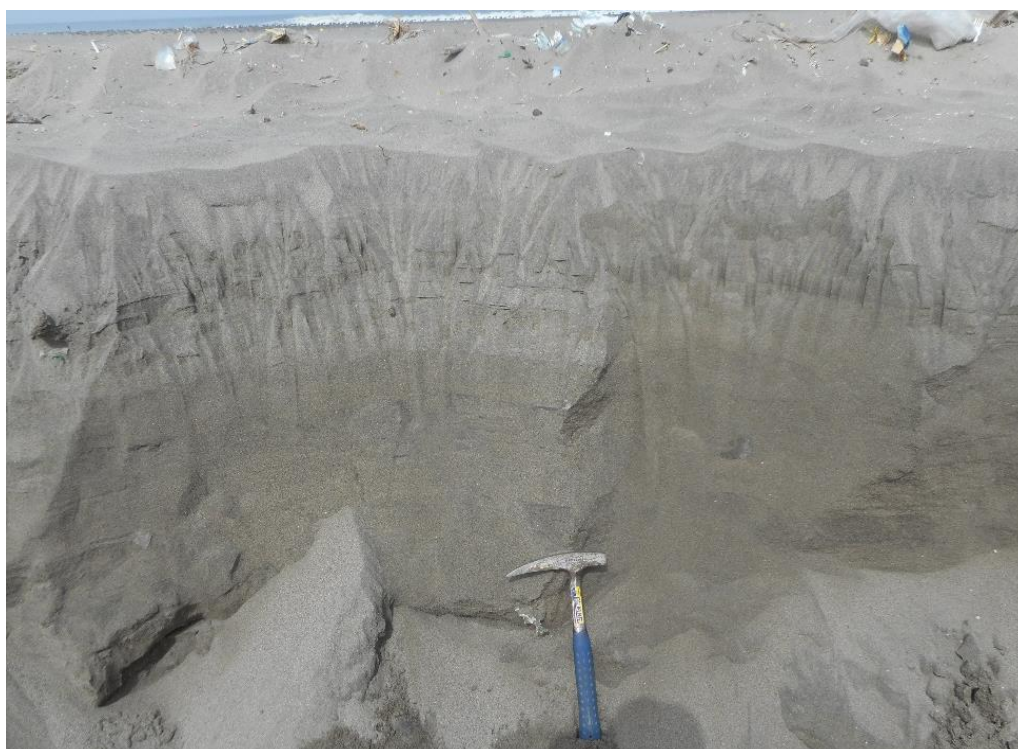


Figura 11: Depósitos marinos conformados por arenas de grano medio a grueso que cubren la zona costera del distrito de San Luis

Rocas intrusivas: Se tiene la siguiente unidad:

Super Unidad Linga (K-mzdi-mgr): Consiste de monzodioritas pasando a monzogranitos que presentan diaclasamiento. Esta unidad se encuentra aflorando a 1 km en dirección norte de la zona urbana del distrito de San Luis (Cerro de Oro) y en la parte noreste de la misma zona urbana del distrito en mención (Cerro Los Ángeles), en este último se encuentra el AA.HH. del mismo nombre (Figura 12).



Figura 12: Rocas intrusivas de litología monzodiorítica a monzogranítica, presentan diaclasamiento con direcciones: N 206°, 84°NW y N 124°, 72°SW.

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.

Es importante recalcar, que analizar factores como la litología permite explicar el origen de los materiales que constituyen las geoformas (colinas, lomas, entre otras) y en las cuales se generan procesos como 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 Placa 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) y antrópicos (urbanismo, usos del suelo y construcción de vías de comunicación).

Tal como se indicó anteriormente, existen dos procesos la meteorización y erosión.

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

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

La acción por separado o en conjunto de los factores que dan origen a los procesos externos, favorecen a la ocurrencia de los eventos geodinámicos (Figura 13), los cuales se dividen según su origen en: fluvio-aluvial e hidro-gravitacional, descritos a continuación:

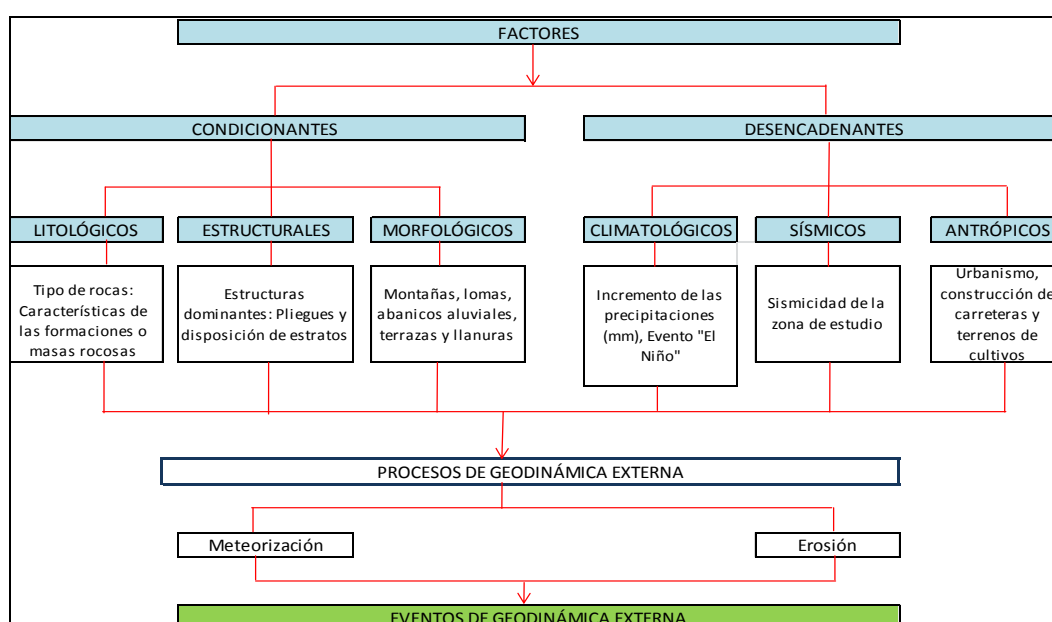


Figura 13: Factores asociados a procesos de geodinámica externa que contribuyen a la ocurrencia de eventos geodinámicos.

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

Los eventos geodinámicos originados por procesos pluviales son descritos a continuación:

-Flujos de detritos (huaycos): 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 14).

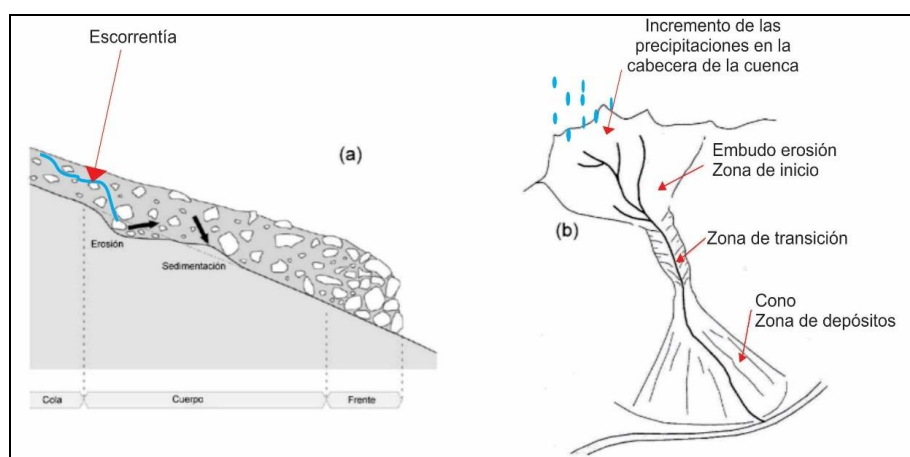


Figura 14: a) Proceso de erosión por las aguas de escorrentía y acumulación de material. b) Vista frontal de la cuenca y desarrollo del evento en cabecera de la cuenca por incremento de las precipitaciones, zona de transición (zona de almacenamiento de material y la depositación del material).

-Inundación: Es el resultado del comportamiento de la cuenca hidrográfica en un período de incremento de precipitaciones. Es la ocupación ocasional de terreno por el agua de un río o una quebrada. Puede ocurrir en zonas litorales debido a tsunamis o a la superposición de oleaje y las mareas, pero las más frecuentes son las inundaciones en el interior de los continentes, producidas por las aguas de escorrentía superficial (ríos, arroyos y torrentes) que sufren una crecida (avenida) transitoria del caudal (Figura 15).

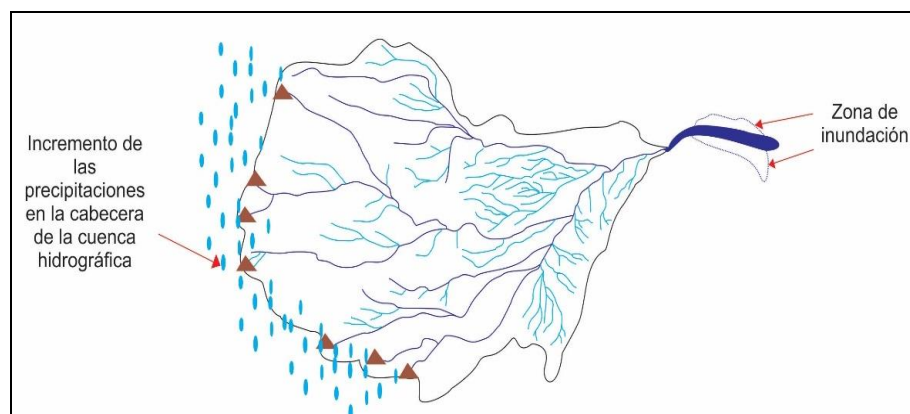


Figura 15: Inundación por incremento de las precipitaciones en la cabecera de la cuenca hidrográfica.

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

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

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

-Caída de rocas: Es el resultado del debilitamiento de la masa de roca, debido a la fragmentación y a la ausencia de soporte lateral, produciendo el deterioro de la estructura del talud por la acción de la meteorización. En este caso se

forman prismas o pequeñas placas con dimensión mínima de 50 mm, que caen por gravedad (Figura 16).

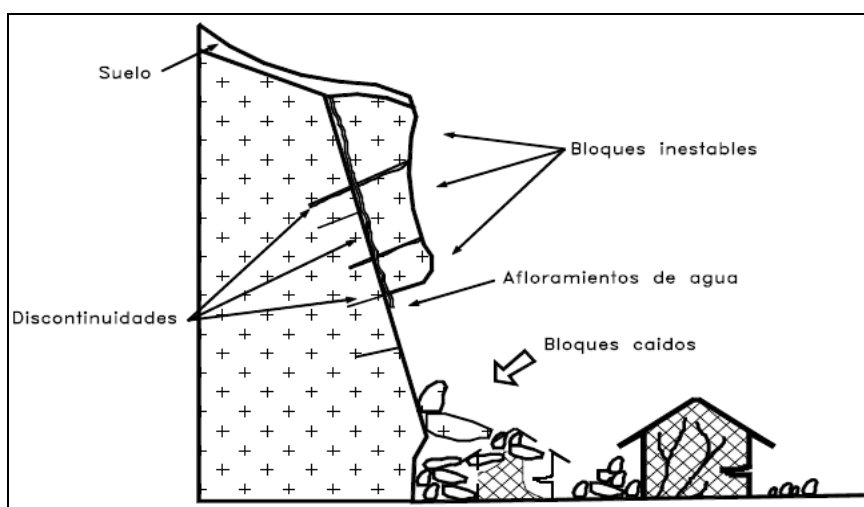


Figura 16: Proceso de caída de suelo y rocas (Suárez 1998).

-Disolución: La disolución de materiales solubles en agua que puede ser acelerado por las condiciones locales, especialmente la presencia de aguas agresivas. Puede producir cavidades internas que podrían colapsar o formar cárcavas kársticas.

-Deslizamiento: Este movimiento consiste en un desplazamiento de corte a lo largo de una o varias superficies. El movimiento puede ser progresivo, es decir, que no se inicia simultáneamente a lo largo de toda la superficie de falla (Figura 17).

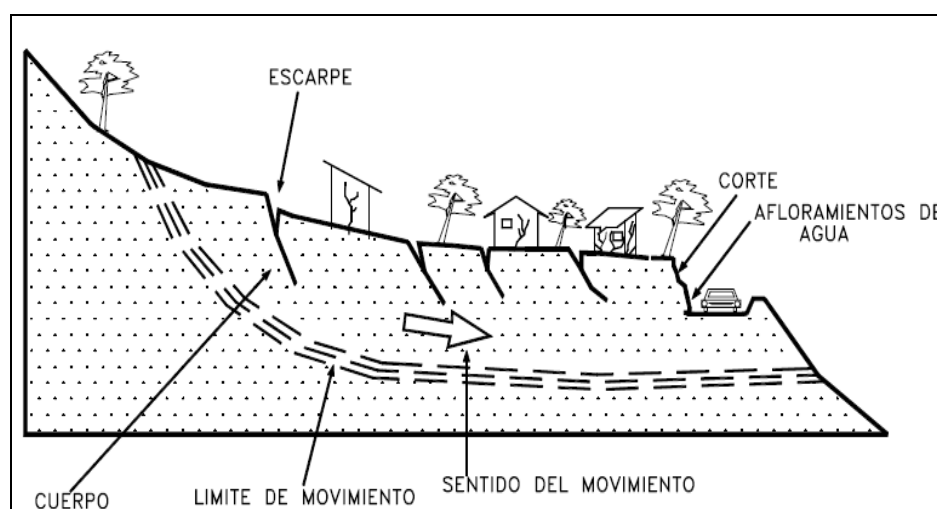


Figura 17: Deslizamiento en laderas.

Se puede clasificar en:

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

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

En la ciudad de San Luis, existe tres tipos de eventos Geodinámicos, tal como se muestra en la Figura 18.

Caída de rocas: Evento geodinámico originado por sismos que podría afectar la seguridad física de la población del A.H. Los Ángeles (Figuras 19).

Inundaciones por desborde de acequias: Evento geodinámico cuyo origen obedece a la acción del hombre como: inundaciones ocasionadas por desbordes de acequias sin nombre en particular, que afectaron en el año 2015 a la población de la Asociación Nuevo Comercio, ubicada a 600 m de la zona urbana del distrito de San Luis (Figura 20).

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) y 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 ante caída de rocas: Los sismos de magnitud $M_s \geq 4$ podrían generar caídas de rocas que afectarían a la población del A.H. Los Ángeles. Se ha estimado que las zonas susceptibles a caída de rocas afectarían a 0.65 ha (A.H. Los Ángeles) (Figura 21).

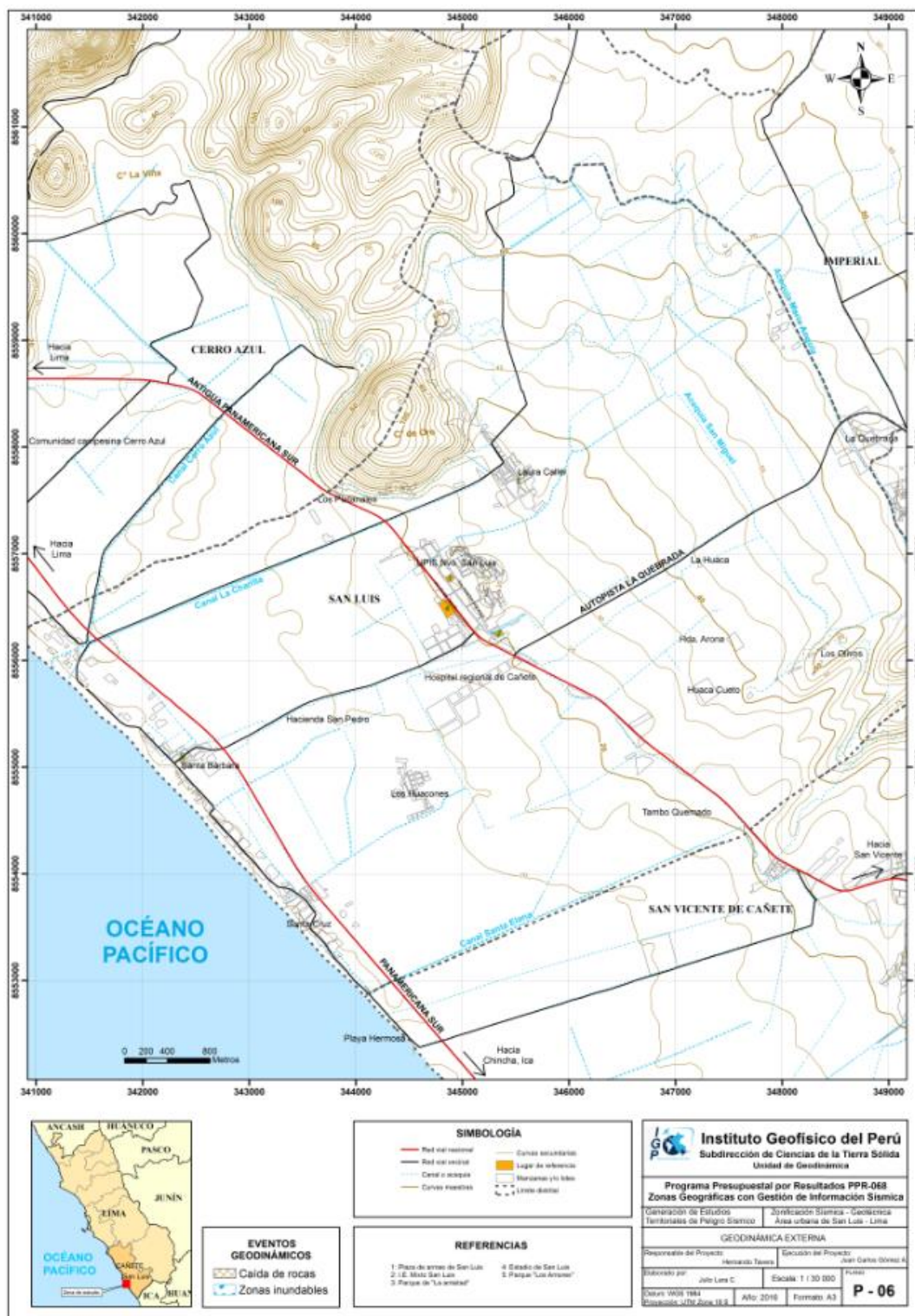


Figura 18: Mapa Geodinámico de la ciudad de San Luis y alrededores.



Figura 19: Caída de rocas localizada al noreste de la zona urbana del distrito de San Luis y que podrían afectar la seguridad física de la población del A.H. Los Ángeles



Figura 20: Las inundaciones ocasionadas por el desborde de una acequia sin nombre en particular, en el año 2015, afectaron a la población de la Asociación Nuevo Comercio.

b) Zonas susceptibles ante inundaciones por desbordes de acequias: En la Asociación Nuevo Comercio (acequia sin nombre).

La actividad humana relacionada con el mal y/o falta de mantenimiento de las acequias que conlleva a la acumulación de material fino en el fondo de éstas, podrían generar desbordes de las acequias inundando las zonas aledañas y afectando las viviendas que se encuentran en dichas áreas. Se ha estimado

que las zonas susceptibles a inundaciones por desbordamientos de acequias afectarían 2.20 ha (Figura 21).

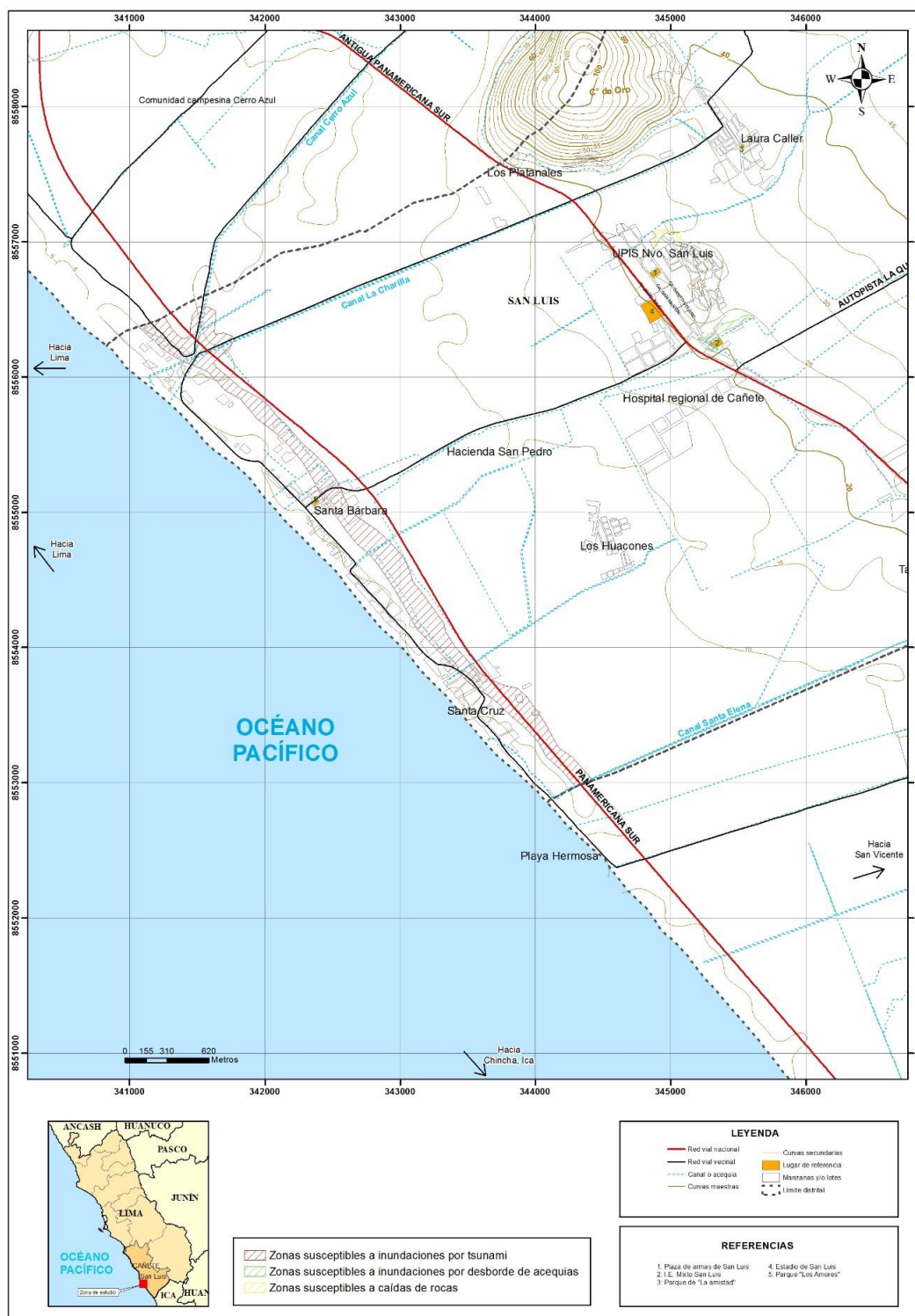


Figura 21: Zonas susceptibles a caídas de rocas e inundaciones por desbordamientos de acequias.

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, 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 22).

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

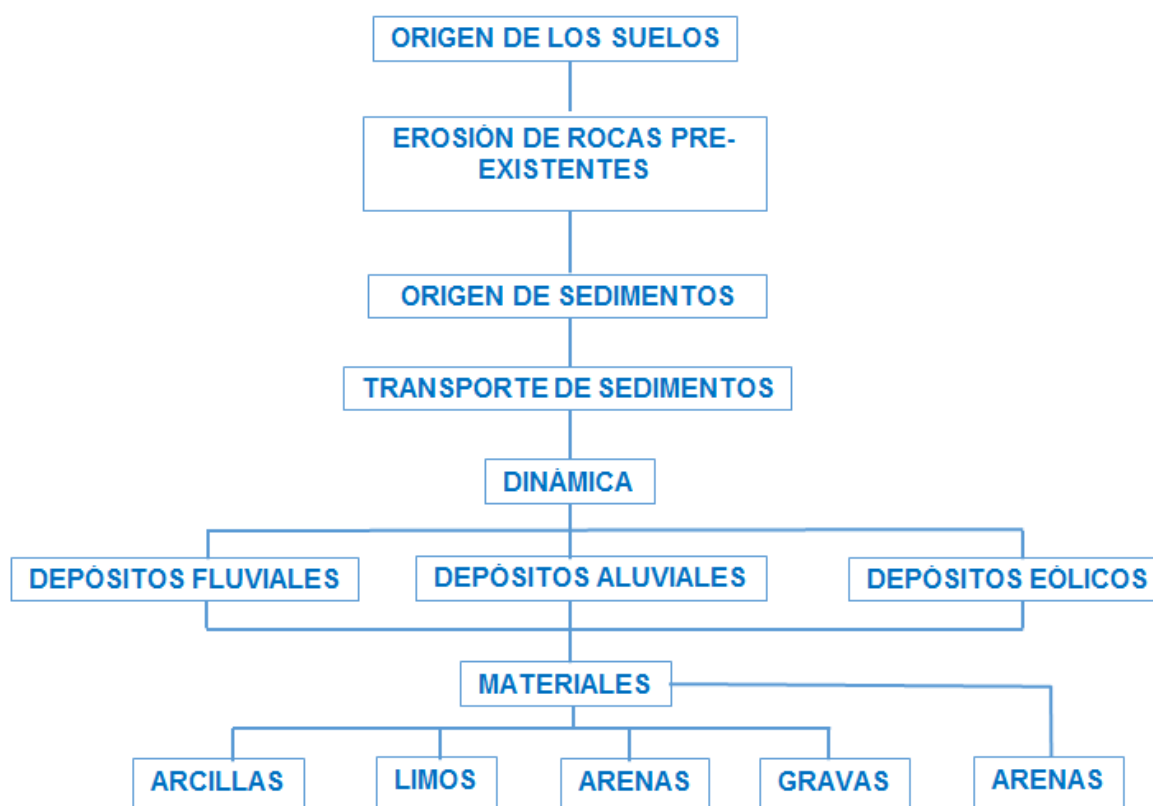


Figura 22: Diagrama del origen de los suelos.

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

En la ciudad de San Luis, se realizó el estudio geotécnico que consistió en la elaboración de calicatas, densidad de campo, posteos y ensayos de penetración dinámica ligera (DPL).

Asimismo, de las calicatas se extrajeron muestras de suelo a fin de realizar los ensayos geotécnicos como: granulometría, plasticidad, corte directo y el cálculo de la capacidad de carga admisible.

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. Estas exploraciones se realizaron hasta aproximadamente 3.00 m., de profundidad, a fin de describir los estratos que lo conforman, así como extraer muestras para la realización de ensayos y análisis. Estas calicatas pueden ser realizadas con maquinaria (retroexcavadora) o de forma manual. Para el caso del distrito de San Luis se elaboraron 7 excavaciones realizadas de forma manual (Figura 23)



Figura 23: Calicata C-04 (3 m de profundidad) ubicada en la Urbanización El Molino.

El procedimiento de campo incluyó las siguientes actividades:

Reconocimiento de la zona de estudio: Se realizó en base al análisis visual de las características del terreno, evaluando la accesibilidad y lugares apropiados, Las exploraciones se realizaron en puntos distribuidos de manera uniforme en la ciudad de San Luis.

Excavaciones: Se realizaron con las siguientes dimensiones: 1.5 x 1.5 m. y una profundidad de aproximadamente 3.00 m., en promedio.

Muestreo: Se considera el proceso de extracción de dos muestras alteradas de suelo (para la identificación y la otra para determinar las propiedades de resistencia del suelo).

5.1.1. Descripción de calicatas

Una vez terminada la excavación de la calicata, se procede a describir el perfil estratigráfico del subsuelo, elaborando fichas, las mismas que se adjuntan en los Anexos. Las excavaciones fueron realizadas en puntos cuyas coordenadas UTM se detallan en la Tabla 5 y su distribución espacial en la Figura 24. Cabe mencionar, que en las calicatas C-01, C-02 y C-07 se llegaron a una profundidad de 1.80 y 1.50 m, respectivamente, debido a la presencia de nivel freático.

Tabla 5: Ubicación de calicatas (NP, no presenta)

| CALICATA | UTM ESTE (m) | UTM NORTE (m) | ELEVACIÓN (m.s.n.m.) | PROFUNDIDAD (m) | NIVEL FREÁTICO (m) |
|----------|--------------|---------------|----------------------|-----------------|--------------------|
| C - 01 | 345458 | 8557553 | 44 | 1.80 | 1.80 |
| C - 02 | 348571 | 8557988 | 73 | 1.50 | 1.50 |
| C - 03 | 344943 | 8556974 | 32 | 3.00 | N.P |
| C - 04 | 345493 | 8556099 | 37 | 3.00 | N.P |
| C - 05 | 345055 | 8556291 | 27 | 3.00 | N.P |
| C - 06 | 342539 | 8555215 | 14 | 3.00 | N.P |
| C - 07 | 343585 | 8553745 | 9 | 1.50 | 1.50 |

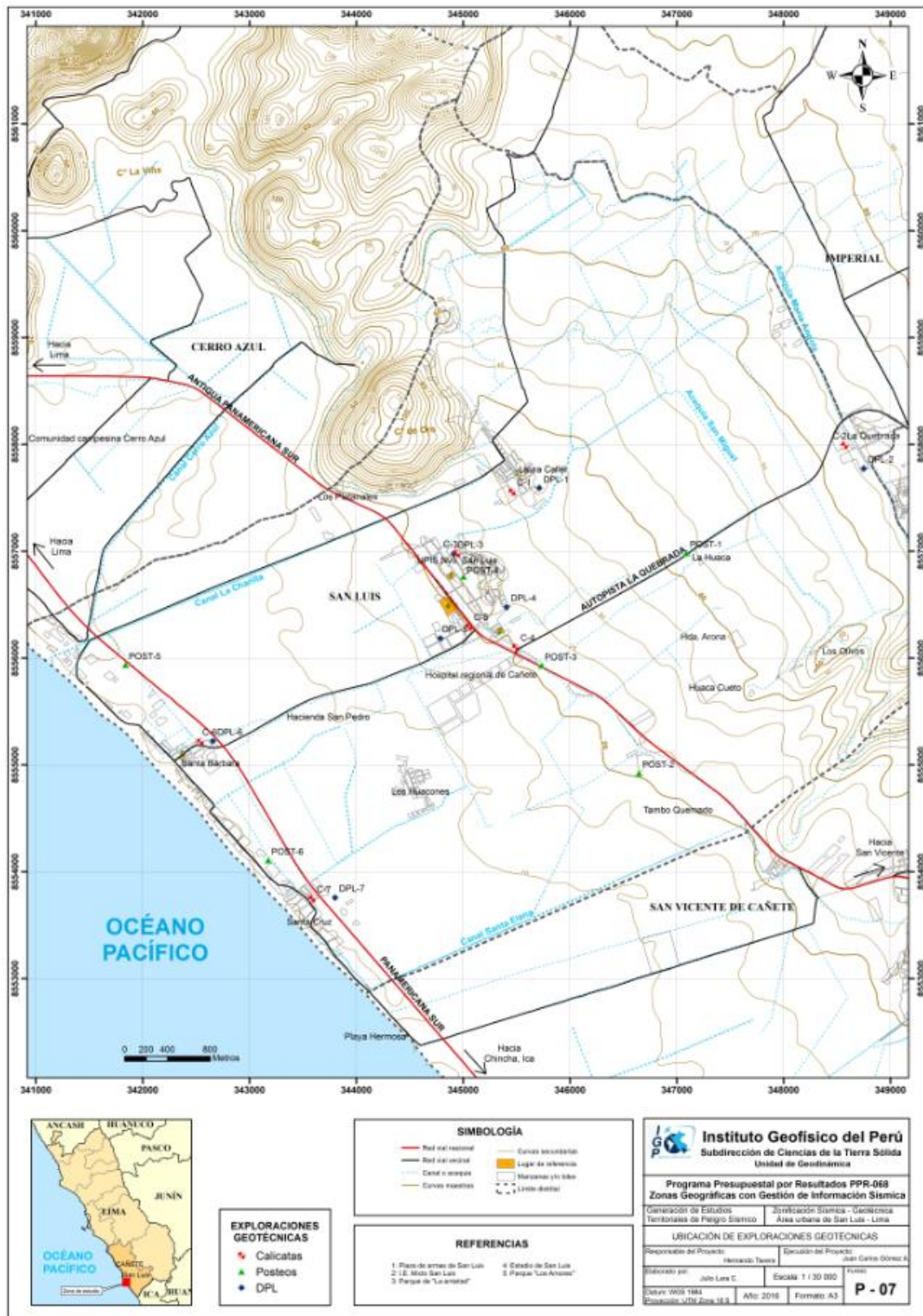


Figura 24: Mapa de distribución de calicatas, posteos y DPL en la ciudad de San Luis y alrededores

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

Se define como la relación entre la masa del suelo (sólido y líquido) y el volumen total de un suelo o la medida del estado de empaquetamiento del suelo y consiste en extraer material del suelo. El objetivo es obtener la relación entre la masa y el volumen conocido que ocupa la arena calibrada del cono de densidad.

En cada estrato muestreado se debe llevar a cabo un ensayo de densidad de campo, haciendo uso del método del cono de arena, para así obtener el grado de compactación y el contenido de humedad del suelo en condiciones naturales (Figura 25), información necesaria para desarrollar los ensayos de corte directo a las muestras de suelo (en su estado inicial). Es necesario, indicar, que en la calicata C-06 no se realizó los ensayos, debido a la presencia de gravas que superaban el diámetro de la placa base.



Figura 25: Densidad de campo, a través del Método del cono de arena, realizado en la Calicata C-07

El procedimiento de campo incluyó las siguientes actividades:

Excavación: El proceso de diseño del agujero se realizó usando cinceles y comba (profundidad de 10 a 12 cm), siguiendo la guía del diámetro de la placa metálica.

Extracción de la muestra de suelo del agujero elaborado anteriormente y pesado del 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 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. En la Tabla 6, se muestra los resultados obtenidos para las densidades de las calicatas elaboradas para el área de estudio y sus fichas se adjuntan en los Anexos.

Tabla 6: Resultado de densidades in – situ

| CALICATA | MUESTRA | PROFUNDIDAD (m) | DENSIDAD HUMEDA (gr/cm^3) | DENSIDAD SECA (gr/cm^3) |
|----------|-----------|-----------------|--------------------------------------|------------------------------------|
| C - 01 | DC-A - 01 | 1.8 | 1.83 | 1.36 |
| C - 02 | DC-A - 02 | 1.5 | 1.84 | 1.39 |
| C - 03 | DC-A - 03 | 3 | 1.53 | 1.48 |
| C - 04 | DC-A - 04 | 3 | 1.77 | 1.26 |
| C - 05 | DC-A - 05 | 3 | 1.85 | 1.39 |
| C - 07 | DC-A - 07 | 1.5 | 1.75 | 1.48 |

En base a los valores definidos en la Tabla 7, se concluye que, los suelos en ciudad de San Luis, presentan rangos de densidad entre 1.26 – 1.39 gr/cm^3 ; es decir, presentan baja densidad, debido a que sus suelos están conformados por arcillas y limos inorgánicos; a excepción de las calicatas C-03 y C-07 que están conformadas por suelos granulares (arenas).

Tabla 7: Valores típicos de densidad de suelos, (CISMID, 2016).

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

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

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

Por otro lado, es sabido que la posteadora presenta restricciones en suelos con presencia de gravas y gravillas.

Procedimiento

Con la posteadora se penetra el subsuelo, desde la superficie, de tal manera que se gira manualmente el equipo ejerciendo presión sobre el suelo, a medida que se va incrementando la profundidad, se 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 y de este modo, obtener datos para una mejor caracterización de los suelos de la ciudad de San Luis (Figura 26). En la Tabla 8 se muestra los resultados en detalle obtenidos e el área de estudio.



Figura 26: Posteo P-02 realizado en la margen derecha de la carretera hacia San Luis, la profundidad alcanzada fue de 3 m.

Tabla 8: Ubicación de posteos y clasificación de suelos SUCS (NP, no presenta).

| POSTEOS | UTM ESTE(m) | UTM NORTE(m) | ELEVACIÓN (m.s.n.m.) | PROFUNDIDAD (m) | TIPO DE SUELO | NIVEL FREÁTICO |
|---------|-------------|--------------|----------------------|-----------------|---------------|----------------|
| P - 01 | 347859 | 8557450 | 68 | 2.10 | SP | 1.00 |
| P - 02 | 346329 | 8555645 | 6 | 3.00 | SM | N.P. |
| P - 03 | 344152 | 8555792 | 32 | 2.10 | SM | N.P. |
| P - 04 | 345399 | 8556577 | 28 | 3.00 | SM | 3.00 |
| P - 05 | 342040 | 8555791 | 21 | 2.20 | CL | N.P. |
| P - 06 | 343122 | 8554123 | 9 | 0.60 | SC | N.P. |

Se hace mención que los posteos P-01 y P-04 presenta nivel freático a 1.00 y 3.00 m, respectivamente, debido a la filtración de aguas provenientes de las acequias cercanas que no presentan revestimiento.

5.4. Ensayo de penetración dinámica ligera (Norma DIN4094)

Es un equipo de campo de registro continuo (se contabiliza el número de golpes para penetrar un tramo de varillaje a lo largo de todo el ensayo), permite estimar la resistencia del material (suelo) en kg/cm^2 al hincado del cono dinámico. La ventaja del instrumento es que es un equipo muy práctico y se puede transportar fácilmente. Este ensayo puede aplicarse en terrenos arenosos, arcillosos y limo arenoso, no recomendable a utilizarse en gravas, fragmentos gruesos, conglomerados y terrenos rocosos.

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. A través de fórmulas empíricas donde se introduce el "N" y se obtiene el ángulo de fricción interna de los distintos materiales.

El equipo de DLP cuenta con los siguientes accesorios (Figura 27).



Figura 27: Equipos y accesorios que conforman el DLP.

Cono dinámico: Pieza metálica cilíndrica de dimensiones estandarizadas, está en contacto directo con el suelo, y se utiliza para medir la resistencia a la hinca del suelo.

Martillo o martinete: Pieza cilíndrica utilizada para generar la energía mecánica requerida para la hinca del cono.

Cabeza de golpeo o Yunque: Pieza que recibe el impacto del martillo cuando es utilizado y cuyo objetivo es transmitir la energía producida hacia la punta del cono dinámico.

Varillaje: Barras metálicas las cuales transmiten la energía producida por el martillo hacia el cono. Las barras se conectan desde el yunque hacia el cono cilíndrico, poseen una longitud de un metro y líneas de referencia cada diez centímetros esto con el objeto de facilitar el registro de datos.

Placa base: Placa metálica que da soporte a las componentes del equipo y los mantiene de manera vertical, con lo cual es fácil la extracción de las barras de traspaso de carga luego de finalizado el sondaje.

Barra guía: Pieza unida al yunque que permite dar la altura de caída requerida por el martillo y a su vez guía en su caída libre hacia el yunque.

El procedimiento de campo incluye las siguientes actividades:

Ubicación de ensayos: Se distribuyeron al costado y en puntos intermedios a algunas de las calicatas; de este modo se obtiene mayor información sobre la resistencia del suelo en el área estudiada.

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

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

En la Tabla 9, se indica las coordenadas UTM de los ensayos de penetración dinámica ligera (DPL) realizados en las inmediaciones de la ciudad de San Luis, la profundidad total alcanzada y los datos obtenidos del ensayo (número de golpes y ángulo de fricción) a una profundidad entre 0.90 y 1.20 m, debido a que ese nivel se calculará los parámetros geotécnicos (ángulo de fricción y cohesión) para el cálculo de la capacidad portante. Las fichas de los ensayos se adjuntan en los anexos.

Tabla 9: Ubicación de ensayos de penetración dinámica ligera (DPL) y parámetros obtenidos.

| DPL | UTM ESTE (m) | UTM NORTE (m) | ELEVACIÓN (m.s.n.m.) | PROFUNDIDAD (m) | NUMERO DE GOLPES (0.90 – 1.20 m) | Φ |
|----------|--------------|---------------|----------------------|-----------------|----------------------------------|--------|
| DPL - 01 | 345543 | 8557555 | 44 | 3.00 | 13 | 31.1 |
| DPL - 02 | 348571 | 8557985 | 73 | 3.00 | 31 | 36.3 |
| DPL - 03 | 344943 | 8556974 | 32 | 3.00 | 35 | 37.3 |
| DPL - 04 | 345495 | 8556092 | 37 | 3.00 | 31 | 36.3 |
| DPL - 05 | 345055 | 8556296 | 27 | 0.21 | 46 | 40.0 |
| DPL - 06 | 342534 | 8555178 | 14 | 1.25 | 48 | 40.5 |
| DPL - 07 | 343584 | 8553745 | 9 | 2.60 | 50 | 41.0 |

En la ciudad de San Luis los suelos en su mayoría son suelos finos de origen aluvial, conformado por limos, arcillas limosas, y granulares como gravas y arenas que presentan ángulos de fricción entre 31.1° y 41°, respectivamente.

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

El ensayo DPL no cuenta con correcciones normadas para la obtención del ángulo de fricción interna, es por ello que, los valores obtenidos del número de golpes del ensayo DPL (N_{DPL}) fueron correlacionados con el número de golpes del ensayo de penetración estándar (N_{SPT}) para determinar el ángulo de fricción interna corregido y posteriormente, calcular la capacidad de carga admisible.

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

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

Dónde:

N_1 = Número de golpes equivalente en SPT

N_2 = Número de golpes obtenidos en DPL

W_1 = Peso del martillo del DPL

W_2 = Peso del martillo SPT

H_1 = Altura de caída de DPL

H_2 = Altura de caída del SPT

A_1 = Área de la punta cónica del DPL

A_2 = Área de la punta cónica del SPT

e_1 = Espesor de la hinca del DPL

e_2 = Espesor de la hinca del SPT

Una vez calculado los valores de golpes con el SPT (N_{SPT}), se realizaron las siguientes correcciones por: nivel freático, eficiencia, longitud y diámetro, para así obtener un nuevo valor de número de golpes por ensayo SPT (N'_{SPT}), con el cual se procede a estimar el ángulo de fricción interna de los suelos.

5.4.2. Cálculo del ángulo de fricción interna

Para determinar el ángulo de fricción interna de los suelos de cimentación, existen diversas fórmulas empíricas propuestas por diversos autores, por ejemplo, Dunham y Osaki (1959); Muromachi (1974); Peck (1974); Das (1995) y Katanaka - Uchida (1996). Para el caso de la ciudad de San Luis, se empleó la relación experimental propuesta por Osaki (1959), debido a que es la más usada internacionalmente y sus resultados son conservadores, respecto a otros autores (Tabla 10).

Tabla 10: Cálculo del ángulo de fricción interna usando valores del N_{SPT} .

| ENSAYO | N_{SPT} CORREGIDO | ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA (ϕ'_{NSPT}) | N_{SPT} CORREGIDO | ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA (ϕ'_{NSPT}) |
|---------------------------|------------------------|--|------------------------|--|
| DPL-01 | 1.21 | 19.9 | 1.21 | 19.9 |
| DPL 02 | 1.94 | 21.2 | 1.45 | 20.4 |
| DPL -03 | 19.6 | 34.8 | 16.94 | 33.4 |
| DPL -04 | 19.84 | 34.9 | 15.0 | 32.3 |
| DPL -06 | 17.90 | 33.9 | 11.61 | 30.2 |
| DPL -07 | 13.55 | 31.5 | 13.55 | 31.5 |
| PROFUNDIDAD DEL ENSAYO | 1.00 – 1.20 m | | 1.30 - 1.50 m | |

Tabla 11: 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 | | | | | | |

De acuerdo a los datos de las Tablas 10 y 11, los suelos de la ciudad de San Luis, en su mayoría, son arenosos y valor de ángulo de fricción interna menor a 35° 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 33° y presentan compacidad relativa de suelta a media.

Finalmente, en los Anexo se adjunta las fichas resumen de cada uno de los ensayos realizados en campo y sus respectivos valores de ángulos de fricción interna (Figura 28).

**ENSAYO DE PENETRACIÓN DINÁMICA LIGERA
(NORMA DIN - 4094)**

PROYECTO: ZONIFICACIÓN SÍSMICA - GEOTÉCNICA DE LA CIUDAD DE SAN LUIS

UBICACIÓN: Estadio Laura Caller

PROFUNDIDAD (m): 3.00
COORDENADAS (m): 345543 E
 8557555 N

FECHA: Julio de 2016

ELABORADO POR: Julio Lara C.

APROBADO POR: Juan Carlos Gómez A.

RESPONSABLE DEL PROYECTO: Hernando Tavera

ENSAYO: **DPL-01**
HOJA: 1/1

N.F: NO presenta nivel freático

Correlación entre DPL y SPT

| PROF. (m.) | N _{dpl} (golpes) | N _{spt} (golpes) | C' spt (Tn/m ²) | φ' spt (°) | Compacidad Relativa |
|------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------------|------------|---------------------|
| 0.00 | 16 | | | | |
| 0.10 | 20 | | | | |
| 0.20 | 13 | 10.89 | 0.0 | 29.8 | Media |
| 0.30 | 12 | | | | |
| 0.40 | 10 | | | | |
| 0.50 | 11 | 7.02 | 0.0 | 26.8 | Suelta |
| 0.60 | 8 | | | | |
| 0.70 | 4 | | | | |
| 0.80 | 4 | 2.90 | 0.0 | 22.6 | Muy Suelta |
| 0.90 | 4 | | | | |
| 1.00 | 2 | | | | |
| 1.10 | 2 | 1.21 | 0.0 | 19.9 | Muy Suelta |
| 1.20 | 1 | | | | |
| 1.30 | 1 | | | | |
| 1.40 | 1 | 1.21 | 0.0 | 19.9 | Muy Suelta |
| 1.50 | 3 | | | | |
| 1.60 | 3 | | | | |
| 1.70 | 5 | 3.39 | 0.0 | 23.2 | Muy Suelta |
| 1.80 | 6 | | | | |
| 1.90 | 7 | | | | |
| 2.00 | 7 | 5.32 | 0.0 | 25.3 | Suelta |
| 2.10 | 8 | | | | |
| 2.20 | 8 | | | | |
| 2.30 | 9 | 6.77 | 0.0 | 26.6 | Suelta |
| 2.39 | 11 | | | | |
| 2.50 | 13 | | | | |
| 2.60 | 13 | 9.19 | 0.0 | 28.6 | Suelta |
| 2.70 | 12 | | | | |
| 2.80 | 13 | | | | |
| 2.90 | 12 | 9.19 | 0.0 | 28.6 | Suelta |
| 3.00 | 13 | | | | |
| 3.10 | | | | | |
| 3.20 | | | | | |
| 3.30 | | | | | |
| 3.40 | | | | | |
| 3.50 | | | | | |
| 3.60 | | | | | |
| 3.70 | | | | | |
| 3.80 | | | | | |
| 3.90 | | | | | |
| 4.00 | | | | | |
| 4.10 | | | | | |
| 4.20 | | | | | |

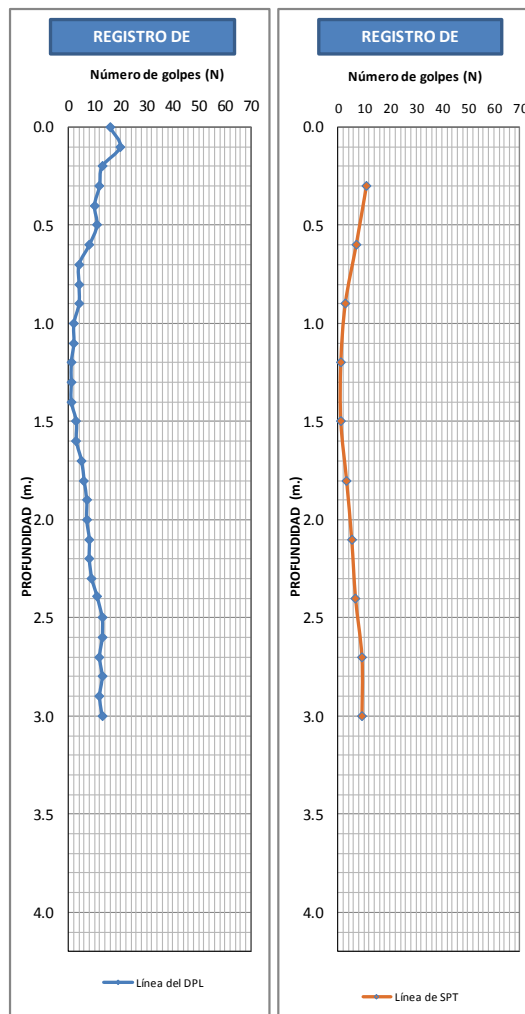


Figura 28: Diagrama de correlación entre el número de golpes del DPL y el número de golpes del SPT, y cálculo del ángulo de fricción interna corregido.

5.5. Clasificación SUCS para Suelos

En base a la información geotécnica recopilada de las calicatas, posteos y DPL realizados en la ciudad de San Luis, los resultados obtenidos de los ensayos granulométricos y plasticidad, se ha identificado la existencia de 4 tipos de suelos, que han sido agrupados de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), ver Tabla 12 y Figura 29.

-**Suelos tipo GC:** Grava arcillosa con contenido de material fino (13.04% y 15.63%), el contenido de humedad de 5.89% y 15.36%. Constituyen suelos con grado de compactación medio y presentan plasticidad media (debido al contenido de material fino). Los suelos que pertenecen a este tipo ocupan el 2% del área de estudio y se han identificado en las calicatas (C-06 y C07), localizada en el anexo Santa Bárbara.

- **Suelos tipo SW:** Están conformados por arenas bien graduadas, el contenido de humedad es menor a 3.74%. Constituyen suelos con grado de compactación bajo a medio y no presentan plasticidad. Estos suelos representan el 1.5% del área de estudio y se han identificado en la calicata C-03 (Urbanización Upis Nuevo San Luis).

- **Suelos tipo ML:** Están conformados por limos arenosos, el contenido de humedad es de 25.46%, 28.96% y 25.13%. Constituyen suelos con grado de compactación bajo y presentan plasticidad media. Estos suelos representan el 6% del área de estudio y se han identificado en las calicatas C-01, C-04 y C-05 (zona urbana de la ciudad de San Luis), y los posteos P-02 y P-04.

- **Suelos tipo CL-ML:** Están conformados por arcillas limosas arenosas, el contenido de humedad es 24.39%. Constituyen suelos con grado de compactación bajo y presentan plasticidad. Estos suelos representan el 2.5% del área de estudio y se ha identificado en la calicata C-02 (Centro Poblado La Quebrada).

Se hace mención que el informe realizado por INDECI (2002) cita que los suelos identificados en las calicatas realizadas en la zona urbana de la ciudad de San Luis son de tipo limo arenoso, datos que coinciden con las calicatas C-04 y C-05 realizadas por el presente informe.

Tabla 12: Clasificación SUCS para los suelos presentes en la ciudad de San Luis.

| 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 |
|----------|-----------------|--------------------|---------------------|--------------------------------|---------------------|--------------------|---------------------|-----------------|--------------------------|--------------------|-------------------------|
| C - 01 | 1.8 | 1.8 | N.P. | 16 | 83.91 | 39.6 | 26.6 | 13 | 25.46 | ML | Limo arenoso |
| C - 02 | 1.5 | 1.5 | 1.1 | 44.2 | 54.6 | 24.5 | 20.3 | 4.2 | 24.39 | CL-ML | Arcilla limosa, arenosa |
| C - 03 | 3 | N.P. | 1.7 | 87.8 | 9.22 | N.P. | N.P. | N.P. | 3.74 | SW | Arena bien graduada |
| C - 04 | 3 | N.P. | N.P. | 9.4 | 90.57 | 37.4 | 25.3 | 12.1 | 28.96 | ML | Limo arenoso |
| C - 05 | 3 | N.P. | N.P. | 4.6 | 95.35 | 38.7 | 26.9 | 11.8 | 25.13 | ML | Limo arenoso |
| C - 06 | 3 | N.P. | 79.6 | 7.3 | 13.04 | 27.4 | 18.3 | 9.1 | 5.89 | GC | Grava arcillosa |
| C - 07 | 1.5 | 1.5 | 27.1 | 57.1 | 15.63 | 27.1 | 18.7 | 8.4 | 15.36 | GC | Grava arcillosa |

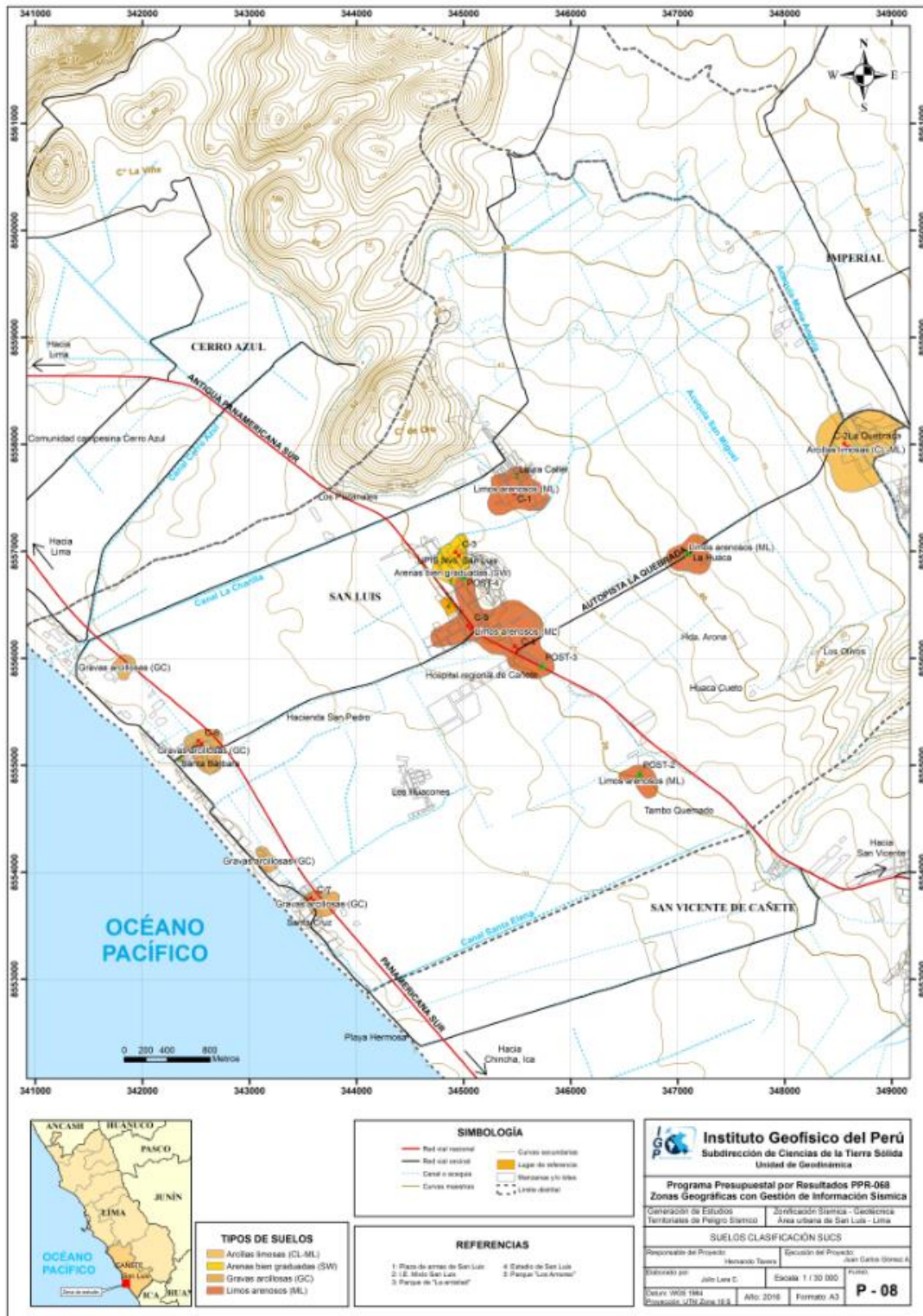


Figura 29: Mapa de clasificación SUCS para los suelos de la ciudad de San Luis y alrededores.

5.6. Ensayo 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.

Para la ciudad de San Luis, los valores obtenidos para los ensayos de corte directo se presentan en la Tabla 13.

Tabla 13: Valores obtenidos del ensayo de corte directo

| MUESTRA | Ángulo de fricción interna del suelo (ϕ) | Cohesión aparente del suelo (Tn/m^2) | Densidad natural (Tn/m^3) |
|---------|---|--|-------------------------------|
| C-01 | 19.29 | 0.13 | 1.83 |
| C-02 | 25.04 | 0.05 | 1.84 |
| C-03 | 30 | 0.11 | 1.53 |
| C-04 | 23 | 0.16 | 1.77 |
| C-05 | 20.23 | 0.12 | 1.85 |
| C-06 | 32 | 0.13 | 1.87 |
| C-07 | 29 | 0.10 | 1.75 |

De los resultados obtenidos anteriormente se evidencia que, la mayoría de los suelos no presentan cohesión y los valores del ángulo de fricción interna son menores a 32° , característico de suelos granulares como arenas y gravas.

5.7. Capacidad de carga admisible

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, de acuerdo a la norma técnica peruana para el diseño de cimentaciones E.050 del orden de 3.

5.7.1. Carga última

Es la presión última por unidad de área de la cimentación soportada por el suelo, en exceso de la presión causada por el suelo alrededor al nivel de la cimentación (Amézquita, et al). Para determinar la carga última se usaron los resultados de los ensayos de corte directo y en base al N_{SPT} (ángulo de fricción y la cohesión), datos que se usaran con la fórmula general de Terzaghi (1943), a través de la siguiente expresión (Tabla 14):

Formula para falla por corte general:

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

Formula para falla por corte local:

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

C: cohesión

Donde:

C: cohesión

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

N_c, N_q, N_γ : Factores de carga

Tabla 14: Factores de cohesión, carga y volumétricos. Modificado por Terzaghi (Braja Das, 2007).

| ϕ' | N'_c | N'_q | N'_γ | ϕ' | N'_c | N'_q | N'_γ |
|---------|--------|--------|-------------|---------|--------|--------|-------------|
| 0 | 5.70 | 1.00 | 0.00 | 26 | 15.53 | 6.05 | 2.59 |
| 1 | 5.90 | 1.07 | 0.005 | 27 | 16.30 | 6.54 | 2.88 |
| 2 | 6.10 | 1.14 | 0.02 | 28 | 17.13 | 7.07 | 3.29 |
| 3 | 6.30 | 1.22 | 0.04 | 29 | 18.03 | 7.66 | 3.76 |
| 4 | 6.51 | 1.30 | 0.055 | 30 | 18.99 | 8.31 | 4.39 |
| 5 | 6.74 | 1.39 | 0.074 | 31 | 20.03 | 9.03 | 4.83 |
| 6 | 6.97 | 1.49 | 0.10 | 32 | 21.16 | 9.82 | 5.51 |
| 7 | 7.22 | 1.59 | 0.128 | 33 | 22.39 | 10.69 | 6.32 |
| 8 | 7.47 | 1.70 | 0.16 | 34 | 23.72 | 11.67 | 7.22 |
| 9 | 7.74 | 1.82 | 0.20 | 35 | 25.18 | 12.75 | 8.35 |
| 10 | 8.02 | 1.94 | 0.24 | 36 | 26.77 | 13.97 | 9.41 |
| 11 | 8.32 | 2.08 | 0.30 | 37 | 28.51 | 15.32 | 10.90 |
| 12 | 8.63 | 2.22 | 0.35 | 38 | 30.43 | 16.85 | 12.75 |
| 13 | 8.96 | 2.38 | 0.42 | 39 | 32.53 | 18.56 | 14.71 |
| 14 | 9.31 | 2.55 | 0.48 | 40 | 34.87 | 20.50 | 17.22 |
| 15 | 9.67 | 2.73 | 0.57 | 41 | 37.45 | 22.70 | 19.75 |
| 16 | 10.06 | 2.92 | 0.67 | 42 | 40.33 | 25.21 | 22.50 |
| 17 | 10.47 | 3.13 | 0.76 | 43 | 43.54 | 28.06 | 26.25 |
| 18 | 10.90 | 3.36 | 0.88 | 44 | 47.13 | 31.34 | 30.40 |
| 19 | 11.36 | 3.61 | 1.03 | 45 | 51.17 | 35.11 | 36.00 |
| 20 | 11.85 | 3.88 | 1.12 | 46 | 55.73 | 39.48 | 41.70 |
| 21 | 12.37 | 4.17 | 1.35 | 47 | 60.91 | 44.45 | 49.30 |
| 22 | 12.92 | 4.48 | 1.55 | 48 | 66.80 | 50.46 | 59.25 |
| 23 | 13.51 | 4.82 | 1.74 | 49 | 73.55 | 57.41 | 71.45 |
| 24 | 14.14 | 5.20 | 1.97 | 50 | 81.31 | 65.60 | 85.75 |
| 25 | 14.80 | 5.60 | 2.25 | | | | |

Luego, en base a los resultados de la carga última (q_u) se calculó de la capacidad admisible de los suelos para una profundidad de cimentación de 1.00 m y ancho de zapata de 1.00 m, así como también para profundidad de cimentación de 1.50 m y ancho de zapata de 1.00 m. Los resultados de capacidad de carga admisible de los 4 tipos de suelos analizados se presentan en la Tabla 15 y Figura 30.

Tabla 15: Capacidad de carga admisible de las muestras de suelo extraídas en la ciudad de San Luis.

| MUESTRA | Capacidad de carga última (Tn/m ²) | Capacidad de carga admisible (Kg/cm ²) | Capacidad de carga última (Tn/m ²) | Capacidad de carga admisible (Kg/cm ²) |
|----------------------------|--|--|--|--|
| C-01 | 4 | 1.33 | 4.5 | 1.5 |
| C-02 | 4.8 | 1.6 | 6.33 | 2.11 |
| C-03 | 9.05 | 3.02 | 10.79 | 3.6 |
| C-04 | 5.85 | 1.95 | 6.76 | 2.25 |
| C-05 | 3.92 | 1.31 | 4.62 | 1.54 |
| C-06 | 13.68 | 4.56 | 16.37 | 5.46 |
| C-07 | 9.22 | 3.07 | 11.6 | 3.87 |
| DIMENSIONES DE CIMENTACIÓN | Profundidad: 1.00 m y ancho:1.00 | | Profundidad: 1.50 m y ancho:1.00 | |

Tabla 16: Rangos capacidad de carga admisible

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

Los valores de la Tabla 15, fueron obtenidos tomando como referencia los rangos indicados en la Tabla 16.

Capacidad de carga admisible baja: Comprende rangos de capacidad de carga admisible entre 1.00 - 2.00 kg/cm², corresponde a suelos tipo limos arenosos (ML) y arcillas limosas, arenosas (CL-ML), cuyo grado de compactación es bajo. Este tipo de suelos se encuentran en Laura Caller, el Centro Poblado La Quebrada) y la zona urbana de la ciudad de San Luis.

Capacidad de carga admisible media: Comprende rangos de capacidad de carga admisible entre 2.00 - 3.00 kg/cm², corresponde al tipo de suelo arena bien graduada (SW), cuyo grado de compactación es de bajo a medio. Este tipo de suelo se encuentra cubriendo gran parte de la Urbanización Upis Nuevo, San Luis.

Capacidad de carga admisible alta: Comprende rangos de capacidad de carga admisible mayores a 3.00 kg/cm², corresponde al tipo de suelo grava arcillosa (GC), cuyo grado de compactación es medio. Este tipo de suelo se encuentra en los anexos Santa Bárbara y Santa Cruz.

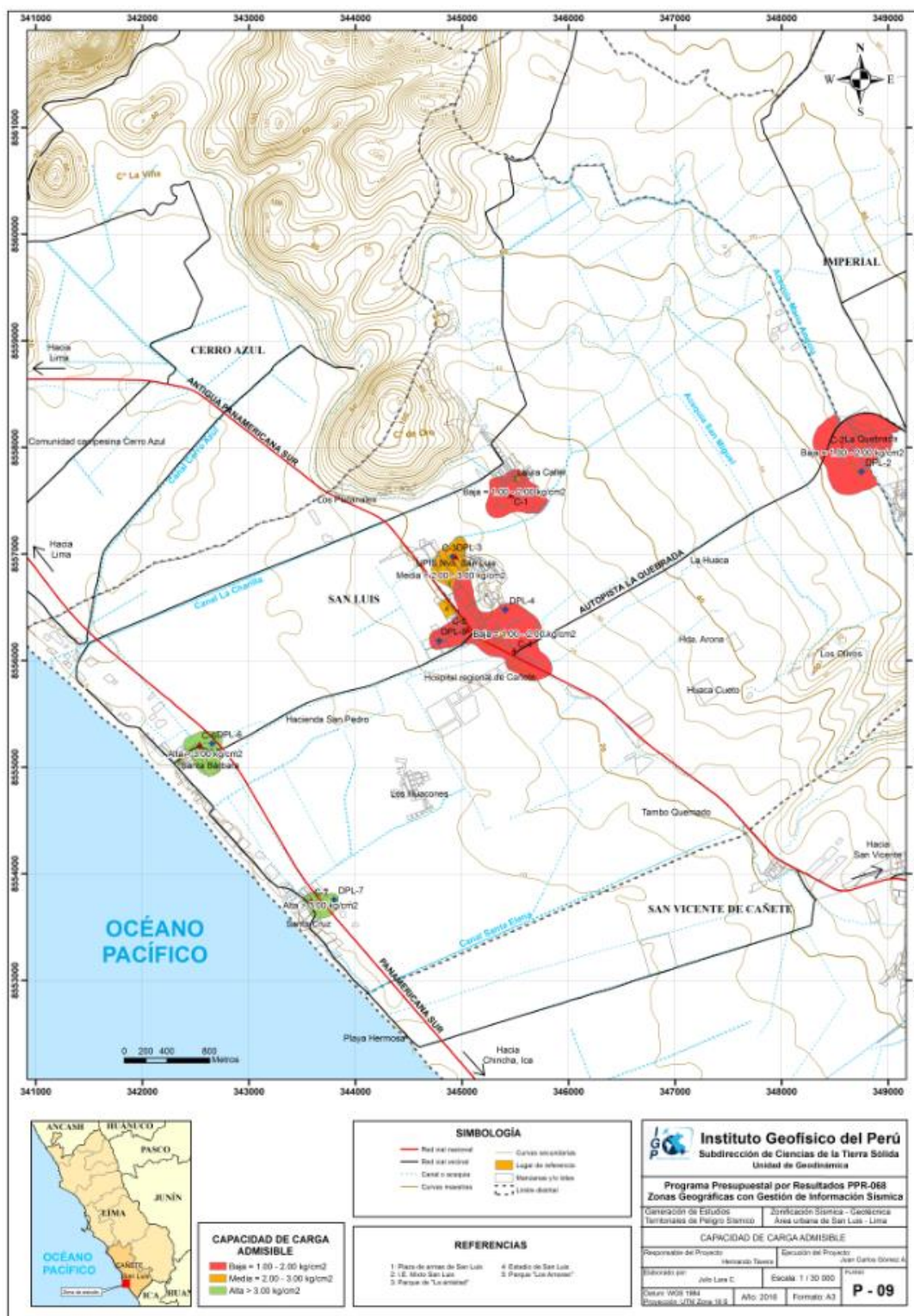


Figura 30: Mapa de capacidad de carga admisible para los suelos de la ciudad de San Luis y alrededores.

CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA DE LA CIUDAD DE SAN LUIS

CONTENIDO

1. METODOLOGÍA

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

2. RECOLECCIÓN 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

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

4. ZONIFICACIÓN GEOFÍSICA – GEOTÉCNICA

- 4.1. Mapa de Zonificación Geofísica

CONCLUSIONES

1. METODOLOGÍA

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

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

- ✓ Los registros de vibración ambiental fueron tratados por ventanas de 20 segundos de señal no perturbada por el ruido de fondo. Para tal efecto, se selecciona de forma aleatoria diversos tramos de señal sin la presencia de ruidos transitorios.
- ✓ Se calcula la Transformada Rápida de Fourier para un número mayor a 10 ventanas de observación para cada punto.
- ✓ Los espectros horizontales de la señal se dividieron entre el espectro vertical para obtener la relación H/V y luego se promediaron estos para cada punto de observación considerando su respectiva desviación estándar.

- ✓ Se procedió a identificar la frecuencia predominante considerando, un rango de interés que fluctúa entre 0.5 a 20 Hz y picos/rangos con amplificaciones relativas de al menos 2 veces (se considera la amplitud de “1” como punto de referencia).

En la Figura 1, se muestra un ejemplo de registro de vibración ambiental (SL-057). El procedimiento seguido para el total de la información obtenida en campo. El primer recuadro presenta la selección de las ventanas de procesamiento para las tres componentes de la señal registrada (Vertical, N-S y E-O), seguidamente la curva H/V, en la cual la curva continua negra es el promedio del cociente H/V; mientras que, las curvas discontinuas son la desviación estándar, las bandas grises identifican las frecuencias principales. Finalmente, para la presentación de los resultados, las frecuencias son expresadas en periodos dominantes.

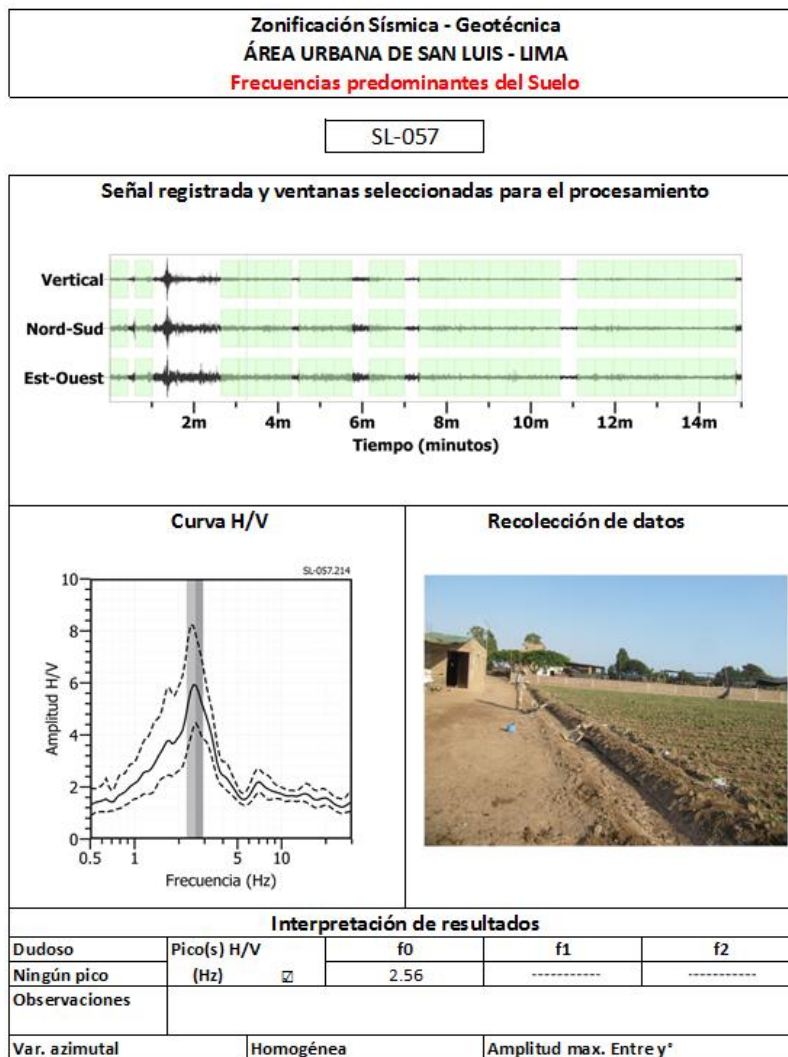


Figura 1: Ejemplo de la ficha H/V para el punto SL-057 en la cual se recopila la información registrada y analizada. Arriba, señal registrada; Medio; razón espectral (H/V) en línea gruesa y su desviación estándar en líneas discontinuas y Abajo resultados.

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

1.2. Análisis Multicanal de ondas Superficiales (MASW)

La técnica de arreglo lineal MASW es un método indirecto que permite determinar la estratigrafía del subsuelo bajo un punto; es decir, permite conocer la velocidad de propagación de las ondas de corte Vs en el subsuelo, a partir del análisis de la dispersión de ondas superficiales (ondas Rayleigh), generados por una fuente de energía impulsiva y registrada por arreglos lineales de sensores sísmicos, tal como muestra en la Figura 2.

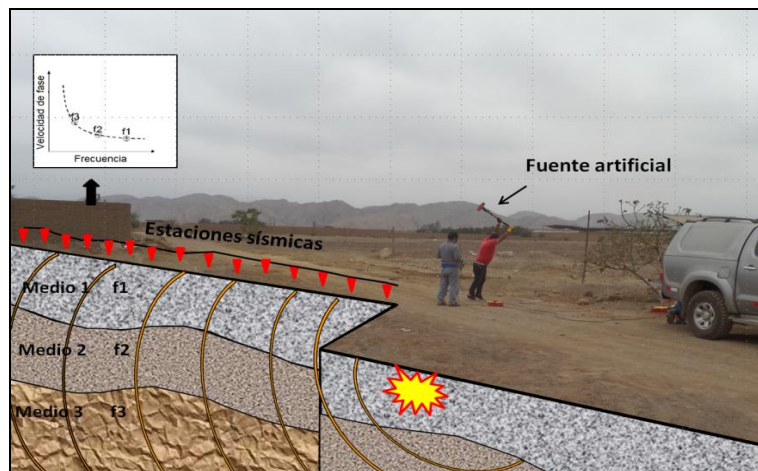


Figura 2: Generación de ondas Rayleigh con fuente artificial y su respectiva curva de dispersión.

El procesamiento de los datos de MASW fue realizado con el programa de computación SeisImager y consiste en aplicar la rápida transformada de Fourier (FFT) a los registros sísmicos obtenidos para cada punto de disparo (Reynolds, 2011), lo cual permite la transformación de los datos en series de tiempo, dando como resultado una imagen de dispersión que relaciona la velocidad de fase de las ondas superficiales con la frecuencia. Una vez obtenidas las curvas de dispersión pertenecientes a un mismo perfil MASW son sometidas de forma individual a un proceso matemático de inversión

con el fin de obtener los perfiles V_s en una dimensión (1D) (Park, 2014; Roma, 2010; Socco et al., 2008).

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

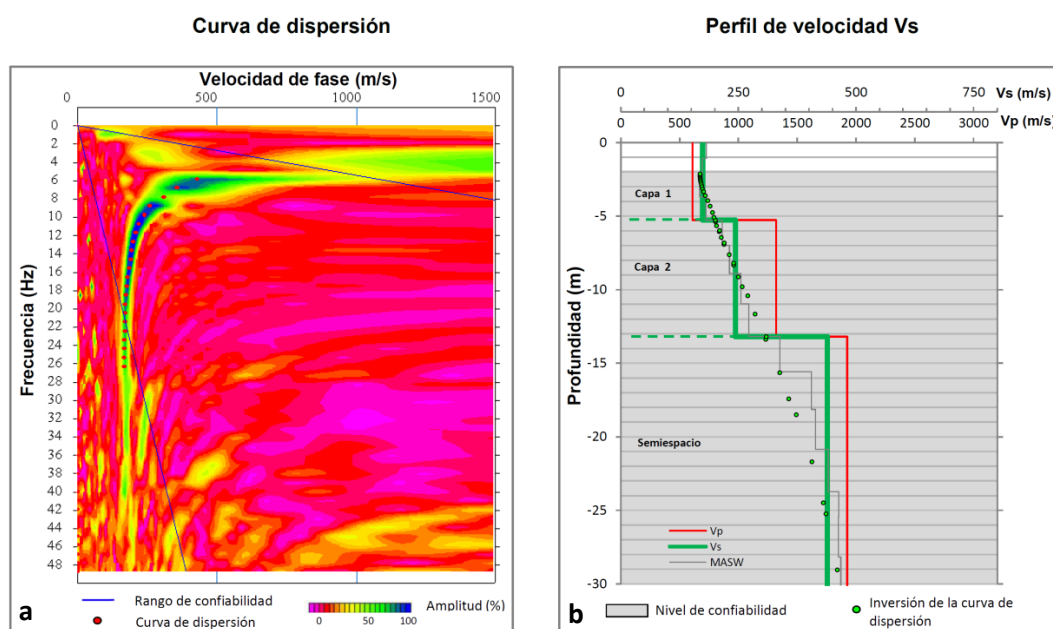


Figura 3: a) Curva de dispersión y b) perfil de velocidad obtenido a partir del ensayo ubicado al costado del Hospital Regional de Cañete.

Para el análisis e interpretación de los resultados obtenidos en este ítem se considera la clasificación de suelos según la Norma E.030, que considera la velocidad promedio de propagación de las ondas de corte para los 30 metros superiores (V_{s30}), considerando diferentes rangos de V_{s30} . En este caso, las velocidades de los perfiles de suelo S1 y S2 se subdividen según la Tabla 1, para un mayor detalle de la distribución de este parámetro. Asimismo, cada perfil de velocidad es representado en colores, para mejor comprensión de los resultados (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 de la zona de estudio y nivel freático ya que ambos parámetros que influyen en la variación de velocidad de ondas Vs.

1.3. Tomografía de Resistividad Eléctrica (ERT)

La tomografía eléctrica permite obtener información sobre las propiedades físicas del subsuelo mediante la evaluación del parámetro de resistividad al paso de la corriente eléctrica. Esta propiedad permite conocer la resistividad del subsuelo asociado a la presencia de capas y superficies con mayor o menor contenido de agua, sales disueltas presentes en las fracturas de las rocas y en la porosidad del suelo.

Es un método convencional que se basa 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, Para este estudio se realizó el dispositivo polo-dipolo (Figura 4).

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.

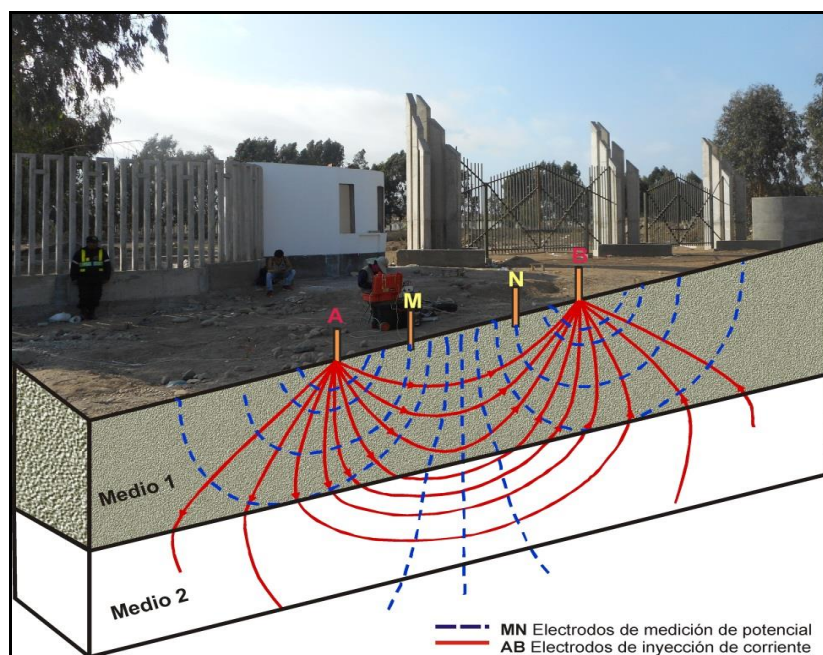


Figura 4: Principio del método de resistividad (LE04-SL), modificado de Orellana E. (1982).

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

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

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

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

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

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

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

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

Para el presente estudio los rangos de resistividades han sido resumidos, según la Tabla 2.

Tabla 2: Rango de Resistividades

| Rango de resistividades | 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 | | Light Blue |
| Material muy bajo resistivo | < 20 | Blandos / saturados | Dark Blue |

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

2. RECOLECCIÓN DE DATOS

En este estudio se ha realizado la aplicación de métodos sísmicos y geofísicos como la técnica de razones espectrales (H/V) que utiliza registros de vibración ambiental, arreglos sísmicos lineales (MASW) para obtener registros sísmicos y los métodos eléctricos (ERT), para conocer los valores de resistividad del suelo. A continuación, se describe brevemente la toma de datos para cada uno de estas técnicas.

2.1. Registro de Vibración Ambiental (H/V)

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



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

En el área urbana de la ciudad de San Luis cercado, se consideró registros de vibración ambiental obtenidos de manera puntual en 121 puntos, distribuidos según la Figura 6. La distribución de los puntos se definió sobre el mapa catastral de la ciudad de San Luis, 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 SL-05 presenta bajos niveles de ruido; mientras que, la señal en SL-03, presenta diversidad de pulsos de variada amplitud, que al momento de su análisis fueron filtrados, a fin de no alterar los resultados.

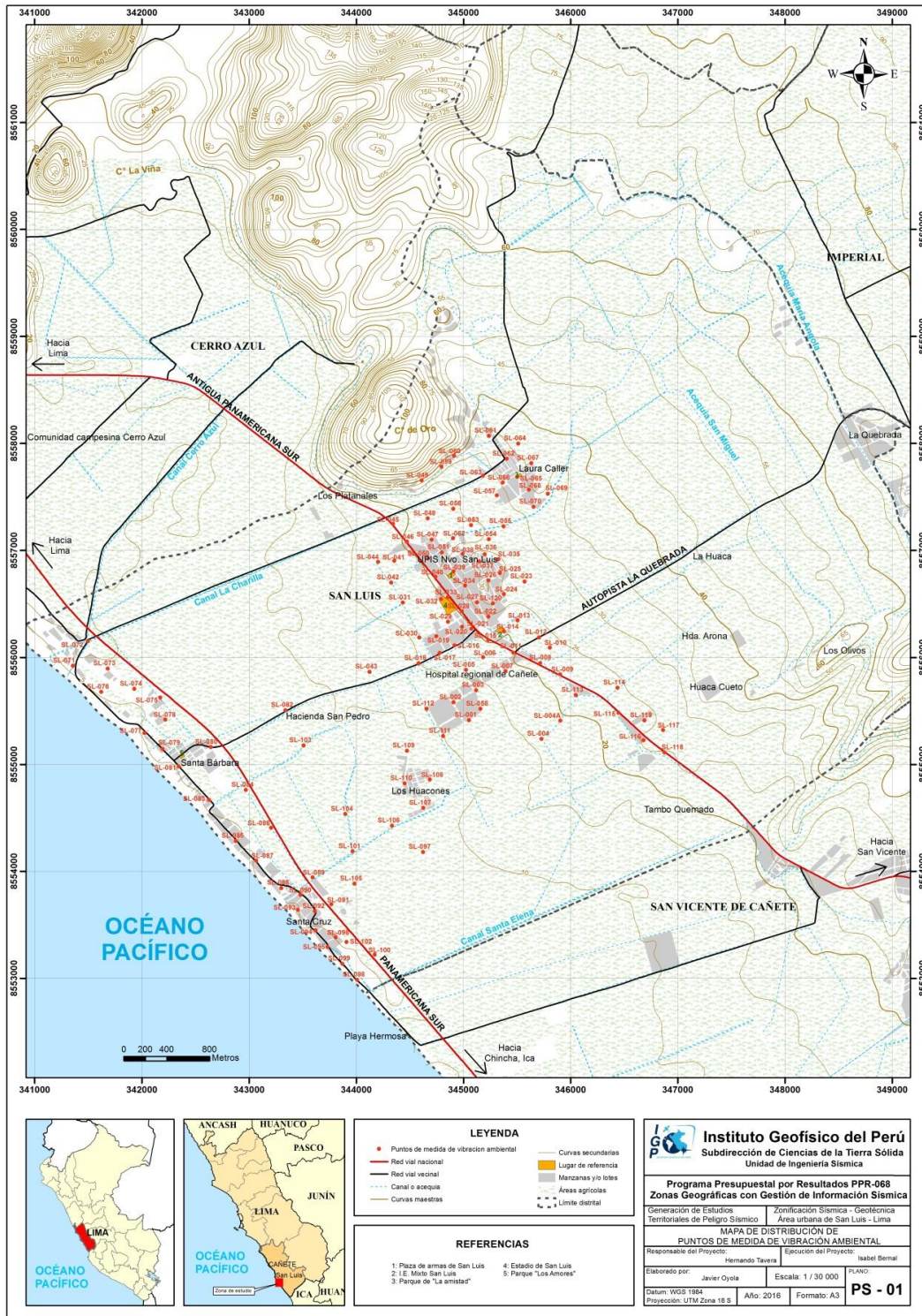


Figura 6: Mapa catastral del área urbana de la ciudad de San Luis y la distribución de puntos donde se tomaron los registros de vibración ambiental.

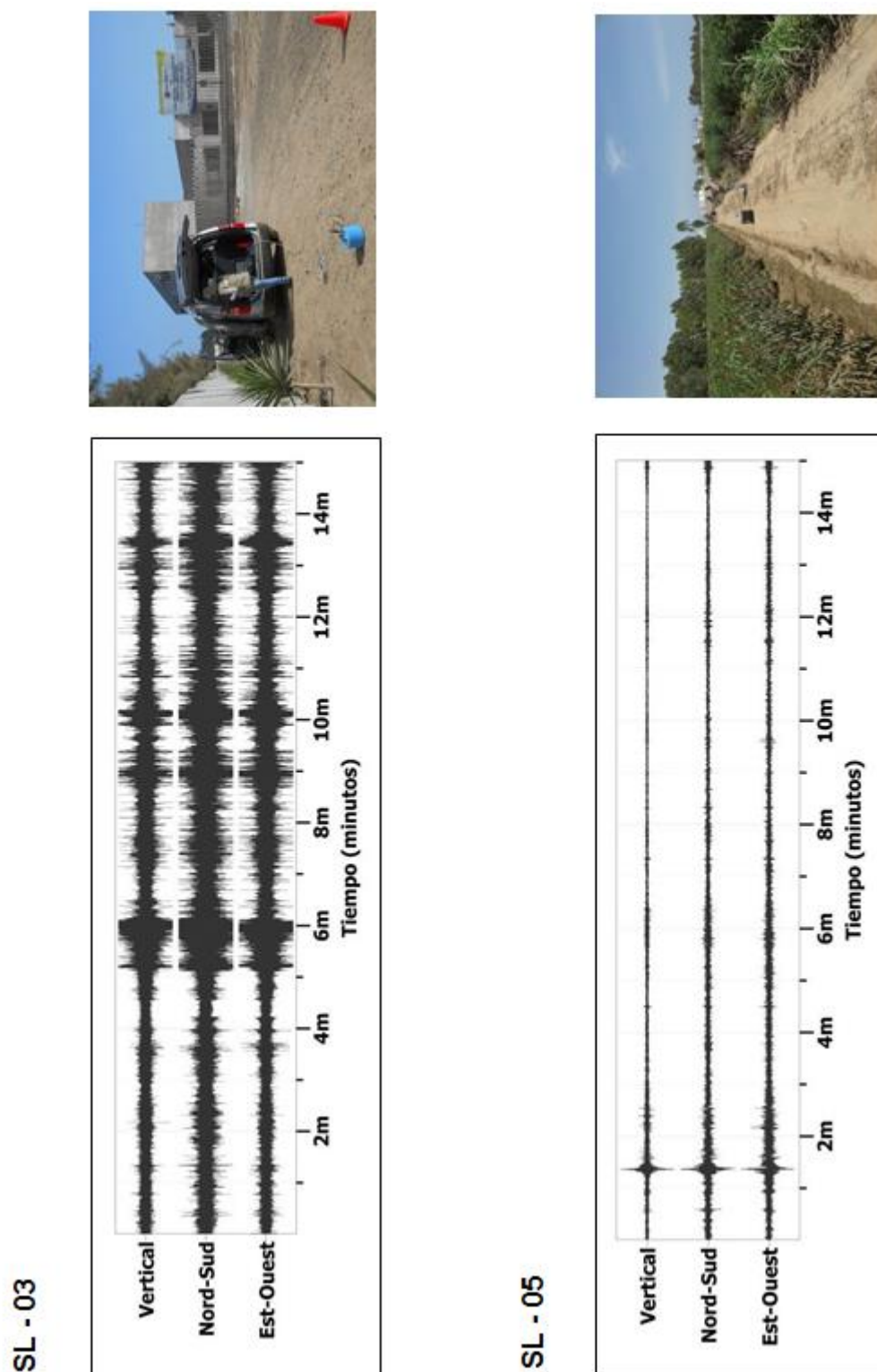


Figura 7: Ejemplos de la disposición del equipo sísmico para el registro de vibraciones ambientales. Ejemplos de registros de vibración ambiental obtenidos sobre una zona con ruido transitorio (SL-03) y otro con ruido de fondo constante (SL-05). Obsérvese las diferentes amplitudes de la señal registrada en cada punto.

2.2. Registro de Arreglos Lineales (MASW)

En el área urbana de la ciudad de San Luis se realizaron 7 arreglos lineales sísmicos cuyas coordenadas se muestran en la Tabla 3 y su distribución espacial en la Figura 8: LS01-SL,....LS07-SL.

Tabla 3: Coordenadas y características de las Líneas Sísmicas.

| Línea Sísmica | Este (m) | Norte (m) | Cota (m) | Espaciamiento entre geófonos (m) | Longitud total (m) |
|---------------|----------|-----------|----------|----------------------------------|--------------------|
| LS01-SL | 343501 | 8553590 | 24 | 4 | 92 |
| | 343561 | 8553521 | 23 | | |
| LS02-SL | 342444 | 8555151 | 22 | 4 | 92 |
| | 342518 | 8555204 | 24 | | |
| LS03-SL | 345352 | 8555843 | 35 | 4 | 92 |
| | 345270 | 8555794 | 34 | | |
| LS04-SL | 346862 | 8555315 | 39 | 4 | 88 |
| | 346936 | 8555370 | 40 | | |
| LS05-SL | 344975 | 8556864 | 43 | 3.5 | 80.5 |
| | 345045 | 8556903 | 42 | | |
| LS06-SL | 343878 | 8557545 | 29 | 4 | 92 |
| | 343935 | 8557616 | 30 | | |
| LS07-SL | 345627 | 8557803 | 53 | 4 | 92 |
| | 345556 | 8557748 | 55 | | |

Para el registro de información se ha utilizado un equipo sísmico (sismógrafo) de uso multipropósito, modelo GEODE de Geometrics, 24 sensores o geófonos de baja frecuencia (4.5 Hz). Como fuente de impacto y/o energía para generar las ondas sísmicas, se utilizó un martillo de 20 lbs y para dar inicio a la grabación el dispositivo Hammer Swith (Figura 9). Los parámetros de registro, tales como la geometría del tendido, espaciamento 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.

La profundidad máxima de investigación depende de la geometría del tendido, espaciamento 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.



Figura 8: Mapa de la ciudad de San Luis con la distribución espacial de las líneas sísmicas codificadas como: LS01-SL, ..., LS07-SL.



Figura 9: Equipos utilizados en la toma de datos de MASW Ubicado en UPIS Nuevo San Luis.

A fin de evaluar la calidad de los datos y el nivel de ruido (Figura 10), 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), obtenidos de cuatro a cinco golpes en cada punto “shot” y un procesamiento preliminar de los datos.

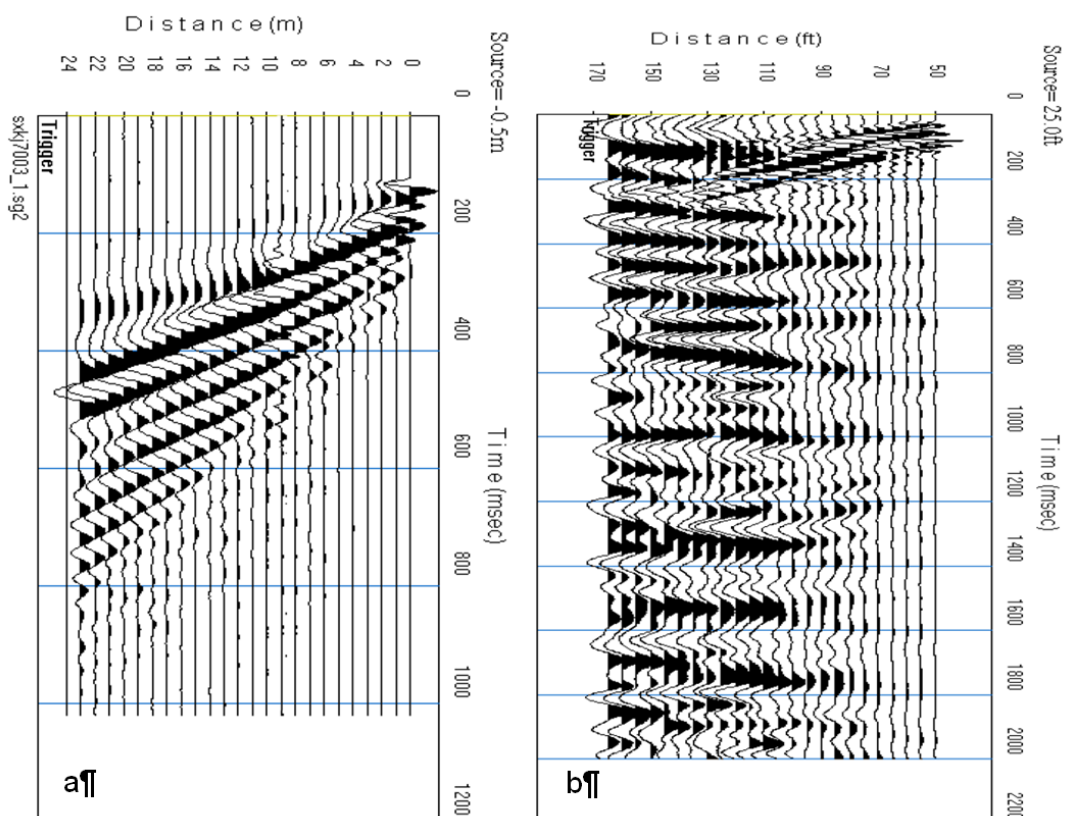


Figura 10: a) Registro sísmico con bajo contenido de ruido ambiental, es decir, alta calidad. b) Registro sísmico con alto contenido de ruido ambiental.

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

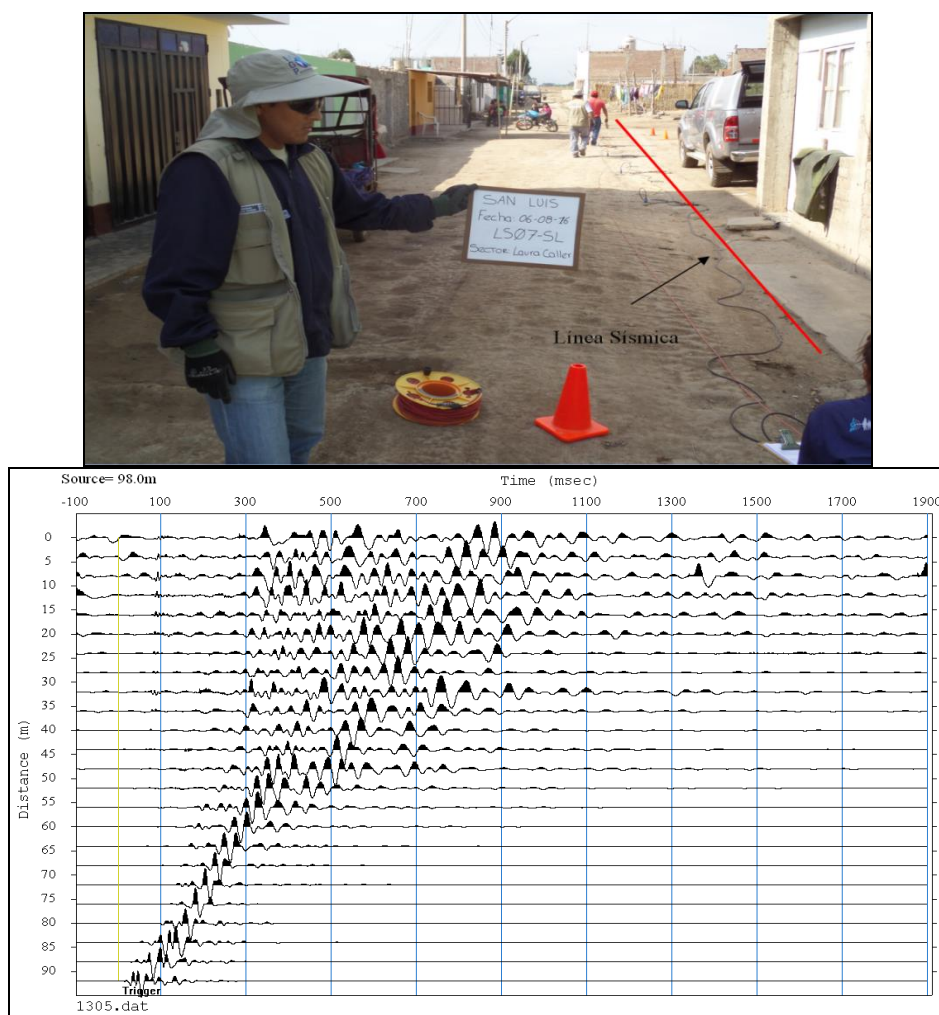


Figura 11: Disposición del equipo de adquisición por el método de MASW y el registro sísmico obtenido.

2.3. Registro de Resistividad del Suelo (ERT)

En el área urbana y de expansión de la ciudad de San Luis se han realizado 6 líneas de tomografía eléctrica con el dispositivo polo-dipolo y la distribución de 30 electrodos (Figura 12). Para las líneas se consideró un espaciamiento que variaba en algunos perfiles de 10 metros entre cada electrodo, sobre un tendido longitudinal que variaba de 240 y 290 metros; lo cual permitió tener un alcance en profundidad, del orden de los 39 metros.

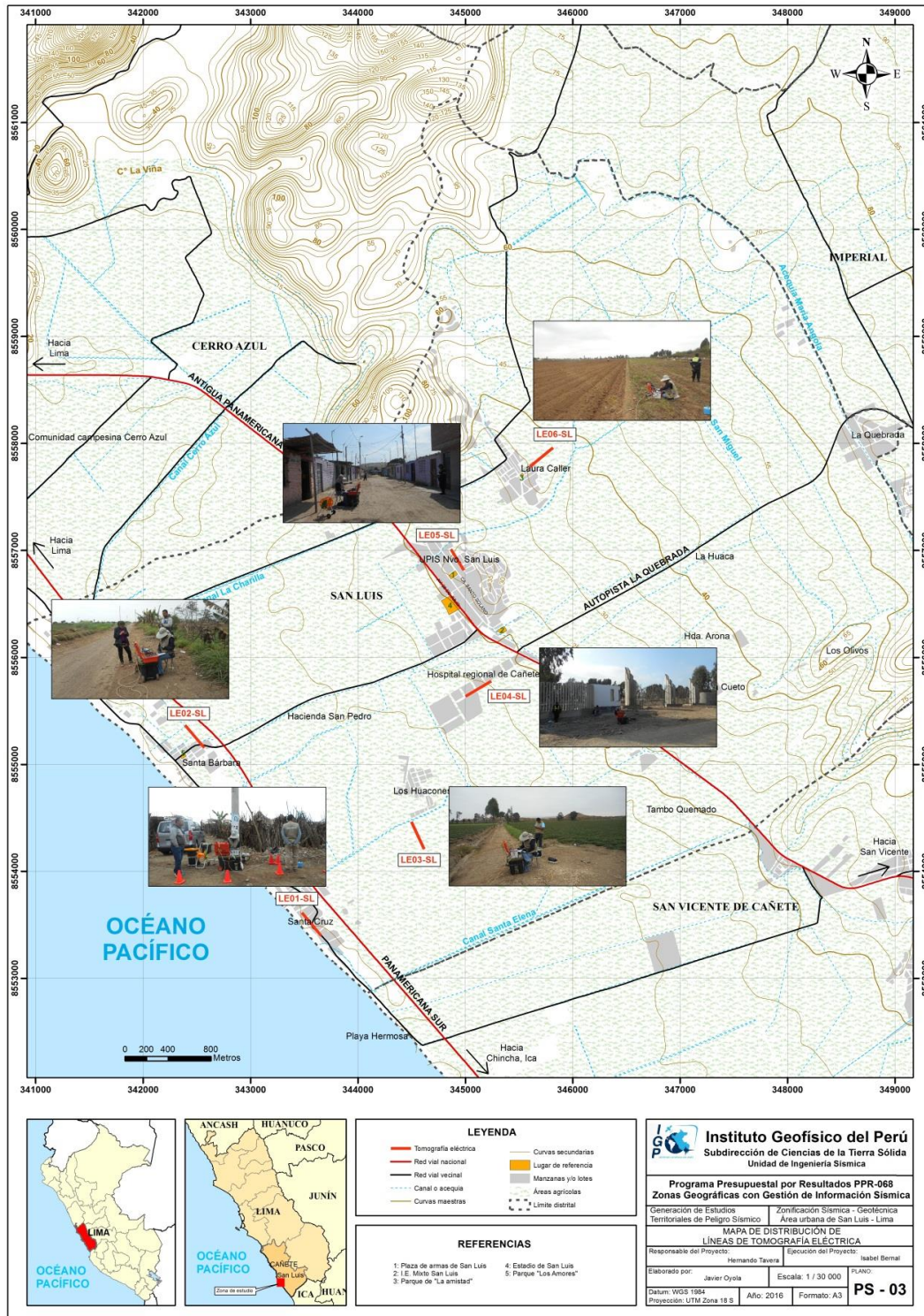


Figura 12: Mapa del área urbana de la ciudad de San Luis y la distribución espacial de las líneas de tomografía eléctrica codificadas como: LE01-SL, ..., LE06-SL.

La Tabla 4, se muestra las coordenadas UTM (WGS84) de cada línea eléctrica para los puntos extremos.

Tabla 4: Coordenadas de las Líneas eléctricas (LE) realizadas en la ciudad de San Luis.

| Línea Eléctrica | Este (m) | Norte (m) | Cota (m) | Espaciamiento entre electrodos (m) | Longitud total (m) |
|-----------------|----------|-----------|----------|------------------------------------|--------------------|
| LE01-SL | 343474 | 8553622 | 17 | 10 | 260 |
| | 343657 | 8553399 | 18 | | |
| LE02-SL | 342384 | 8555374 | 25 | 10 | 260 |
| | 342570 | 8555156 | 26 | | |
| LE03-SL | 344496 | 8554471 | 18 | 10 | 260 |
| | 344615 | 8554208 | 19 | | |
| LE04-SL | 345250 | 8555783 | 34 | 10 | 290 |
| | 345000 | 8555635 | 31 | | |
| LE05-SL | 344862 | 8557018 | 36 | 10 | 240 |
| | 344986 | 8556816 | 39 | | |
| LE06-SL | 345824 | 8557967 | 52 | 10 | 260 |
| | 345600 | 8557783 | 47 | | |

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

- ✓ La diferencia de potencial registrada debe ser mayor a 0.2 mV
- ✓ La relación entre el potencial registrado y la intensidad de corriente (V/I) debe ser mayor o igual a $5 \times 10^{-4} \Omega$.
- ✓ La diferencia de resistividad entre los dos ciclos de medida realizados en cada punto de registro debe ser inferior al 3%.
- ✓ La resistividad mínima y máxima aparente ha de estar entre 1 y 100 000 Ωm .

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

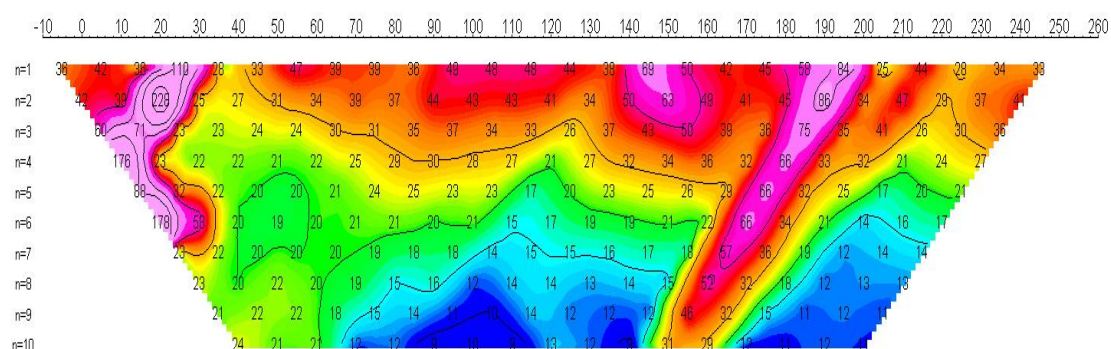


Figura 13: Adquisición de datos para la línea (LE02-SL) y el registro obtenido de campo.

3. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN

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

3.1. Estudio Sísmico con la Técnica de H/V

Esta información permite obtener espectros de Fourier para las tres componentes de registro de vibración ambiental obtenidos de manera puntual en 121 puntos (Figura 6) y a partir de la razón de estos (componentes horizontales/componente vertical), conocer las frecuencias predominantes y/o periodos dominantes de vibración natural del suelo y en algunos casos, la amplificación sísmica relativa para cada punto.

- **Distribución de frecuencias predominantes:** A partir de los valores extraídos de las razones espectrales H/V, se obtiene mapas con la distribución espacial de los valores de frecuencias predominantes. Para la ciudad de San Luis los resultados obtenidos de las razones espectrales H/V, permitió definir dos rangos de frecuencias F_0 ($F \leq 2.0$ Hz) y F_1 ($F > 2.0$ Hz), en razón que, en varios puntos de medición, sobresalen dos picos de frecuencias con amplificaciones menores para F_0 , lo cual sugiere que la respuesta dinámica de estos suelos es relativamente compleja. A continuación, se describe y analiza la distribución espacial de las frecuencias predominantes identificadas en San Luis.

- **Frecuencia predominante F_0 :** En la Figura 14, se muestra el mapa con la distribución espacial de los valores de F_0 , donde predominan valores entre 1.0 y 2.0 Hz. Las amplificaciones máximas relativas de hasta 6 veces se presentan en los puntos ubicados entre la Antigua Panamericana Sur y la línea de costa, excepto próximo a la Urb. Los Huacones. Hacia el Norte, de la Plaza de Armas sobre UPIS Nuevo San Luis, este rango de frecuencias no se identifica o presenta mínimas amplificaciones.

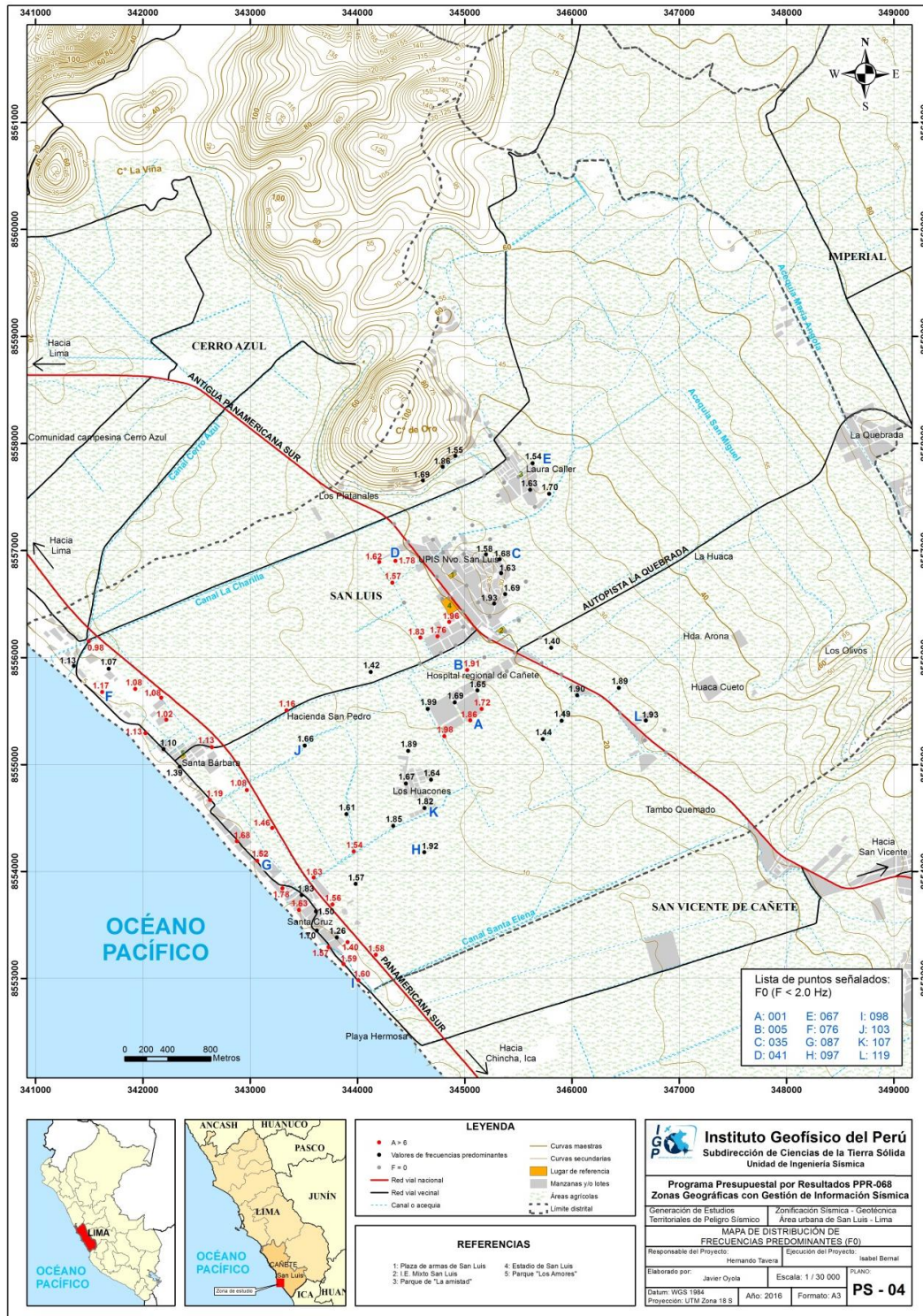
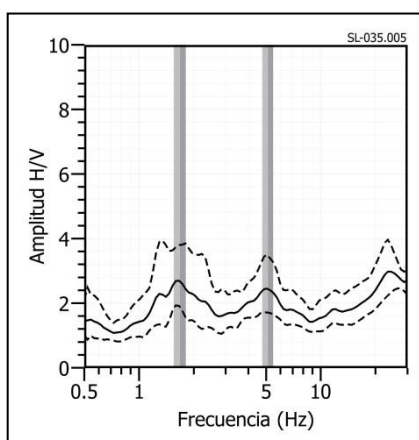


Figura 14: Mapa del área de estudio y la distribución espacial de las frecuencias predominantes F_0 ($F < 2.0$ Hz). Las letras indican la ubicación de los gráficos que se están considerando en la Figura 15 como característicos de este rango.

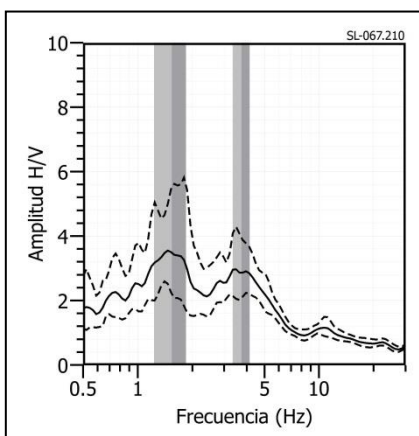
En la Figura 15, se muestra ejemplos de razones espectrales para los puntos SL-035(C), SL-67(E) y SL-119(L), hacia el extremo Este del área de estudio, predominan frecuencias a 1.7, 1.5 y 1.9 Hz y adicionalmente sobresale un segundo pico a 5.0, 3.8 y 5.8 Hz respectivamente, con amplificaciones de hasta 3 veces. A diferencia de lo observado en los puntos SL-001(A), SL-005(B) y SL-041(D), próximos a la Antigua Panamericana Sur, donde predomina frecuencias de 1.8, 1.9 y 1.8 Hz con amplificaciones relativas de hasta 7 veces, y el segundo pico a 3.8, 4.1 y 3.7 Hz con menores amplificaciones, respectivamente. Estos resultados evidencian, que hacia el extremo Este del área de estudio, existe gran diferencia en la compactación de los suelos ubicados en dirección Este y Oeste de las Plaza de armas, por ende, el Estadio de San Luis y Hospital regional de Cañete, se ubican sobre suelos blandos que responden a bajas frecuencias (F_0).

En los puntos SL-097(H), SL-103(J) y SL-107(K), hacia el extremo Oeste del área de estudio sobre la urbanización Los Huacones y la Hacienda San Pedro, predomina un pico bien definido de frecuencia a 1.9, 1.6 y 1.8 Hz con amplificaciones de hasta 5 veces. Características similares se observa en los puntos SL-076(F), SL-087(G) y SL-098(I), próximos a la línea de costa, en las urbanizaciones Santa Cruz y Santa Bárbara, donde predomina un pico a frecuencias de 1.2, 1.5 y 1.6 Hz pero con amplificaciones de hasta 10 veces. Estos resultados evidencian la presencia de suelos excepcionalmente blandos a estos rangos de frecuencia.

SL - 035



SL - 067



SL - 119

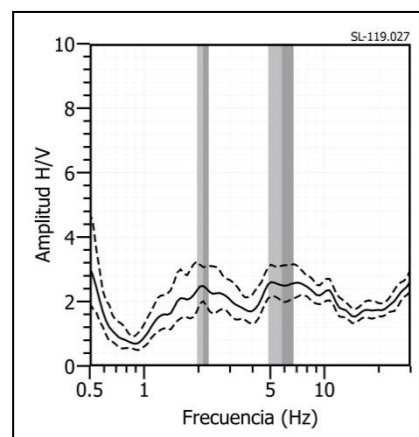
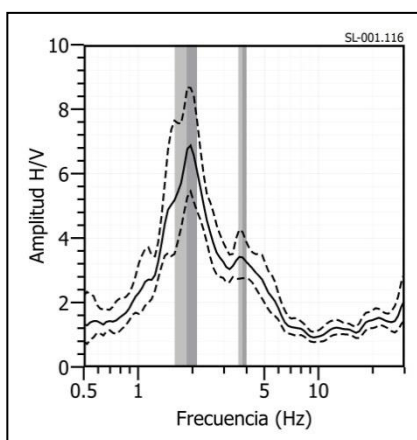
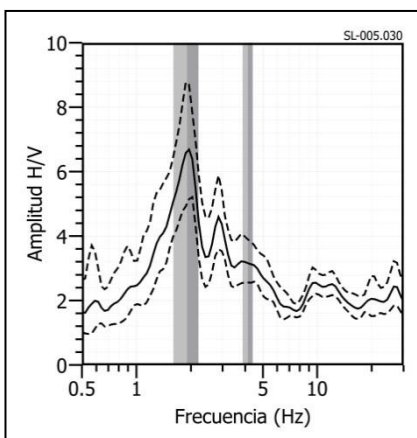


Figura 15: Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F_0 ($F < 2.0\text{Hz}$): Puntos SL-035(C), SL-067(E) y SL-119(L) ubicados al extremo Este del área de estudio. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

SL - 001



SL - 005



SL - 041

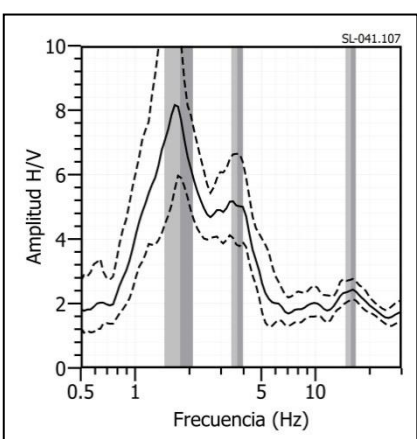
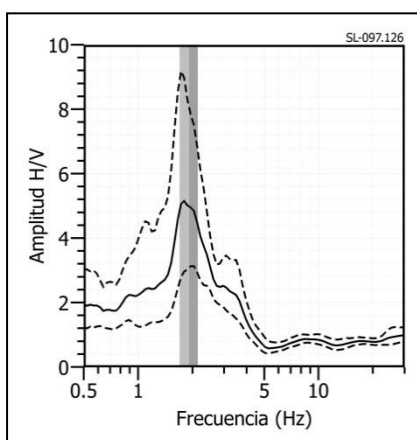
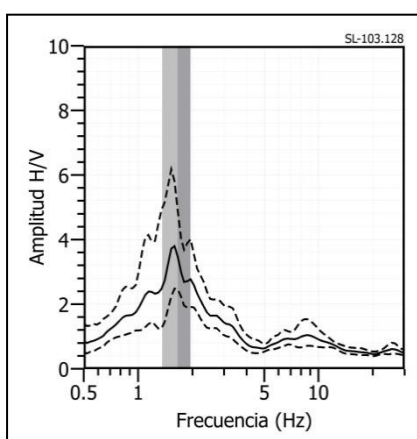


Figura 15: ... Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F_0 ($F < 2.0\text{Hz}$): Puntos SL-001(A), SL-005(B) y SL-041(D), ubicados próximos a la Antigua Panamericana Sur, el primer punto próximo al hospital regional de Cañete. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

SL - 097



SL - 103



SL - 107

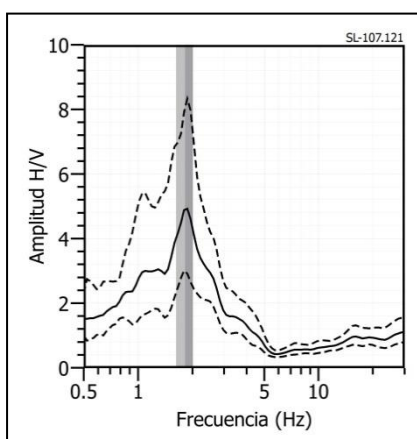
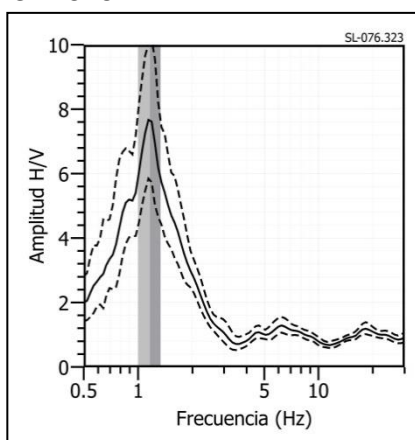
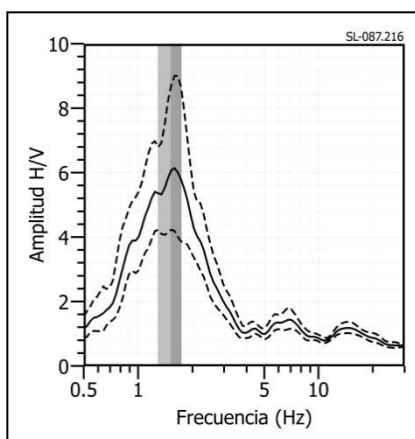


Figura 15:... Continuación.../Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F_0 ($F < 2.0\text{Hz}$): Puntos SL-097(H), SL-103(J) y SL-107(K), ubicados hacia el extremo Oeste del área de estudio sobre la urbanización Los Huacones y la Hacienda San Pedro. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

SL - 076



SL - 087



SL - 098

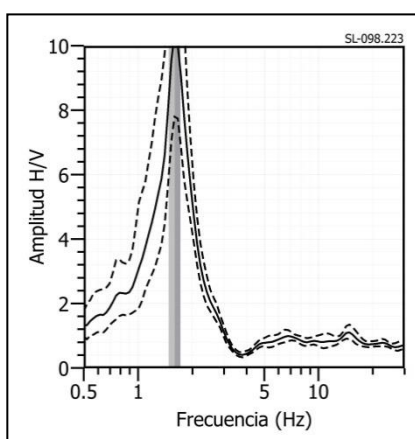


Figura 15: ... Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F_0 ($F < 2.0\text{Hz}$): Puntos SL-076(F), SL-087(G) y SL-098(I), ubicados próximos al litoral en las urbanizaciones Santa Cruz y Santa Bárbara. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

.- Frecuencias predominantes F1: En la Figura 16, se muestra la distribución espacial de las frecuencias predominantes F1 ($F \geq 2.0\text{Hz}$) en el área urbana de San Luis. En la Figura 17 se muestra ejemplos de los gráficos de razones espectrales que caracterizan los suelos, donde predominan frecuencias de entre 2.0 y 6.0 Hz ubicados principalmente En la zona céntrica de San Luis.

En las razones (H/V) obtenidas para los puntos SL-039(I), SL-046(J) y SL-057(K), ubicados en la plaza de armas de San Luis y hacia el extremo Norte de la plaza (próximo a la antigua Panamericana y Urb. Laura Caller), predominan frecuencias a 2.6, 2.9 y 2.5 Hz con amplificaciones de hasta 6 veces. Y en los puntos SL-014(C), SL-015(D) y SL-024(E), ubicados hacia el extremo Sur de la plaza de armas próximos a la I.E. Mixta San Luis, a 4.8, 4.2 y 5.4 Hz con amplificaciones máximas relativas de hasta 9 veces. Estos resultados evidencian la flexibilidad de los suelos hacia el extremo Sur de la zona céntrica de San Luis en este rango de frecuencia.

Así mismo, los puntos SL-004(A), SL-009(B) y SL-118(L), ubicados en el extremo Sur, próximos a la antigua Panamericana Sur, Ruta hacia San Vicente, los suelos responden a 4.4, 5.2 y 4.5 Hz respectivamente con amplificaciones de hasta 3 veces, evidenciando que los suelos son más compactos que la zona céntrica del área urbana. Excepto, hacia un área de menor dimensión ubicada al Este de la plaza de Armas, donde según los puntos SL-26(F), SL-37(G) y SL-38(H) no sobresale ningún rango de frecuencia, coincidiendo con una Loma aislada que se presenta en San Luis según su geomorfología.

Hacia el extremo Oeste, este rango de frecuencia desaparece, tendiendo a valores de frecuencia menores a F1.

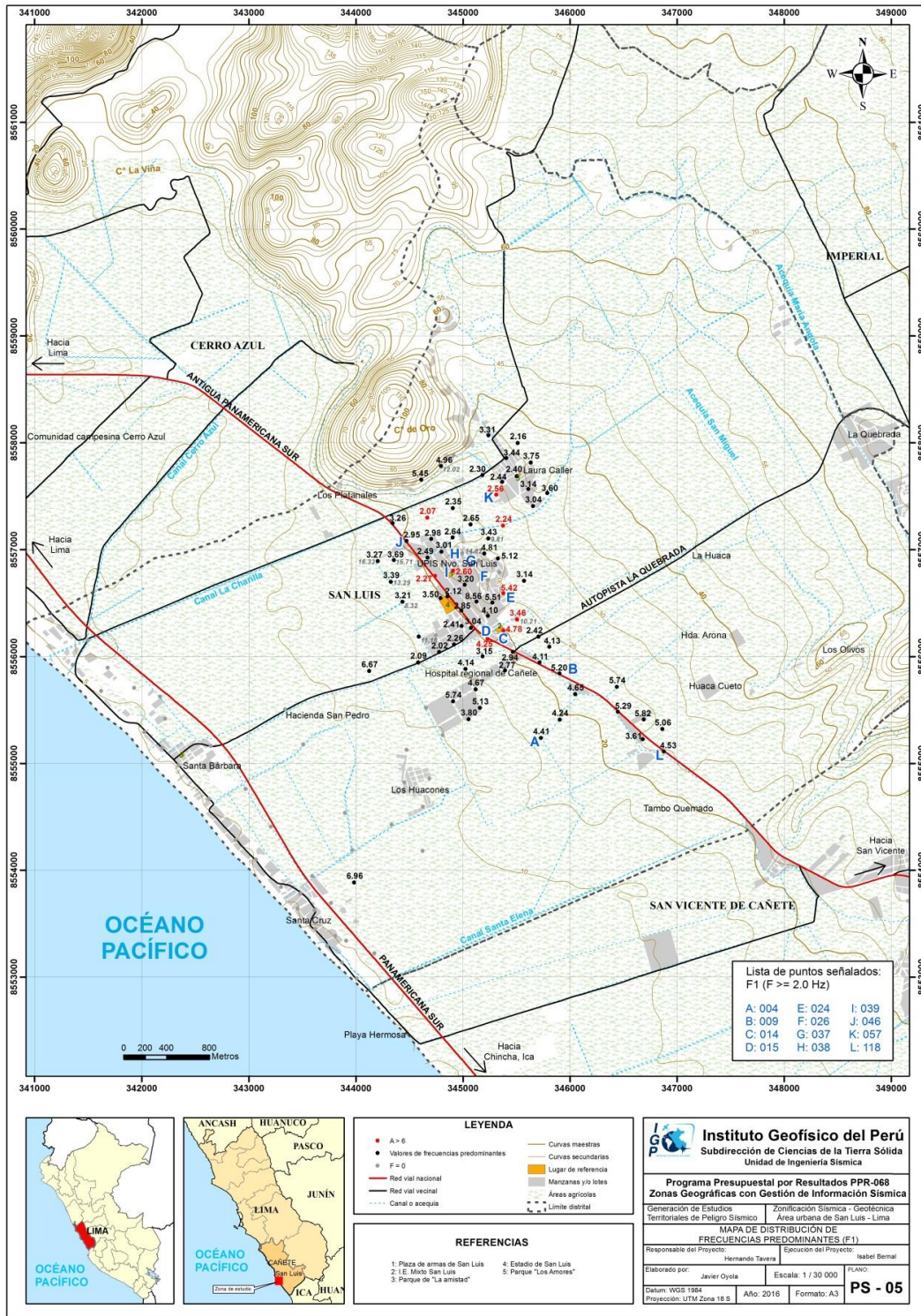
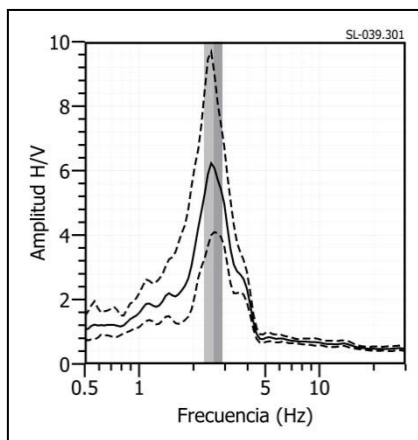
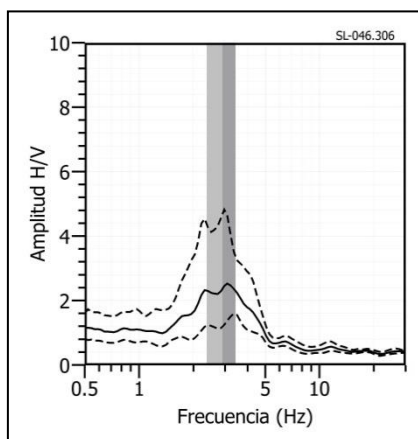


Figura 16: Mapa del área de estudio y la distribución espacial de las frecuencias predominantes F1 (F ≥ 2.0 Hz). Las letras indican la ubicación de los gráficos que se están considerando en la Figura 17 como característicos de este rango.

SL - 039



SL - 046



SL - 057

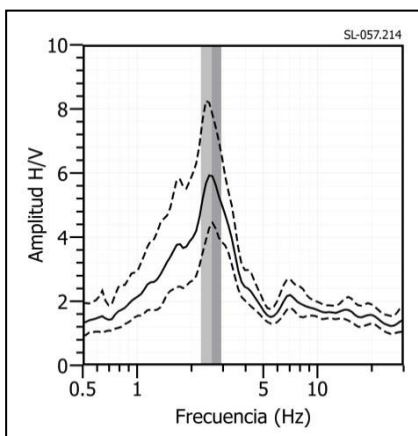
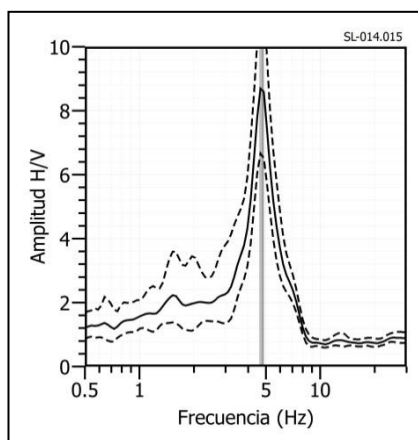
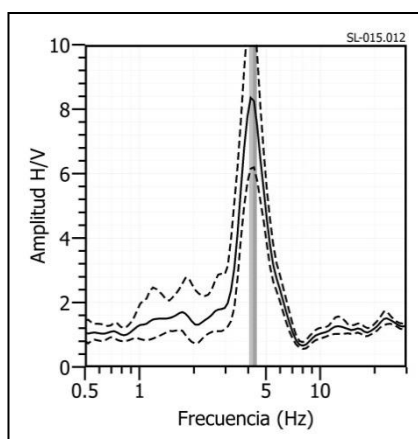


Figura 17: Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F1 ($F \geq 2.0\text{Hz}$): Puntos SL-039(I), SL-046(J) y SL-057(K), ubicados en la plaza de armas de San Luis y hacia el extremo Norte de la plaza (próximo a la antigua Panamericana y Urb. Laura Caller). Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante

SL - 014



SL - 015



SL - 024

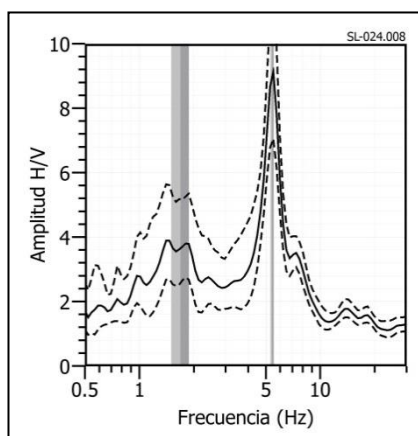
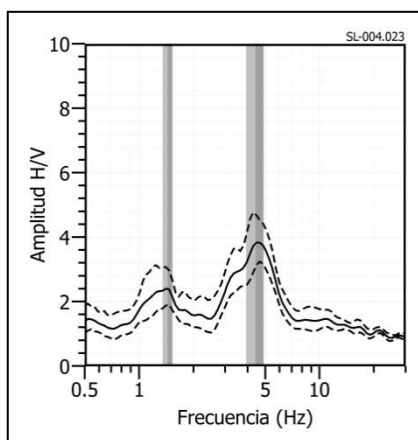
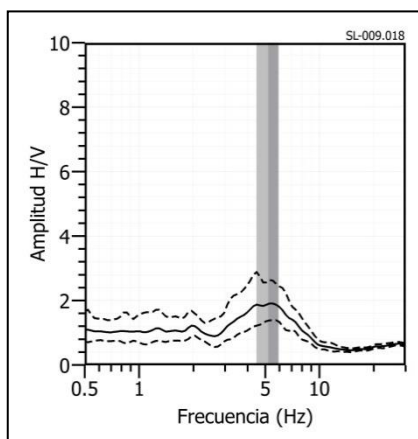


Figura 17: ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F1 ($F \geq 2.0\text{Hz}$): Puntos SL-014(C), SL-015(D) y SL-024(E), ubicados hacia el extremo Sur de la plaza de armas próximos a la I.E. Mixta San Luis. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante

SL - 004



SL - 009



SL - 118

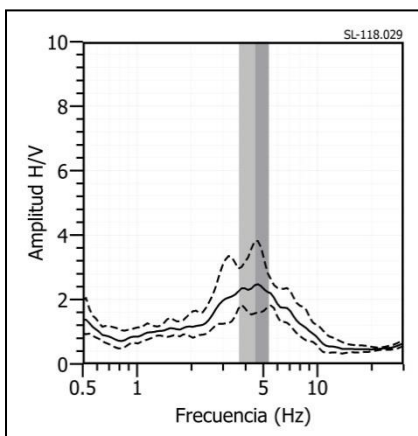
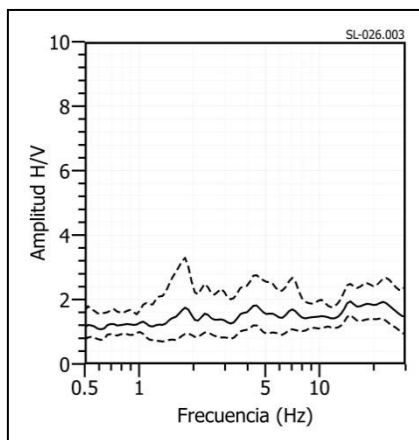
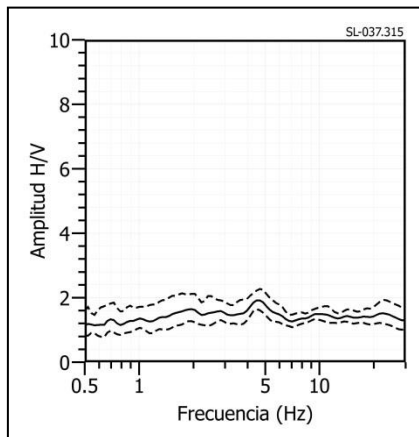


Figura 17: ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F1 ($F \geq 2.0\text{Hz}$): Puntos SL-004(A), SL-009(B) y SL-118(L), ubicados en el extremo Sur del área de estudio, próximos a la antigua Panamericana Sur, Ruta hacia San Vicente. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

SL - 026



SL - 037



SL - 038

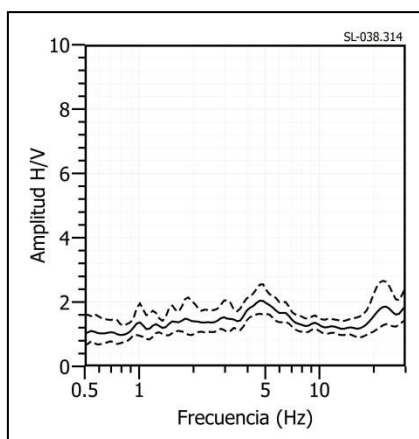


Figura 17: ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F1 ($F \geq 2.0\text{Hz}$): Puntos SL-26(F), SL-37(G) y SL-38(H), ubicados en UPIS Nuevo San Luis sobre una lomada. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

Interpretación

El análisis de razones espectrales H/V en el área urbana de la ciudad de San Luis, ha permitido observar dos rangos de frecuencias bien definidos, F0:1.0-2.0Hz y F1:2.0-6.0Hz, evidenciando la existencia de una capa sedimentaria de gran espesor en toda el área de estudio, suprayace una capa superficial de menor espesor que predomina en el extremo Este del área de estudio.

Las mínimas amplificaciones fueron encontradas de manera puntual en el afloramiento de una colina por UPIS Nuevo San Luis, que sugieren la presencia de una capa delgada de sedimentos asentada sobre suelos rígidos. A diferencia de lo observado en el extremo Oeste de la plaza de Armas y la línea de costa (urbanizaciones Santa Cruz y Santa Bárbara), en el Estadio y la I.E. Mixta San Luis, por sus alta amplificaciones sugieren la presencia de suelos flexibles.

3.2. Estudio Sísmico con la Técnica de MASW

Los modelos de velocidad de propagación (V_s) proporcionan información muy útil para el reconocimiento de la estructura y naturaleza del subsuelo. En este estudio, el análisis y procesamiento de datos permitió llegar a profundidades hasta 30 metros para cada línea sísmica. A continuación, se describe los resultados obtenidos para cada línea, agrupadas según similitud de valores de velocidad V_s y ubicación geofísica (Figura 8).

Líneas sísmicas LS01-SL, LS04-SL y LS05-SL: Realizadas en el sector de Santa Cruz (LS01), entrada a la hacienda Arona (LS04) y en el UPIS Nuevo San Luis (LS06), indican la presencia de suelos conformados por dos capas: la primera de 4 a 7 metros de espesor y velocidades V_s de 204 a 231 m/s y la segunda capa con 9 a 11 metros y velocidades entre 290 a 313 m/s y espesor; ambas capas presentarían suelos medianamente rígidos. La superficie de contacto con el semiespacio, presenta velocidades $V_s > 512$ m/s que sugiere suelos muy rígidos.

Líneas sísmicas LS02-SL, LS03-SL y LS07-SL: Realizadas en el sector de Santa Bárbara (LS02), al costado del Hospital Regional de Cañete (LS03) y en el A.H. Laura Caller (LS07). Indican la presencia de suelos conformados por dos capas: la primera de 3 a 5 metros de espesor y velocidades entre 162 a 279 m/s

que sugiere suelos blandos. La segunda capa con 8 a 22 metros de espesor y velocidades entre 227 a 448 m/s; ambas capas presentarían suelos medianamente rígidos. La superficie de contacto con el semiespacio presenta velocidades $V_s > 362$ m/s, lo cual sugiere a suelos rígidos.

Línea sísmica LS06-SL: Realizado en la entrada del Hotel Huarco, sector los Platanales, indican la presencia de suelos conformados por dos capas: la primera de 5 metros de espesor y velocidad de 215 m/s que sugiere suelos medianamente rígidos. La segunda, con de 10 metros de espesor y velocidad de 382 m/s; presentaría suelos rígidos. La superficie de contacto con el semiespacio presenta velocidades $V_s > 574$ m/s que sugiere a suelo muy rígido.

En la Tabla 5, se resume los valores de velocidad de ondas de corte V_s para los distintos tipos de perfiles de suelo (ver Tabla 1) y en la Figura 18, se muestra los resultados del arreglo sísmico LS01, siendo las líneas LS02 a LS07 mostrados en los Anexos.

Tabla 5: Valores de espesor y V_s de los perfiles sísmicos obtenidos para el área urbana de San Luis mediante el arreglo lineal MASW.

| | | Superficie → Profundidad | | | | | |
|---------------|------------|---|----------|----------|-------------|----------|------------|
| Línea Sísmica | N° DE CAPA | | | | | | |
| | 1 | | 2 | | Semiespacio | | VS30 (m/s) |
| | Vs (m/s) | Esp. (m) | Vs (m/s) | Esp. (m) | Vs (m/s) | Esp. (m) | |
| LS01-SL | 231 | 7 | 294 | 11 | 551 | - | 314 |
| LS02-SL | 162 | 3 | 227 | 22 | 362 | - | 218 |
| LS03-SL | 174 | 5 | 244 | 8 | 440 | - | 239 |
| LS04-SL | 206 | 4 | 290 | 9 | 512 | - | 356 |
| LS05-SL | 204 | 7 | 313 | 11 | 592 | - | 326 |
| LS06-SL | 215 | 5 | 382 | 10 | 574 | - | 374 |
| LS07-SL | 174 | 5 | 279 | 10 | 444 | - | 295 |

| | |
|--|--|
| | Suelo blando ($V_s < 180$ m/s) |
| | Suelo moderadamente duro (180 – 350 m/s) |
| | Suelo duro (350 – 500 m/s) |
| | Suelo muy duro o roca blanda (500 – 800 m/s) |
| | Roca moderadamente duro (800 – 1500 m/s) |

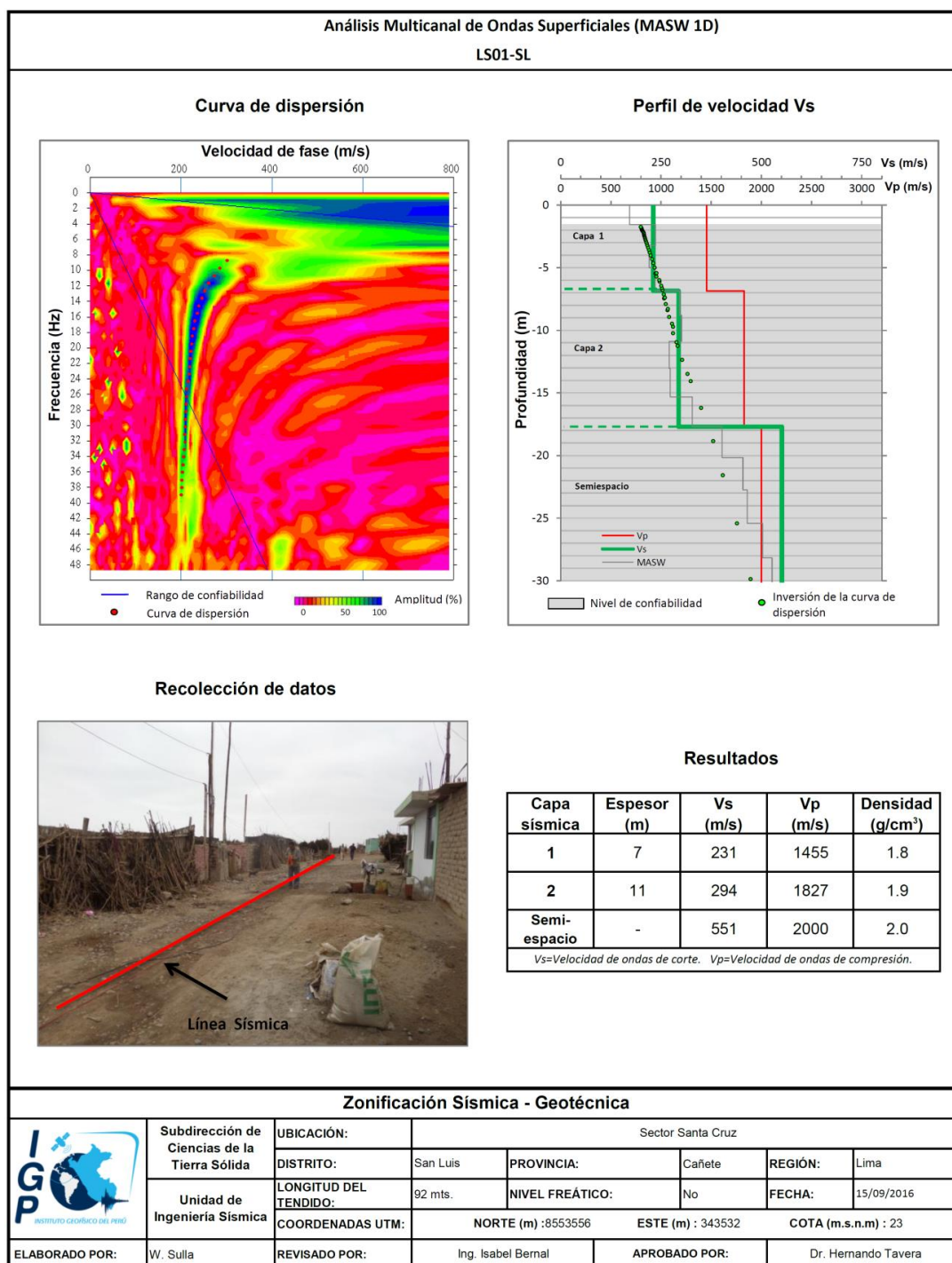


Figura 18: Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo LS01-SL en el sector Santa Cruz.

Interpretación

En general los resultados obtenidos definen la existencia de 2 capas sísmicas y un semiespacio (Tabla 5) y su correlación geológica son:

En la zona suroeste del área de estudio, cercanos a la playa (Figura 8) distingue para la primera capa la presencia de dos tipos de suelo: los suelos blandos

ubicados en el área urbana de Santa Bárbara (Vs 162 m/s) de 3 metros de espesor que suprayace a suelos medianamente rígidos a rígidos en profundidad (Vs 227 a 362 m/s), ver Figura 19a. Y suelos medianamente rígidos (Vs 231 m/s) en el área urbana de Santa Cruz de 7 metros de espesor que suprayace a suelos muy rígidos (Vs 294 a 551 m/s) en profundidad. Es decir, los suelos en Santa Cruz son más consolidados que Santa Bárbara y se debe posiblemente a la variación del contenido de humedad influenciado por la invasión de agua de mar en los depósitos marinos y aluviales.

En la zona céntrica (área urbana) y la (hacienda Arona), presentan suelos medianamente rígidos para la primera y segunda capa (Vs 204 a 313 m/s) con espesor total de 18 metros y suprayacen a suelos muy rígidos (Vs 512 a 592 m/s) en profundidad, esto es debido al afloramiento del intrusivo sobre el cual se encuentra asentada parte del área urbana de la ciudad de San Luis. Sin embargo, las zonas ubicadas al sur (Hospital Regional de Cañete) y al norte (AA.HH. Laura Caller), presentan suelos blandos (Vs 174 m/s) de 5 metros de espesor que suprayace a suelos medianamente rígidos a rígidos en profundidad (Vs 244 a 444 m/s), ver Figura 19b. Esta diferencia de suelos de la primera capa de un lugar a otro, es debida a la presencia de áreas de cultivo que rodean la zona urbana céntrica.

Según la geología, los suelos corresponden a depósitos aluviales de grandes espesores mayores a los 30 metros ubicados principalmente al sur y se acortan conforme se avanza en dirección norte (zona urbana).



Figura 19: Ensayo sísmico realizado en el distrito de San Luis: a) capa superficial constituido por suelos blandos (LS02-LS y LS03-LS).

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 20 se muestra la distribución espacial de los valores de periodos dominantes en la ciudad de San Luis, los cuales han sido separados en dos grupos por el tamaño del número, en menor y mayor a 0.5 segundos.

Los periodos de 0.1 a 0.4 segundos, se distribuyen de manera casi uniforme hacia el extremo Este del área de estudio. Asimismo, el 40% de los puntos ubicados en el extremo Este, presenta sensibilidad en ambos rangos de periodos. En la zona céntrica y hacia su extremo Norte, los suelos responden a periodos de 0.3 a 0.5 s. y hacia su extremo Este, sobre la zona baja de la lomada entre 0.1 y 0.3 segundo y conforme se tiende a mayor altura, por su mínima amplificación no se identifica el periodo dominante de la zona. Por otro lado, las mayores amplificaciones en ambos grupos de periodos se presentan entre la carretera de la Antigua Panamericana Sur y la línea de costa.

Los periodos dominantes que caracterizan los suelos del área urbana de San Luis están relacionados con las condiciones físico-dinámicas a través de la relación $T_0=4H/V_s$, donde T_0 es el periodo dominante, H el espesor del estrato y V_s es la velocidad de onda de corte. Asumiendo velocidades de 200 m/s y 300 m/s para las ondas de corte (V_s) y periodos de 0.2 y 0.4 segundos, se estima una capa superficial con espesores de entre 15 y 30 metros. Del mismo modo, al considerar periodos de 0.6 y 0.9 segundos, los espesores de las capas del suelo varían entre 40 a 70 metros.

En el área urbana de San Luis, la distribución espacial de periodos mayores a 0.5 segundos sugiere la presencia de una capa profunda de gran potencia y los periodos menores, una capa superficial de menor potencia, donde la primera influye moderadamente sobre la segunda. Por otro lado, los valores de 0.2 a 0.4 segundos con altas amplificaciones se presentan en el extremo Sur de la zona céntrica, entre el Hospital regional de Cañete y el I.E. Mixto San Luis, extremo Norte de la Plaza de armas y entre UPIS Nuevo San Luis y la Urb. Laura Caller. Conforme se tiende hacia el

litoral los periodos de respuesta del suelo se incremental al igual que su factor de amplificación.

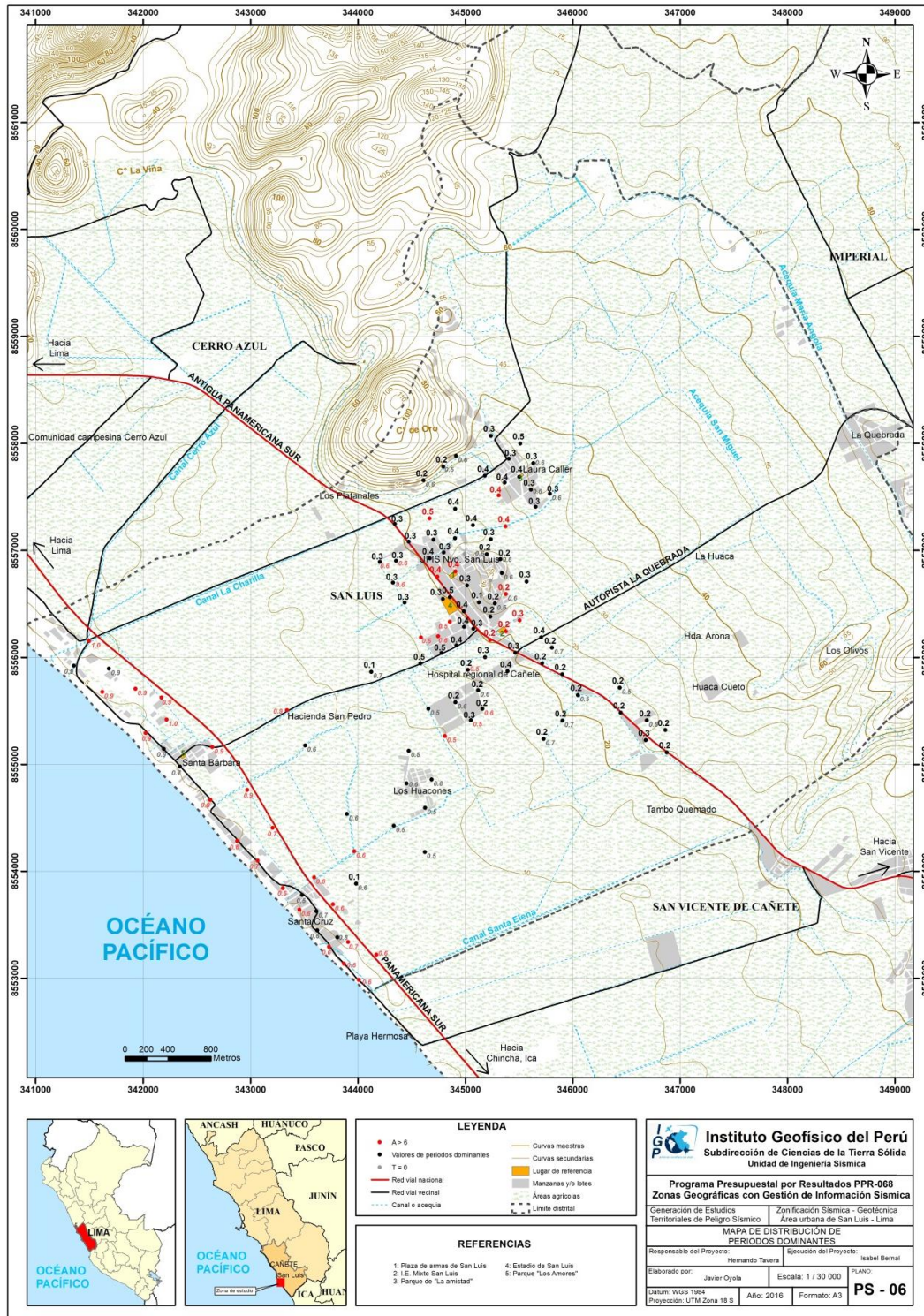


Figura 20: Mapa de la distribución espacial de los valores de periodos dominantes.

3.4. Estudios Eléctricos con la Técnica (ERT)

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

La línea eléctrica LE01-SL, realizada en la Urb. Santa Cruz (Figura 12), medida sobre depósitos marinos (Figura 21) arenas y gravas. Presenta dos medios geoelectricos, el primero con valores medianamente resistivos en la capa superficial principalmente, asociado a bolones y gravas. El segundo con materiales de baja a muy baja resistividad, presenta zonas saturadas. Por lo tanto, el nivel freático en la zona de estudio es superficial.



Figura 21: Vista de la línea LE01-SL

La línea eléctrica LE02-SL, realizada en el sector de Santa Bárbara (Figura 22), presenta un medio geoelectricos con material bajo a muy bajo resistivo, con valores de resistividad menores a 100 ohm.m. Siendo terreno saturado, con un nivel freático superficial, además se observa material medianamente resistivo asociado a gravas aisladas.



Figura 22: Vista de la línea LE02-SL

La línea eléctrica LE03-SL, realizada próximo a Los Huacones, presenta un medio geoeléctrico con valores de resistividad menores a 100 ohm.m, observándose zonas pantanosas (Figura 23). Por lo tanto, el nivel freático en la zona de estudio es a 3 metros de profundidad.

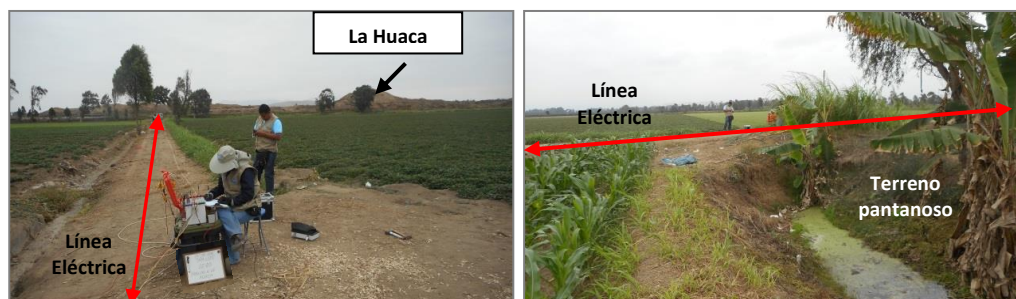


Figura 23: vista de la línea LE03-SL.

Líneas eléctricas LE04-SL, LE05-SL y LE06-SL, realizadas en el Hospital regional de Cañete, UPIS Nuevo San Luis y Laura Caller, presentan dos medios geoeléctricos, el primero con valores medianamente resistivos en capas superficiales y delgadas; en profundidad presenta de forma aislada, asociado a bolones, gravas gruesas sueltas y redondeadas. El primer medio se encuentra contorneado por un segundo medio de material bajo resistivo a muy bajo (< 100 ohm.m), estas bajas resistividades representan a zonas saturadas, en donde el nivel freático es superficial. Las líneas eléctricas LE05.SL y LE06-SL, ubicadas próximas al cerro de Oro constituido por intrusivos (Figura 24).

En San Luis predominan las bajas y muy bajas resistividades, menores a 100 ohm.m, indican que el nivel freático es superficial, observándose zonas pantanosas próximas a la LE03-SL. Hacia la zona noreste del área de estudio próximo al Cerro de Oro de material geoelectrico es medianamente resistivo en las capas superficiales, con valores de resistividad de 100 a 500 ohm.m.

Interpretación

De acuerdo a la información analizada en el área urbana de San Luis, al Oeste de la Plaza de Armas predominan materiales bajos resistivos. Asimismo, al Este predominan materiales bajos resistivos y medianamente resistivos en superficie.

Los niveles freáticos en la ciudad de San Luis, se presentan a los 2 metros de profundidad. La presencia del alto nivel freático en esta zona se asocia al riego por

inundación de los cultivos y la presencia de canales sin revestir en toda el área de estudio.

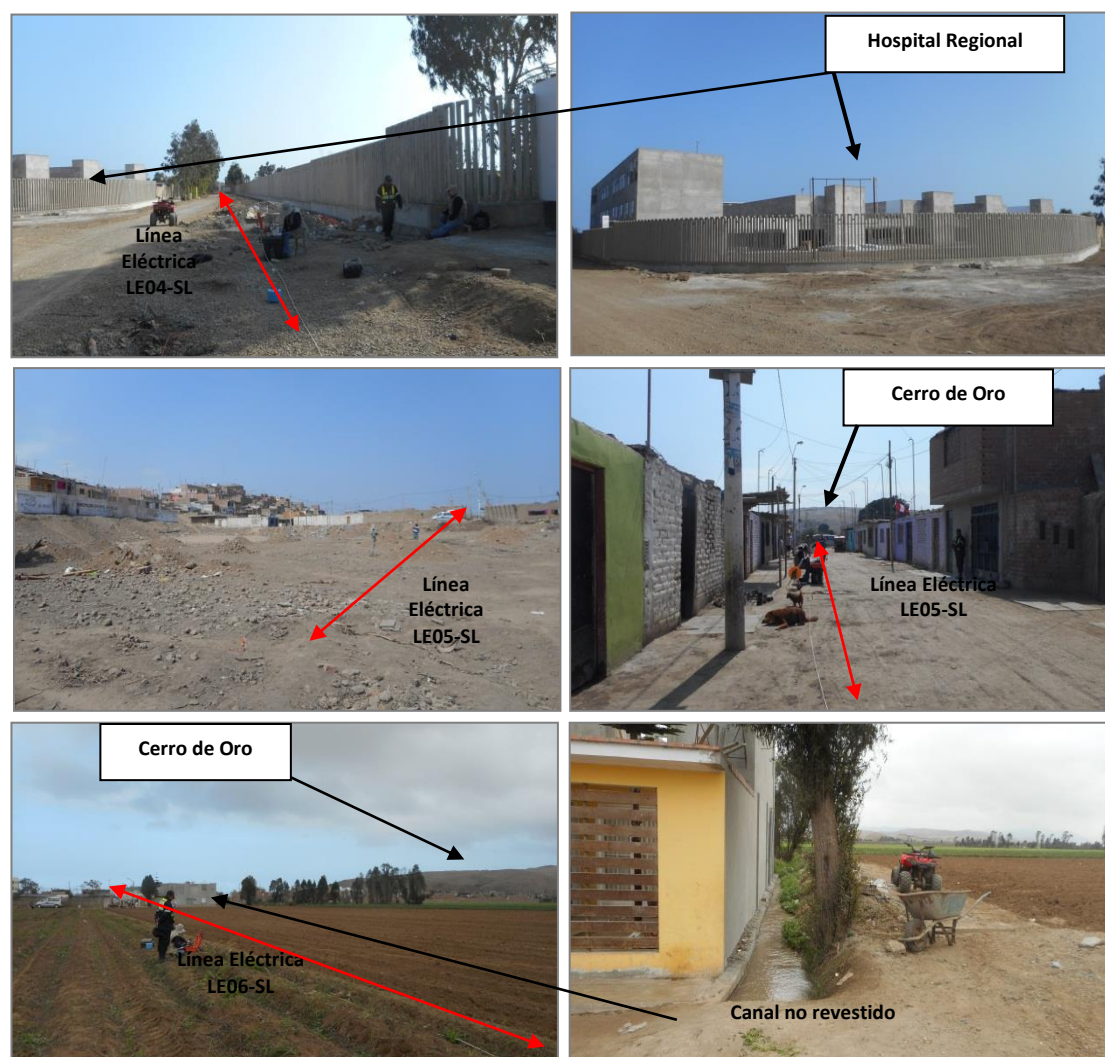


Figura 24: Vista de la línea LE04-SL, LE05-SL y LE06-SL.

Geológicamente, la ciudad de San Luis se encuentra sobre depósitos aluviales que constituyen la zona agrícola; siendo este tipo de depósitos importantes en la prospección y explotación de aguas subterráneas. En dirección Norte en el cerro de Oro, se infiere una falla con orientación NW – SE.

En la Figura 25, los resultados obtenidos de la línea LE02–SL. Para las otras líneas ver Anexos. También en la Tabla 6, se muestra los valores de profundidad de saturación del medio de acuerdo a los rangos de resistividades definidos en la Tabla 2, desde material muy bajo resistivo hasta muy resistivos.

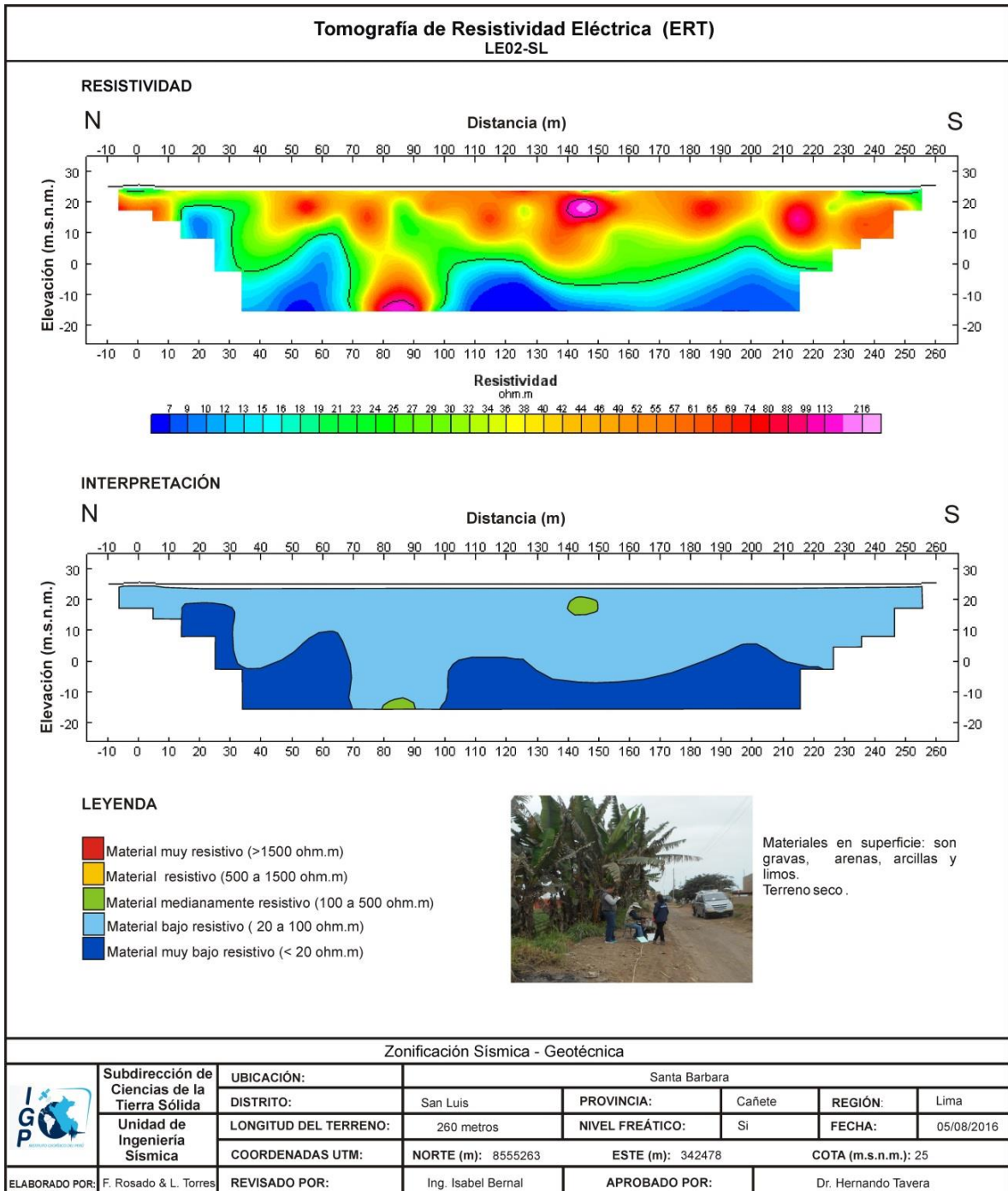


Figura 25: Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método de tomografía eléctrica para la línea LE02-SL

Tabla 6: Valores de resistividad obtenidos en el área de estudio

| Líneas Eléctricas | Orientación | Profundidad de alcance (m) | Horizonte geoelectrico | Resistividad ($\Omega.m$) | Nivel freático (m) |
|--------------------------|--------------------|-----------------------------------|-------------------------------|---|---------------------------|
| LE01-SL | NS | 39 | 1 | 100 – 500 | 2 m |
| | | | 2 | < 100 | |
| LE02- SL | NS | 32 | 1 | < 100 | 2 m |
| LE03- SL | NS | 39 | 1 | < 100 | 2 m |
| LE04- SL | EW | 39 | 1 | 100 - 500 | 2 m |
| | | | 2 | < 100 | |
| LE05- SL | NS | 29 | 2 | 100 – 500 | 5 m |
| | | | 3 | < 100 | |
| LE06- SL | EW | 39 | 1 | 100 – 500 | 2 m |
| | | | 2 | < 100 | |

4. ZONIFICACION SÍSMICA - GEOTÉCNICA

El mapa de Zonificación Geofísica - Geotécnica se elabora en función de la integración de los resultados obtenidos con los estudios geológicos, geotécnicos, sísmicos y geofísicos. Las características dinámicas del suelo y sus propiedades mecánicas, han permitido identificar en el área de estudio, de acuerdo a la Norma de Construcción Sismorresistente E.030.

4.2. Mapa de Zonificación Geofísica

Para el área urbana de la ciudad de San Luis, se propone la siguiente Zonificación Geofísica-Geotécnica (Figura 26).

***.- ZONA I:** Conformada por depósitos coluviales que se encuentran, a nivel superficial cubiertos por depósitos de material fino (arenas) de poco espesor. Este suelo tiene un comportamiento rígido, con periodos de vibración natural que varían entre 0.1 y 0.3 segundos. La capa superficial presenta velocidades de (380 y 600 m/s) encontradas entre la plaza de armas de San Luis y la Lomada encontrada en dirección Este de la plaza, hay un dominio de suelos Tipo S1 según la norma sismorresistente peruana.*

***.-ZONA II:** En la zona se incluye las áreas de terreno conformado por estratos superficiales de suelos granulares finos a gruesos con espesores que varían entre 15 y 30 m., subyaciendo a estos estratos se tiene grava. Este suelo tiene un comportamiento medianamente rígido, con periodos de vibración natural que varían entre 0.3 y 0.5 segundos. Considerando velocidades de ondas de corte de 200 y 380 m/s, correspondiendo a suelos Tipo S2 según la norma sismorresistente peruana, con capacidad admisible de 1.0-2.0 Kg/cm².*

Esta zona sobresale hacia el extremo Este del área de estudio, conteniendo a la Plaza de armas. Sobre esta zona se resaltan con líneas inclinadas en verde, áreas que son influenciadas por periodos de 0.2 y 0.3 segundos.

***.-ZONA III:** Conformada, en su mayor parte, por depósitos de suelos finos y arenas de gran espesor que se encuentra en estado suelto. Los periodos*

predominantes encontrados en estos suelos varían entre 0.5 y 0.7 s, por lo que su comportamiento dinámico ha sido tipificado como suelo Tipo S3 de la norma sismorresistente peruana.

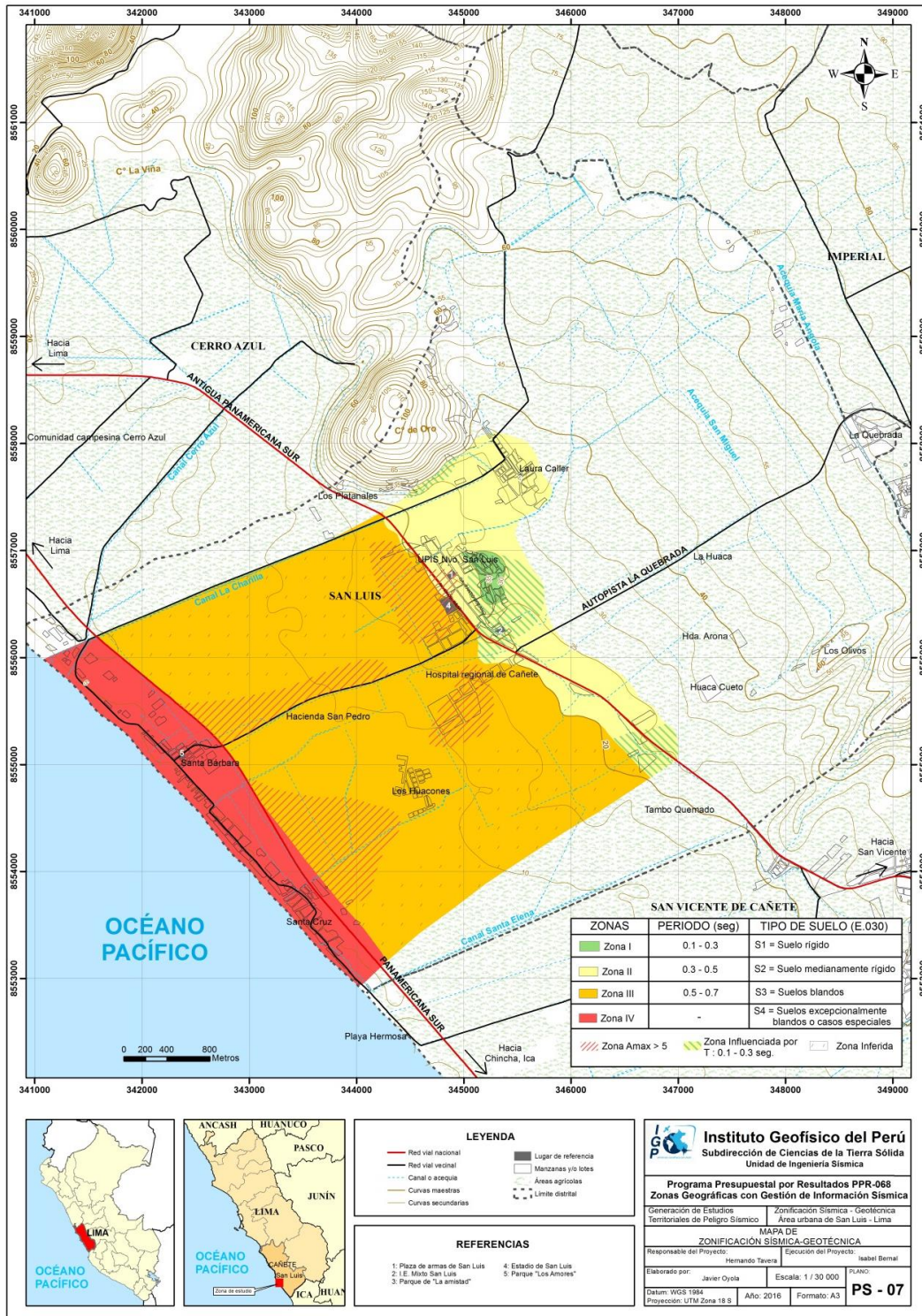


Figura 26: Mapa de Zonificación Geofísica del área urbana de la ciudad de San Luis.

En la zona la velocidad de las ondas de corte (V_s) para la capa superficial fluctúa alrededor de los 180 m/s, seguido por estratos con velocidades de más de 200m/s, con espesores de hasta 25 y 40 metros.

Esta zona se encuentra entre las carreteras Nueva y Antigua Panamericana Sur. Con líneas inclinadas en rojo se delimita áreas donde alcanzarán las máximas amplificaciones.

***.-ZONA IV:** Conformada por depósitos de rellenos sueltos, heterogéneos con diversa compactación y predominio de depósitos marinos. Asimismo, presentan comportamiento dinámico incierto pudiendo encontrarse también sectores con suelos más consistentes, pero de manera focalizada, por lo que requieren de estudios más específicos.*

Esta zona se ubica entre la Panamericana Sur y la línea de costa, por lo que es altamente vulnerable ante la ocurrencia de un Tsunamis.

CONCLUSIONES

El estudio de Zonificación Geofísica-Geotécnica de la ciudad de San Luis, ha permitido llegar a las siguientes conclusiones:

- Las zonas urbanas del distrito de San Luis se asientan sobre las unidades geomorfológicas llanura aluvial, loma y playa, que abarcan el 82%, 10% y 8%, respectivamente, de la zona de estudio.
- Los materiales que conforman el subsuelo en el distrito de San Luis corresponden a depósitos aluviales con un espesor de 4 m., aproximadamente (arenas de grano fino a medio con intercalaciones de limos arcillosos) y conglomerados de la Formación Cañete, como substrato rocoso se tienen rocas intrusivas: monzogranitos de la Super Unidad Linga, estas últimas ubicadas al norte del distrito en mención.
- Se presentan eventos geodinámicos como: caídas de rocas que podrían afectar la seguridad física de la población del A.H. Los Ángeles e inundaciones ocasionadas por desbordes de acequias sin nombre en particular, que afectaron en el año 2015 a la población de la Asociación Nuevo Comercio.
- En la ciudad de San Luis se han identificado 4 tipos de suelos: gravas arcillosas (GC) en los anexos Santa Bárbara y Santa Cruz con capacidad de carga admisible alta; arenas bien graduadas (SW) en la Urbanización Upis Nuevo San Luis con capacidad de carga admisible media; y limos arenosos (ML) en Laura Caller y la zona urbana de la ciudad de San Luis, así como arcillas limosas arenosas (CL-ML) en Centro Poblado La Quebrada, ambos con capacidad de carga admisible baja.
- Los suelos de la zona céntrica de San Luis responden a periodos de 0.1 a 0.4 segundos, se distribuyen de manera casi uniforme hacia el extremo Este y hacia la zona oeste se tiende a periodos de 0.5 a 0.9 segundos. Asimismo, el 40% de los puntos ubicados en el extremo Este, presenta sensibilidad en ambos rangos de periodos. En la zona céntrica y hacia su extremo Norte, los suelos responden a periodos de 0.3 a 0.5 s. y hacia su extremo Este, sobre la zona baja de la lomada entre 0.1 y 0.3 segundo y conforme se tiende a mayor

altura, por su mínima amplificación no se identifica el periodo dominante de la zona. Por otro lado, las mayores amplificaciones en ambos grupos de periodos se presentan entre la carretera de la Antigua Panamericana Sur y la línea de costa. Los periodos dominantes que caracterizan a los suelos de San Luis están relacionados con las condiciones físico-dinámicas a través de la relación $T_0=4H/V_s$, asumiendo velocidades de 200 m/s y 300 m/s para las ondas de corte (V_s) y periodos de 0.2 y 0.4 segundos, se estima una capa superficial con espesores de entre 15 y 30 metros. Del mismo modo, al considerar periodos de 0.6 y 0.9 segundos, los espesores de las capas del suelo varían entre 40 a 70 metros.

- Los resultados de Tomografía eléctrica, obtenidos en el área urbana de San Luis, al Oeste de la Plaza de Armas predominan materiales bajos resistivos. Asimismo, al Este predominan materiales bajos resistivos y medianamente resistivos en superficie. Los niveles freáticos que se presenta en el área de estudio son a partir de los 2 metros de profundidad. El alto nivel freático en esta zona se asocia al riego por inundación de los cultivos y la presencia de canales sin revestir en el área de estudio.
- Los resultados obtenidos para el área urbana de San Luis han permitido identificar, según las características dinámicas del suelo, sus propiedades mecánicas y el procedimiento establecido en la Norma E.030, la existencia de zonas sísmicas correspondientes a suelos Tipo S1, S2, S3 y S4, que corresponden a suelos rígidos, medianamente rígidos, blandos y suelos excepcionales.

BIBLIOGRAFÍA

- Bard, P-Y. (1995) Effects of surface geology on ground motion: Recent results and remaining issues, In Proc. 10 European Conf. Earth. Eng., ed. Duma, Balkema, Rotterdam, 305-323
- Bard, P-Y y SESAME (2001) The SESAME project: an overview and main results. 13 World Conference on Earthquake Engineering Vancouver, B.C., Canada August 16, 2004 Paper No. 2207
- 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 Geofísica de la ciudad de Tlaxcala, Mexico. Tesis de Maestría en Ciencias, UNAM, pag. 130.
- Cahill & Isacks, (1992) - Seismicity and shape of the subducted Nazca Plate. Journal Geophys. Res., 97, 17503-17529.
- Felicísimo, 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 microtremores con el método SPAC", Geophysics, Vol. 24, N° 3, 438-445
- Gasulla, M.; Jordana, J.; Pallás, R.; Torrents, J.M. (1998). Subsurface resistivity measurements using square waveforms. IEEE 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.

- Hürlimann, M., (2011). Ingeniería Geológica. UPC.
- Hutchinson, J., N., (1968) - Mass Movement. In the Enciclopedia of Geomorphology (Fairbridge, R.W., ed., Reinhold Book Corp., New York). 668-696 p.
- Hutchinson, J., N., (1988) - General Report: Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology. Proceedings, Fifth International Symposium on Landslides, (Ed: Bonnard, C.). 1, 3-35 p. Rotterdam: Balkema.
- INDECI (2002) - Mapa de peligros, plan de usos del suelo y propuesta de las medidas de mitigación de los efectos producidos por los desastres naturales de las ciudades de la Provincia de Cañete.
- INGEMMET (1985) - Estudio Geodinámico de la Cuenca del río Cañete. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 8. 172 p.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (2007) - Censos Nacionales 2007 XI de Población y VI de Vivienda.
<https://www.inei.gob.pe/estadisticas/censos/>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2013) - Mapa de pobreza provincial y distrital 2013.
https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1261/Libro.pdf
- Juárez, D., J., (1998) – Estabilidad de Taludes en Tropicales. Instituto de Investigación sobre erosión y deslizamientos. Colombia. Ed. Ingeniería de Suelos Ltda. 550 p.
- Lermo, J. y F.J. Chávez-García (1994a). Are microtremors useful in site response evaluation, Bull. Seism. Soc. Am. 84, 1350-1364 pp.
- Lermo, J. y F.J. Chávez-García (1994b). Site effect evaluation at Mexico City. Dominant period and relative amplification from strong motion and microtremors records, Soil. Dyn. & Earthq. Eng. 13, 413-423 pp.
- Loke, M.H. (2004). Tutorial 2D and 3D electrical imaging surveys.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2015) -
<http://renac.mtc.gob.pe/inventariovia/default2.aspx>
- 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.
- Orellana, E. (1982). Prospección geoelectrica en corriente continua. Madrid: Ediciones Paraninfo.

- Park, C.B. (2015). Data acquisition. Retrieved 23 June, 2015, from <http://www.masw.com/DataAcquisition.html>
- Park, C.B. (2014). MASW for geotechnical site investigation. *The Leading Edge*, 32(6):656-662.
- Park, C. B., Miller, R. D., Xia, J., & Ivanov, J. (2007). Multichannel analysis of surface waves (MASW)—active and passive methods. *The Leading Edge*, 26 (1), 60–64.
- Park, C. B., Miller, R. D. y Xia, J. (1999). Multichannel analysis of surface waves *Geophysics* 64 800-8.
- Perrone, A., Iannuzzi, A., Lapenna, V., Lorenzo, P., Piscitelli, S., Rizzo, E., and Sdao, F. (2004). Highresolution electrical imaging of the Varco d'Izzo earthflow (southern Italy), *J. Appl. Geophys.*, 56, 17–29, doi:10.1016/j.jappgeo.2004.03.004
- Pike, R. J., Evans, I. S., & Hengl, T. (2009). Geomorphometry: a brief guide. In T. Hengl & H. I. Reuter (Eds.), *Geomorphometry: concepts, software, applications*. *Developments in Soil Science* 33, 3-30. Amsterdam: Elsevier
- 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.
- Rostworowski, M.; Marcus, J. y Matos, R. (1983 – 1985) - Arquitectura Inca de Cerro Azul, valle de cañete. En: *Revista del Museo Nacional*. Tomo XLVII: 126,138, Lima.
- Salazar, H. & Landa, C. (1993) - Geología de los cuadrángulos de Mala, Lunahuaná, Tupe, Conayca, Chincha, Tantaray y Castrovirreyna. *INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional*, 44. 105 p.
- 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.
- 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.
- 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.

- Tarbut, E., D. Lutgens, F., K., (2005) Ciencias de la Tierra. Una introducción a la Geología Física Pretince Hall. Cap16. 8a edición. 710 pp.
- Varnes, D.J., (1958) - Landslide types and processes in Eckel E.B., ed., Landslides and Engineering Practice, Highway Research Board Special Report 29, NAS- NRC Publication 544, Washington, D.C. 20-47 p.
- Varnes, D. J., (1978) - Slope Movement: Types and Proceses. In Scuster R. L. y Krizek, R. J., ed. Landslides analysis and control: Washington, D. C.
- Zinck, J. A. (1988). Physiography and soils. Lecture notes. Enschede, The Netherlands: International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC).
- Zinck, J. A., & Valenzuela, C. R. (1990). Soil geographic database: structure and application examples. ITC Journal, 1990(3), 270-294.
- 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.

ANEXOS

La documentación del presente Informe Técnico: “Zonificación Geofísica – Geotécnica de la ciudad de San Luis”, se adjunta en formato digital.

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 temáticos

2.- Información Geofísica

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