

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

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



ZONIFICACIÓN SÍSMICA – GEOTÉCNICA DEL ÁREA URBANA DE LA CIUDAD DE ASIA

(Comportamiento Dinámico del Suelo)

Responsable: Hernando Tavera

Lima - Perú

2016

ZONIFICACIÓN SÍSMICA - GEOTÉCNICA DEL ÁREA URBANA DE LA CIUDAD DE ASIA

**Provincia de Cañete - Departamento de Lima
(Comportamiento Dinámico del Suelo)**

Responsable del Proyecto: Hernando Tavera

Desarrollo del Proyecto

Unidad de Ingeniería

MSc. Isabel Bernal

Unidad de Geodinámica

MSc. Juan Carlos Gómez

Personal Participante

Wilfredo Sulla

Pilar Vivanco

Kelly Pari

Segundo Ortiz

Liliana Torres

Roberth Carillo

Fabiola Rosado

Mariana Vivanco

Lizbeth Velarde

Christian Chiroque

Luz Arredondo

Héctor Lavado

Javier Oyola

Julio Lara

Henry Salas

John Chahua

Orlando Hancoco

Jesús Huarachi

Tsunamis: Julio Martínez

Apoyo Técnico

Estela Torres
Estherfilia Campos
Augusto Cárdenas
Roberth Yupanqui

RESUMEN EJECUTIVO

En el marco del Programa Presupuestal por Resultados N°068: Reducción de la Vulnerabilidad y Atención de Emergencias por Desastres se ejecutó el proyecto “Zonas Geográficas con Gestión de Información Sísmica”, el mismo que tuvo como una de sus actividades la “Generación de Estudios Territoriales de Peligro Sísmico” obteniéndose como resultado final, la Zonificación Sísmica - Geotécnica del área urbana de la ciudad de Asia, distrito de Asia, provincia de Cañete, departamento de Lima. El estudio permite conocer el Comportamiento Dinámico del Suelo a partir de la recolección de información y aplicación de métodos sísmicos, geofísicos, geológicos, geomorfológicos y geotécnicos. Asimismo, se propone los posibles escenarios a presentarse ante la ocurrencia de inundación por tsunamis.

Los resultados obtenidos para el área urbana de la ciudad de Asia han permitido identificar, según la Norma de Construcción Sismorresistente (Norma E.030), la existencia de tres zonas sísmicas-geotécnicas correspondientes a suelos Tipo S1, S2 y S4, este último asociado a condiciones excepcionales

El Mapa de Zonificación Sísmica-Geotécnica para el área urbana de la ciudad de Asia se constituye como información primaria a 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. Asimismo, este documento técnico debe constituirse como herramienta de gestión de riesgo a ser utilizado por las autoridades locales y regionales.

ÍNDICE

RESÚMEN EJECUTIVO

ÍNDICE

ANEXOS

1.- INTRODUCCIÓN

2.- OBJETIVOS

3.- DISTRITO Y CIUDAD DE ASIA

3.1.- Acceso

3.2.- Clima

4.- ANTECEDENTES

4.1.- Estudios previos

5.- CONDICIONES LOCALES DE SITIO

6.- NORMA E.030, DISEÑO SISMORRESISTENTE

7.- METODOLOGÍA

7.1.- Estudios de sismicidad

7.2.- Estudios de peligro sísmico

7.3.- Estudios de tsunamis

7.4.- Estudios geológicos y geotécnicos

7.5.- Estudios sísmicos y geofísicos

8.- ASPECTOS SISMOLÓGICOS

8.1.- Sismicidad

8.2.- Peligro Sísmico

8.3.- Tsunamis

9.- GEOMORFOLOGÍA, GEOLOGÍA y GEODINÁMICA

9.1.- Geomorfología

9.1.1.- Unidades Geomorfológicas

9.1.1.1.- Origen tectónico

9.1.1.2.- Origen denudacional

9.1.1.3.- Origen deposicional

9.2.- Geología

9.2.1.- Geología regional

9.2.2.- Geología local

9.3.- Geodinámica

9.3.1.- Movimientos en masa

10.- GEOTÉCNIA

10.1.- Clasificación de suelos SUCS

10.2.- Ensayo de corte directo

10.3.- Capacidad de carga admisible

11.- SÍSMICA Y GEOFÍSICA

11.1.- Estudio sísmico con la técnica H/V

11.2.- Estudios sísmicos con la técnica de arreglos sísmicos

11.3.- Periodos dominantes

11.4.- Estudios de tomografía eléctrica

12.- ZONIFICACIÓN SÍSMICA – GEOTÉCNICA

12.1.- Mapa de Zonificación Sísmica – Geotécnica

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

MAPAS

ANEXOS - CD

ANEXO 1: Fichas de calicatas

ANEXO 2: Fichas de ensayo de densidades

ANEXO 3: Fichas de ensayos de DPL

ANEXO 4: Fichas de posteo

ANEXO 5: Fichas de eventos geodinámicos

ANEXO 6: Fichas de granulometría

ANEXO 7: Mapas formato A3

NOTA: La base de datos de campo, la información procesada y material fotográfico puede ser solicitado a la Dirección de Ciencias de la Tierra Sólida del Instituto Geofísico del Perú. Contacto, Dr. H. Tavera (hernando.tavera@igp.gob.pe)

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 2015 el Proyecto “**Zonas Geográficas con Gestión de Información Sísmica**” y como parte del mismo, las Unidades de Ingeniería Sísmica, Geodinámica Superficial y Sismología de la Sub-Dirección de Ciencias de la Tierra Sólida desarrollan la Actividad “**Generación de Estudios Territoriales de Peligro Sísmico**” a fin de obtener el Mapa de Zonificación Sísmica – Geotécnica (Comportamiento Dinámico del Suelo) para las áreas urbanas de las siguientes ciudades:

- **Asia**, distrito de Asia, provincia de Cañete, departamento de Lima.
- **San Vicente de Cañete**, capital de la provincia de Cañete, departamento de Lima.
- **Casma**, capital de la provincia de Casma, departamento de Ancash.
- **Cerro Azul**, distrito de Cerro Azul, provincia de Cañete, departamento de Lima.
- **Chancay**, distrito de Chancay, provincia de Huaral, departamento de Lima.
- **Huaral**, capital de la provincia de Huaral, departamento de Lima.
- **Lunahuana**, distrito de Lunahuana, provincia de Cañete, departamento de Lima.
- **Mala**, distrito de Mala, provincia de Cañete, departamento de Lima.

De acuerdo a la historia sísmica del Perú, la región centro ha sido afectada en varias oportunidades por eventos sísmicos de variada magnitud que han generado altos niveles de intensidad, puesta en evidencia con los daños observados post-sismo en cada ciudad y/o área urbana de la región (Silgado, 1978; Tavera et al. 2016). Al ser los sismos cíclicos, es de esperarse que en el futuro, las mismas ciudades y/o áreas urbanas sean afectadas por nuevos eventos sísmicos con la misma o mayor intensidad. Entonces, no es tan importante el tamaño del sismo, sino la intensidad del sacudimiento del suelo, la educación de la población y la calidad de las construcciones.

Los estudios de Zonificación Sísmica – Geotécnica (Comportamiento Dinámico del Suelo) permitirán tener mayor conocimiento sobre las características dinámicas del suelo sobre el cual se levantan las ciudades y/o futuras áreas de expansión. Para ello se realiza la aplicación de diferentes metodologías que consideran información sísmica, tsunamis, geofísica, geológica, geodinámica, geomorfológica y geotécnica. 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 adecuadas para cada tipo de suelo. Dentro de este contexto, la población de las ciudades y/o áreas urbanas antes indicadas deben comprender que existen tres (3) reglas para construir una casa sismorresistente (www.acerosarequipa.com):

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

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

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

Finalmente, remarcar que el Mapa de Zonificación Sísmica – Geotécnica permite conocer las características dinámicas del suelo y se constituye 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 suelo identificado en la zona de estudio. Asimismo, debe considerarse como herramienta de gestión de riesgo a ser utilizado por las autoridades locales y regionales.

2.- OBJETIVOS

El principal objetivo a cumplir en este estudio es obtener el Mapa de Zonificación Sísmica – Geotécnica (Comportamiento Dinámico del Suelo) para el área urbana de la ciudad de Asia, provincia de Cañete, departamento de Lima (Figura 1). Asimismo, es de interés que las autoridades locales y regionales dispongan de un documento técnico que les ayude en el desarrollo y ejecución de proyectos orientados a la gestión del riesgo de desastres ante la ocurrencia de sismos, lo cual conlleva a mejorar la calidad de vida de sus pobladores, así como proyectar hacia el futuro una adecuada expansión urbana.



Figura 1: Vista Panorámica de la Plaza de Armas y local de la Municipalidad de Asia

3.- DISTRITO Y CIUDAD DE ASIA

Según información contenida en el Libro de Actas de 1864 de la hermandad de La Virgen del Rosario de Chiquinquirá, se sabe que 1890, el señor Luis Asín Lecca toma en posesión las tierras de Asia y le puso por nombre “Hacienda Asia”. En 1905 se construye una Capilla de quincha en donde se rendía culto a la Virgen del Rosario, lugar que se convirtió en punto de reunión debido a su imponencia y como lugar seguro, siendo usado por los pobladores como lugar de reuniones de todo tipo. Esta capilla estuvo de pie hasta el año 1920, fecha en que se construyó otra de adobe que fue destruida a causa del terremoto de 1970. La nueva iglesia se construye en el mismo lugar.

Sobre el origen del nombre del distrito y ciudad, el historiador alemán Ernest Middendorf (Leipzig 1890), dice que la palabra Asia proviene de la expresión quechua "Asya", y que puede traducirse como ¡Adelante!, ¡Animo!, palabra usada por los Incas cuando se desplazaban camino a la conquista de los yuncas que ocupaban el espacio de, hoy Cañete. Otra versión la manifiesta el historiador Jaime Urrutia, Asia se escribía con una "c" al final (Asiac), al encontrar un documento colonial con esa pronunciación. Dice Urrutia, que “Asiac” podría interpretarse como una expresión de asco, debido a que en ese entonces existía la laguna en El Tambo que abastecía a los habitantes -cerca de Pasamayito-, y que por la fermentación de la vegetación despedía olores desagradables.

El distrito de Asia es uno de los 16 que conforman la provincia de Cañete, ubicada en el Departamento de Lima, bajo la administración del Gobierno Regional de Lima-Provincias, en el Perú (Figura 2). Limita por el norte con el distrito de Mala; por el este con el distrito de Coaylo; por el sur con el distrito de Quilmaná y el distrito de Cerro Azul y; por el oeste con el Océano Pacífico. El distrito de Asia, que ocupa un área de 279,36 km², fue creado el 24 de julio de 1964 mediante Ley 15112, en el primer periodo del presidente Fernando Belaúnde Terry; antes pertenecía al distrito de Coaylo. Su capital es La Capilla de Asia.

Asia se ubica a 100 kilómetros al sur de Lima y al norte del valle de Cañete, está asentado sobre los 45 metros sobre el nivel del mar. La población actual

promedio es de 6,000 habitantes, y en verano aumenta a 10,000, en un territorio formado básicamente por suelos con origen aluvial, coluvial y eólica.

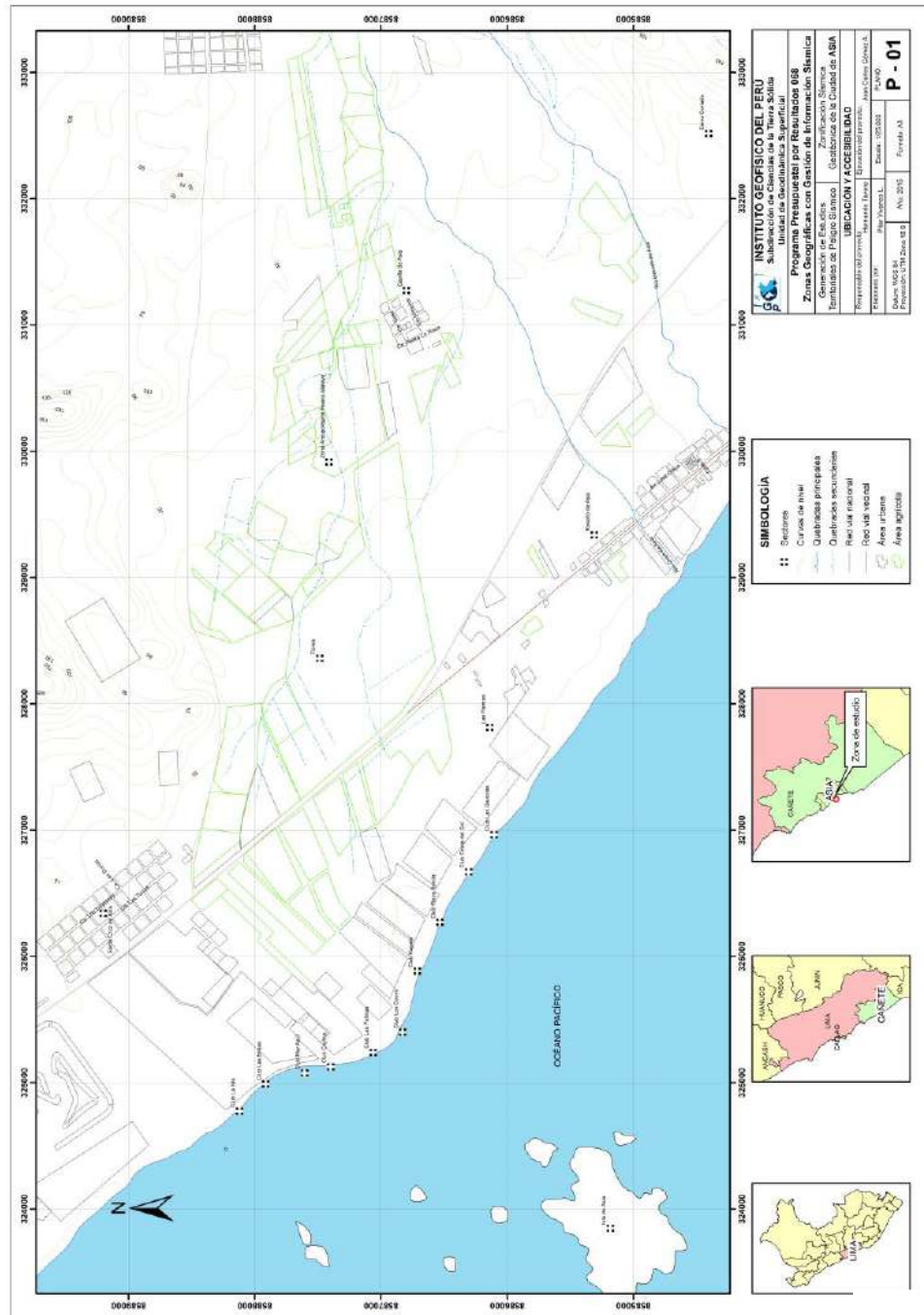


Figura 2: Ubicación geográfica del área urbana de la ciudad de Asia y alrededores

3.1.- Acceso

El acceso a la ciudad de Asia se realiza desde Lima por la carretera Panamericana Sur, vía asfaltada en buen estado de conservación, hasta el desvío a Playa Asia-Rosario-La Capilla en el km 100.677, para luego continuar hacia el este, hasta llegar a la municipalidad distrital de Asia, en un recorrido de 2.1 km. La zona de estudio está conformada por el centro urbano Capilla de Asia, centros poblados Rosario de Asia, Santa Cruz de Asia y Flores, así como balnearios con la presencia de hasta 24 clubes como: La Joya, Las Gaviotas, Costa del Sol, Playa Bonita, Kapala, Los Cocos, Las Palmas, Cayma, Mar Azul y La Isla (Figura 2).

3.2.- Clima

El distrito y ciudad de Asia presenta clima templado, con temperaturas máximas promedio de 27 a 30 °C durante los meses de enero a abril, mínimas promedio de 14 °C registradas en los meses de junio a agosto. Esta información corresponde al informe realizado por INDECI (2003), puesto que en la zona y en los alrededores no existe una estación meteorológica operativa actualmente.

4.- ANTECEDENTES

La historia sísmica del Perú ha mostrado que su borde occidental presenta un alto índice de ocurrencia de eventos sísmicos y que 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).

El alto riesgo en la zona costera de Perú, se ha incrementado desde los años 80 debido a que muchas de las ciudades y/o localidades han soportado procesos continuos de migración de población proveniente del interior del país y ante la falta de una adecuada planificación urbana y de acertadas políticas de planeamiento, los inmigrantes han ocupado zonas de riesgo ante la ocurrencia de peligros como los sismos, tsunamis y otros efectos secundarios. A estos escenarios, se suma el hecho de que las viviendas fueron construidas de manera inadecuada, sin seguir criterios de ordenamiento territorial y mucho menos, respetando la Norma E.030 de Diseño Sismorresistente. Es común ver en algunas ciudades, como las viviendas se asientan en laderas de cerros, ríos, cauces de quebradas secas y zonas de terrazas inundables sin medir su vulnerabilidad, pero si, incrementando el riesgo en dichas zonas.

Considerando que uno de los causantes directos de los daños que producen los sismos en las ciudades, es la calidad de los suelos sobre el cual se encuentran las viviendas y otras obras de ingeniería, en el año 2005, la Asociación Peruana de Empresas de Seguros (APESEG) y el Centro de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID) realizaron un importante aporte para la mejora en la Gestión de Riesgos de Lima Metropolitana con el estudio de Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico en 42 Distritos de Lima y Callao (Microzonificación Sísmica), el mismo que se constituyó como información primaria y de base para cualquier otra investigación orientada a la gestión de riesgos en el Perú (Figura 3). Como parte de este esfuerzo, el Instituto Geofísico del Perú, realiza estudios similares en los Distritos de Pucusana, Santa María, San Bartolo, Punta Negra, Punta Hermosa, Santa Rosa y El Agustino, permitiendo completar la información para el total de los distritos que conforman el área de la ciudad de Lima Metropolitana.

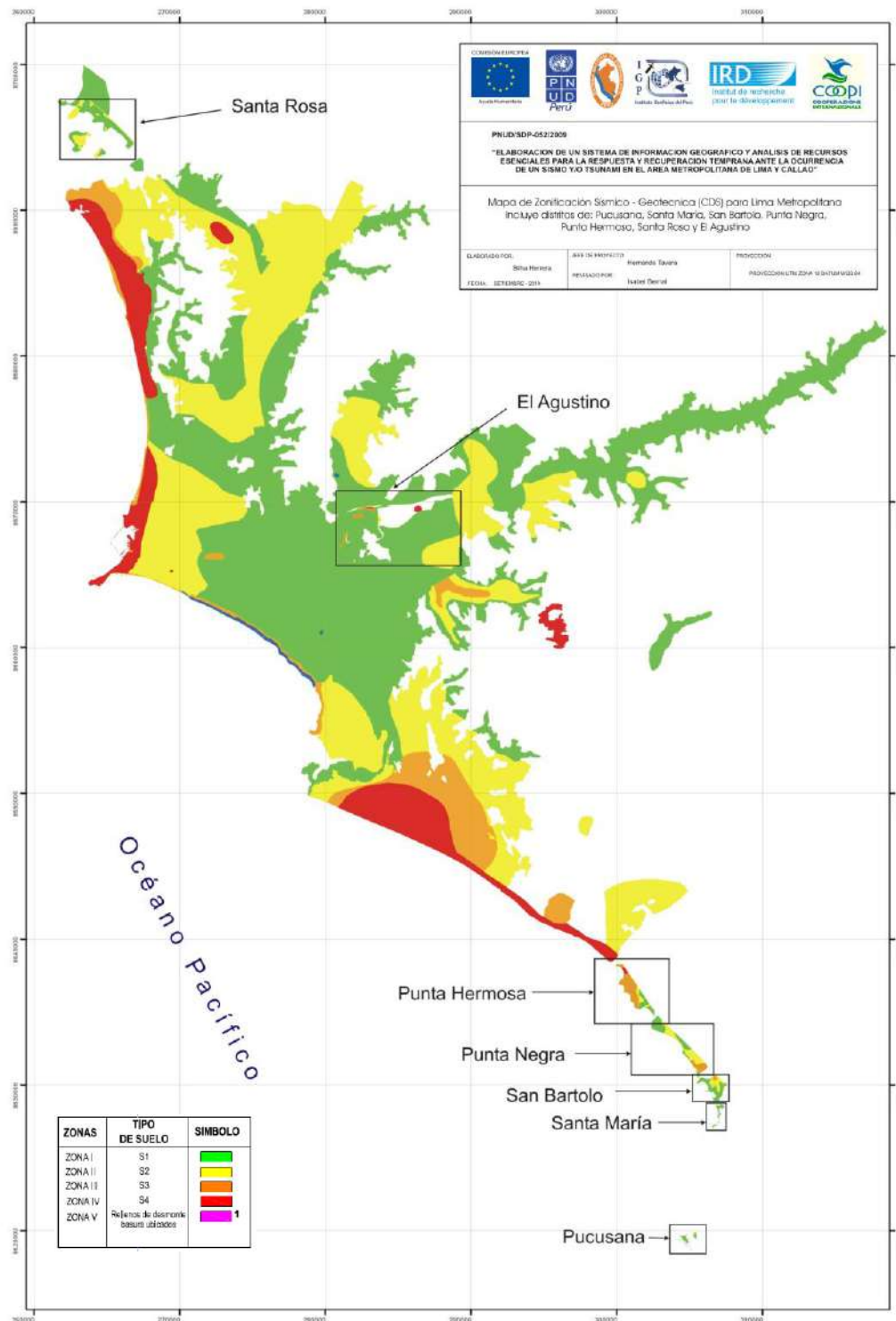


Figura 3: Mapa de Zonificación de suelos para Lima Metropolitana elaborado por el CISMID (APESEG, 2005) y complementado por el IGP (distritos en recuadro) dentro del proyecto PNUD (PNUD, 2010)

A partir del año 2012 y como parte del Programa Presupuestal por Resultados N°068 “Reducción de la Vulnerabilidad y Atención de Emergencias por Desastres”, el Instituto Geofísico del Perú (IGP) continúa con la realización de los estudios de Zonificación Sísmica-Geotécnica en las áreas urbanas de Chosica, Chaclacayo, Huaycán y Carapongo, todos ubicados en el departamento de Lima. En el año 2013, los estudios son realizados en las ciudades de Chimbote y Huarney del departamento de Ancash; además de Barranca y Huacho del departamento de Lima. En el año 2014, estudios similares son realizados en las ciudades de Acarí, Bella Unión, Yauca, Chala, Camaná, Arequipa, Punta de Bombón y Cocachacra, todas ubicadas en el departamento de Arequipa.

Durante el año 2015, el IGP realiza los estudios de Zonificación Sísmica-Geotécnica en las ciudades de Asia, San Vicente de Cañete, Cerro Azul, Chancay, Huaral, Lunahuana y Mala en el departamento de Lima; además, de la ciudad de Casma en el departamento de Ancash. Los resultados obtenidos para el área urbana de la Ciudad de Asia son presentados en este informe bajo el siguiente título: **“Zonificación Sísmica – Geotécnica del área urbana de la Ciudad de Asia”**.

4.1.- Estudios previos

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

INDECI-PNUD-PER/02/051- Ciudades sostenibles, (agosto, 2003) - Plan de prevención ante desastres: Usos del suelo y medidas de mitigación ciudad de Asia. El informe indica que los peligros geológicos más relevantes que afectan al distrito de Asia son los sismos y tsunamis. Se hace mención que la ciudad de Asia, como los demás distritos de la provincia de Cañete que se encuentran en el litoral, pertenecen a la zona de alta intensidad sísmica y por lo tanto, a la zona de alto peligro según el mapa de zonificación del Perú. Uno de los sismos con efectos destructivos ocurrió en el año de 1940 con una Mw de 8.0 y altas intensidades de sacudimiento del suelo causando daños en viviendas y

pérdida de vidas humanas. El sismo produjo un tsunami que afectó a las costas de la provincia de Cañete.

En el caso de los suelos, presenta un relieve ligeramente plano y accidentado de pendientes variables, siendo en su mayoría suelos semiáridos, areno-limoso, compuesto por sedimentos y depósitos eólicos y aluviales producto de las escorrentías de la parte alta de la cuenca del río en mención. Para el caso de los suelos areno-limosos hasta una profundidad promedio de 1.30 metros, presentan una capacidad portante menor a 0.75 kg/cm^2 , mientras que, en suelos limosos hasta una profundidad promedio de 2.00 metros, la capacidad portante es mayor a 0.75 kg/cm^2 . Del mismo modo, los suelos sobre los cuales se asienta el área urbana del distrito de Asia presentan problemas de licuación de suelos debido al elevado nivel freático, presente a profundidades menores a 0.60 metros.

5.- CONDICIONES LOCALES DE SITIO

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

Las condiciones locales de sitio son evaluadas en los estudios de Zonificación Sísmica-Geotécnica y el resultado es considerado como una de las herramientas disponibles más importantes para minimizar los daños producidos por los sismos. La finalidad es evaluar el comportamiento dinámico de los suelos (CDS) teniendo en cuenta que la intensidad de las sacudidas sísmicas varía considerablemente a distancias cortas y áreas pequeñas. Diversos estudios muestran, que los suelos ante la incidencia de ondas sísmicas asociadas a movimientos débiles y/o fuertes, responden de acuerdo a sus condiciones locales, pudiendo estos modificar el contenido frecuencial de las ondas y/o generar amplificaciones de las ondas sísmicas (Hartzell, 1992; Beresnev et al., 1995; Bard 1995; Lermo y Chávez-García, 1993, 1994 a,b; Bard y Sesame, 2001; Bernal, 2002).

Las metodologías a seguir para lograr el mayor conocimiento sobre el comportamiento dinámico del suelo o efectos de sitio en regiones de moderada a alta sismicidad, consideran los estudios geológicos, geomorfológicos, geodinámicos, geotécnicos, sísmicos y geofísicos (Figura 4.a, b). Cada uno de estos campos de investigación, proveen de información básica sobre las observaciones de campo y la toma de datos in situ, para lo cual es necesario disponer de mapas catastrales actualizados de las zonas en estudio, así como los correspondientes a las zonas de futura expansión urbana.

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

programas de gestión del riesgo ante la ocurrencia de sismos. Estudios complementarios, dependiendo de cada área de estudio, son los relacionados a tsunamis, inundación por crecida de los ríos y licuación de suelos. Estos escenarios son frecuentes en ciudades ubicadas en zonas costeras y otras en las regiones andinas y subandinas, próximos a zonas de alta pendiente y/o entorno a las riberas de ríos.



Figura 4a: Abanico aluvial (señalado con línea amarilla) sobre el cual se asienta la ciudad de Asia.

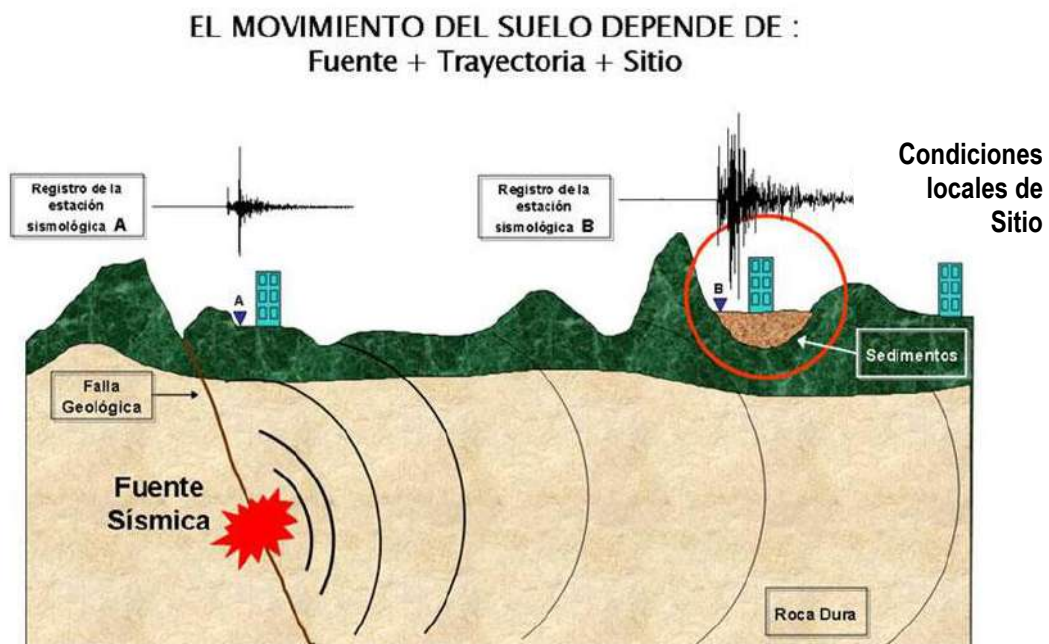


Figura 4b: Las condiciones locales de sitio controlan la amplificación del sacudimiento del suelo, puesto en evidencia con la amplitud del registro sísmico obtenido sobre roca y sedimentos.

6.- NORMA E.030, DISEÑO SISMORRESISTENTE

En el Perú, la construcción de obras civiles de cualquier envergadura debe considerar las indicaciones contenidas en el Reglamento Nacional de Construcción o "Norma E.030, Diseño Sismorresistente (2016)". Básicamente, esta norma considera la clasificación de los suelos en función de sus propiedades mecánicas, espesor de estrato, período fundamental de vibración y velocidad de propagación de las ondas de corte. La Norma E.030, establece que los suelos pueden ser clasificados en cuatro tipos:

.-Suelos duros (Tipo S1). Corresponden a suelos en los cuales la velocidad de propagación de la onda de corte varía entre 500 y 1500 m/s.

.-Suelos intermedios (Tipo S2). Suelos con características intermedias entre las indicadas para los suelos S1 y S3.

.-Suelos flexibles o con estratos de gran espesor (Tipo S3). Corresponden a suelos que presentan velocidades de ondas de corte menor e igual a 180m/s.

.-Condiciones excepcionales (Tipo S4). A este tipo corresponden los suelos excepcionalmente flexibles y los sitios donde las condiciones geológicas y/o topográficas son particularmente desfavorables.

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

suelos Tipo S1 de la norma sismorresistente peruana. En la zona la velocidad de las ondas de corte (V_s) varía entre 500 y 1500m/s.

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, correspondiendo a suelos Tipo S2 de la norma sismorresistente peruana. En la zona la velocidad de las ondas de corte (V_s) varía entre 180 y 500m/s.

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) son menores a 180m/s.

ZONA IV: Zona conformada por depósitos de arena eólicas de gran espesor, depósitos fluviales, depósitos marinos y suelos pantanosos. Los periodos predominantes para estos suelos son mayores que 0.7 s; por lo que, 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.

El periodo fundamental de las estructuras puede ser deducido de la fórmula propuesta por Rodríguez y Aristizabal (1998), donde $T = N/\lambda$ (T , Periodo de la estructura; N =Número de niveles en la edificación y λ = Parámetro que depende de la rigidez del sistema estructural). Por ejemplo, según la Norma E-030 (2003), en el Perú el valor de λ es igual a 10 y el periodo dominante para una determinada estructura puede ser estimada con solo conocer el número de pisos de cada vivienda. Conocida la tipificación de suelos, son los ingenieros quienes deben proceder a estimar los valores indicados a fin de reducir la vulnerabilidad de las estructuras.

7.- METODOLOGÍA

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

7.1.- Estudios de sismicidad

Para conocer las características de la sismicidad en la región en donde se encuentra la ciudad de Asia, se hace uso del catálogo y Mapa Sísmico del Perú (Tavera, 2014). Se describe las características de la sismicidad y de los sismos de mayor magnitud e intensidad ocurridos en la región a fin de comprender el porqué de los daños producidos por estos eventos durante el periodo histórico e instrumental. Para la sismicidad histórica se analiza la información contenida en Silgado (1978) y Dorbath et al, (1990), y la instrumental, a partir de la proporcionada en los reportes técnicos elaborados por la Unidad de Sismología de la Subdirección de Ciencias de la Tierra Sólida del Instituto Geofísico del Perú (IGP).

7.2 Estudios de peligro sísmico

Este tipo de estudios considera, en términos de probabilidad, conocer la severidad sísmica o aceleración con la cual podría ser sacudida el área de estudio en un determinado periodo de tiempo, por ejemplo en 500 años de exposición. Para tal objetivo, se hace uso del catálogo sísmico y fuentes sismogénicas definidas por el Instituto Geofísico del Perú (Tavera et al, 2012), las ecuaciones de atenuación propuestas por Young et al (1997) y Sadigh et al (1997), y el algoritmo CRISIS-2007 (Ordaz et al, 2007). Los resultados permiten obtener mapas de iso-aceleraciones probabilísticas, siendo de importancia para proyectar el diseño de cualquier obra de ingeniería que pueda estar, en el futuro, expuesta a una demanda sísmica.

7.3.- Estudios de tsunamis

Considerando que el distrito y ciudad de Asia cuenta con áreas de playa, es necesario caracterizar el peligro relacionado con la presencia de un tsunami debido a la ocurrencia de un sismo de magnitud 8.5 Mw (Figura 5). Conocido el modelo de

fuentes sísmicas y obtenidas las cartas de batimetría y topografía con alta resolución, el modelado numérico del tsunami se realiza con el algoritmo TUNAMI-N2 desarrollado por investigadores de la Universidad Tohoku de Japón (Goto y Ogawa, 1992). Los resultados obtenidos permiten conocer las zonas de inundación, el tiempo de llegada y la altura de la primera ola de tsunami, información que permitirá orientar las medidas de gestión del riesgo en la zona de estudio.



Figura 5: Vista panorámica de las zonas de playas de Asia consideradas en el modelado de tsunamis

7.4.- Estudios geológicos y geotécnicos

Estos estudios consideran la recolección, en campo, de información geológica, geomorfológica, geodinámica y de zonas susceptibles a deslizamientos y/o flujos. El objetivo es identificar y conocer las características geológicas de los suelos en las áreas de interés y alrededores.

.- **Levantamiento geológico y geomorfológico.** Considera el desarrollo de trabajos de campo orientados a recopilar información sobre las características geológicas y geomorfológicas de carácter local, considerando bases de datos topográficos, de pendientes, drenajes, litología, uso de suelos y de áreas susceptibles a deslizamientos y/o flujos.

.- **Análisis geodinámico:** Considera la evaluación de los diversos procesos de intemperismo y meteorización que conducen a movimientos en masa, así como el inventario de los mismos teniendo en cuenta parámetros intrínsecos como la litología, pendientes, geomorfología, cobertura vegetal y drenaje. Asimismo, se realiza el análisis de los niveles de inundación por situaciones de crecida de ríos en épocas de lluvias intensas.

.- **Análisis geotécnico:** La geotecnia se encarga del estudio de las propiedades físicas y del comportamiento de los suelos y rocas, y para ello se aplican técnicas de exploración como la elaboración de calicatas, perforaciones, ensayos de mecánica de rocas, etc. Estos estudios se realizan con la finalidad de conocer los parámetros geotécnicos que ayudan al diseño de cimentaciones para estructuras tales como viviendas, edificios, puentes, carreteras, taludes, presas, etc. También permite identificar y solucionar problemas de asentamientos de suelos, licuación, expansividad y agresividad, entre otros.

En este estudio, la recolección de datos para los estudios geotécnicos se realiza mediante calicatas, ensayos de densidad de campo, muestreos con posteadora y ensayos de penetración ligera (DPL). Las características de estos métodos son:

.- **Exploraciones a cielo abierto (Norma ASTM D420):** Conocidas como calicatas y consiste en realizar excavaciones de profundidad superficial (hasta 3 metros) con ayuda de una retroexcavadora. En general las dimensiones son de 1.5 m x 1.5 m de lado x 3.0 m. El objetivo es extraer muestras de suelo para realizar análisis dos tipos de análisis, el primero considera se realiza los análisis granulométricos, límites de elasticidad y contenido de humedad para conocer la clasificación de los suelos de acuerdo al Código SUCS. La segunda muestra se utiliza para el análisis de corte directo; es decir, realizar la aplicación de cargas diferenciadas hasta que la muestra falle, lo cual permite determinar la capacidad portante del suelo (capacidad admisible última). Si la muestra de suelo es grava sin contenido de arena y no es

posible aplicar el ensayo de corte directo, se aplica el de densidad máxima y en ambos casos, se estima el valor de capacidad portante (Figura 6).



Figura 6: Calicata elaborada en el área urbana de Asia con el apoyo de la municipalidad. Extracción de muestras para conocer, por ejemplo, la densidad del suelo mediante el método del Cono de Arena.

. - Densidad de suelo in situ (Norma ASTM D1556): Consiste en evaluar la relación entre la masa de los suelos (sólidos y líquidos) y el volumen total de un suelo. Para tal objetivo se realiza el ensayo de densidad de campo con el uso del método del cono, el cual permite conocer la densidad y el contenido de humedad del suelo en condiciones naturales. Su aplicación permite conocer la compactación de las partículas que conforman el suelo, más compactos indica mayor resistencia a la deformación.

. - Exploraciones con posteadora manual (Norma ASTM D1452): Se define como posteadora a un barrenador manual en forma de “T” que permite realizar sondeos exploratorios (perforaciones) en suelos blandos (arcillas y arenas) hasta una profundidad de 6 metros, procedimiento que permite obtener muestras de suelo. Aunque estas muestras son trituradas, sirven para conocer el tipo de suelo y el contenido de humedad. La técnica no es útil en suelos compuestos por gravas y gravillas (Figura 7).



Figura 7: Posteadora y muestras obtenidas en suelos de Asia

.- **Ensayo de penetración dinámica ligera – DPL (Norma DIN4094):** Consiste en un equipo de campo y registro continuo sobre el número de golpes necesarios para hacer penetrar un tramo de varillaje a lo largo de todo el ensayo. Permite estimar la resistencia del material (suelo) al hincado del cono dinámico. En este caso, la exploración solo es aplicable en terrenos arenosos, arcillosos y limo – arcillosos (Figura 8).



Figura 8: Equipos, accesorios y técnica de DPL

.- Ensayo de corte directo (Norma ASTM D3080): Permite determinar la resistencia al esfuerzo de corte de una muestra de suelo, sometida a fatigas y/o deformaciones que se simula a la que existiría en el terreno al aplicarse una carga. Esta resistencia se debe a la cohesión (comportamiento plástico de las partículas de una muestra) y el ángulo de fricción interna o rozamiento entre las partículas granulares.

En base a la información geotécnica recopilada en las calicatas se realiza la clasificación SUCS de los suelos. Esta clasificación fue propuesta por Arturo Casagrande y sus modificaciones fueron realizadas en el año 1942, siendo actualmente la más utilizada a nivel mundial para la clasificación de suelos desde un punto de vista geotécnico. La SUCS clasifica a los suelos en:

- Suelos de grano grueso
- Suelos de grano fino
- Suelos orgánicos

Los suelos de grano grueso y fino se distinguen mediante el tamizado del material por el tamiz No. 200. Los suelos de granos gruesos corresponden a los retenidos en dicho tamiz y si representan más del 50%, los suelos son clasificados como tal, caso contrario son considerados como suelos de grano fino. Cada tipo de suelo se designa por símbolos de grupo acompañados de un prefijo y un sufijo. Los prefijos son las iniciales de los nombres en inglés de los seis principales tipos de suelos (grava, arena, limo, arcilla, suelos orgánicos de grano fino y turbas); mientras que, los sufijos indican subdivisiones en dichos grupos:

<i>G = Grava</i>	<i>C = Arcilla</i>	<i>L = Baja plasticidad</i>
<i>S = Arena</i>	<i>O = Limo o arcillas Orgánicas</i>	<i>W = Bien graduado</i>
<i>M = Limo</i>	<i>H = Alta plasticidad</i>	<i>P = Mal graduado</i>

La segunda muestra debe ser utilizada para el análisis de corte directo; es decir, realizar la aplicación de cargas diferenciadas hasta que la muestra falle, lo cual permite determinar la capacidad portante del suelo (capacidad admisible última). Si la muestra de suelo es grava sin contenido de arena y no es posible aplicar el ensayo de

corte directo, se aplica el de densidad máxima y en ambos casos, se estima el valor de capacidad portante.

7.5.- Estudios sísmicos y geofísicos

Estos estudios consideran la recolección, en campo de información sísmica y geofísica, además de la aplicación de técnicas y metodologías orientadas a conocer el comportamiento dinámico del suelo y/o sus propiedades físicas.

.- **Técnica de H/V**: considera como hipótesis de base que las vibraciones ambientales o microtemores generadas por la actividad humana se deben principalmente a la excitación de las capas superficiales al paso de ondas superficiales del tipo Rayleigh. El registro de esta información y su interpretación, permite conocer el periodo natural de vibración del suelo y el factor de amplificación, parámetros que definen su comportamiento dinámico ante la ocurrencia de eventos sísmicos. Estos resultados son correlacionados y complementados con los obtenidos de los estudios geofísicos, geológicos, geomorfológicos, geodinámicos y geotécnicos. Para los registros de vibración ambiental se utiliza el equipo sísmico compuesto por un registrador tipo CitySharp y sensores de tres componentes de registro tipo Lennartz (Figura 9).



Figura 9: Equipo sísmico utilizado para el registro de vibraciones ambientales en Asia: sensores Lennartz (2N) y registrador CitySharp

En la Figura 10, 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 AS-113 presenta bajos niveles de ruido; mientras que, la señal en AS-149, presenta diversidad de pulsos de variada amplitud (ruido), que al momento de su análisis, pueden ser filtrados, para no afectar a la información a utilizarse en el estudio.

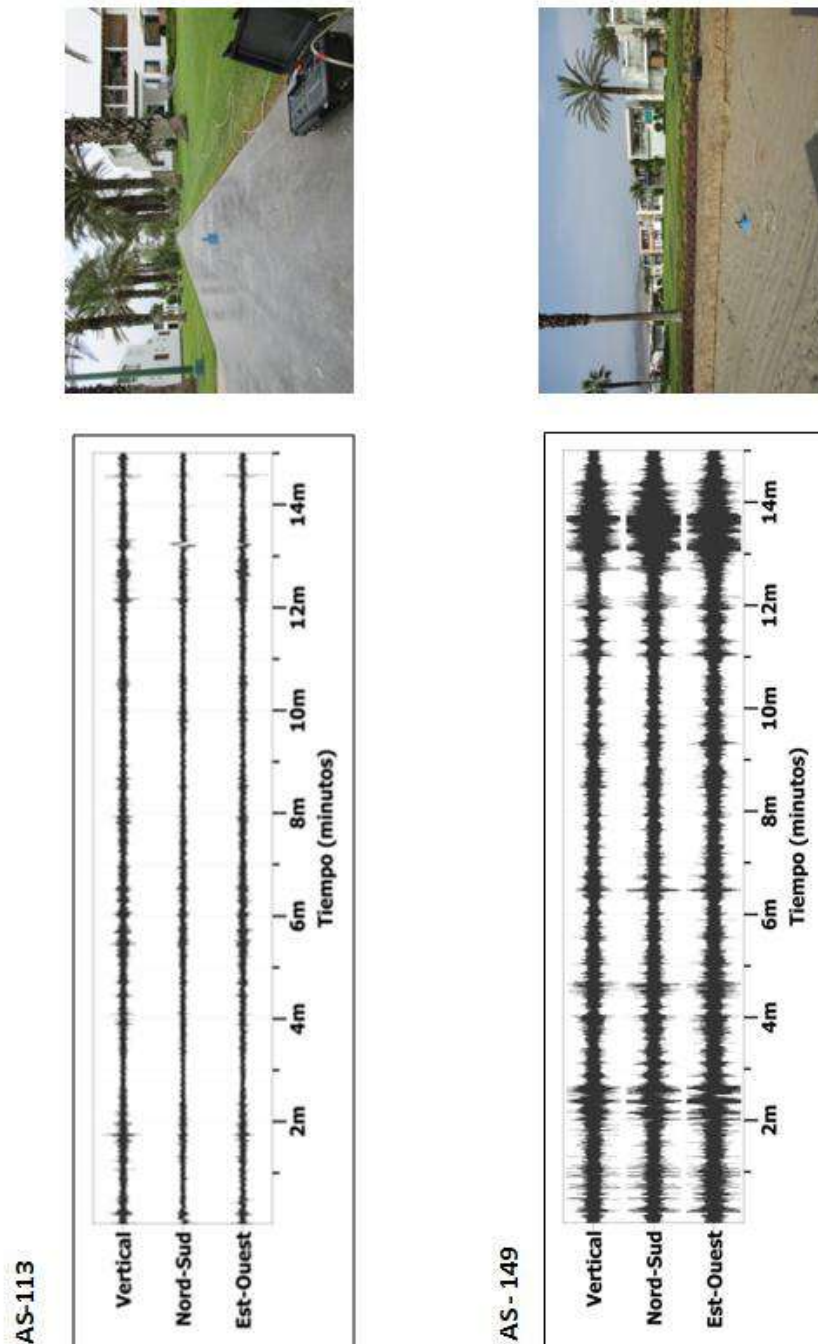


Figura 10: Ejemplos de la disposición del equipo sísmico para el registro de vibraciones ambientales. Ejemplos de registros de vibración ambiental obtenidos sobre un punto de registro sin presencia de ruido de fondo (AS-113) y otro con ruido transitorio (AS-149). Obsérvese las diferentes amplitudes de la señal registrada en cada punto.

Con la información disponible, se procede a construir las razones espectrales H/V (registros de las componentes horizontales / registros en la componente vertical) a fin de identificar las frecuencias predominantes y amplificaciones relativas que caracterizan al tipo de suelo presente en el área de estudio (ver Figura 11), las mismas que están definidas por las condiciones geológicas y geomorfológicas de las primeras

decenas de metros por debajo de la superficie. Debe entenderse que la variación de las propiedades físicas de cada capa estratigráfica superficial de diferente espesor, geometría y composición litológica, causaran o no, la amplificación de las ondas sísmicas incidentes, propiedad que es utilizada para conocer las características físicas del suelo.

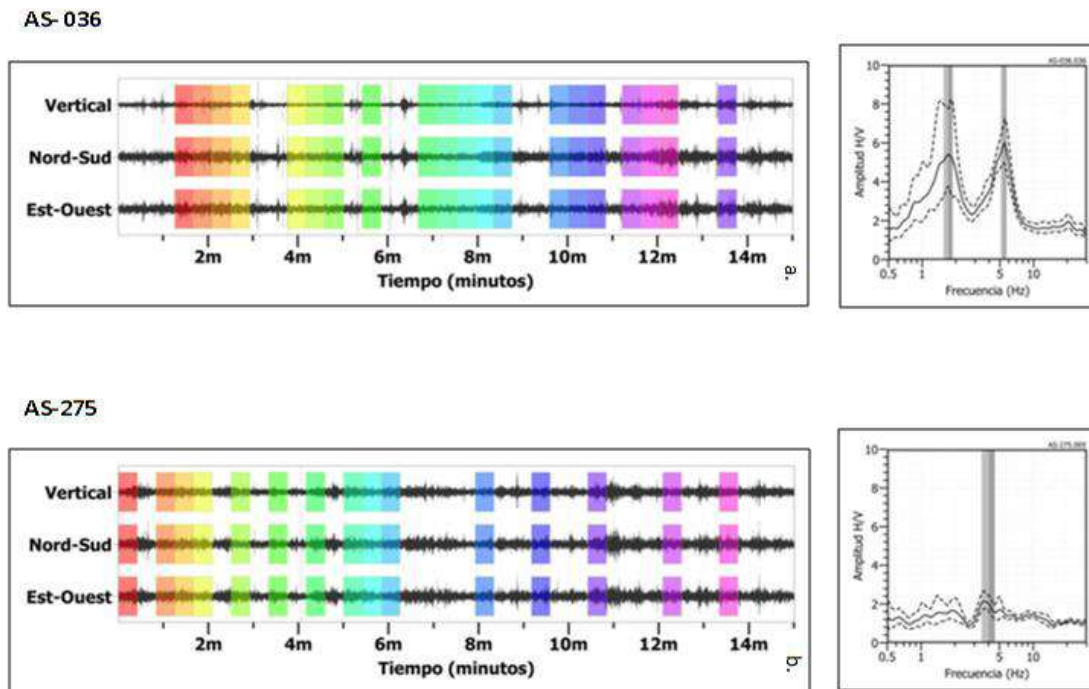


Figura 11: Ejemplo de selección de ventanas de registro de vibración ambiental (rectángulos de colores) y gráficos de H/V. AS-036: Registros y razón H/V donde se identifica la presencia de dos pulsos de frecuencia predominante de gran amplitud. AS-275: Registros y razón H/V en el cual se observa un posible pico predominante de pequeña amplitud. Las líneas gruesas en los gráficos H/V indican el promedio de las curvas de razones espectrales y las líneas discontinuas su desviación estándar.

Para aplicar la técnica H/V, se considera la siguiente secuencia:

- .- Los registros de vibración ambiental son tratados por ventanas 20 segundos de señal no perturbada por el ruido de fondo. Para tal efecto, se selecciona de manera 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 divide entre el espectro vertical para

obtener la relación H/V y luego se promedia los valores para cada punto de observación, considerando su respectiva desviación estándar. Luego se procede a identificar la frecuencia predominante considerando, como condición, presentar una amplificación relativa mayor a 2 veces.

Para definir la frecuencia predominante se consideraron tres criterios (Lermo y Chávez-García -1994 a,b; Lachet y Bard, 1994): primero, debe estar presente en un rango de interés que fluctúa entre 1 a 20 Hz; segundo, debe presentar amplificaciones relativas de al menos 2 veces (se considera la amplitud de “1” como punto de referencia) y por último, se considera el pico/rango de frecuencias más representativos para cada punto de medida.

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

.- Método de arreglos lineales: Se hace uso de tendidos lineales de 24 sensores sísmicos a fin de registrar ondas de volumen y superficiales generadas por fuentes artificiales. Con este procedimiento se pretende conocer la velocidad de las ondas de corte (ondas S) utilizando el método MASW; es decir, conocer los cambios de velocidades a lo largo de los diversos estratos existentes en el subsuelo (Figura 12).

La aplicación de esta técnica permite determinar las características físicas del subsuelo de manera indirecta, basándose en el comportamiento de las ondas sísmicas al pasar por distintos medios, permitiendo de este modo, definir el perfil de velocidades de las ondas de corte (Vs) que caracteriza a dicha línea. La interpretación de la información recolectada proporciona una curva de dispersión (velocidad de fase de las ondas superficiales versus la frecuencia) para las ondas superficiales, ya que estas conservan hasta el 90% del valor de la velocidad de las ondas de corte (Vs). Luego mediante un procedimiento de cálculo iterativo inverso se obtiene el perfil de velocidad de las ondas de corte (Vs) para el punto medio de cada línea de estudio. La aplicación de un nuevo cálculo iterativo inverso, permite conocer el periodo predominante teórico correspondiente al perfil de velocidades, el cual es correlacionado con el obtenido con la técnica H/V a fin de validar ambos resultados.

.- Método de prospección eléctrica: Tiene por objetivo determinar la distribución real del parámetro resistividad del subsuelo hasta un cierto rango de profundidad a lo largo

de un perfil de medida. Para ello se considera los valores de resistividad aparente obtenidos mediante medidas realizadas por métodos convencionales de corriente continua. En este estudio se considera solo los perfiles realizados en la superficie del terreno (Figura 13).

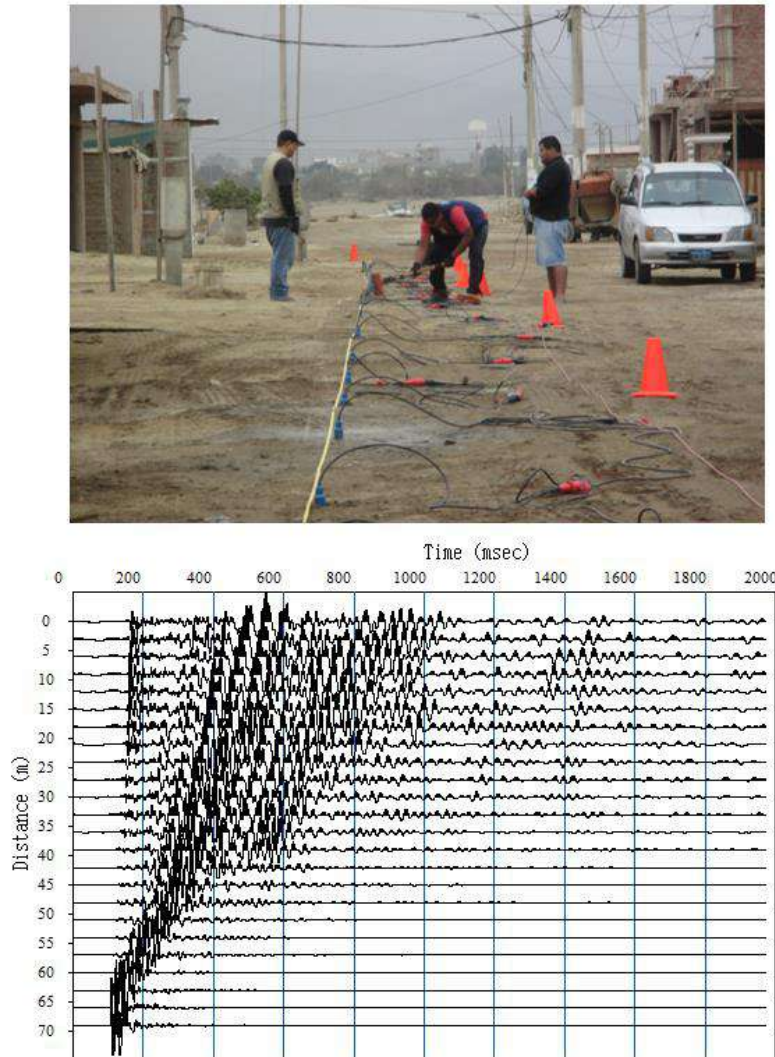


Figura 12: Disposición del equipo de refracción sísmica y trazas obtenidas en la ciudad de Asia

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. La profundidad de investigación depende del dispositivo empleado de acuerdo al interés del estudio.



Figura 13: Disposición del equipo de prospección eléctrica en la ciudad de Asia

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, 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. Debe considerarse que estos materiales estarán bajo condiciones de ausencia de agua, pero si hay

presencia de arcilla, su grado de alteración permitiría la disminución en los valores de resistividad del suelo.

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

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

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

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

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

El resultado final para este tipo de estudio, es una imagen distancia-profundidad con la distribución de la resistividad real del subsuelo, fácilmente comprensible en términos geológicos y geotécnicos.

8.- ASPECTOS SISMOLÓGICOS

El distrito y la ciudad de Asia se encuentran ubicados en el borde occidental de la región central del Perú; por lo tanto, ha sido, es y será afectada en el tiempo por sismos de variada magnitud que pueden o no causar daños en superficie. Desde este punto de vista, es importante conocer las características de la actividad sísmica en la región, ya que puede presentarse el escenario de que sismos de gran magnitud generen tsunamis. Del mismo modo, se debe estimar de manera probabilística los posibles valores de aceleración a presentarse en el futuro ante la ocurrencia de sismos de gran magnitud a fin de que sean considerados en los nuevos proyectos asociados al desarrollo urbanístico de la ciudad.

8.1.- Sismicidad

El borde occidental del Perú, se constituye como la principal fuente generadora de sismos y tsunamis, siendo los de mayor magnitud los que han causado grandes niveles de daños y pérdidas de vidas humanas. Dentro de este contexto, el borde occidental de la región central presenta actividad sísmica de tipo superficial (profundidad menor a 60 km) e intermedia (profundidad entre 61 y 350 km), siendo los primeros de mayor peligro debido a que frecuentemente alcanzan magnitudes elevadas y al tener sus focos cerca de la superficie, producen daños y efectos importantes en las ciudades costeras, y una de estas ciudades es Asia (Figura 14).

Según información histórica, los sismos que probablemente causaron daño y destrucción en el área urbana de Asia fueron los siguientes (Silgado, 1978):

- .- Los Terremotos de Lima y Callao de 1687, ocurrieron el 20 de octubre de 1687, asolando toda la costa central del Perú, entre Chancay y Pisco. Fueron dos sismos de gran intensidad, el primero se produjo a las 4:15 de la mañana y el segundo a las 5:30 aproximadamente, al que siguió un tsunami que arrasó el puerto del Callao y otras localidades costeras. En Lima murieron unas 100 personas, aparte de otras en varias localidades costeras ubicadas entre Chancay y Pisco. Estas mismas localidades habrían sido también inundadas por el mar, a punto tal que muchos de sus habitantes tuvieron que trasladarse y refundarse a una legua del mar.*

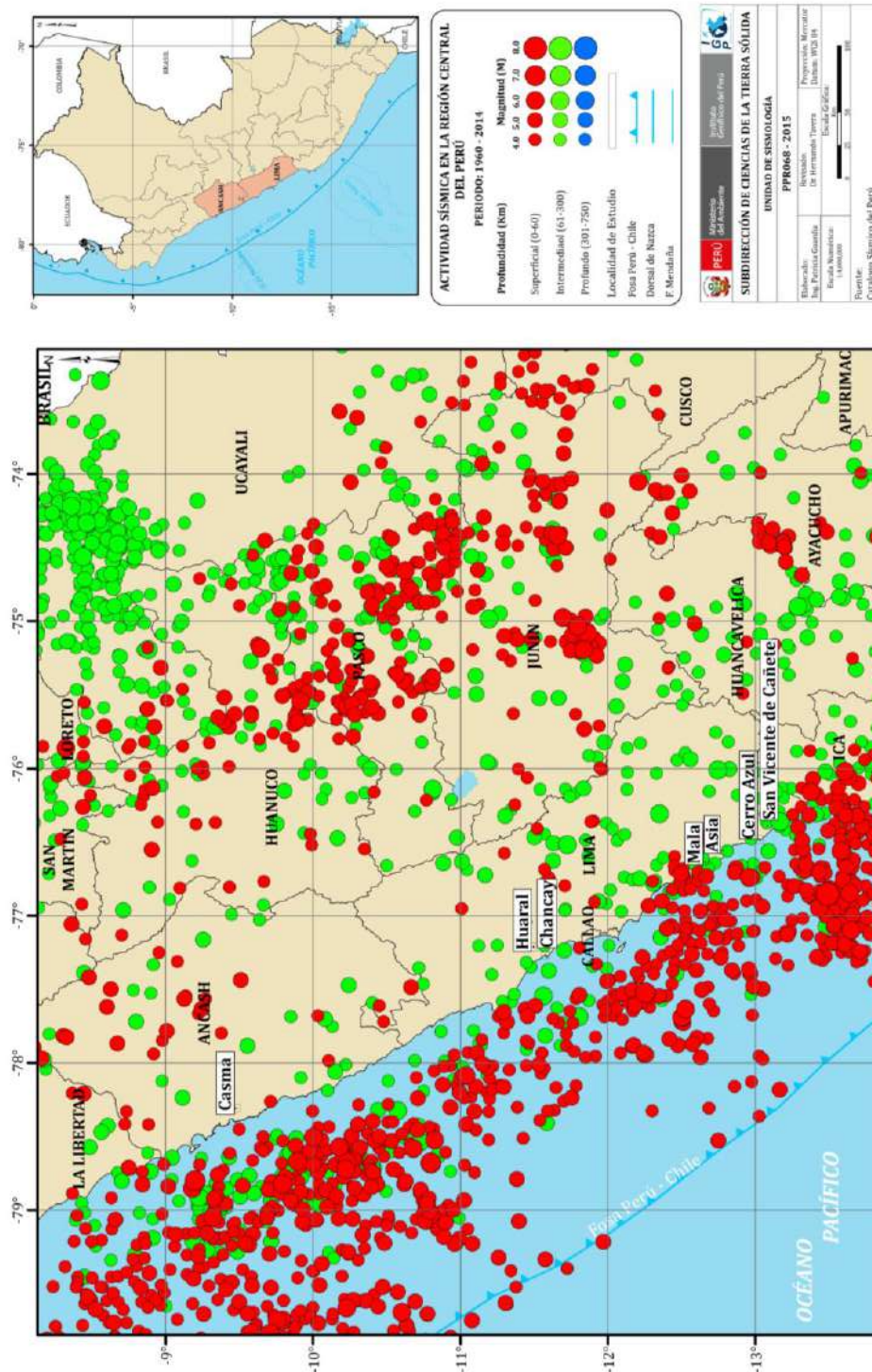


Figura 14: Mapa de sismicidad regional para el borde occidental de la región central del Perú. Los círculos en rojo corresponden a sismos de foco superficial y los verdes, a sismos de foco intermedio.

- En 1966, otro terremoto con epicentro frente a la zona costera de Chancay causó graves daños al llamado Norte Chico, y en el área de Lima-Callao. El terremoto se sintió fuerte en la zona sur de Lima hasta la ciudad de Cañete. En la catedral

del Callao, mientras se celebraba una ceremonia 24 personas murieron al caer parte de paredes, también se produjo un moderado tsunami que causó graves daños en el Callao y en Pucusana. En total el sismo cobró 200 vidas, de las cuales 100 murieron en Lima-Callao.

.- En algunos documentos locales se indica que la capilla de Asia construida en el año 1920, fue destruida a causa del terremoto de 1970, lo cual sugiere que también varias viviendas habrían sido dañadas.

.- Recientemente, en el año 2007 el departamento de Ica y la provincia de Cañete fue afectada por un sismo de gran magnitud que ocasionó la destrucción de muchas viviendas en Asia, además de un tsunami que produjo daños parciales a bienes de propiedad de los pescadores locales. Este sismo y tsunami deben ser considerados por las autoridades y población en general, como el preámbulo de escenarios mayores de podrían generar sismos de mayor magnitud y con epicentros cercanos a la ciudad. Es importante que la población de Asia comprenda que los sismos y tsunamis son cíclicos en el tiempo y la única manera de sobrevivir es preparándose a fin de hacerse menos vulnerable. El sismo del año 2007 produjo en la ciudad de Asia intensidades del orden de VII en la escala de Mercalli Modificada, produciéndose daños en viviendas construidas con material de adobe y/o muy antiguas (Figura 15).

Según la historia sísmica de los departamentos de Lima e Ica, son muchos los terremotos que en el pasado afectaron a sus diversas ciudades y localidades, entre ellas la ciudad de Asia por encontrarse cercana a la línea de costa. Sin embargo, no existen reportes que detalle estos sucesos y ello podría deberse a su escasa o dispersa población en varios núcleos urbanos, característica típica desde su creación.

Por otro lado, en la Figura 16 se presenta el mapa de intensidades regionales para el periodo histórico (1400 – 1900) e instrumental (1961 – 2014), observándose que la zona costera de la región central fue afectada en el pasado por sismos que produjeron intensidades del orden de X-XI (MM); por lo tanto, Asia es una ciudad expuesta a alto riesgo para el caso de sismos y tsunamis.

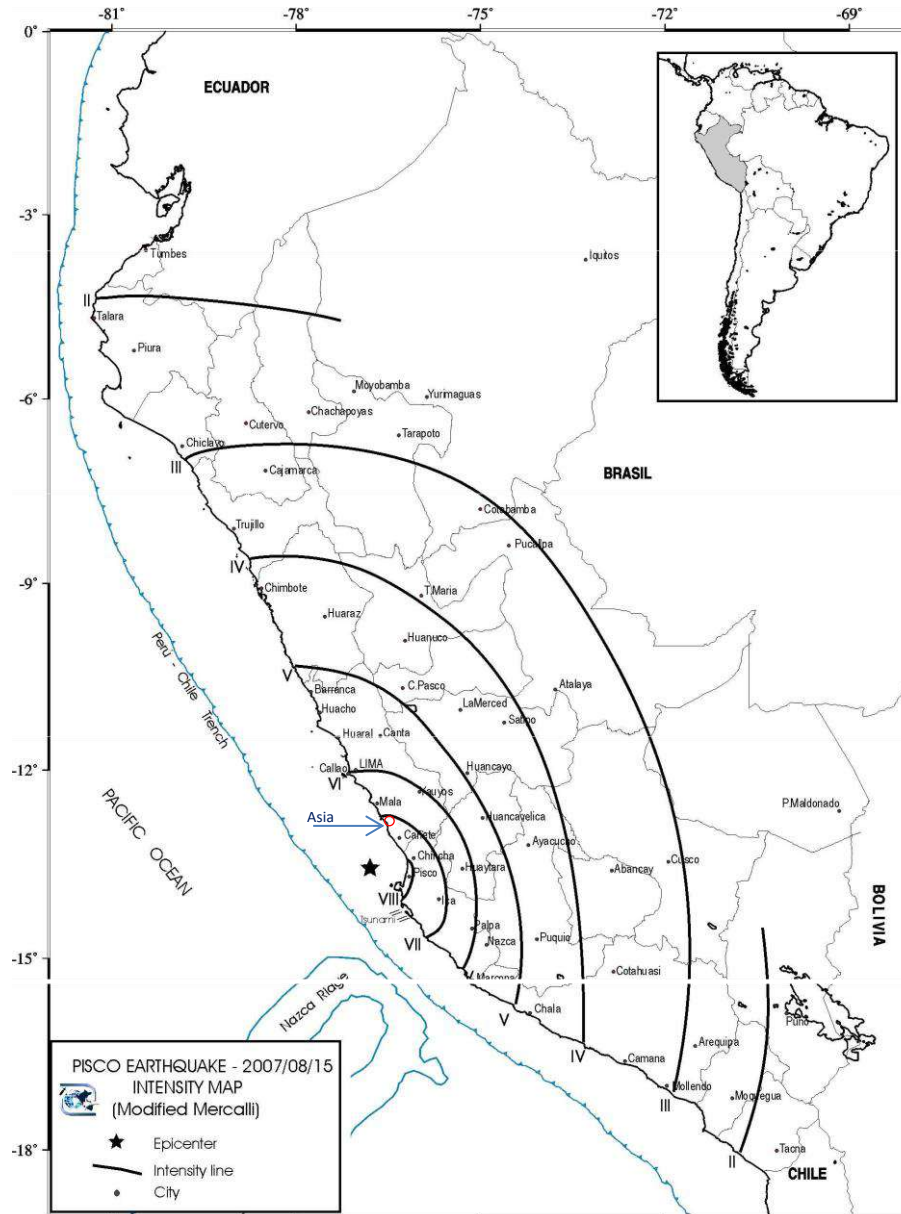


Figura 15: Mapa de isosistas para el terremoto del año 2007 que afectó a la ciudad de Asia con intensidades del orden de VII en la escala de Mercalli Modificada

Por otro lado, en reciente informe elaborado por Tavera (2014), se indica que de acuerdo al monitoreo de la actividad sísmica y deformación cortical, se ha identificado en el borde occidental de la región central del Perú la existencia de dos importantes asperezas y/o zonas de acoplamiento sísmico que darían origen, en un futuro, a un sismo de magnitud del orden de 8.5 Mw (A-1 en la Figura 17). Esta información es corroborada por estudios realizados por Villegas-Lanza et al (2015) sobre la distribución de asperezas en el borde occidental del Perú. De acuerdo a estos estudios, el sismo sería comparable al ocurrido en el año 1746 y que afectó con intensidades mayores a VIII (MM) a todas las ciudades y/o localidades ubicadas en la

zona costera, desde Arequipa por el sur, hasta Chiclayo por el norte. En este escenario, la ciudad de Asia podría soportar intensidades del orden de VIII (MM), pudiendo afectar a un gran número de viviendas de la ciudad. A fin de tener información más cuantitativa sobre los posibles daños a presentarse en la ciudad de Asia, se debe complementar este estudio con evaluaciones catastrales y estructurales.

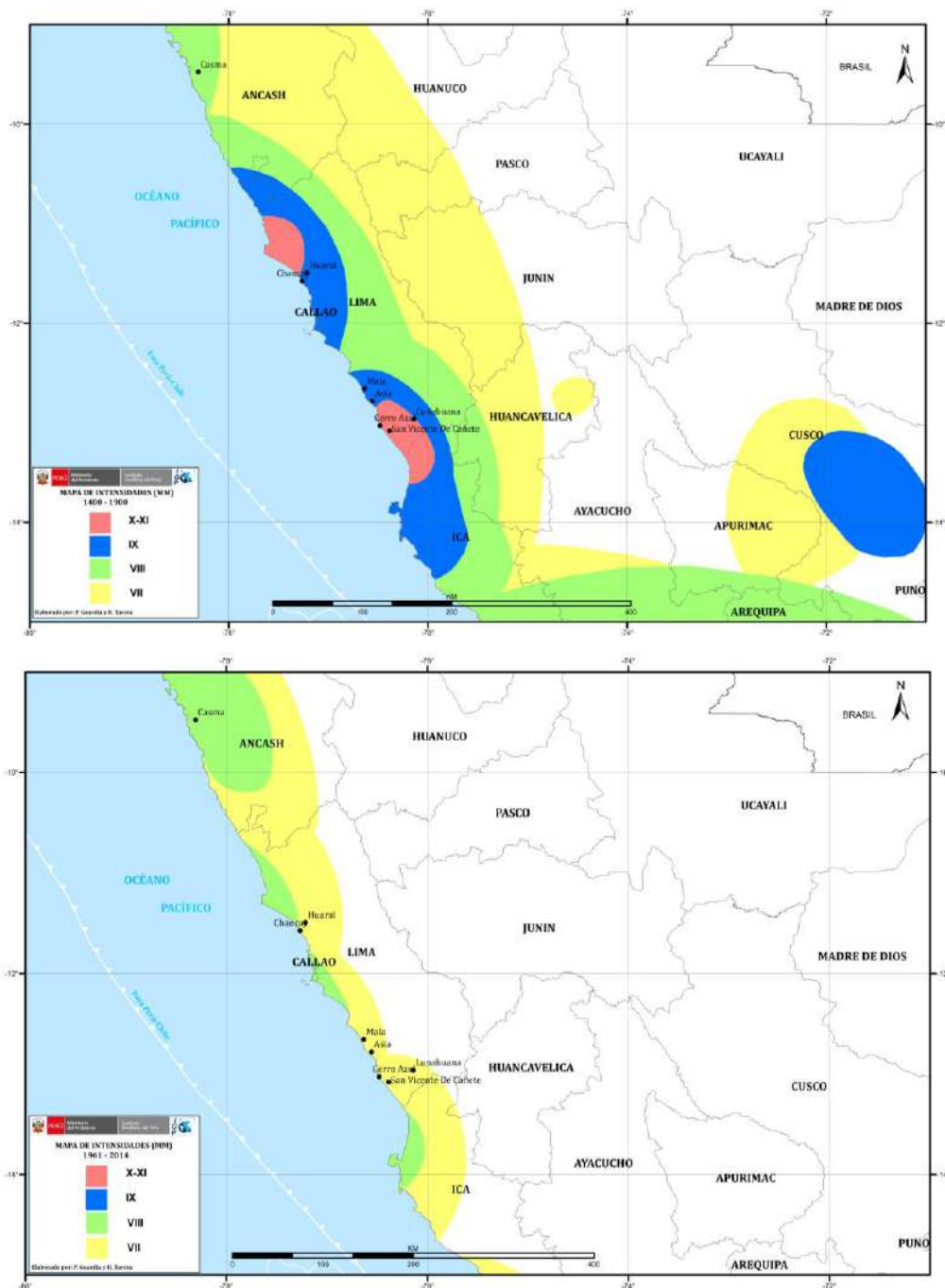


Figura 16: Mapas de isosistas (MM) correspondientes a sismos históricos (1400 – 1900) e instrumentales (1961 – 2014) ocurridos en el borde occidental de la región central del Perú

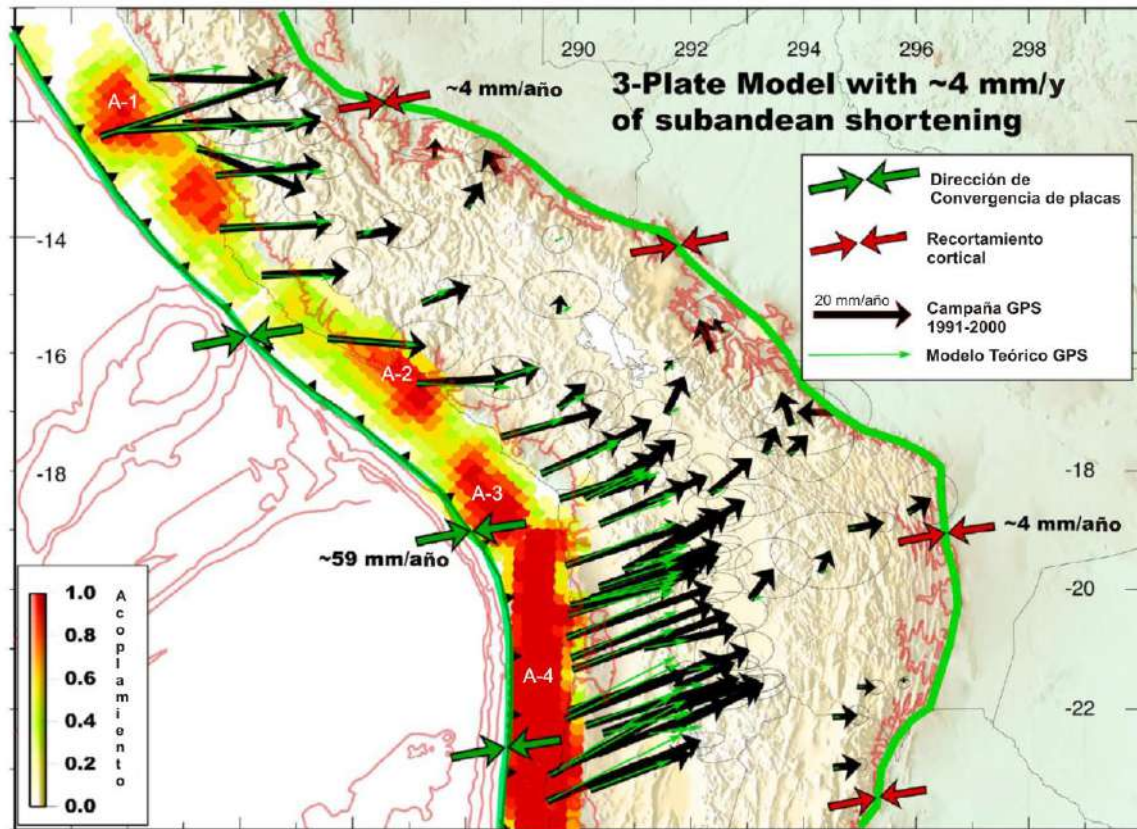


Figura 17: Mapa de asperezas y/o zonas de acoplamiento sísmico en el borde occidental de Perú-Chile obtenido a partir de datos de GPS y sísmicos. Las flechas negras corresponden a las medidas GPS in situ y las verdes a las obtenidas con el modelo teórico. La buena correlación sugiere la existencia de hasta cuatro asperezas (Chlieh et al, 2011).

8.2.- Peligro sísmico

Esta metodología permite conocer, en términos de probabilidad, la severidad sísmica con la cual podría ser sacudida un área en un determinado lapso de tiempo. Este parámetro es expresado en términos de aceleración y para tal efecto, se hace uso del catálogo sísmico y fuentes sismogénicas definidas por el Instituto Geofísico del Perú (Tavera et al, 2014), las ecuaciones de atenuación definidas por Young et al (1997) para fuentes de subducción y de Sadigh et al (1997) para las fuentes continentales. El algoritmo utilizado para el cálculo del peligro sísmico es el CRISIS-2007 (Ordáz et al, 2007).

Para el área que abarca la ciudad de Asia se obtiene, para un periodo de retorno de 50 años con el 10% de excedencia, valores de aceleración entre 390 a 430 gals (Figura 18), equivalentes a intensidades del orden de VII-VIII (MM); es decir,

suficientes como para producir daños estructurales, deslizamientos y posibles escenarios de licuación de suelos.

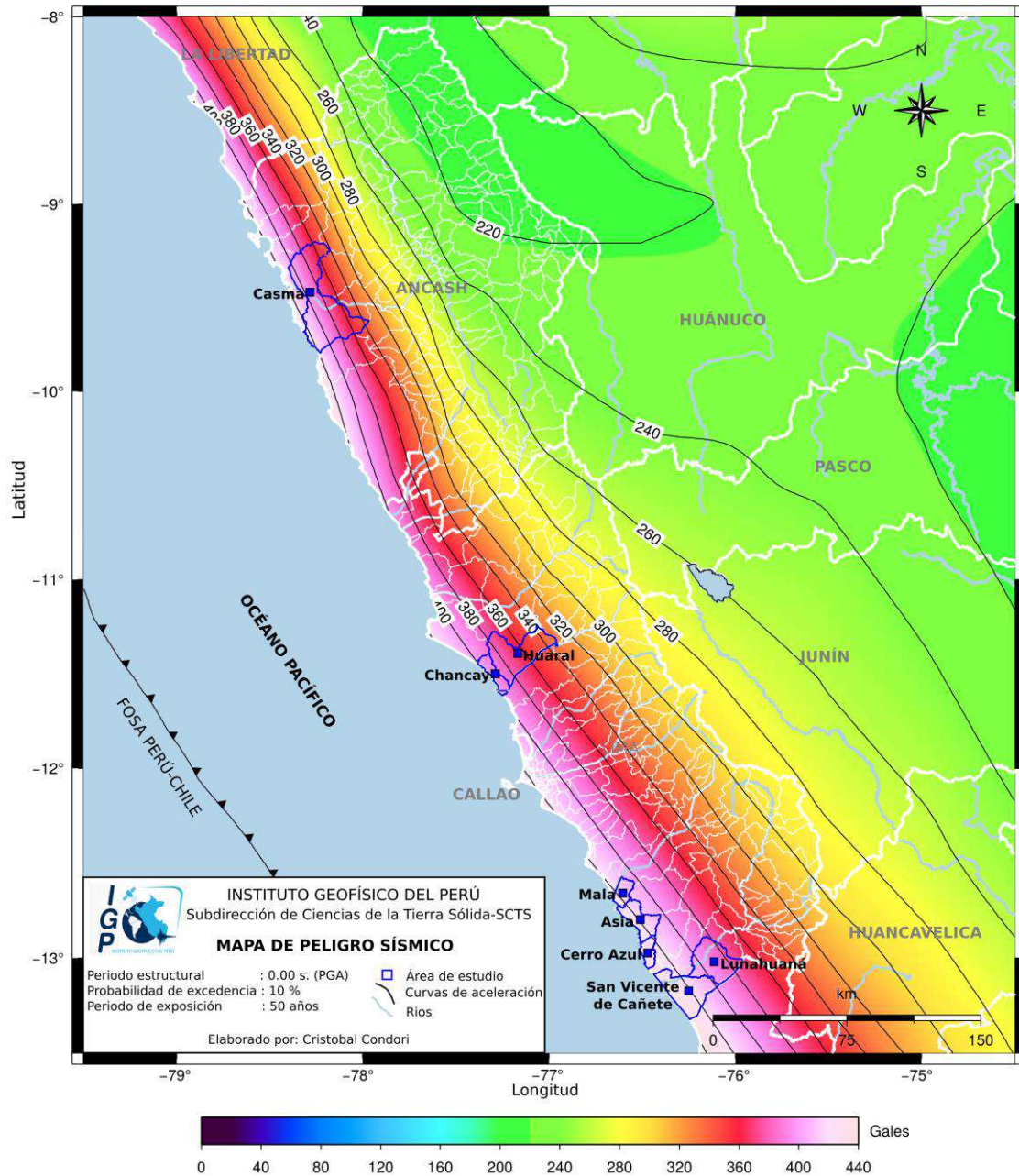


Figura 18: Peligro Sísmico para el borde occidental de la región central del Perú correspondiente a un periodo de retorno de 50 años con el 10% de excedencia.

8.3.- Tsunamis

La información histórica sobre tsunamis ocurridos en la región central del Perú y que afectaron, en diferente grado, a las zonas costeras es bastante numerosa y

puede ser consultada en Silgado (1978) y Carpio y Tavera (2002). En general, todos los sismos que generaron tsunamis presentaron magnitudes superiores a 7.0 Mw y llegaron a afectar toda la zona costera del departamento de Lima con olas de hasta 8 metros de altura. Según información histórica, los tsunamis inundaron habrían inundado las zonas de playa de Asia sin producir mayores daños en razón que para los años de ocurrencia no se contaba con población cercana a la playa, situación que ha cambiado considerablemente al año 2016. A la fecha, en la zona costera del distrito de Asia se ha incrementado el número de viviendas y los centros comerciales, siendo mayor la población durante la estación de verano, situación que se hace crítico para cualquier escenario por tsunami

Para generar escenarios probables de tsunamis en la zona costera de la ciudad de Asia, se considera la metodología de modelamiento numérico haciendo uso de la siguiente información:

.- Datos topográficos y batimétricos: Los datos de batimetría local provienen de las cartas 224, 225 y 2245, además de sondajes realizados por la Dirección de Hidrografía de la Marina de Guerra del Perú (DHN), siendo su muestreo de 30 metros. La topografía local fue construida a partir del levantamiento topográfico in situ con una resolución de 10 metros.

.- Modelo de fuente sísmica: Se considera como escenario un sismo de magnitud 8.5 Mw con epicentro frente a la zona costera de Asia y sus parámetros, así como la orientación de la fuente sísmica, fueron tomados del sismo ocurrido en el año 1966 (sismo de Lima). Otros parámetros, como las dimensiones del área de ruptura fueron estimadas utilizando las relaciones de Papazachos (2004).

.- Modelado numérico de tsunamis, TUNAMI-N2: El proceso de modelado numérico requiere tener el conocimiento sobre los procesos físicos de las tres fases de un tsunami: generación, propagación e inundación. Para el modelado se utiliza el algoritmo TUNAMI-N2 (Goto y Ogawa, 1992). Para una determinada condición de la fuente sísmica, el modelo TUNAMI-N2 simula la generación, propagación e inundación del tsunami con una exactitud bastante alta (comparación con muchos tsunamis históricos). Así mismo, proporciona información sobre el tiempo de arribo de la primera ola y su altura en una determinada región costera, además de los niveles de inundación horizontal.

Los resultados obtenidos en la simulación numérica del tsunami indican que las primeras olas llegarían a la zona costera de Asia y alrededores en 23-25 minutos después de ocurrido el sismo y con alturas del orden de 6-7 metros en las playas Sol y Mar, Bonita, Costa Azul, Palabritas, Cocos y Las Gaviotas, de 4-5 metros en las playas Lobo Blanco, El Golf, Bora Bora, Blanca, Flamencos, La Isla, Las Brisas, Rosario de Asia y Albatroz (Figura 19).

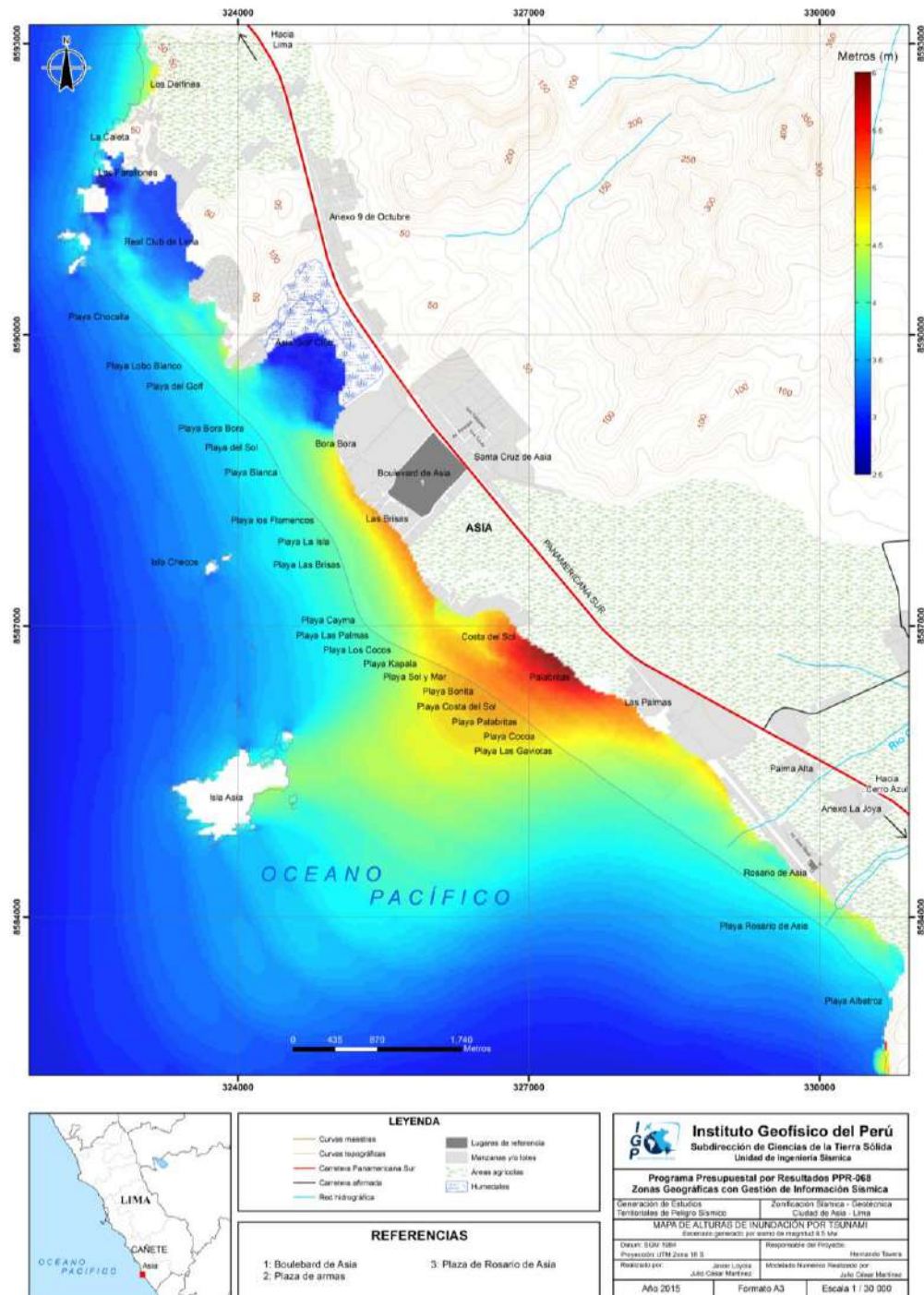


Figura 19: Altura de inundación por tsunami en la zona costera de la ciudad de Asia y alrededores

En relación a los niveles de inundación, en la Figura 20 se observa que el tsunami alcanzaría distancias de 1300 metros a la altura del Real Club de Lima y en la playa Chocla, 1200 metros a la altura del Asia Club y a las playas del Sol, Bora Bora y Blanca, 800 metros en las playas Costa del Sol y Palabritas, 600 metros en el Boulevard de Asia, 500 metros en las playas Rosario de Asia, Los Delfines, La Caleta, Los Farallones y Albatroz

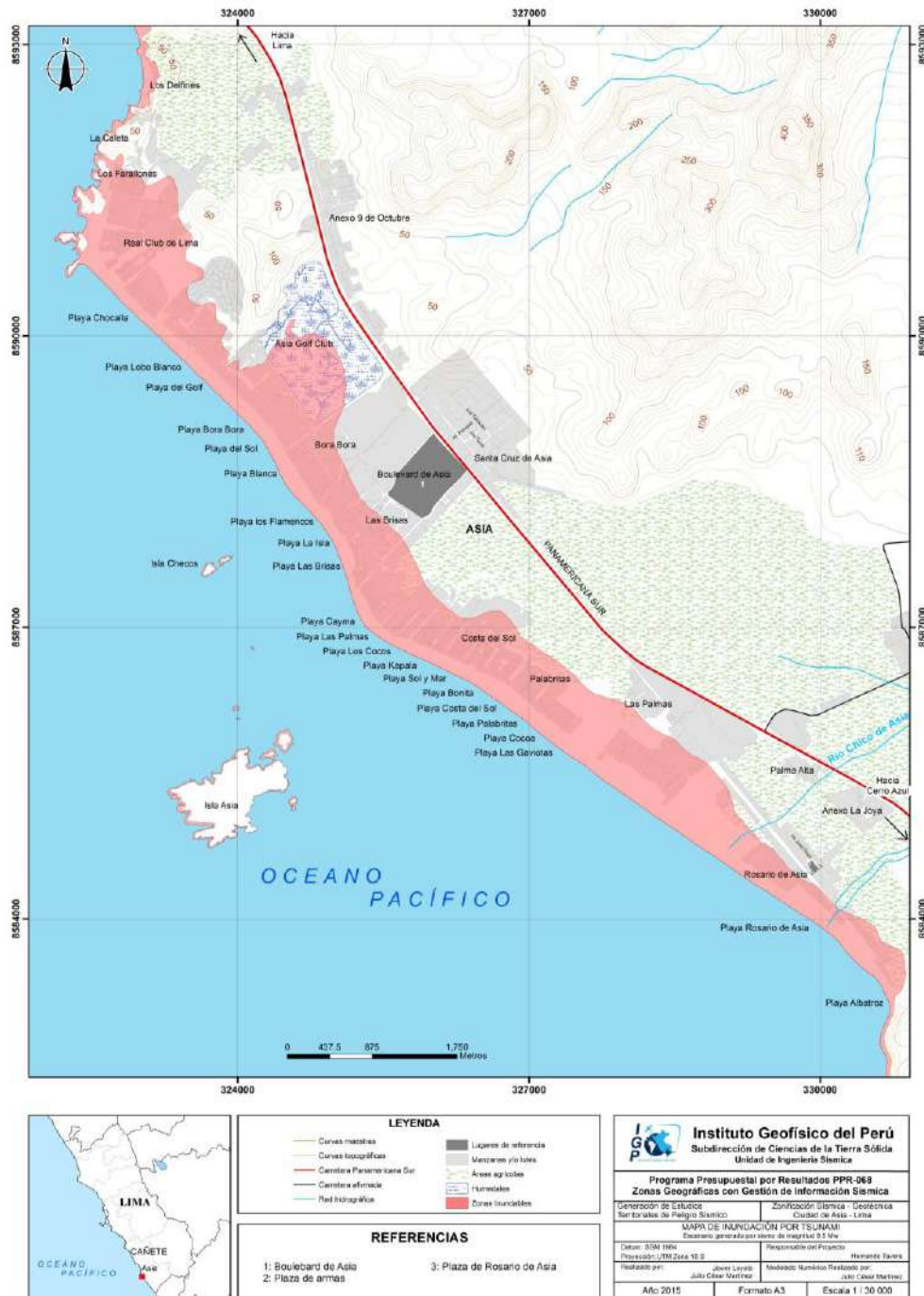


Figura 20: Inundación horizontal por tsunami en la zona costera de la ciudad de Asia y alrededores

9.- GEOMORFOLOGÍA, GEOLOGÍA Y GEODINÁMICA

9.1. Geomorfología

Los rasgos geomorfológicos presentes en la ciudad de Asia y alrededores son el resultado de la interacción de fuerzas endógenas y exógenas. Las primeras actúan como fuerzas creadoras de las grandes elevaciones y depresiones formadas principalmente por movimientos de componente vertical y las segundas, como desencadenantes de una continua denudación que tiende a rebajar el relieve originado, estos últimos llamados procesos de geodinámica externa que se agrupan en la cadena de meteorización-erosión, transporte y sedimentación (Gutiérrez, 2008).

Para este estudio, en base a la topografía de terreno y al uso de herramientas computacionales como SIG y CAD, se ha elaborado el mapa digital de terreno y plano de pendientes a fin de delimitar las características del terreno, las mismas que fueron verificados y validados durante el trabajo de campo realizado en la ciudad de Asia. El modelo digital del terreno (MDT), representa a una superficie en 3D construida para un área de 39 km², y se concluye que la zona urbana de la ciudad de Asia se asienta sobre un relieve plano (abanico aluvial) con altitudes menores a 30 msnm; mientras que, en los alrededores, hacia el extremo este de la ciudad, se observan relieves que alcanzan alturas de hasta 300 m.s.n.m. (Figura 21).

Por otro lado, el plano de pendientes representa los diferentes grados de desnivel del terreno; es decir, identifica las geoformas del terreno en razón que influye en la formación de los suelos y condiciona el proceso erosivo, cuanto más pronunciada sea pendiente, la velocidad del agua de escorrentía será mayor, no permitiendo la infiltración del agua en el suelo (Belaústegui, 1999). El mapa de pendientes para la ciudad de Asia fue desarrollado a partir del MDT y para la clasificación de los rangos de pendientes se utilizó como fuente el Boletín N° 29 Serie C publicado por INGEMMET (2006). Según esta información, la ciudad de Asia se encuentra ubicada sobre terrenos cuyas pendientes son del orden de 5° (800 Ha aproximadamente); mientras que, hacia los extremos NE y SE, zonas de lomadas, las pendientes varían entre 20° y 35° (Figura 22).

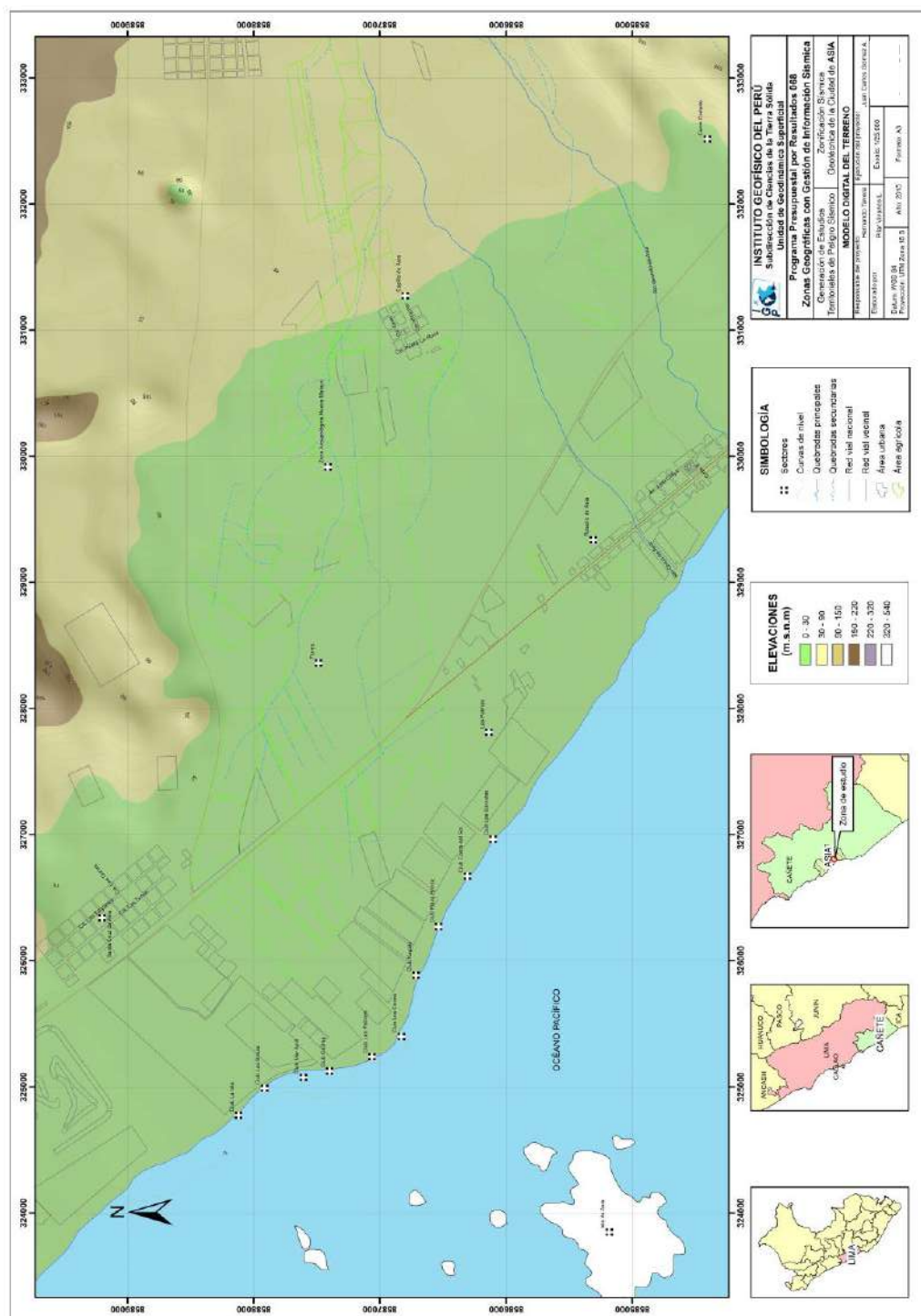


Figura 21: Mapa del modelo digital del terreno (MDT) para la ciudad de Asia y alrededores



9.1.1. Unidades geomorfológicas

En el área sobre la cual se emplaza la ciudad de Asia se ha identificado la existencia de 5 unidades geomorfológicas y de acuerdo a su origen fueron clasificados en (Figura 23):

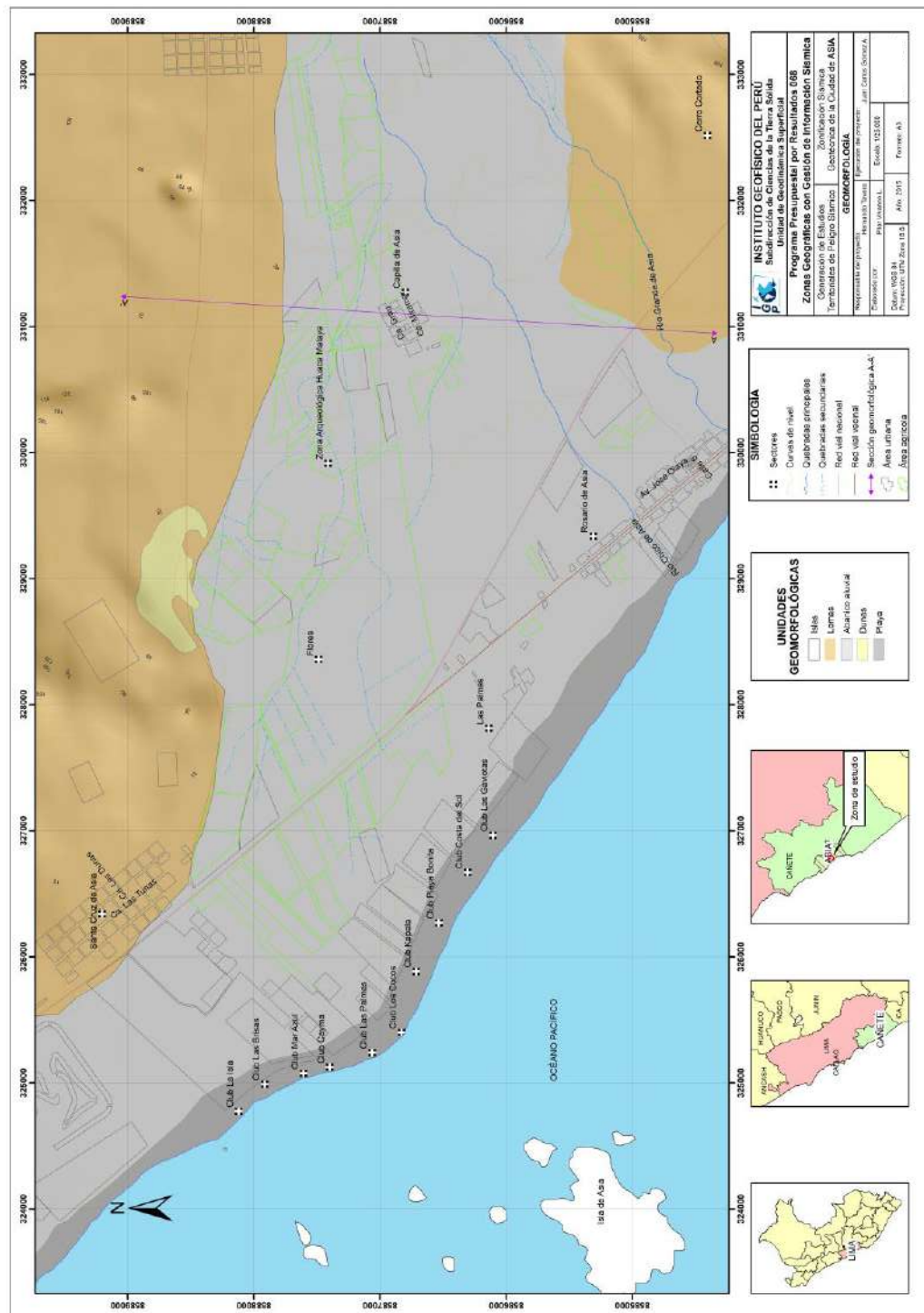


Figura 23: Mapa geomorfológico de la ciudad de Asia y alrededores

9.1.1.1.- Origen tectónico

Son aquellas geoformas generadas a partir de la combinación de procesos endógenos (internos) y exógenos (externos), los cuales crean cambios significativos sobre la superficie. Sin las fuerzas internas, la tierra tendría una superficie uniforme, pero fue el tectonismo quien desarrollo las actuales formas del relieve, siendo le mayor producto de estas fuerzas la presencia de la Cordillera de los Andes. Estas geoformas están sometidas a procesos de erosión, denudación y meteorización que provocan el desgaste de las mismas. Algunas de estas estructuras conforman las actuales islas.

.- Islas: Zona de tierra firme conformada por rocas ígneas y rodeadas completamente por una masa de agua. Estas geoformas están ubicadas a 1.4 km al oeste de la ciudad de Asia, en el Océano Pacífico.

9.1.1.2.- Origen denudacional

Todas las tierras emergidas, sean por procesos orogénicos o epirogénicos, constituyen el estado inicial de un gran ciclo de denudación, el mismo que comprende un conjunto de procesos (meteorización y/o erosión) que determinan la degradación o erosión de la superficie del terreno. Los procesos de denudación actúan sobre cualquier tipo de roca sin considerar su estructura o composición, y a la vez aceleran o retardan los procesos de desgaste de la misma. En la ciudad de Asia se ha desarrollado el modelado de geoformas en rocas intrusivas debido al accionar de agentes como el agua y el viento, dando lugar a la formación de lomadas.

.- Lomas: Corresponden a elevaciones del terreno con desniveles menores a 300 m. y pendientes de 20° a 35°. Estas geoformas se caracterizan por tener configuración basal alargada y dos vertientes que se inclinan en dirección opuesta. Estas geoformas han sido modificadas por la acción del viento (erosión eólica), escorrentías de aguas superficiales y la actividad antrópica. Esta unidad ocupa el 42% de la superficie de la zona de estudio y está constituida principalmente por rocas intrusivas del batolito de la costa ubicado en el extremo sur de la ciudad de Asia, conocida por los lugareños como “cerro Cortado”, Figura 24.



Figura 24: Loma conocida como “Cerro Cortado” ubicado en el extremo SE de la ciudad de Asia.

9.1.1.3.- Origen deposicional

Comprende geoformas resultantes de la deposición de fragmentos o sedimentos originados durante los procesos de erosión de rocas preexistentes y cuyos materiales han sido transportados y acumulados en áreas geográficas generalmente de baja pendiente. Entre las unidades geomorfológicas directamente relacionadas con la dinámica fluvial, eólica y marina se encuentran las siguientes:

.- **Abanico aluvial:** *Corresponde a una superficie ligeramente inclinada (pendientes menores a 12°) y formada por corrientes de agua que fluyen rápidamente para depositarse en zonas llanas conformando conos o abanicos. El abanico sobre el cual se asienta la ciudad de Asia (sectores de Capilla de Asia, Rosario de Asia y el Balneario Las Palmas,) está constituido por materiales heterogéneos (clastos angulosos a subredondeados en matriz areno-arcillosa) y ocupan el 53 % del área en estudio, Figura 25.*

.- **Dunas:** *Son depósitos de arena que resultan de las acumulaciones de partículas transportadas por el viento predominante que llega desde el Océano Pacífico con una dirección NNE. Presentan alturas máximas de 2.20 m. y mínimas de 1.20 m. con longitudes que varían desde 8 a 15 m. aproximadamente. Estas dunas presentan una estructura de tipo barcanas o media luna, su cresta es perpendicular a la dirección del flujo de arena y sus*

cuernos apuntan en el sentido de la dirección del viento. La cresta es convexa y de menor pendiente que la parte concava. Estas geoformas, ocupan el 1 % de la superficie de la ciudad y se encuentran a 2.5 km al noreste del sector Flores, Figura 26.



Figura 25: Abanico aluvial sobre el cual se asienta la ciudad de Asia (línea de color amarillo).

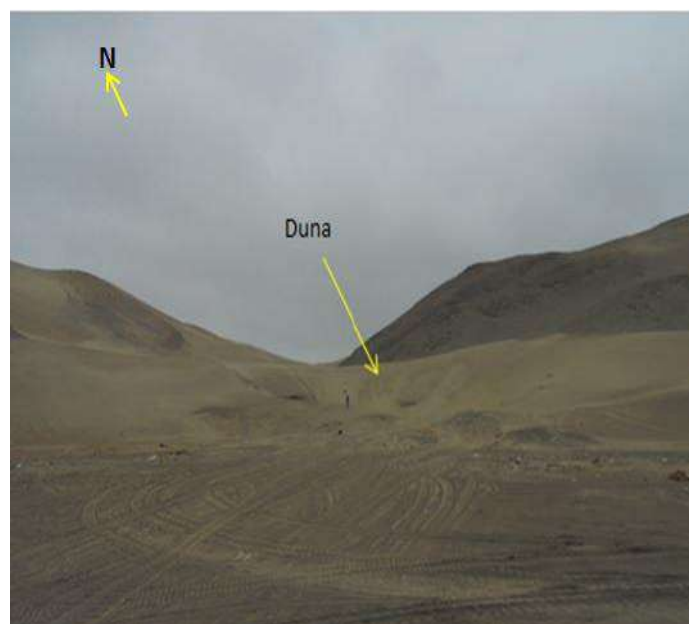


Figura 26: Duna tipo barcana o media luna ubicada a 2.5 km en dirección este del boulevard de Asia.

Actualmente, a una distancia de 2.5 km en dirección NE del centro poblado Flores, así como a 600 m al sur del sector Capilla de Asia, se ha identificado dunas en proceso de formación.

.- **Playa:** Corresponde a superficies planas adyacentes al litoral costero, cuyo relieve presenta pendientes menores a 2° . Por lo general, se caracterizan por tener forma alargada y/o recta. Está constituida por depósitos eólicos, fluviales y marinos. En la ciudad de Asia, las playas se extienden a lo largo de 12 km aproximadamente y con anchos que van incrementándose de norte a sur, puesto que en esa dirección se produce la dinámica erosiva y de sedimentación. Esta geoforma ocupa el 4 % de la superficie de la ciudad, Figura 27. Asimismo, se ha observado que el proceso de oleaje en el área costera de la ciudad, está erosionando la zona de playa dando lugar a la formación de terrazas. Este proceso es permanente, tal como ocurre en el sector Rosario de Asia donde el mar ingresa hasta los 70 m. sobre el continente, formando una terraza de 1.10 m. de alto y 30 m. de longitud aproximadamente, así como, al norte en la zona del boulevard que produjo el deterioro del muro de los condominios, Figura 28.



Figura 27: La zona de palaya en la ciudad de Asia se extiende a lo largo de 12 km.



Figura 28: El proceso de oleaje en el sector Rosario de Asia, incide desde la línea de costa hasta los 70 m. sobre el continente, dando lugar a una terraza de 30 m. de longitud con una altura de 1.10 m. aproximadamente en el condominio La Joya (vista desde el norte).

9.2.- Geología

La geología es la ciencia que se encarga del estudio de la tierra teniendo en cuenta aspectos como: origen, estructura, composición, evolución, así como los distintos procesos internos y externos que se desarrollan en ella a través del tiempo. Para la comprensión de dichos procesos es necesario la interacción de la geología con otras disciplinas como:

Geología histórica: Se encarga del estudio de los distintos procesos por los que ha pasado el planeta Tierra, desde su origen hasta la actualidad, para ello se creó una división cronológica conocida como “escala del tiempo geológico” que se subdivide en: eras, períodos, edades, etc.

Geología estructural: Se encarga del estudio del comportamiento de la corteza terrestre ante la acción de los diversos esfuerzos tectónicos que generan diversidad de estructuras geológicas tales como: pliegues, fallas, estratificaciones, entre otros.

Además, existen otras disciplinas como la vulcanología, geomorfología, geodinámica y geotecnia, encargadas del estudio de las rocas para la extracción de depósitos de minerales, hidrocarburos, aguas subterráneas, ingeniería sísmica, entre otros. En el presente estudio, se hace incidencia en el reconocimiento de las formaciones geológicas (litologías) y depósitos del cuaternario en la ciudad de Asia y alrededores.

9.2.1- Geología regional

Para describir las principales unidades geológicas, se tomó como base la información regional descrita por Salazar y Landa (1993) a escala 1/100000. Estos autores describen las unidades litológicas aflorantes en las inmediaciones de la zona de estudio, todas con edades entre el Mesozoico Inferior y Cuaternario Reciente. Estas unidades están conformadas por rocas volcánicas y sedimentarias, de las cuales se tiene como substrato rocoso a la Formación Marcavilca, constituida principalmente areniscas cuarzosas de grano fino a medio, color gris a marrón, intercaladas con lutitas y rocas volcánicas del tipo andesita. Sobreyaciendo a estas se tiene rocas volcánicas de la Formación Chilca cubiertas por la Formación Cañete constituida por arenas de grano medio intercalados con niveles conglomerados semiconsolidados. Además, existen cuerpos que instruyen a las formaciones antes descritas como son rocas intrusivas de la Superunidad Jecuan del Cretácico Superior, constituidas por granitos, Figura 29.

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS			Rocas Intrusivas
CENOZOICO	CUATERNARIO	Holoceno	Dep. Eólicos	Qh-e		
			Dep. Aluviales	Qh-al		
			Dep. Marinos	Qh-m		
	NEOGENO	Pleistoceno	Fm. Cañete	Qpl-c		
		Plioceno				
MESOZOICO	CRETÁCIICO	Mioceno				
		Superior				Superunidad Jecuan Ks-je/gr 
		Inferior	Fm. Chilca	Ki-chi		
			Fm. Marcavilca	Ki-ma		

Figura 29: Columna cronolitoestratigráfica de unidades aflorantes en la ciudad de Asia y alrededores.

9.2.2- Geología local

In situ, se procedió con el reconocimiento y cartografiado de las unidades litológicas aflorantes en la ciudad de Asia a escala 1:25,000, sobre un área de 39 km² aproximadamente (Figura 30). A continuación se describen las principales características de estas unidades estratigráficas.

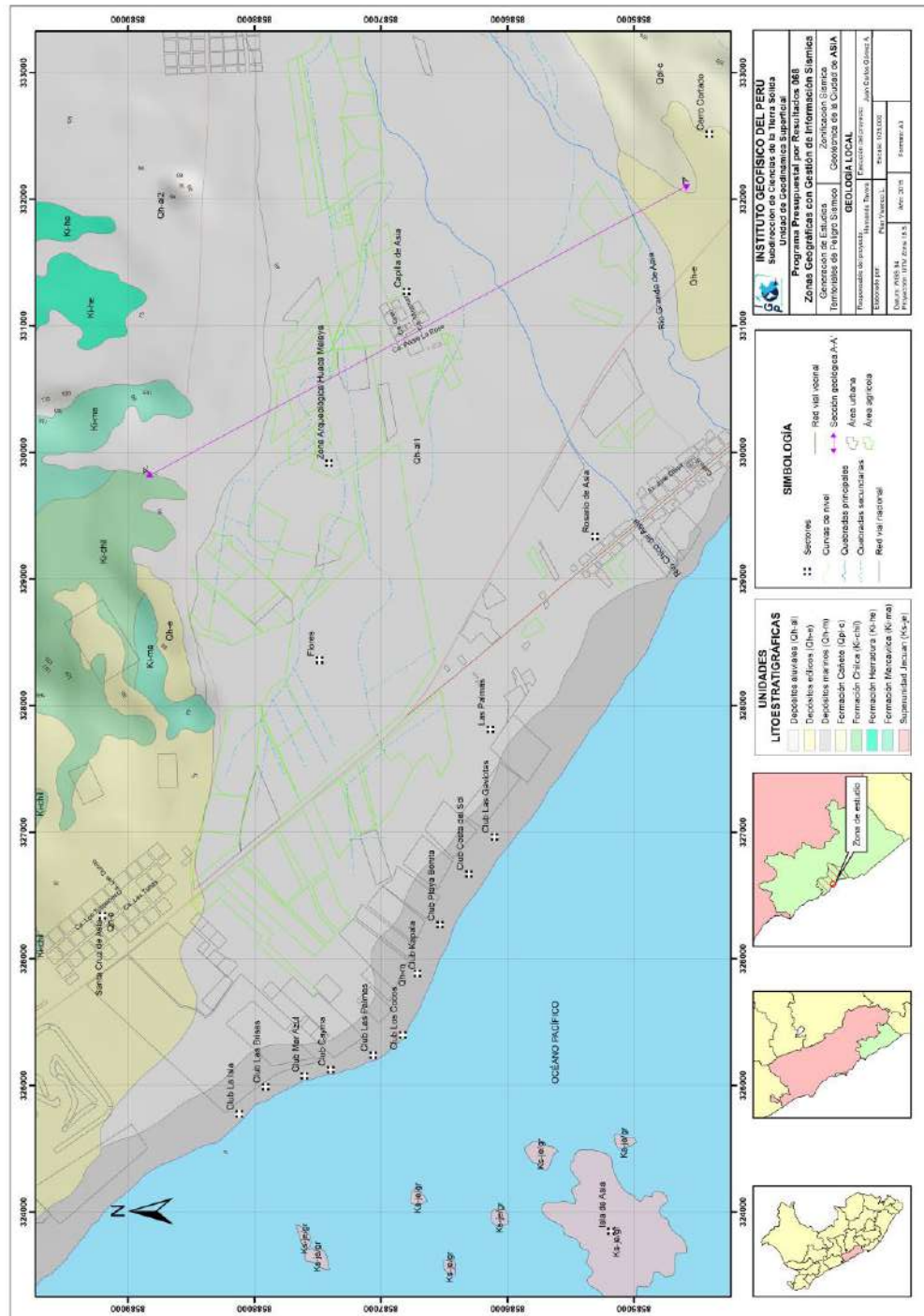


Figura 30: Mapa geológico local de la ciudad de Asia y alrededores

Formación Marcavilca (Ki-ma): Constituida por areniscas cuarzosas de grano fino a medio, color gris a marrón, intercaladas con lutitas y rocas volcánicas. Se estima que presenta un espesor de 200 m, disminuyendo de este a oeste. Esta formación aflora a 100 m al Este del centro poblado Santa Cruz de Asia, Figura 31.



Figura 31: Afloramiento de rocas volcánicas de la formación Marcavilca ubicada a 2 km al norte del sector Capilla de Asia.

.- **Formación Chilca (Ki-chil):** Esta formación está conformada por rocas volcánicas del tipo andesitas gris verdosas e intercaladas con calizas grises a negras y areniscas. Esta formación aflora a 2 km al Norte del centro urbano Capilla de Asia, presenta una longitud de 450 km y espesor inferido de 60 metros.

.- **Formación Cañete (Qpl-c):** Esta formación está constituida por arenas de grano medio, intercaladas con niveles conglomerados semiconsolidados, de diámetro entre 1" a 3". La formación es observada en los taludes del cerro Cortado y se le estima un espesor de 30 m aproximadamente, Figura 32.

.- **Depósitos cuaternarios:** Suprayaciendo al substrato rocoso conformado por rocas volcánicas (andesitas), se encuentran los depósitos Cuaternarios de edad Holocena, principalmente de origen aluvial, eólico y marino. Las características de estos depósitos se describen a continuación:



Figura 32: Corte en la carretera Panamericana Sur, km 105. Obsérvese estratos de la Formación Cañete.

Depósitos aluviales (Qh-al): Están constituidos por gravas subredondeadas a redondeadas, mayores a 1" de diámetro y arenas de grano fino a medio, se observa en el corte de la carretera Rosario-Sarapampa. Estos materiales constituyen el suelo sobre el cual se asientan el centro urbano Capilla de Asia y el centro poblado Rosario de Asia.

Depósitos eólicos (Qh-e): Constituidos por arenas de grano medio, transportados cuando el viento disminuye su velocidad y energía disponible, permitiendo la acumulación de partículas. Otro factor que contribuye a su depositación es la presencia de una geoforma que impida su avance como estructuras rocosas. Estos depósitos están ubicados a 2 km al noroeste de la municipalidad de Asia, Figura 33.



Figura 33: Depósitos eólicos ubicados a 2 km en dirección este con respecto al centro poblado Flores.

Depósitos marinos (Qh-m): Estos depósitos están conformados por arenas finas presentes en la zona costera desde el centro poblado Rosario de Asia hasta la zona de balnearios sobre una longitud de 4.2 km aproximadamente, ver Figura 34.



Figura 34: Depósitos marinos, sector de Rosario de Asia

.- **Rocas Intrusivas:** Estas rocas tienen su origen en la solidificación de una mezcla fundida llamada magna que se encuentra en el interior de la corteza.

Superunidad Jecuan (Ks-je/gr). Esta unidad aflora en la isla Asia a 1.4 km al oeste de la línea de costa en el Océano Pacífico.

9.3.- Geodinámica

La geodinámica abarca el estudio de los procesos y cambios físicos que ocurren constantemente sobre la superficie de la Tierra. Estas transformaciones son posibles debido a la intervención de agentes internos y externos que crean, forman, degradan y modelan la superficie terrestre. Esta rama de la geología se subdivide en:

.- **Geodinámica interna:** El territorio peruano está sometido a una constante actividad sísmica, debido a la interacción de las placas Sudamericana y Nazca, escenario

considerado como la primera fuente sismogénica en el Perú debido a la frecuencia de sismos y por dar origen a los eventos de mayor magnitud. La segunda fuente, la constituye la zona continental, cuya deformación ha dado origen a la formación de fallas de diversas longitudes con la consecuente ocurrencia de sismos de magnitudes menores (Cahill et al, 1992; Tavera et al, 2001). Históricamente, la ocurrencia de sismos en la zona de estudio, se constituye como el principal detonante de eventos geodinámicos como los movimientos en masa, la caída de rocas y derrumbes.

.- **Geodinámica externa:** La geodinámica externa estudia la acción de los procesos exógenos sobre la superficie de la Tierra. En tal sentido, las precipitaciones pluviales son las de mayor incidencia en la geodinámica del territorio, pues constituyen el principal factor detonante de los Movimientos en Masa (MM), como los deslizamientos, derrumbes y caída de rocas; los cuales a su vez afectan la seguridad física de los centros poblados donde ocurren este tipo de eventos.

El evento geodinámico predominante en el distrito de Asia, son los movimientos de masa del tipo caída de rocas y sus características se describen a continuación (Figura35).

9.3.1.- Movimientos en masa

Son movimientos que por efecto de la gravedad, ladera abajo, trasladan laderas abajo, rocas, detritos o tierras (Cruden, 1991). Para proceder a la clasificación de los movimientos en masa en la ciudad de Asia y alrededores, se hace uso de las tablas propuestas por Varnes (1958, 1978) y Hutchinson (1968, 1988). Estas tablas tienen en cuenta el tipo de movimiento y el tipo de material. En cuanto al primero, se considera 5 clases: caídas, volcamientos, deslizamientos, flujos y propagación lateral. Dentro de los materiales se consideran: rocas y suelos, estos últimos subdivididos en detritos y tierras. El trabajo de campo realizado en la ciudad de Asia y alrededores, ha permitido identificar procesos de caída de rocas, siendo sus características las siguientes:

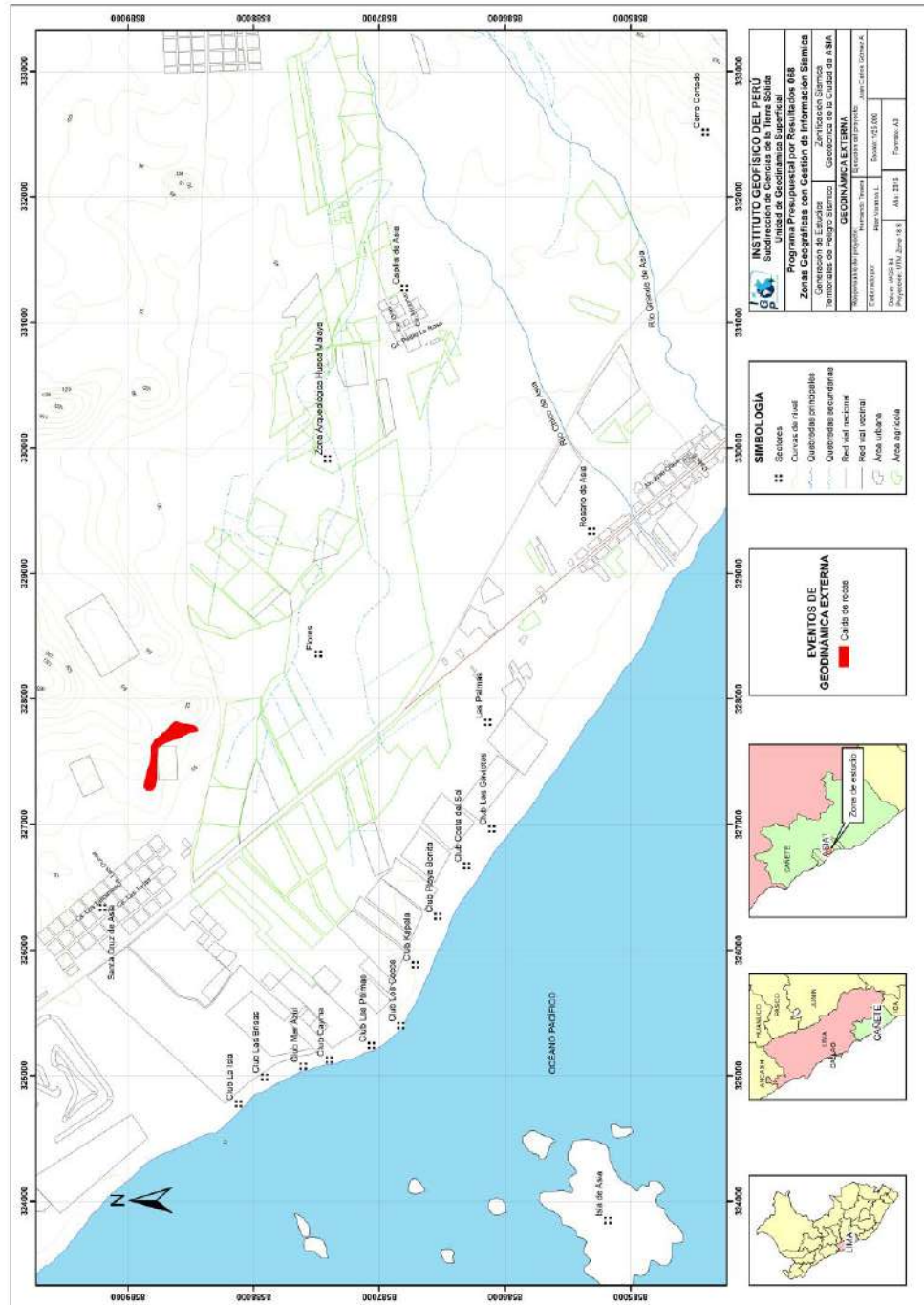


Figura 35: Mapa geodinámico local para la ciudad de Asia y alrededores

- Caídas de rocas: En este tipo de eventos, los clastos o fragmentos de rocas preexistentes se desprenden de una ladera, como resultado de procesos de erosión y meteorización, ya sea de origen natural o antrópico. En la ciudad de Asia y alrededores, estos movimientos en masa fueron identificados a 1 km del borde NE de Santa Cruz de Asia como desprendimientos de fragmentos de rocas con diámetros mayores a 2", ver Figura 36.



Figura 36: Fragmentos de rocas inestables ubicados a 1 km al NE de Santa Cruz de Asia.

10.- GEOTÉCNIA

Los estudios geotécnicos tienen por finalidad analizar y cuantificar las características físicas de los suelos, siendo su comportamiento relevante al momento de utilizarlo como elemento de medida para el soporte de una estructura determinada (cimentaciones). Para el estudio de los suelos en la ciudad de Asia se recolectó información según las siguientes técnicas:

.- Exploraciones a cielo abierto (calicatas, Norma ASTM D420): En la ciudad de Asia se construyeron 6 calicatas (Tabla 1 y Figura 37), siendo la profundidad máxima de observación del orden de 3.0 metros y la mínima de 2.5 metros (ver Anexos). Las profundidades varían porque algunos suelos están conformados por materiales muy compactos y difíciles de escavar como los caliches.

Tabla 1: Coordenadas UTM para la identificación de las calicatas (NP= no presenta)

CALICATA	UTM ESTE (m)	UTM NORTE (m)	ELEVACIÓN (m.s.n.m.)	PROFUNDIDAD (m)	NIVEL FREÁTICO A (m)
C - 01	330003	8585667	30	2.80	N.P.
C - 02	330889	8587034	59	2.70	N.P.
C - 03	326468	8589073	21	3.00	N.P.
C - 04	329912	8584204	13	2.50	2.50
C - 05	328073	8586346	9	2.90	N.P.
C - 06	331253	8586655	64	2.80	N.P.

.- Densidad de suelo in situ (Norma ASTM D1556): En cada punto de exploración se realizó ensayos de campo aplicando el método del cono a fin de conocer la densidad y el contenido de humedad del suelo en condiciones naturales (ver Anexo). Esta información es necesaria para la preparación de las muestras de suelo al momento de realizar los ensayos de corte directo. En la Tabla 2 se presenta los resultados obtenidos en cada punto de observación, los mismos que sirven para identificar las condiciones naturales del terreno (compactación y humedad), información necesaria para desarrollar los ensayos de corte directo en las muestras de suelo en su estado inicial. Para la Calicata C-01, no se realizó el ensayo de densidad debido a que se identificó la presencia de suelos gravosos.

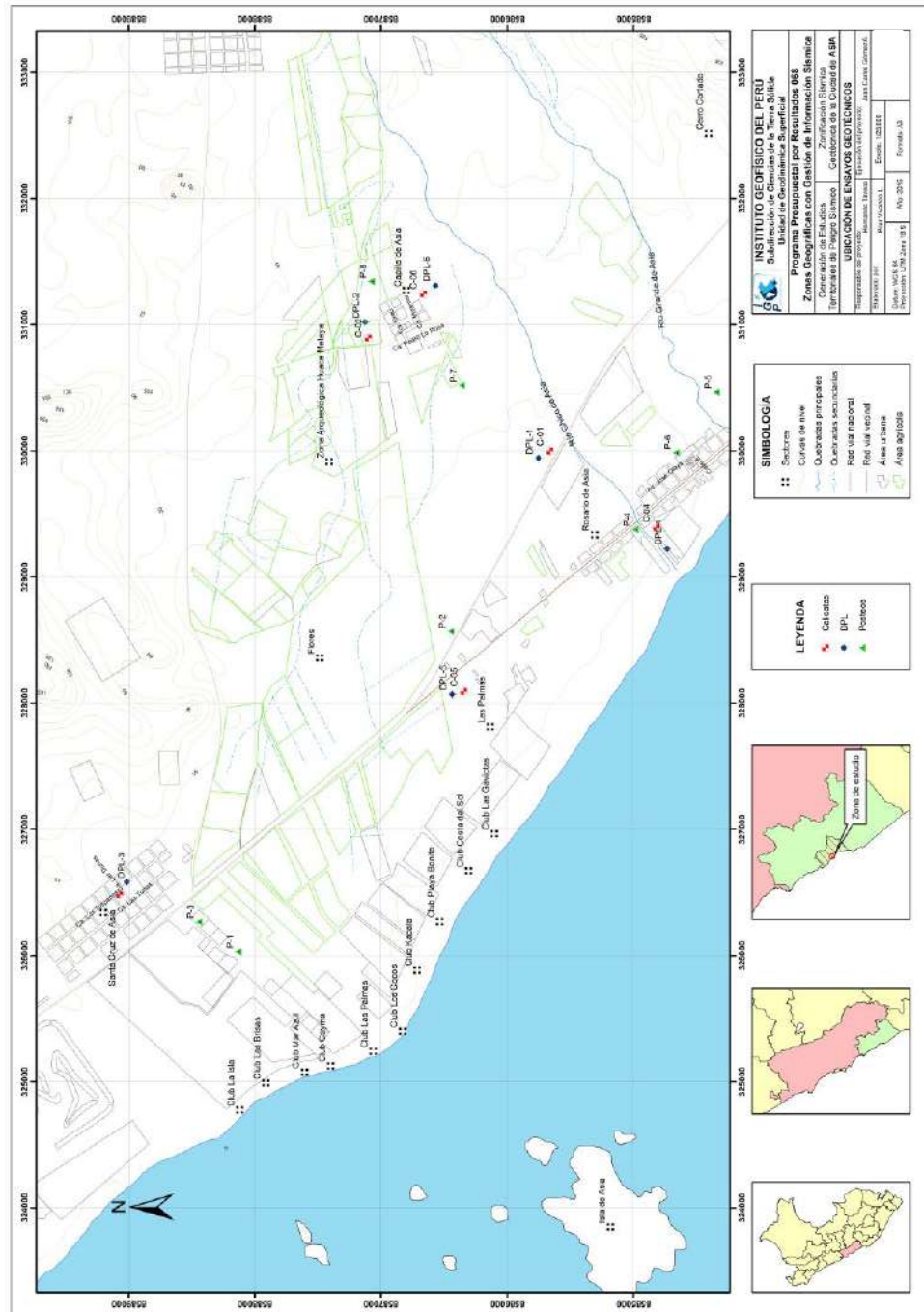


Figura 37: Mapa de ubicación de calicatas y postes de suelos en la ciudad de Asia

Tabla 2: Valores de densidades de suelo in situ obtenidas para la ciudad de Asia

CALICATA	MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	DENSIDAD HÚMEDA (gr/cm ³)	DENSIDAD SECA (gr/cm ³)
C - 01	DC-A - 01	2.80	N.P.	N.P.
C - 02	DC-A - 02	2.70	1.12	1.04
C - 03	DC-A - 03	3.00	1.65	1.63
C - 04	DC-A - 04	1.40	1.35	1.33
C - 05	DC-A - 05	2.90	1.24	1.02
C - 06	DC-A - 06	0.45	1.40	1.39

- Exploración con posteadora manual (Norma ASTM D1452): A fin de completar la información geotécnica, se procedió a realizar 8 muestreos adicionales de suelo utilizando una posteadora manual (Tabla 3), siendo en este caso, la máxima profundidad de observación de 2.70 metros y la mínima del orden de 0.20 cm (ver Anexos), debido principalmente a que los suelos están constituidos por arenas con presencia de gravas. Estas exploraciones fueron distribuidas entre las calicatas, en lugares donde no existe información geotécnica a fin de tener mejor caracterización de los suelos en la ciudad de Asia.

Tabla 3: Coordenadas UTM para la identificación de los posteos y clasificación SUCS en la ciudad de Asia

POSTEOS	UTM ESTE(m)	UTM NORTE(m)	ELEVACIÓN (m.s.n.m.)	PROFUNDIDAD (m)	TIPO DE SUELO	NIVEL FREÁTICO ENCONTRADO A
Post - 01	3266033	8588130	18	0.30	SP	N.P.
Post - 02	328570	8586444	23	1.60	SM	N.P.
Post - 03	326269	8588442	22	2.70	SM	2.50
Post - 04	329379	8584984	22	0.5	SM	N.P.
Post - 05	330467	8584340	26	0.20	SM	N.P.
Post - 06	339989	8584660	29	0.30	CL	N.P.
Post - 07	330518	8586357	48	0.80	CL	N.P.
Post - 08	331346	8587075	57	2.50	SM	N.P.

.- Ensayo de penetración dinámica ligera (DPL, Norma DIN4094): Se procedió a estimar la resistencia del suelo al hincado del cono dinámico en 6 puntos dentro de la ciudad de Asia (Tabla 4). Estos ensayos se realizaron hasta una profundidad máxima de 2.90 metros y mínima de 0.45 metros debido a que los suelos son granulares de origen aluvial (gravas y arenas mal graduadas) con ángulos de fricción de 27° y 40° en promedio (ver Anexos). Asimismo, se ha determinado que los suelos tipo arena mal graduada presentan valores de ángulo de fricción superiores a los 35° en promedio; por tanto, son de consistencia compacta a suelta; mientras que, los suelos tipo arena limosa, generalmente presentan ángulos de fricción menores a los 30° y consistencia suelta (inconsolidado).

Tabla 4: Coordenadas UTM para la ubicación y profundidad de los ensayos de penetración ligera

DPL	UTM ESTE(m)	UTM NORTE(m)	ELEVACIÓN (m.s.n.m.)	PROFUNDIDAD (m)	NÚMERO DE GOLPES	ϕ
DPL - 01	330002	8585662	40	0.75	45	39.7
DPL - 02	330897	8587100	60	2.90	45	39.7
DPL - 03	326483	8589073	26	0.65	40	38.5
DPL - 04	329250	8584792	18	2.50	4	27.6
DPL - 05	328094	8586343	24	2.90	18	32.7
DPL - 06	331245	8586664	67	0.45	45	39.7

Dónde: ϕ = Ángulo de fricción interna

10.1.- Clasificación de suelos SUCS

En base a la información geotécnica recopilada de las calicatas, posteos y de los resultados obtenidos de los ensayos granulométricos realizados en el laboratorio de la Universidad La Molina, se realiza la clasificación de suelos SUCS para la ciudad de Asia. Se ha identificado la existencia de 4 tipos de suelos cuyas características se describen a continuación (Figura 38 y Tabla 5):

.- Suelos tipo GP: Estos suelos están conformados por gravas arenosas pobremente graduada con poco contenido de material fino (2%). Su contenido de humedad es de 1.27%, constituyen suelos semicompactos, no presenta plasticidad. Este tipo de suelos han sido identificados en un 8% de la superficie estudiada, principalmente en la calicata C-01 ubicada en Santa Cruz de Asia.

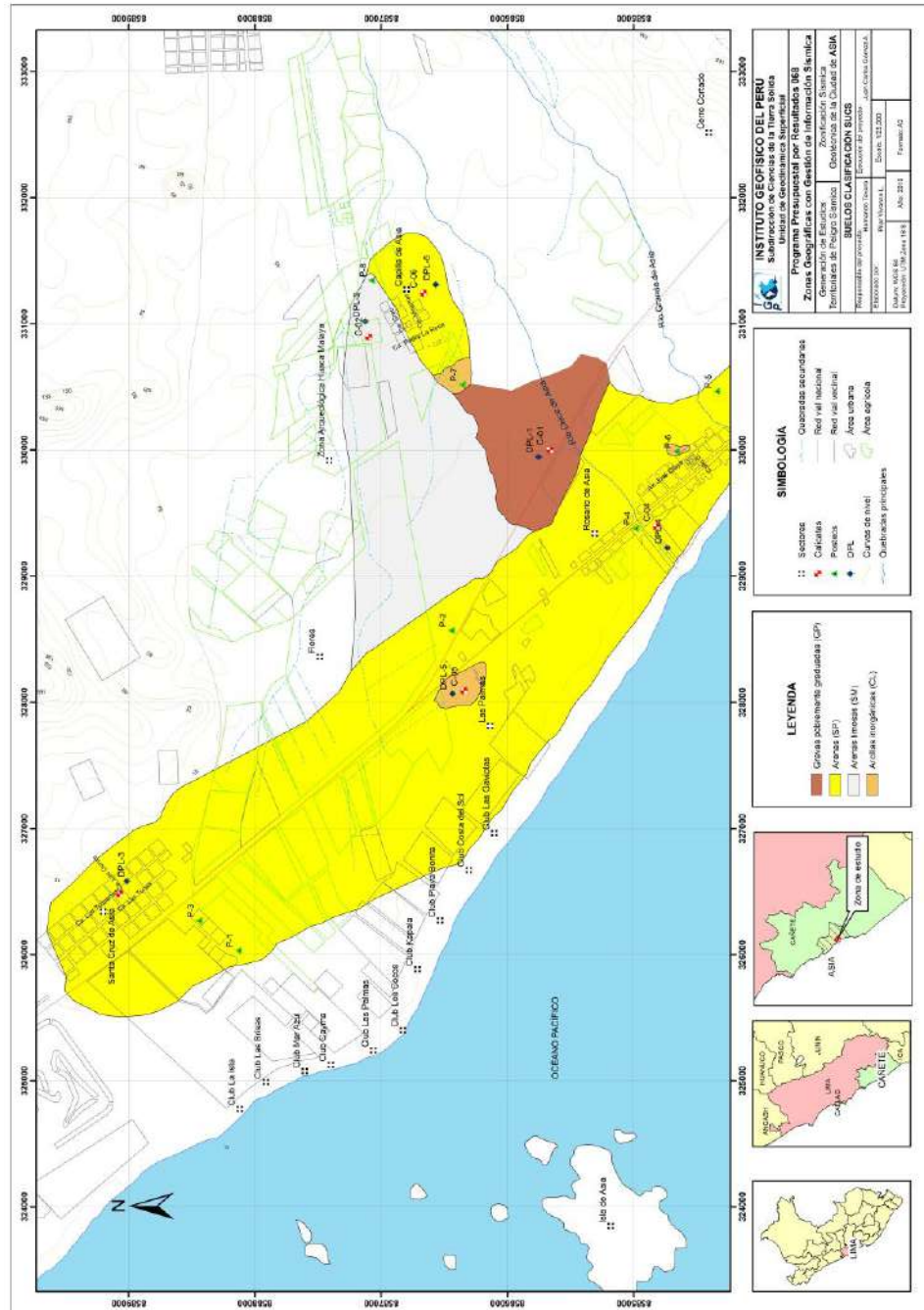


Figura 38: Mapa de clasificación SUCS de suelos en la ciudad de Asia y alrededores

- Suelos tipo SP: Este tipo de suelos están conformados por gravas arenosas mal graduadas y contenido de humedad es de .64% a 28.23%, siendo considerados como suelos semicompactos. No presentan plasticidad debido a la escasa presencia de material fino. Estos suelos están presentes en el 71 % de la zona de estudio y han sido identificados en la calicata CH-06 ubicada en la MzB2 Capilla de Asia, calicata C-04 en Rosario de Asia con el nivel freático a 2.5 metros y la calicata C-03 en Santa Cruz de Asia.

Tabla 5: Valores obtenidos en la clasificación de suelos en la ciudad de Asia (N.P. = no presenta)

CALICATA	PROFUNDIDAD (m)	NIVEL FREÁTICO A (m)	GRAVAS % (>4.76 mm)	ARENAS % (>0.074 mm, <4.76 mm)	FINOS % (<0.074 mm)	LÍMITE LÍQUIDO (%)	LÍMITE PLÁSTICO (%)	ÍNDICE PLÁSTICO	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	CLASIFICACIÓN SUCS	DENOMINACIÓN
C - 01	2.80	N.P.	58	41	1	N.P.	N.P.	N.P.	4.10	GP	Grava arenosa
C - 02	2.70	N.P.	N.P.	90	10	N.P.	N.P.	N.P.	4.30	SM	Arena fina, limosa
C - 03	3.00	N.P.	N.P.	99.36	0.38	N.P.	N.P.	N.P.	1.64	SP	Arena mal graduada
C - 04	2.50	2.50	34.24	66.09	0.66	N.P.	N.P.	N.P.	2.67	SP	Arena mal graduada
C - 05	2.90	N.P.	5	32	63	30	20	10	16.80	CL	Arcilla limosa
C - 06	2.90	N.P.	1.32	97.93	0.75	N.P.	N.P.	N.P.	0.89	SP	Arena mal graduada

.- Suelos tipo SM: Están conformados por arenas limosas. Su contenido de humedad es de 0.89%, constituyen suelos compactos y no presentan plasticidad. Estos suelos representan el 19% del área de Asia y han sido identificados en la calicata C-02 en el centro urbano Capilla de Asia.

.- Suelos tipo CL: Estos suelos están conformados por arcillas inorgánicas, arcillas limosas, el contenido de humedad es de 16.8% por lo que se considera que su capacidad de retención (permeabilidad) es baja. Son suelos inconsolidados o sueltos y presentan plasticidad de ligera a baja (10%). Estos suelos representan el 2% de la zona de estudio, identificado en la calicata C-05 ubicada en el sector Palma Baja. No presente nivel freático.

10.2.- Potencial de licuación de suelos

La licuación es un fenómeno por el cual un suelo completamente saturado, con arenas sin cohesión, generalmente limpias, que pueden incluir algo de gravas puede ser licuefactado durante el movimiento sísmico (Rodríguez, 1997). Este proceso se presenta generalmente en materiales de granulometría uniforme, sueltos y totales o parcialmente saturados. Estos suelos durante un movimiento sísmico pierden su capacidad de resistencia y fluye hasta encontrar una configuración compatible con las cargas sísmicas.

El nivel freático superficial en un suelo, incrementa la probabilidad de ocurrencia de licuación; pues a menor distancia de la superficie, incide el mayor grado de licuación del suelo durante un evento sísmico. En la distribución de suelos, la zona de playa, es probable este fenómeno por la presencia del nivel freático a menos de 3.00 m. de profundidad. En la ciudad de Asia, sector Pampa Baja se identificó la presencia de zonas con potencial de licuación de suelos. El nivel freático en este sector se encuentra a 2.50 m por debajo del terreno. Este nivel es variable según la estación del año y asciende en periodos lluviosos. Para determinar el potencial de licuación de suelos se utilizó el método de Youd y Seed-Idris (2001), el cual determina el factor de seguridad ante el potencial de licuación de suelos, tomando como datos los resultados del laboratorio y la siguiente relación:

$$FL = \frac{(\tau_1/\sigma_s)}{(\tau_d/\sigma_s)}$$

Donde,

Si $FL > 1$ No se produciría licuación de suelos

Si $FL < 1$ Se produciría licuación de suelos

Por otro lado, para el cálculo del potencial de licuación es necesario estimar el esfuerzo total y efectivo en profundidad y para ello se utilizaron los datos de peso específico obtenidos del laboratorio. El esfuerzo total en profundidad está dado por:

$$\sigma_s = \gamma_1 * h_o + \gamma_2 * h$$

.y el esfuerzo efectivo total en profundidad por:

$$\sigma'_s = \gamma_1 * h_o + (\gamma_2 - 1) * h$$

Dónde:

El peso específico seco = $\gamma_1 (kg/cm^2)$

El peso específico saturado = $\gamma_2 (kg/cm^2)$

.h = profundidad sobre el nivel freático

.h_o = profundidad del nivel freático

Asimismo, el factor de corrección por profundidad viene dado por:

rd = 0.98, a 10 m. de profundidad.

rd = 1, en superficie.

Si rd está entre 0 y 10 m. = $rd = (1 - 0.015h_o)$

El esfuerzo del corte producido por sismo = $\frac{\tau_{av}}{\sigma}$

El esfuerzo de corte = (τ_d/σ_s) , se obtiene del análisis de los parámetros N1 con la siguiente relación:

$$\frac{\tau_d}{\sigma'_v} = 0.65 * \frac{a_{m\acute{a}x}}{g} * \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} * rd$$

Donde, la aceleración máxima en superficie = $a_{m\acute{a}x}$

y la aceleración máxima de la gravedad = g

Para la ciudad de Asia y alrededores, en la Tabla 6 se resumen los valores obtenidos para el potencial de licuación de suelos. Se debe considerar que el Esfuerzo cortante resistente = τ_i / σ'_v , se obtiene para $M=7.5$ y para suelos con distintos contenidos de finos, N_1 = valor de N corregido a una sobrecarga de 1 Kg/cm^2 y un 60 % de eficiencia y en este caso, se utilizaron los datos obtenidos con la técnica del DPL.

Tabla 6: Resumen de datos para el cálculo de potencial licuación de suelos

Calicatas	σ_v (kg/cm ²)	σ'_v (kg/cm ²)	rd	τ_i / σ'_v	NÚMERO DE GOLPES	CN	N_1	$(\tau_i / \sigma'_v)_r$ M=7.5
C - 04	0.4915	0.4912	0.98	0.10	4	1.42	4.26	0.33

Finalmente, se obtiene los siguientes valores:

$$FL = \frac{0.1}{0.33} = 0.333$$

Según estos resultados, en el sector Pampa Baja se espera se desarrollen procesos de licuación de suelos (Youd, 2001).

10.3.- Ensayo de corte directo (Norma ASTM D3080)

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 como producto de la aplicación de una carga. Esta resistencia a la cortante en el suelo se debe a dos componentes: la cohesión (relacionado comportamiento plástico que presentan las partículas finas de una muestra) y el ángulo de fricción interna (rozamiento que

existe en las partículas granulares). Para conocer esta resistencia en laboratorio se usa el equipo de corte directo, siendo el más típico una caja de sección cuadrada o circular dividida horizontalmente en dos mitades. Dentro de ella se coloca la muestra de suelo con piedras porosas en ambos extremos, se aplica una carga vertical de confinamiento (P_v) y luego una carga horizontal (P_h) creciente que origina el desplazamiento de la mitad móvil de la caja originando el corte de la muestra.

El resultado del análisis de seis (6) muestras extraídas de campo se muestran en la Tabla 7. Los resultados obtenidos muestran que los suelos en el área urbana de Asia presentan cohesión; mientras que, los valores para los ángulos de fricción interna se encuentran entre los 22° y 30° , característico de arenas sueltas mal graduadas con contenido de gravas.

Tabla 7: Resultados del ensayo de corte directo

MUESTRA	ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA DEL SUELO (Φ)	COHESIÓN APARENTE DEL SUELO (Tn/m^2)	DENSIDAD NATURAL (gr/cm^3)
C-01	N.P.	N.P.	1.87
C-02	27.20	0.01	1.58
C-03	27.00	0.02	1.56
C-04	27.00	0.02	1.56
C-05	22.80	0.04	1.35
C-06	27.00	0.02	1.56

10.4.- Capacidad de carga admisible

Los resultados obtenidos de los ensayos de corte directo (ángulo de fricción y la cohesión), han permitido calcular con la ayuda de fórmulas empíricas la capacidad de carga última de los suelos (mayor presión unitaria que el suelo puede resistir sin llegar al estado plástico). En base a esta última se obtiene la capacidad de carga admisible que resulta al ser multiplicado por un factor de seguridad, cuyo valor es de $1/3$, de acuerdo a la norma técnica peruana para el diseño de cimentaciones. Para la ciudad de Asia y alrededores, la capacidad de carga fue calculado para una profundidad de cimentación de 1.20 m y ancho mínimo de cimentación de 1.00 m. Los resultados obtenidos para los seis puntos analizados se presentan en la Tabla 8.

Tabla 8: Capacidad de carga admisible de seis (06) muestras extraídas en la ciudad de Asia

MUESTRA	CAPACIDAD DE CARGA ULTIMA (Tn/m ²)	CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE (kg/cm ²)
CA-01	137.62	3.44
CA-02	39.20	1.31
CA-03	38.00	1.30
CA-04	38.00	1.30
CA-05	34.59	1.15
CA-06	38.00	1.30

Considerando la clasificación de la Tabla 9, se ha determinado que gran parte del área urbana de la ciudad de Asia se asienta sobre suelos con la siguiente capacidad de carga admisible (Figura 39):

Tabla 9: Rangos de capacidad de carga admisible

CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE Kg/cm ²	DENOMINACIÓN
<1.0	Muy Baja
1.0 – 2.0	Baja
2.0 – 3.0	Media
>3.0	Alta

.- Capacidad de carga admisible baja: Los suelos se encuentran representados por arenas (SP) y gravas (GP), ambos con un grado de compactación bajo. Estos suelos se encuentran en el 92% del área de estudio, principalmente en las zonas urbanas de Santa Cruz de Asia, Capilla de Asia, Palma Baja y Rosario de Asia.

.- Capacidad de carga admisible alta: Corresponden a suelos compuestos por arenas limosas (SM) y arena mal graduada (SP), con grado de compactación medio. Los suelos se encuentran sobre el 8% del área de estudio, principalmente en la zona de lavaderos de autos del sector Rosario de Asia.

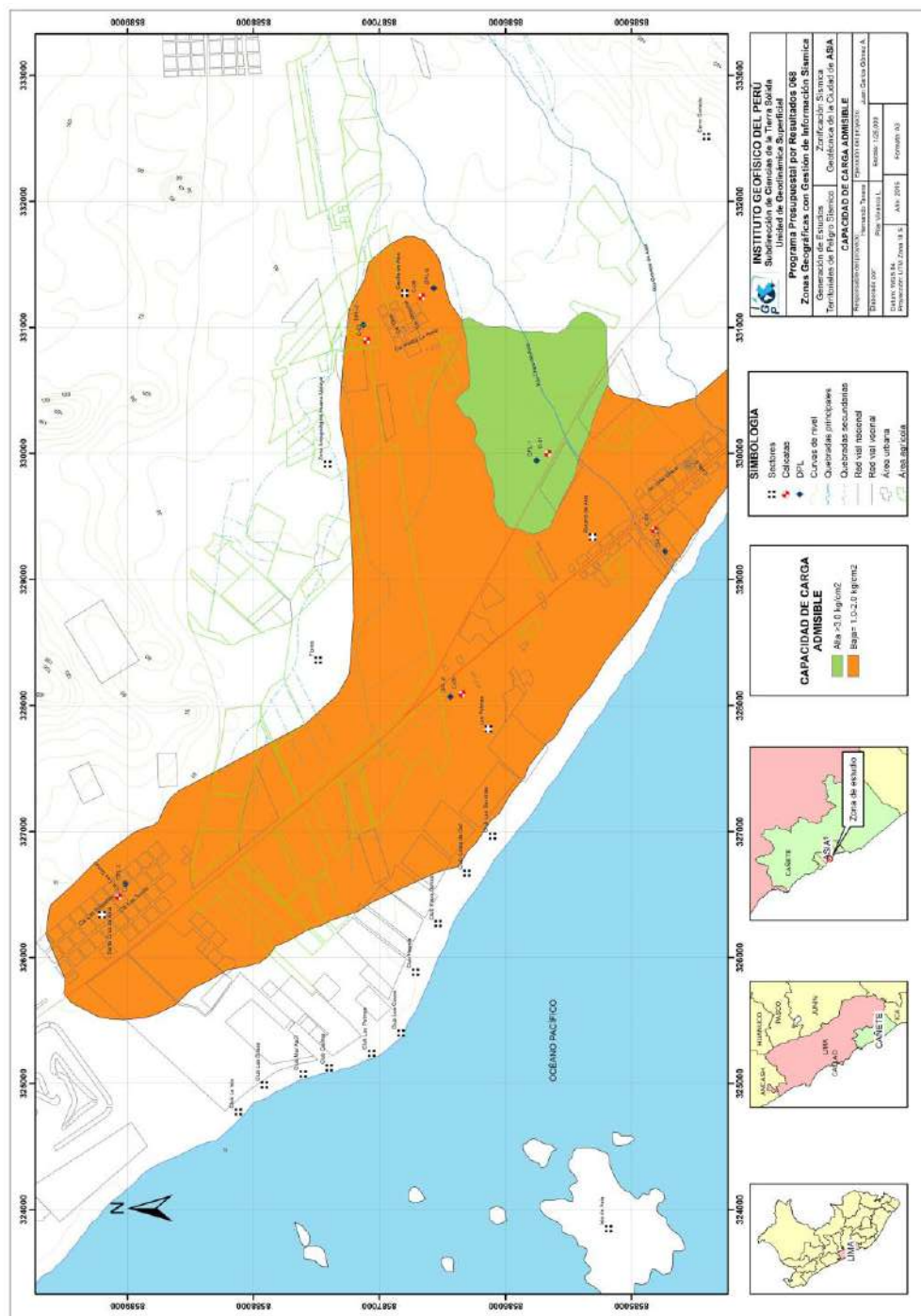


Figura 39: Mapa de capacidad de carga admisible en la ciudad de Asia y alrededores

11.- SÍSMICA Y GEOFÍSICA

En este estudio se ha realizado la aplicación de los siguientes métodos sísmicos y geofísicos: razones espectrales (H/V), arreglos lineales (MASW) y tomografía eléctrica, todos tienen como objetivo principal conocer las propiedades físicas del subsuelo (periodos dominantes, velocidades sísmicas, resistividades del subsuelo, etc.) a efectos de lograr su caracterización geofísica. A continuación, se describe el desarrollo de estos métodos y los principales resultados obtenidos para la ciudad de Asia y alrededores.

11.1.- Estudio sísmico con la técnica H/V

Para la aplicación de esta técnica se procedió, sobre el mapa catastral de la ciudad de Asia y alrededores a definir la distribución y el número de puntos para el registro de vibraciones ambientales teniendo en cuenta la información geológica y geomorfológica de la zona de estudio. En la Figura 40 se muestra la distribución espacial de los 300 puntos de registro de vibración ambiental obtenidos en campo, cada uno con una duración de 15 minutos, lo cual permite disponer de buena cantidad de información para su posterior análisis.

Esta información permite obtener espectros de Fourier para las tres componentes de registro 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. En la Figura 41 se muestra, como ejemplo el procedimiento seguido para el punto AS-082. En el extremo superior de la figura, se muestra el registro de vibración ambiental para 15 minutos analizado con ventanas de 20 segundos; en el extremo inferior izquierdo, la curva promedio de H/V con su respectiva desviación estándar, resaltando en este caso, las frecuencias predominantes a 1.38 Hz a 4.4 Hz con amplificaciones relativas de hasta 6 veces con respecto al nivel de referencia. Este procedimiento de análisis se aplica al total de la información obtenida en campo.

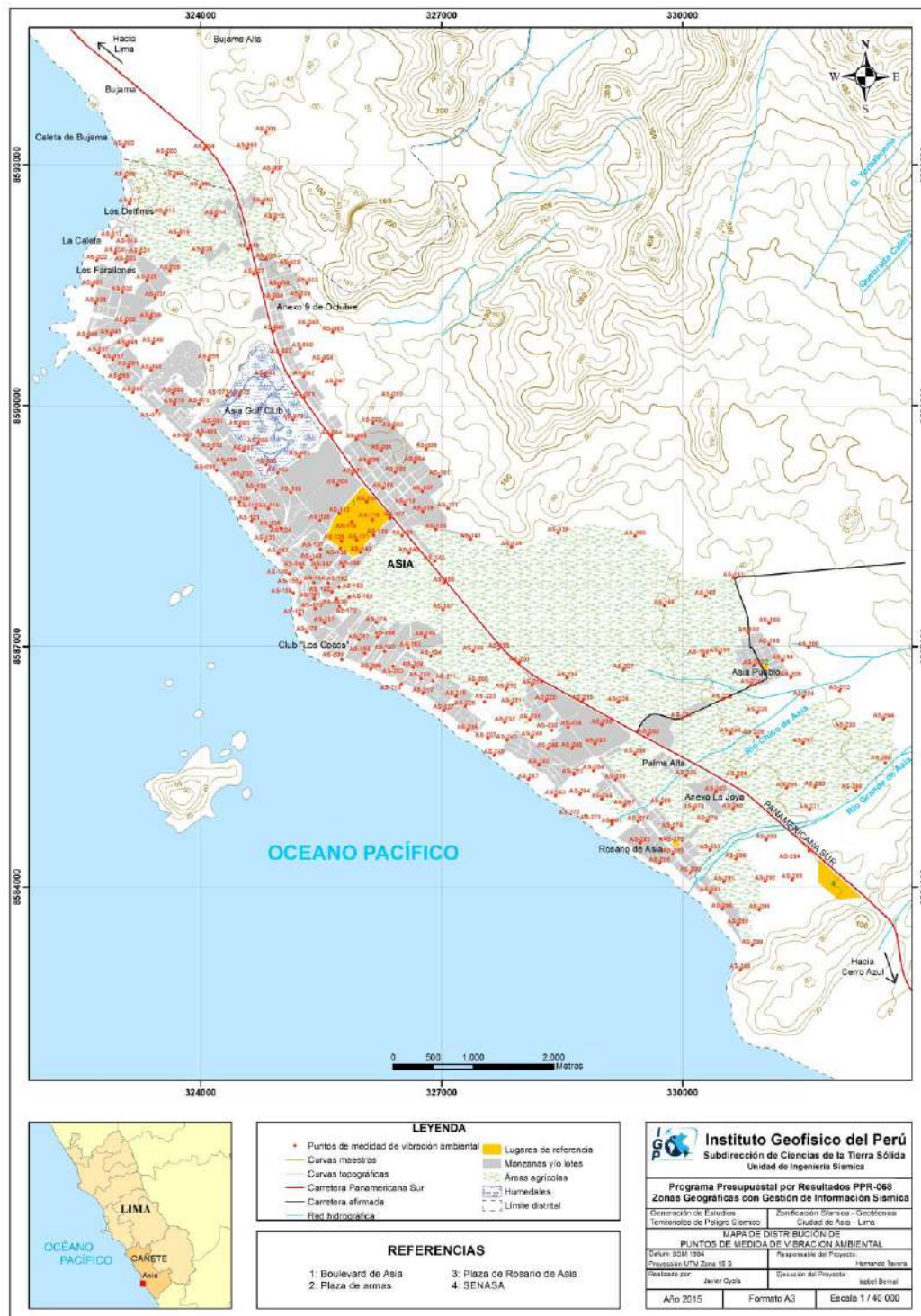


Figura 40: Mapa de la ciudad de Asia y alrededores: distribución de puntos de registro de vibración ambiental

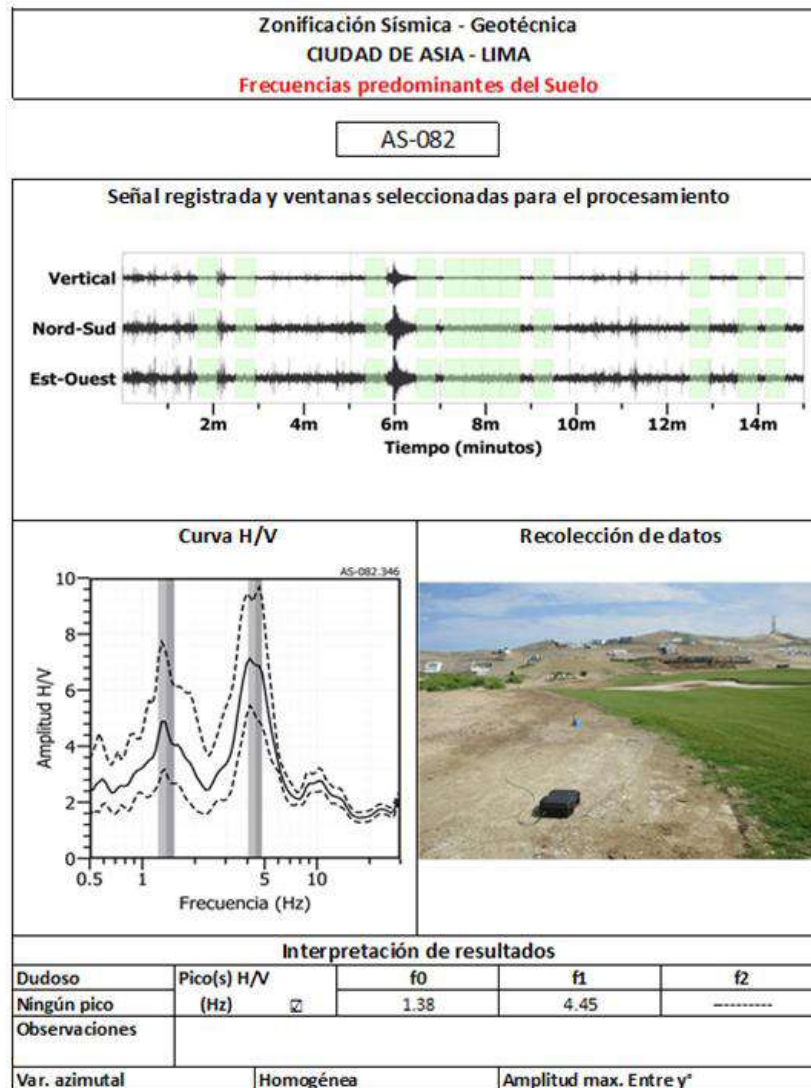


Figura 41: Ejemplo de la ficha H/V para el punto AS-082 en la cual se recopila la información registrada y analizada. Arriba, señal registrada; Medio; razón espectral (H/V) en línea gruesa y su desviación estándar en línea discontinua. Abajo: resultados.

.- Distribución de frecuencias predominantes: A partir de los valores extraídos de las razones espectrales H/V, se obtiene mapas con la distribución espacial de los valores de frecuencias predominantes. Los resultados muestran valores similares para frecuencias predominantes que se concentran en diversas áreas de la ciudad, lo cual sugiere que el subsuelo es heterogéneo y por ello, requiere de un análisis detallado para comprender su comportamiento dinámico.

En general, para el análisis de la información se debe considerar los siguientes aspectos: 1) Las frecuencias predominantes menores a 1 Hz corresponden a vibraciones generadas por el oleaje del mar, y/o cambios meteorológicos (periodos

muy largos), 2) Las bajas frecuencias o periodos largos son debidas a la presencia de depósitos profundos y 3) Las frecuencias altas o periodos cortos son debidos a depósitos superficiales blandos y de poco espesor (Bernal, 2006).

La información obtenida para las razones espectrales H/V, permite considerar para su análisis dos rangos de frecuencia: **F₀ (F<3.0Hz)** y **F₁ (F≥3.0 Hz)**, en razón que en varios puntos de medición sobresalen dos picos de frecuencias con diferentes amplificaciones. A continuación, se describe y analiza la distribución espacial de las frecuencias predominantes identificadas en la ciudad de Asia y alrededores.

***.- Frecuencias predominantes F₀ (F<3.0Hz):** Estas frecuencias se presentan en el 60 % de los puntos donde se recolecto información, distribuyéndose en su mayoría entre la línea de costa y la carretera de la Panamericana Sur; y entre La Caleta (Hacia el Norte) y Las Palmas (Hacia el Sur), tal como se observa en la Figura 42.*

En la Figura 43, se muestra ejemplos de razones espectrales obtenidas para los puntos AS-036, AS-037 y AS-039, ubicados en el extremo NO de la ciudad próximos a La Caleta. En los dos primeros puntos sobresalen dos picos de frecuencia, el primero a 1.8 y 2.0 Hz y el segundo a 5.2 y 6.0 Hz con amplificaciones máximas relativas de 5 y 6 veces, y en caso del tercer punto sobresale un pico a 1.9Hz con amplificaciones de 7.5 veces. La presencia de dos picos de respuesta y el alto factor de amplificación evidencian una baja consistencia del suelo.

En los puntos AS-125, AS-140 y AS-154, ubicados alrededor del Boulevard de Asia, sobresalen picos a 2.0Hz con amplificaciones de hasta 9 veces, evidenciando una gran flexibilidad del suelo en este rango de frecuencias.

En los puntos AS-161, AS-184 y AS-200, ubicados en el sector central de la ciudad de Asia, próximos a la línea de costa (SO del Boulevard de Asia), sobresalen las frecuencias de 2.1, 1.8 y 1.2 Hz con amplificaciones máximas relativas de 7.9, 3.0 y 4.5 veces. Asimismo, en el último punto sobresale un pico a 3.6Hz con mínimas amplificaciones. Estos resultados evidencian que a

pesar de encontrarse próximos a la línea de costa, conforme se tiende hacia el Sur los suelos son más consistentes.

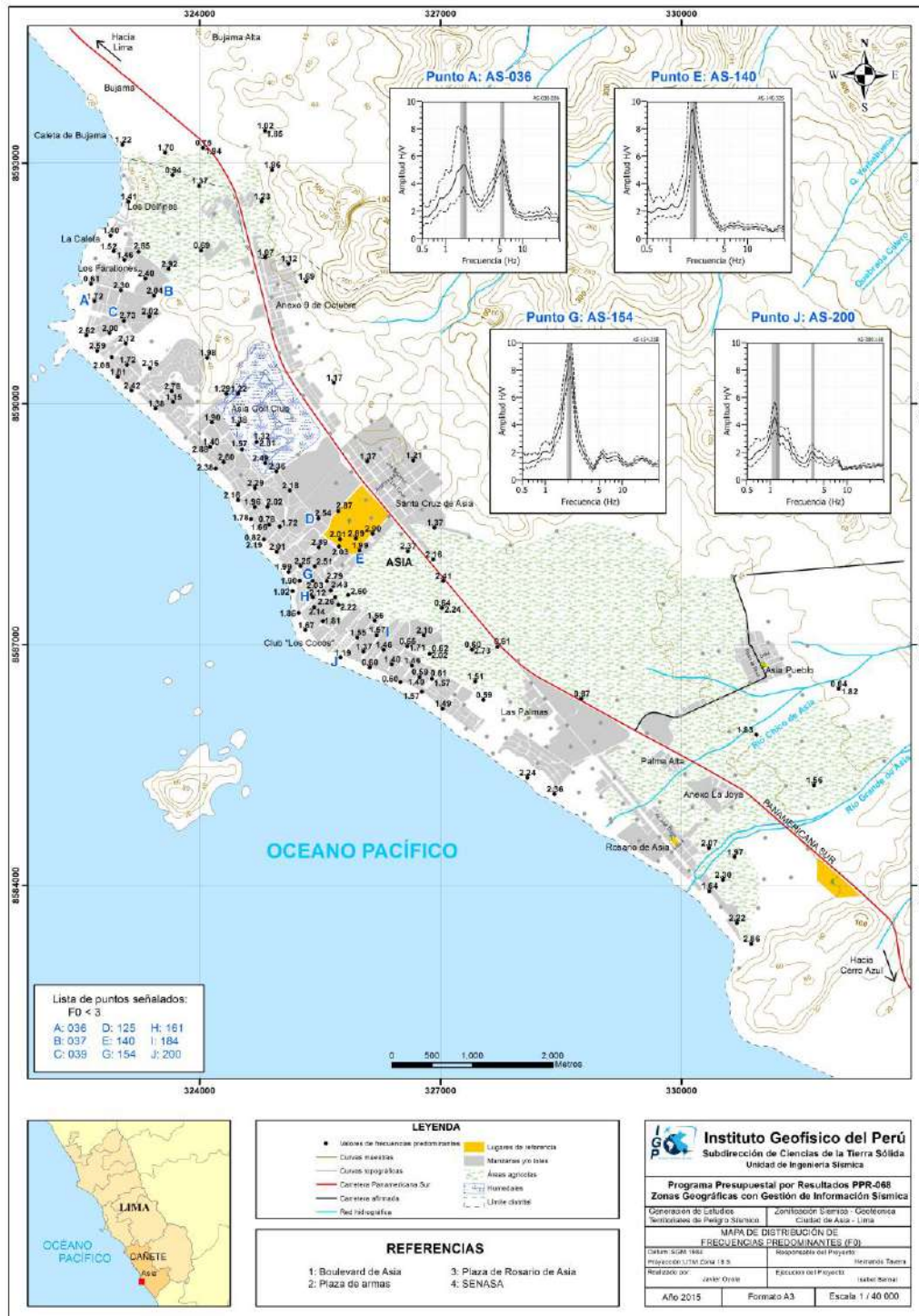
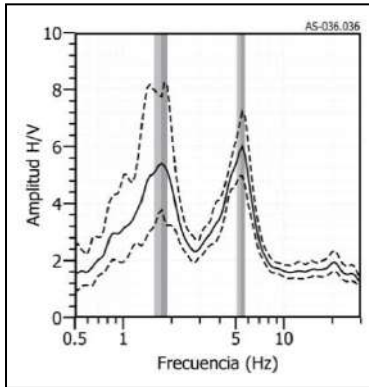
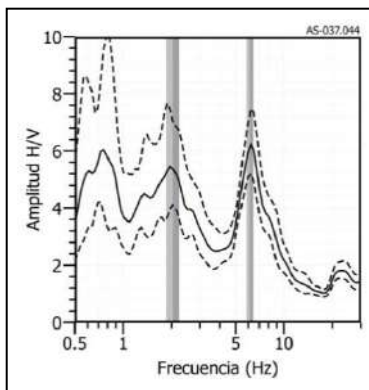


Figura 42: Mapa del área de estudio y la distribución espacial de las frecuencias predominantes F_1 ($F < 3.0\text{Hz}$).

AS - 036



AS - 037



AS - 039

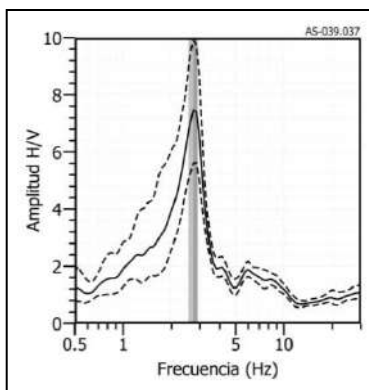
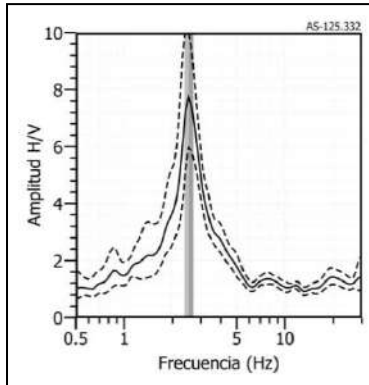
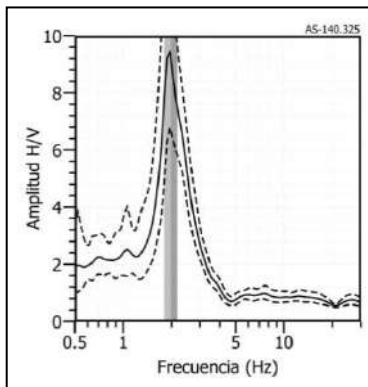


Figura 43: Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F_0 ($F < 3.0\text{Hz}$). Puntos AS-036, AS-037 y AS-039, ubicados en el extremo NO de la ciudad próximo a La Caleta. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

AS - 125



AS - 140



AS - 154

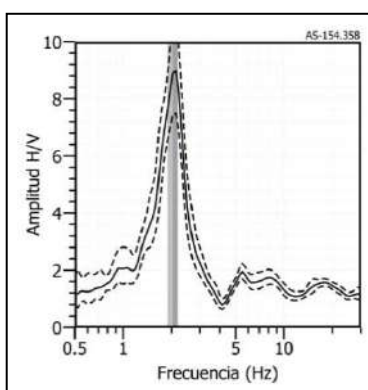
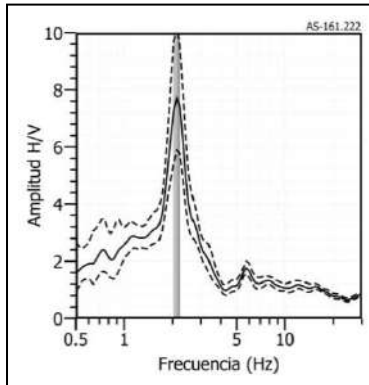
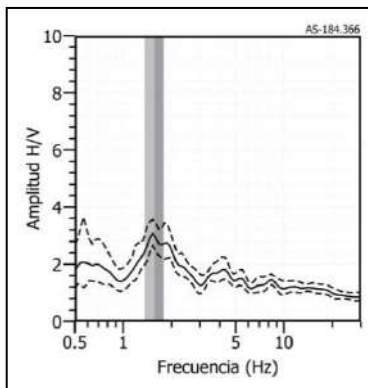


Figura 43: ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F_0 ($F < 3.0\text{Hz}$). Puntos AS-125, AS-140 y AS-154, ubicados alrededor del Boulevard de Asia. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

AS - 161



AS - 184



AS - 200

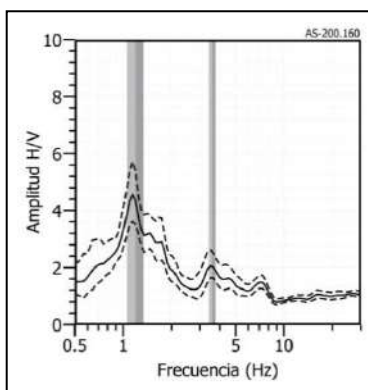


Figura 43: ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F_0 ($F < 3.0\text{Hz}$). Puntos AS-161, AS-184 y AS-200, ubicados en el sector central de la ciudad de Asia próximos a la línea de costa (SO del Boulevard de Asia). Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

.- Frecuencias predominantes F1 ($F \geq 3.0\text{Hz}$): Este rango de frecuencias se presenta en el 40% de los puntos donde se recolectó información y en espacio, se distribuyen de manera sectorizada tal como se observa en la Figura 44. En la Figura 45, se muestran ejemplos de razones espectrales para los puntos AS-015, AS-182 y AS-208, ubicados el primero en el extremo NO del área de estudio próximo a La Caleta, el segundo y tercero en el extremo Sur, próximos a la Plaza de Armas de la ciudad (sector antiguo de Asia) y la Urb. Las Palmas respectivamente. En el punto AS-015 sobresale un pico a 18 Hz con amplificaciones de hasta 8 veces, asociado a una fuente externa pero con predominio en la zona. En el segundo el punto AS-182, resalta dos picos a 3.0 y 17 Hz con mínimas amplificaciones; y en el tercer punto, sobresale la frecuencia a 5 Hz con amplificaciones de 2 veces, en estos últimos puntos, la baja amplificación sugiere la presencia de suelos más consistentes.

En los puntos AS-073, AS-079 y AS-087, ubicados próximos a los Humedales de Asia y línea de costa, sobresalen picos a 9.0, 6.0 y 8.5 Hz respectivamente, con amplificaciones relativas de 4.8, 6.2 y 7.8 veces. En los puntos AS-097, AS-104 y AS-109, ubicados entre el Boulevard de Asia y la Urb. Santa Cruz de Asia, sobresalen picos a 6.5, 3.5 y 5.0 Hz con amplificaciones máximas relativas de 9.0, 6.2 y 4.2 veces. Por la alta amplificación, estos resultados sugieren la presencia de suelos poco consistentes.

Estos resultados permiten concluir que los suelos en la ciudad de Asia responden a dos rangos de frecuencias predominantes:

.- Entre 1.0 y 2.0 Hz, y altas amplificaciones hacia el extremo NO de la ciudad (entre el extremo norte de la Urb. Las Palmas y La Caleta), lo cual sugiere la presencia de suelos flexibles.

.- Entre 3.0 y 9.0 Hz, y bajas amplificaciones hacia el extremo NE, Sur y SE de la ciudad, lo cual evidencia la presencia de suelos blando a compactos.

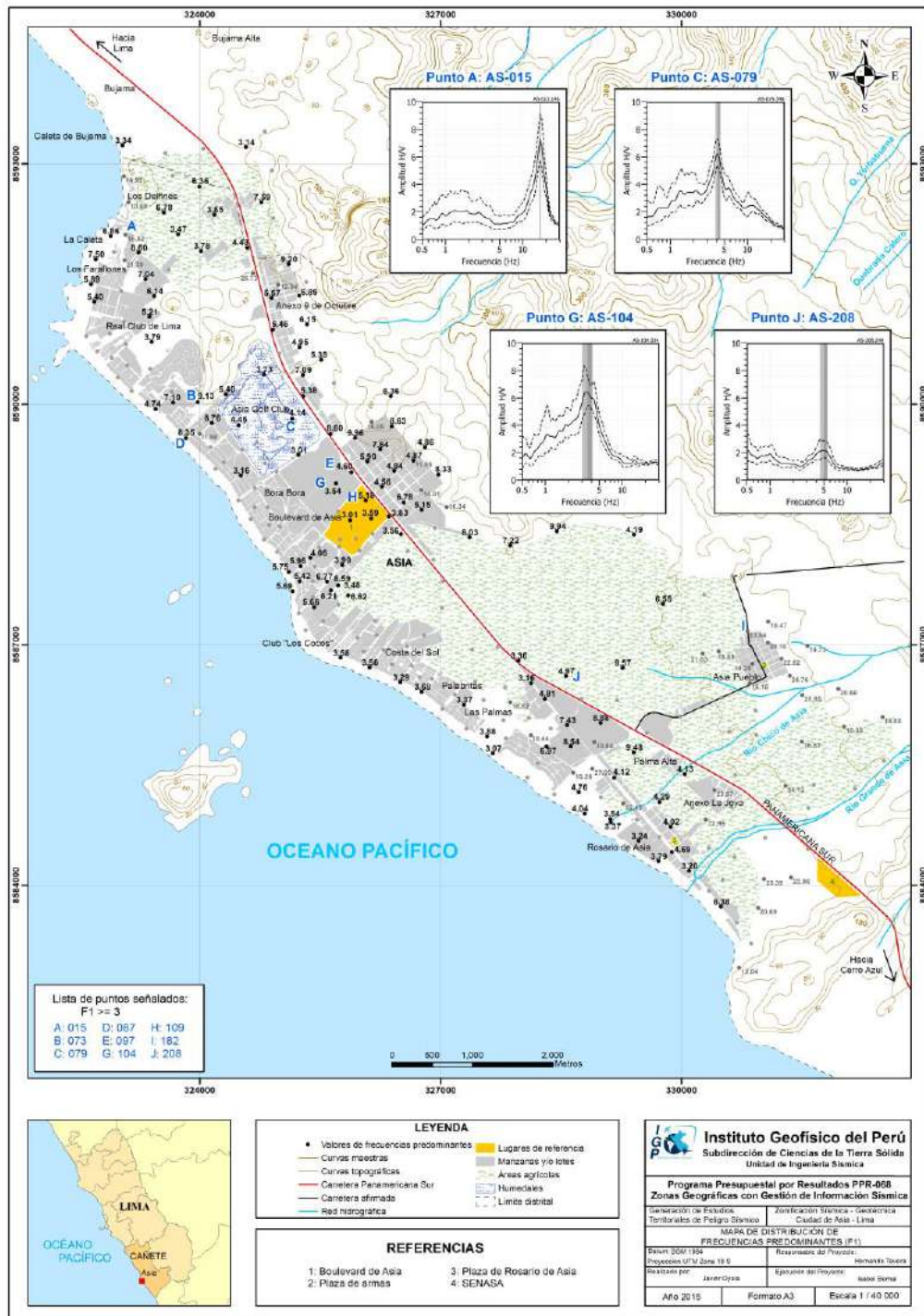
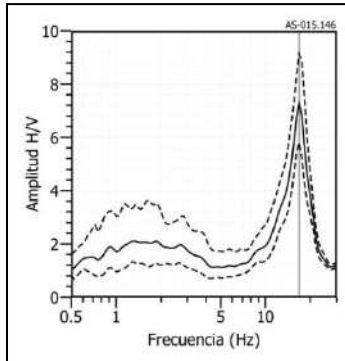
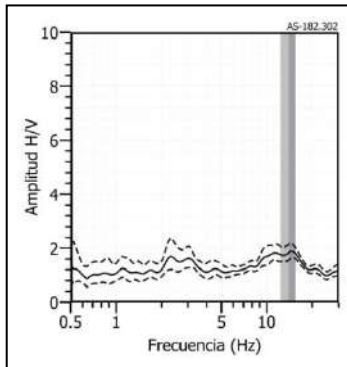


Figura 44: Mapa del área de estudio y la distribución espacial de las frecuencias predominantes F_1 ($F \geq 3.0 \text{ Hz}$).

AS - 015



AS - 182



AS - 208

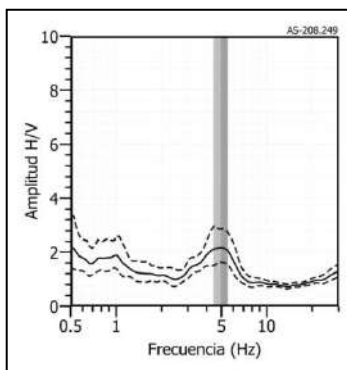
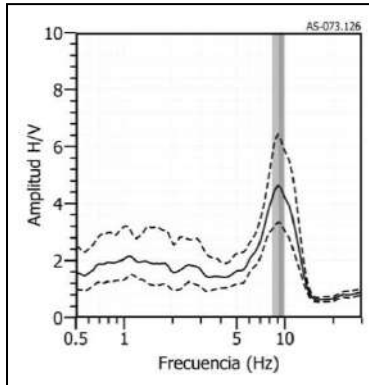
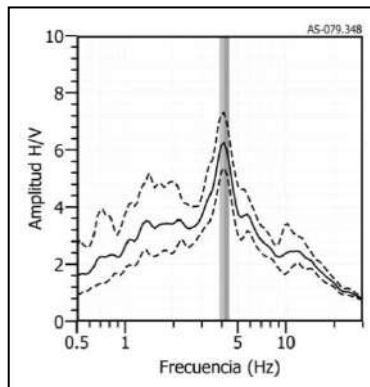


Figura 45: Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F1 ($F \geq 3.0\text{Hz}$). Puntos AS-015, AS-182 y AS-208, ubicados el primero en el extremo NO del área de estudio próximo a La Caleta, el segundo y tercero en el extremo Sur, próximos a la Plaza de Armas de la ciudad (sector antiguo de Asia) y la Urb. Las Palmas respectivamente. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

AS - 073



AS - 079



AS - 087

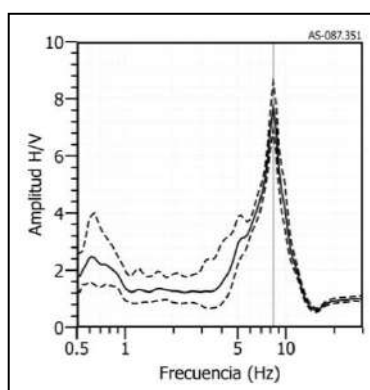
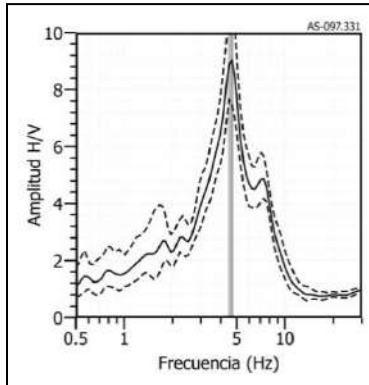
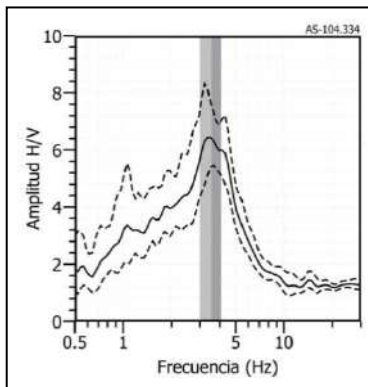


Figura 45: ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F1 ($F \geq 3.0\text{Hz}$). Puntos AS-073, AS-079 y AS-087, ubicados proximos a los Humedales de Asia y línea de costa. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

AS - 097



AS - 104



AS - 109

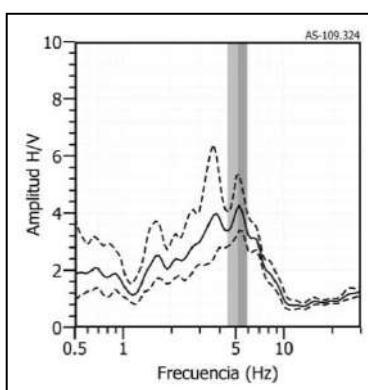


Figura 45: ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F1 ($F \geq 3.0\text{Hz}$). Puntos AS-097, AS-104 y AS-109, ubicados entre el Boulevard de Asia y la Urb. Santa Cruz de Asia. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

11.2.- Estudios sísmicos con la técnica de arreglos sísmicos

La técnica MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) permite conocer la velocidad de propagación de las ondas sísmicas en el subsuelo a partir del análisis de la dispersión de ondas superficiales registradas por arreglos lineales de estaciones sísmicas. Como resultado de la inversión de la curva de dispersión, se obtiene el perfil de velocidades para las ondas de corte (V_s) en el punto central de cada arreglo.

Para el registro de la información se ha utilizado un equipo de refracción sísmica que consta de un registrador multipropósito, modelo GEODE (24-canales), geófonos de 4.5 Hz y registros a una resolución de 24 bits con un rango dinámico mayor a 110 dB. Como fuente de impacto y/o energía para generar las ondas sísmicas, se utilizó un martillo de 20 lbs. Los parámetros de registro, tales como la geometría del tendido, espaciamiento entre geófonos (entre 3 y 6 metros) y el punto de impacto del martillo, fue variable ya que dependió de la geomorfología de la zona de estudio. La frecuencia de muestreo fue de 4000 Hz con un pre-trigger de -0.1s y una longitud de registro de 2 segundos. Para eliminar el registro de ruido de fondo se realizaron entre 6 y 12 golpes en cada punto de disparo, permitiendo el estaqueo temporal de los datos y así, aumentar la coherencia en los resultados.

En la Figura 46, se presenta el mapa de la ciudad de Asia con la distribución espacial de once líneas de refracción sísmica codificadas como: LS01-AS., LS11-AS, y en la Tabla 10 se presentan las coordenadas de cada línea. En la Figura 47, se muestra imágenes de algunas observaciones de campo.

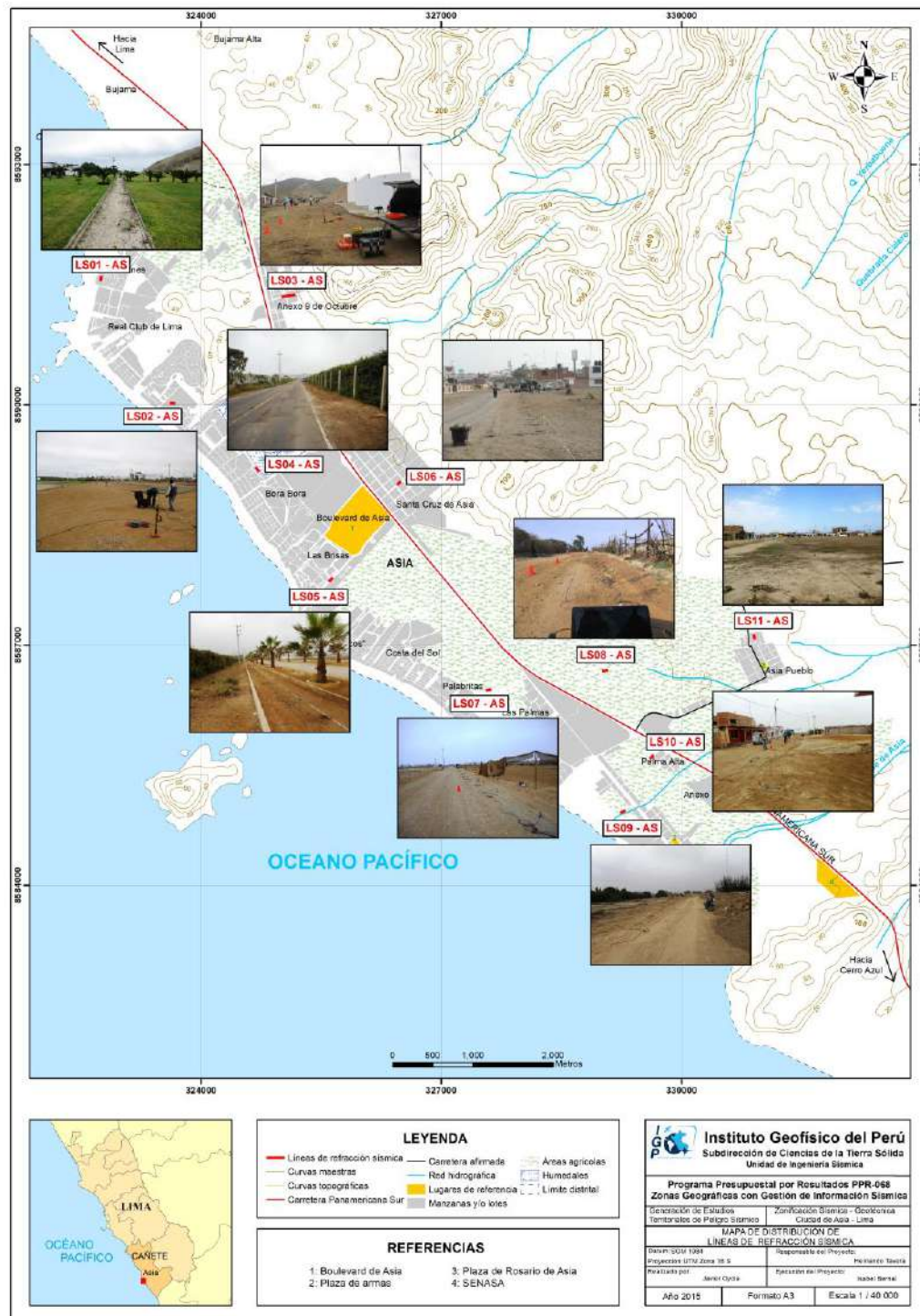


Figura 46: Mapa de la ciudad de Asia y distribución espacial de las líneas de refracción sísmica codificadas como: LS01-AS,..., LS11-AS.

Tabla 10. Coordenadas y características de las líneas sísmicas

Línea sísmica	Este (m)	Sur (m)	Cota (m)	Espaciamiento entre geófonos (m)	Longitud total de registro (m)
LS01-AS	322738	8591544	22	3	69
	322758	8591611	22		
LS02-AS	323607	8590022	23	3	69
	323674	8590023	23		
LS03-AS	325006	8591348	37	5	115
	325177	8591374	45		
LS04-AS	324722	8589168	20	3	69
	324683	8589226	20		
LS05-AS	325596	8587796	21	3	69
	325644	8587847	21		
LS06-AS	326496	8589048	22	3	69
	326446	8589002	22		
LS07-AS	327621	8586445	24	3	69
	327553	8586433	24		
LS08-AS	329081	8586690	36	3	69
	329010	8586679	35		
LS09-AS	329297	8584935	22	3	69
	329235	8584901	22		
LS10-AS	329649	8585623	37	3	69
	329600	8585579	37		
LS11-AS	330917	8587071	61	3	69
	330901	8587137	61		



Figura 47. Observaciones de campo con diversos emplazamientos para la recolección de datos sísmicos.

Las curvas de dispersión de ondas obtenidas para cada tendido y número de impactos, fueron promediadas y luego invertidas a fin de obtener perfiles de velocidad para puntos específicos del tendido. Para el análisis de los resultados obtenidos en este estudio se considera la clasificación que la Norma E.030 establece para cada tipo de suelo; sin embargo, para una mejor clasificación de los suelos, se ha visto por conveniente agregar una subdivisión para los "suelos duros" a fin de considerar dos clasificaciones adicionales, "suelos moderadamente duros" y "suelos duros", según el siguiente detalle:

- .- Suelos blandos, velocidades $V_s < 180$ m/s
- .- Suelos duros, velocidades V_s 180 a 500 m/s
 - . Suelos moderadamente duros, velocidades 180 a 350 m/s
 - . Suelos duros, velocidades 350 a 500 m/s
- .- Suelos muy duros o roca blanda, velocidades V_s 500 a 1500 m/s

A continuación, se describe las características de cada uno de los perfiles sísmicos construidos para conocer la velocidad de las ondas de corte (V_s) en la ciudad de Asia y alrededores (Figura 48).

.- Línea sísmica LS01-AS: Línea sísmica realizada en el Condominio Farallones, ubicado en el extremo noroeste de la ciudad de Asia. El perfil de velocidad V_s muestra resultados confiables hasta una profundidad de 22 metros, indicando la presencia de suelos conformados por dos capas. La primera de 5 metros de espesor y velocidades de 240 m/s, que corresponde a suelos moderadamente duros. La segunda capa de 8 metros de espesor y velocidades V_s de 416 m/s, que corresponde a suelos duros. La superficie de contacto con el semiespacio presenta velocidades mayores a 604 m/s y corresponde a suelos muy duros o roca blanda (Figuras 48a).

.- Línea sísmica LS02-AS: Línea sísmica realizada frente al Club Golf de Asia. El perfil de velocidad V_s muestra resultados confiables hasta una profundidad de 25 metros, indicando la presencia de suelos conformados por dos capas. La primera de 2 metros de espesor y velocidades V_s de 177 m/s, que corresponde a suelos blandos. Esta capa está asentada sobre una segunda de 9 metros de espesor y velocidades V_s de 261 m/s que corresponde a suelos moderadamente blandos. La superficie de contacto con el semiespacio presenta velocidades V_s de 532 m/s, que sugieren suelos duros o rocas blandas (Figura 48b).

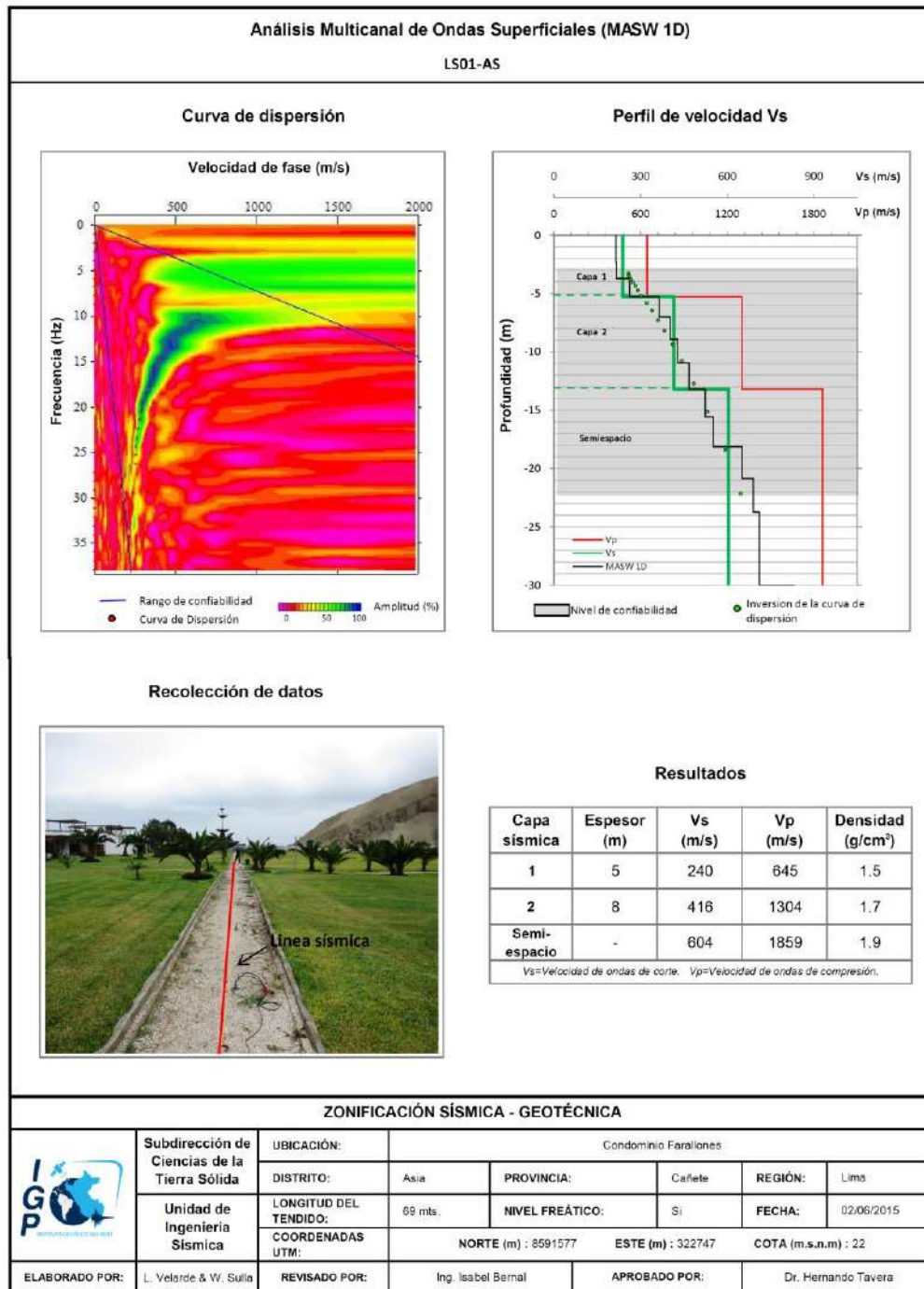


Figura 48. a) Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método MASW para la línea LS01- AS.

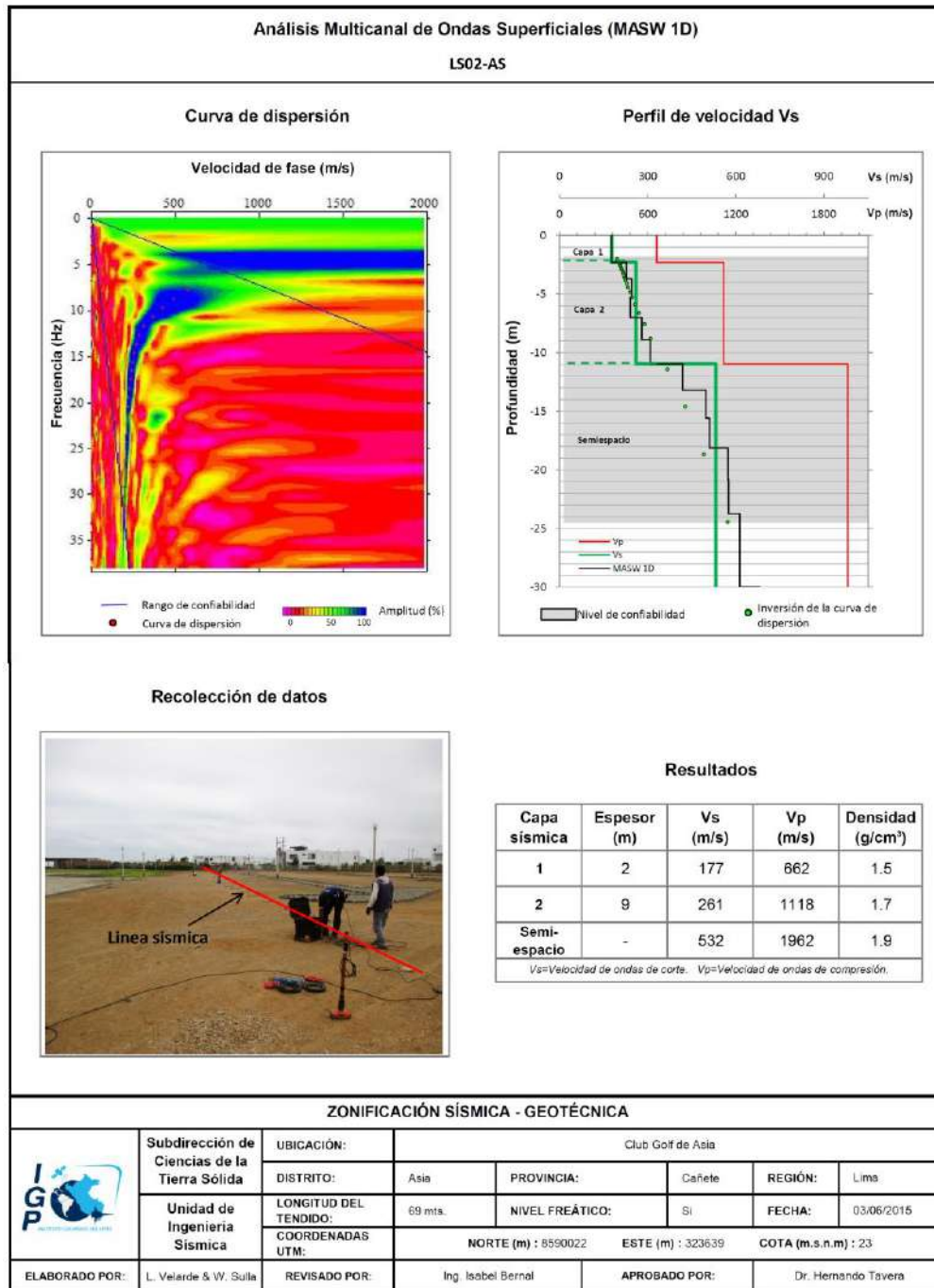


Figura 48. b) Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método MASW para la línea LS02- AS.

.- Línea sísmica LS03-AS: Línea sísmica realizada en el Colegio 209073 del anexo 9 de Octubre (extremo norte de la ciudad de Asia). El perfil de velocidad V_s muestra resultados confiables hasta una profundidad de 22 metros, identificándose la presencia de suelos conformados por dos capas. La primera de 5 metros de espesor y velocidades V_s de 413 m/s, que corresponde a suelos duros. Esta capa está asentada sobre otra de 8 metros de espesor y velocidades V_s de 610 m/s que corresponden a suelos muy duros a roca blanda. La superficie de contacto con el semiespacio presenta una velocidad V_s entre 915 m/s y estaría conformada por rocas moderadamente duras (Figura 48c).

.- Línea sísmica LS04-AS: Línea sísmica realizada frente al Club Playa El Sol, ubicada en la parte central de Asia. El perfil de velocidad V_s muestra resultados confiables hasta una profundidad de 25 metros, identificándose la presencia de suelos conformados por una capa de 13 metros de espesor y velocidades de 252 m/s que corresponde a suelos moderadamente duros. La superficie de contacto con el semiespacio presenta una velocidad V_s de 416 m/s y sugiere la presencia de suelos duros (Figura 48d).

.- Línea sísmica LS05-AS: Línea sísmica realizada en el Boulevard de Asia, parte central de la ciudad de Asia. El perfil de velocidad V_s muestra resultados confiables hasta una profundidad de 22 metros, identificándose la presencia de suelos conformados por dos capas, la primera de 4 metros de espesor con una velocidad V_s de 174 m/s que correspondería a suelos blandos. Esta capa está asentada sobre otra de 12 metros de espesor y velocidades V_s de 279 m/s, que corresponde a suelos moderadamente duros. La superficie de contacto con el semiespacio presenta velocidades V_s de 454 m/s, lo cual sugiere suelos duros (Figura 48e).

.- Línea sísmica LS06-AS: Línea sísmica realizada en la calle Las Dunas, ubicada en el anexo Santa Cruz. El perfil de velocidad V_s muestra resultados confiables hasta una profundidad de 22 metros, identificándose la presencia de suelos conformados por dos capas, la primera con 2 metros de espesor y velocidad V_s de 286 m/s que sugiere suelos moderadamente duros. Esta capa está asentada sobre otra de 9 metros de espesor con velocidad de 421 m/s que corresponde a suelos duros. La superficie de contacto con el semiespacio,

presenta velocidades mayores a 776 m/s que sugiere suelos muy duros o roca blanda (Figura 48f).

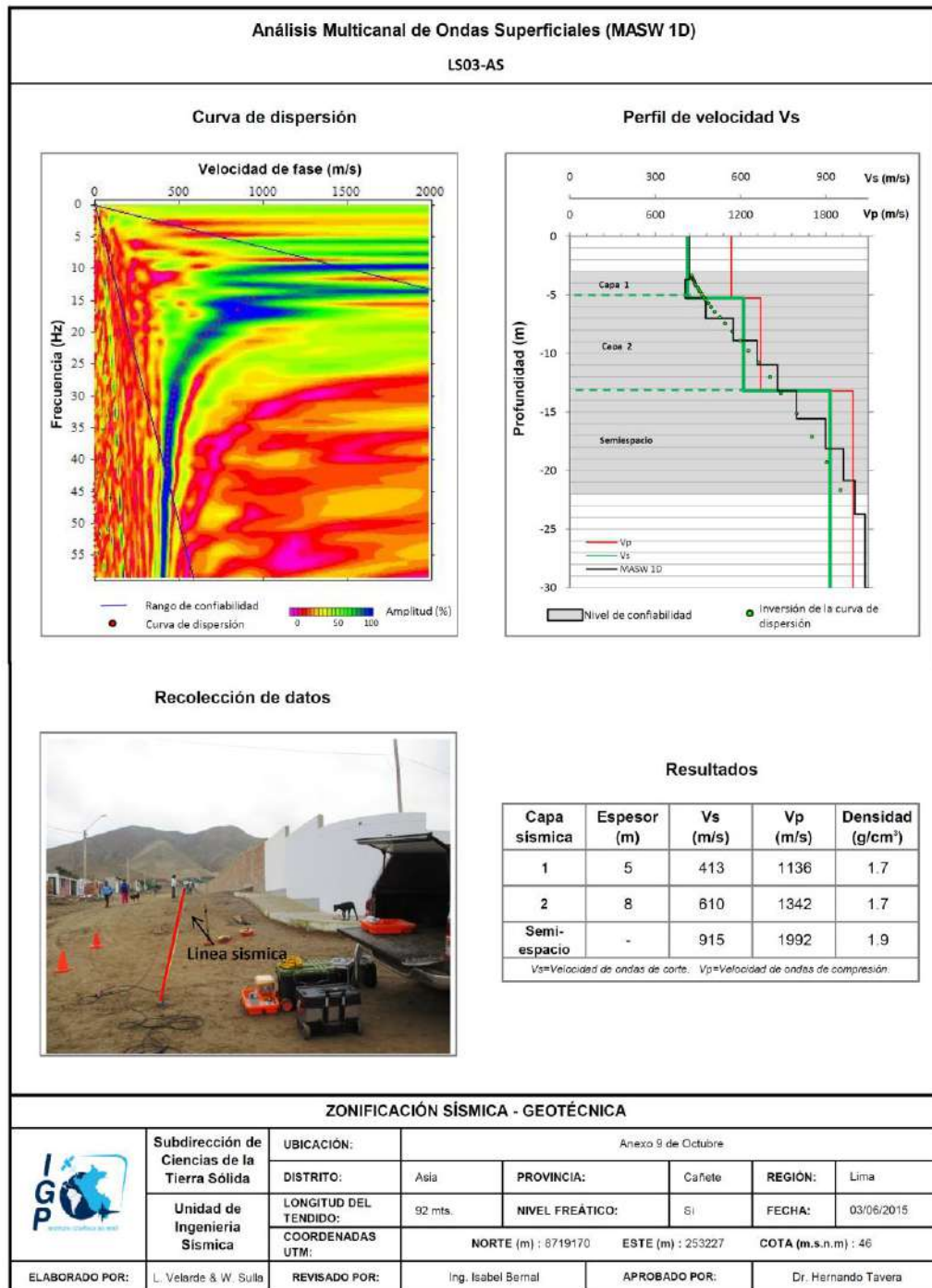


Figura 48. c) Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método MASW para la línea LS03- AS.

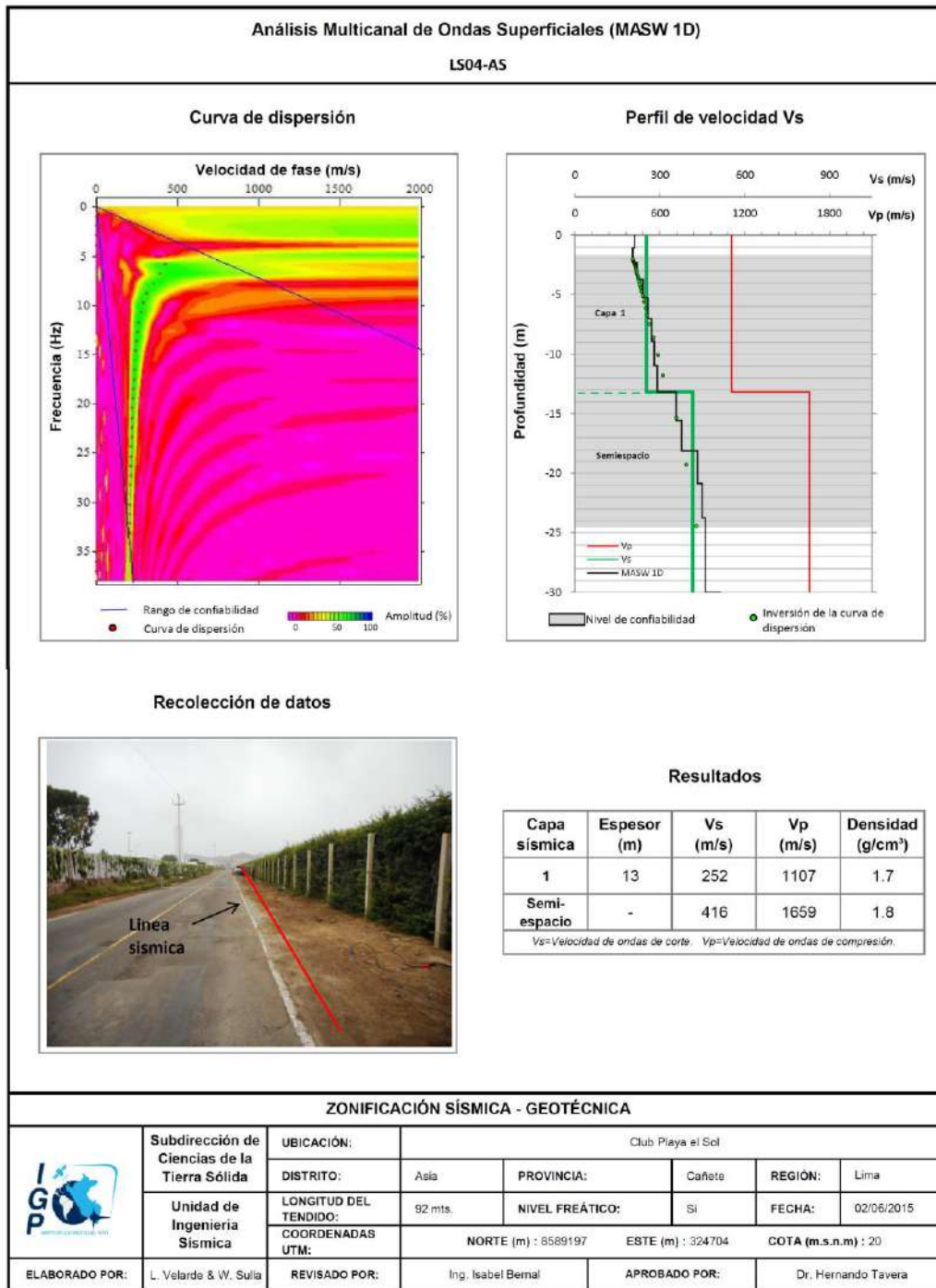


Figura 48. d) Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método MASW para la línea LS04- AS.

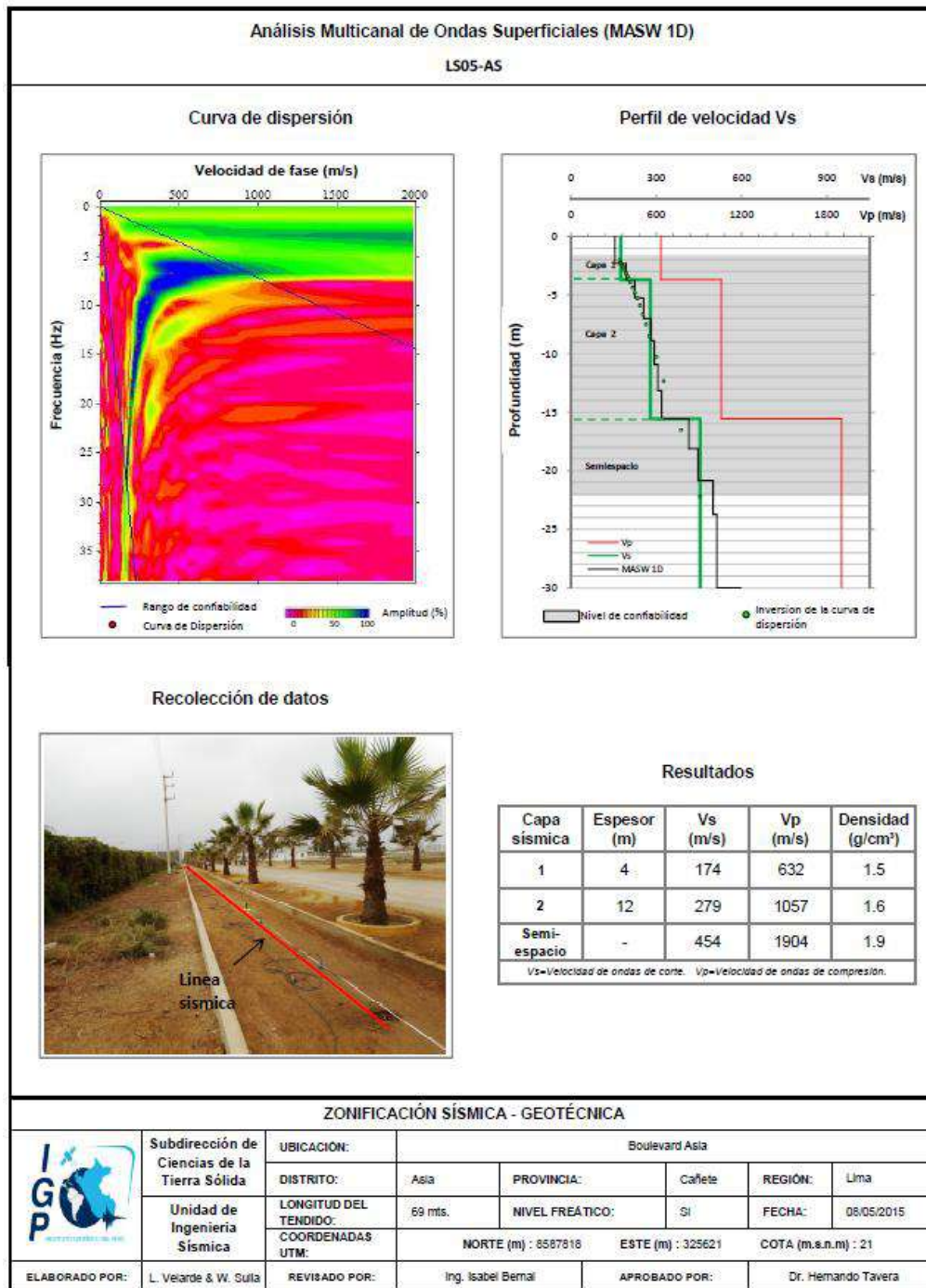


Figura 48. e) Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método MASW para la línea LS05- AS.

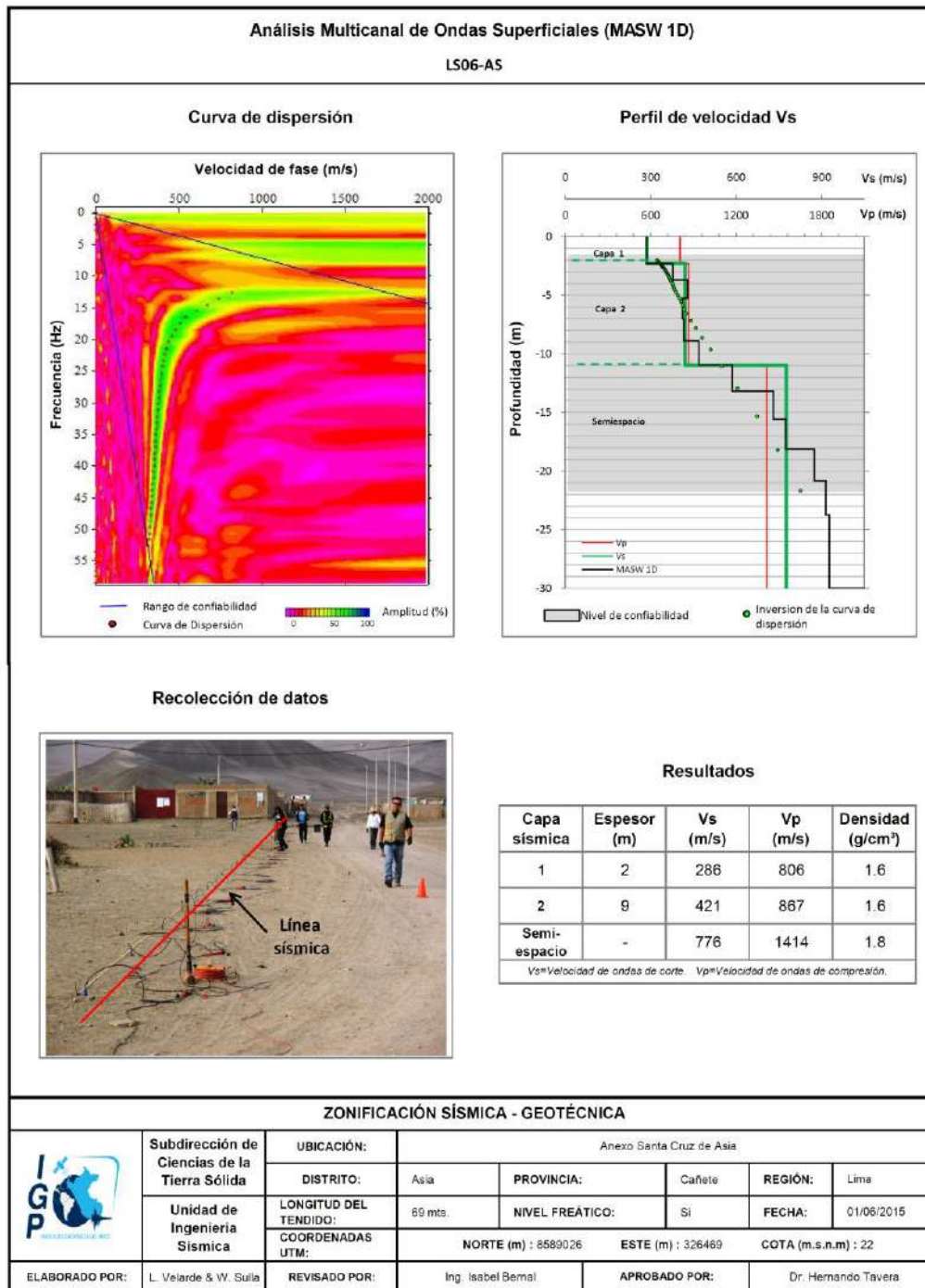


Figura 48. f) Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método MASW para la línea LS06- AS.

.- Línea sísmica LS07-AS: Línea sísmica realizada frente al Club Gaviota, ubicada en el centro-sur de la ciudad. El perfil de velocidad Vs muestra resultados confiables hasta una profundidad de 28 metros, identificándose la presencia de suelos conformados por una capa de 11 metros de espesor y velocidades de 257 m/s que corresponde a suelos moderadamente duros. La superficie de contacto con el semiespacio, presenta velocidades Vs promedio de 385 m/s y corresponde a suelos duros (Figura 48g).

.- Línea sísmica LS08-AS: Línea sísmica realizada al ingreso de la carretera de desvió hacia el distrito de Asia. El perfil de velocidad Vs muestra resultados confiables hasta una profundidad de 20 metros, identificándose la presencia de suelos conformados por dos capas, la primera con espesor de 4 metros y velocidades Vs de 231 m/s y la segunda, con 5 metros de espesor y velocidades de 309 m/s, ambas capas sugieren la presencia de suelos moderadamente duros. La superficie de contacto con el semiespacio, presenta velocidades mayores a 404 m/s la cual correspondería a suelos duros (Figura 48h).

.- Línea sísmica LS09-AS: Línea sísmica realizada aproximadamente a 160 metros del condominio Rosario de Asia, ubicado en el extremo sur de la ciudad. El perfil de velocidad Vs muestra resultados confiables hasta una profundidad de 25 metros, identificándose la presencia de suelos conformados por una capa de 11 metros de espesor y velocidades Vs de 264 m/s, que sugiere la presencia de suelos moderadamente duros. La superficie de contacto con el semiespacio, presenta velocidades mayores a 386 m/s la cual correspondería a suelos duros (Figura 48i).

.- Línea sísmica LS10-AS: Línea sísmica realizada en el anexo Palma Alta, ubicado en el extremo sur de la ciudad. El perfil de velocidad Vs muestra resultados confiables hasta una profundidad de 18 metros, identificándose la presencia de suelos conformados por una capa de 4 metros de espesor y velocidades Vs de 274 m/s, que sugiere la presencia de suelos moderadamente duros. La superficie de contacto con el semiespacio, presenta velocidades mayores a 433 m/s la cual correspondería a suelos duros (Figura 48j).

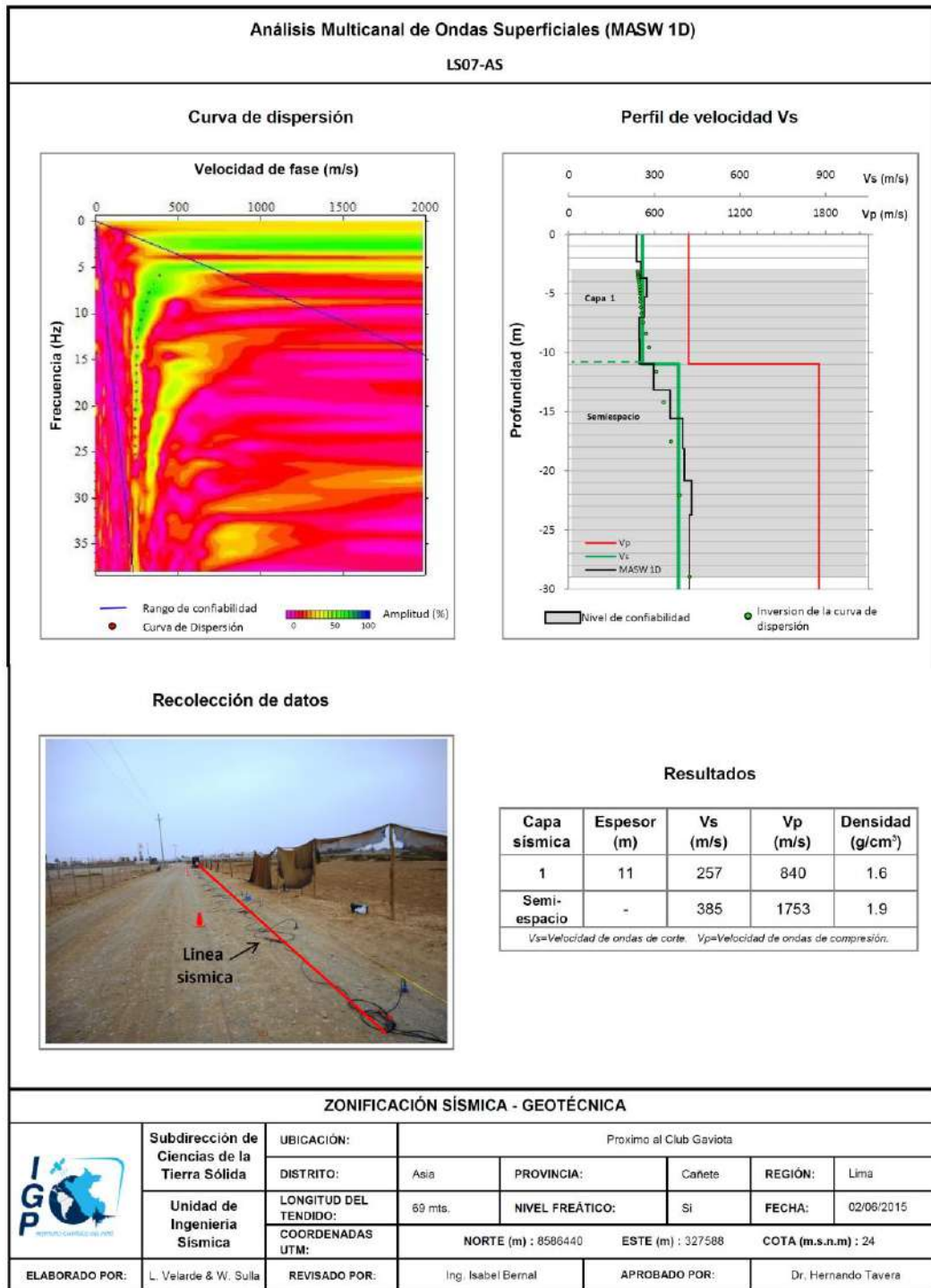


Figura 48. g) Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método MASW para la línea LS07- AS.

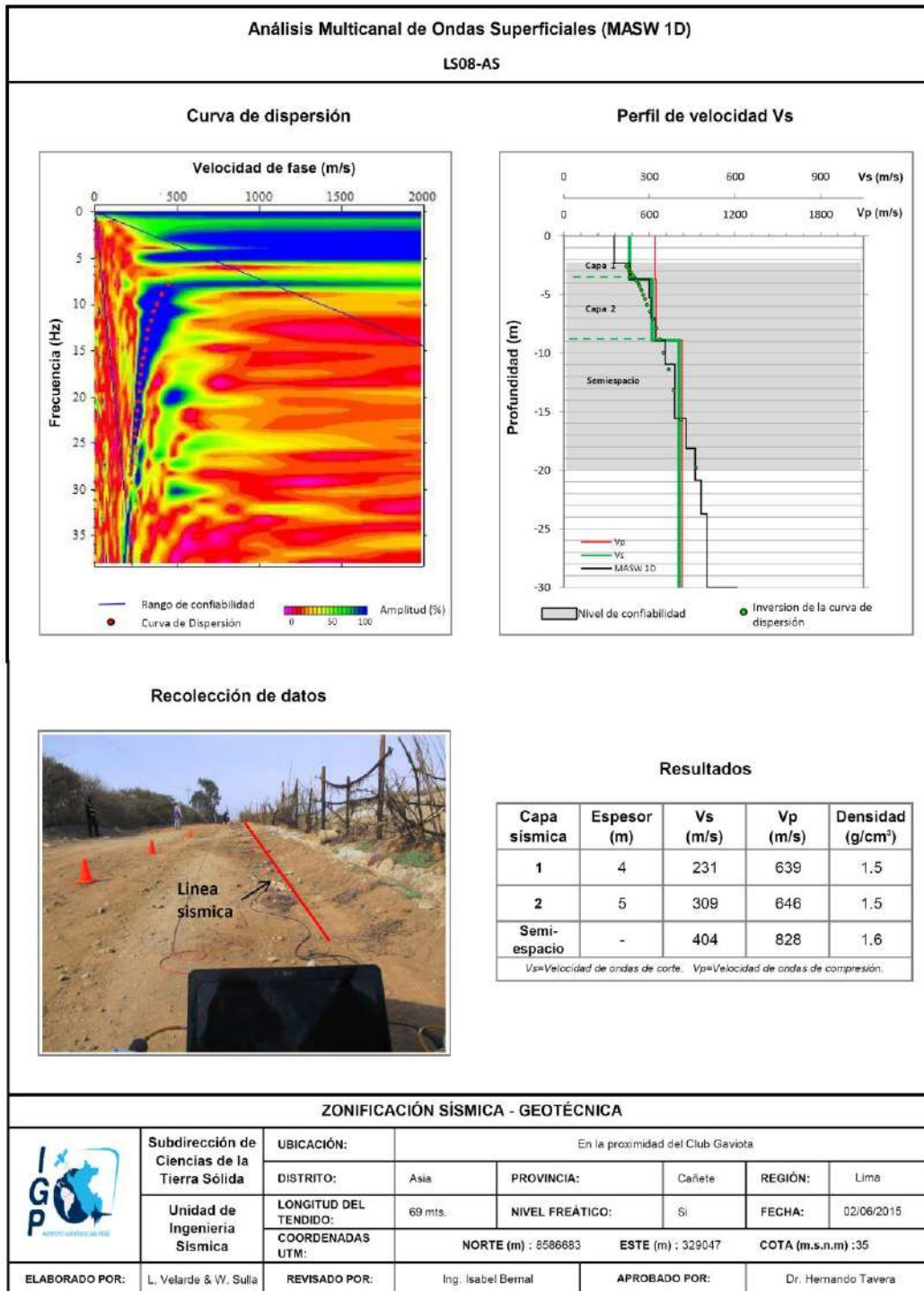


Figura 48. h) Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método MASW para la línea LS08- AS.

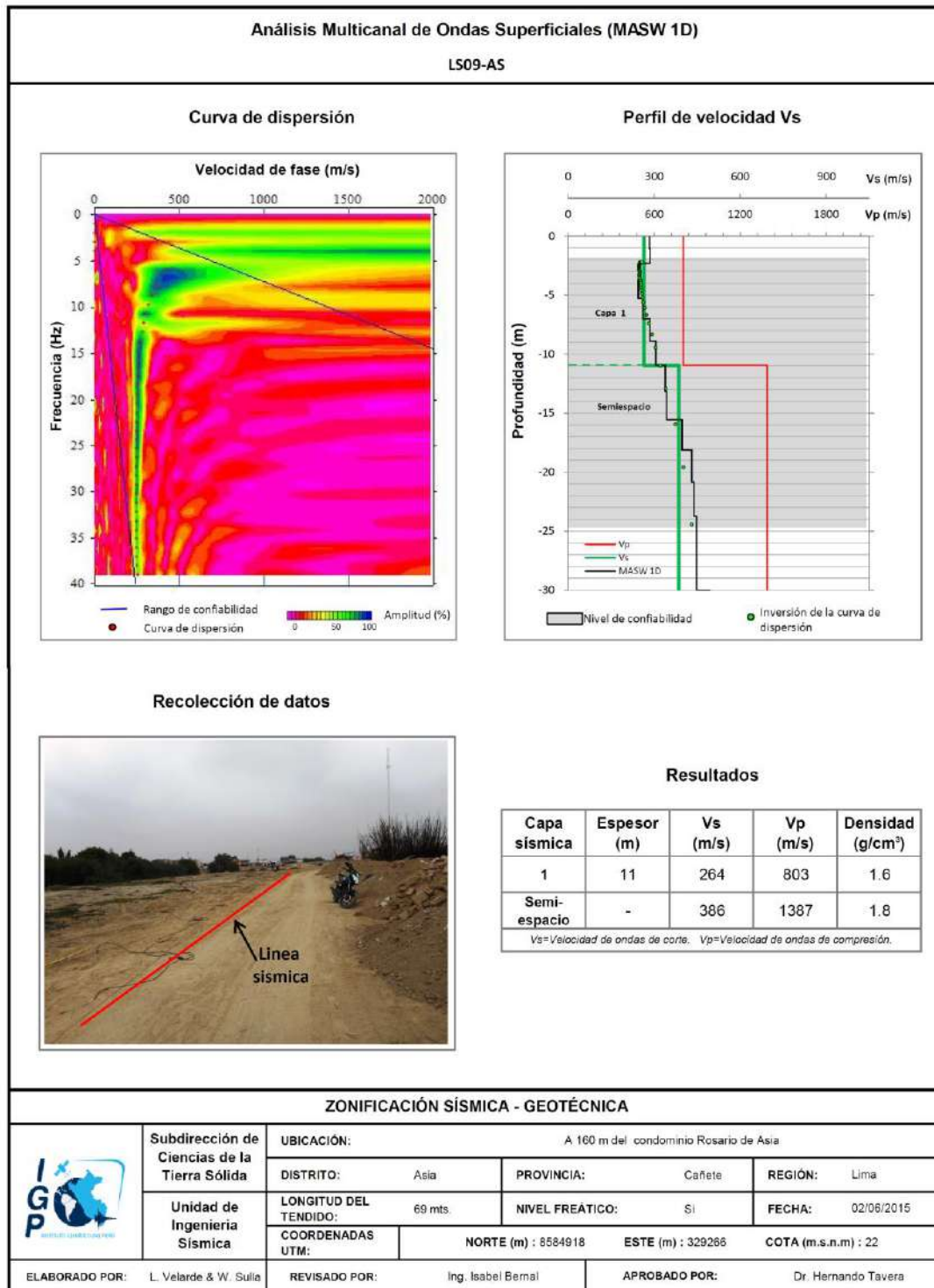


Figura 48. i) Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método MASW para la línea LS09- AS.

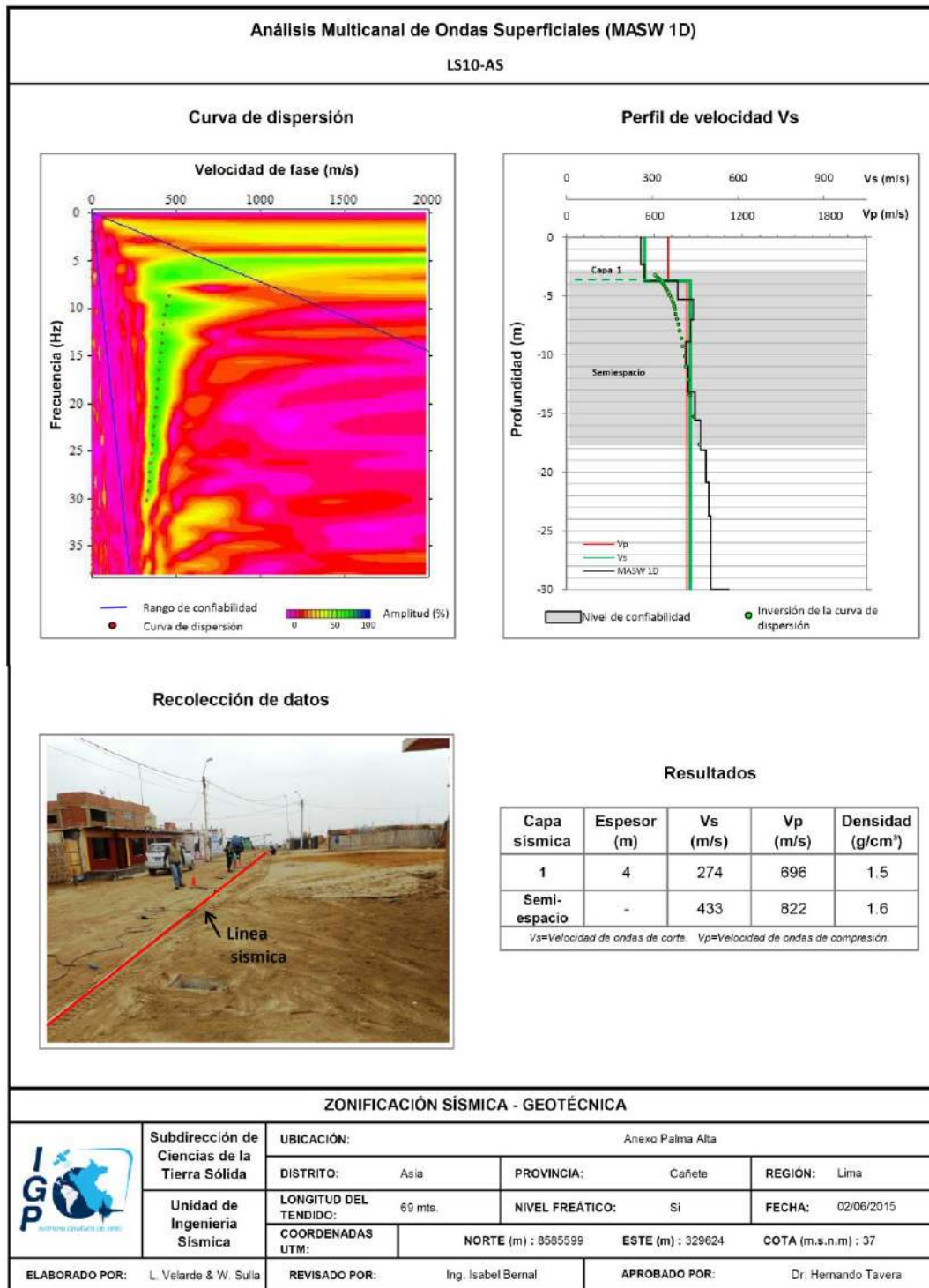


Figura 48.jh) Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método MASW para la línea LS10- AS.

.- Línea sísmica LS11-AS: Línea sísmica realizada a 300 metros al norte de la Municipalidad Distrital de Asia. El perfil de velocidad V_s muestra resultados confiables hasta una profundidad de 26 metros, identificándose la presencia de suelos conformados por dos capas, la primera de 4 metros de espesor y velocidades V_s de 260 m/s correspondiente a suelos moderadamente duros. La segunda de 7 metros de espesor y velocidades de 386 m/s, correspondiente a suelos duros. La superficie de contacto con el semiespacio, presenta velocidades mayores a 457 m/s la cual correspondería a suelos duros (Figura 38k).

La Tabla 11, muestra de manera resumida el espesor y la velocidad de las capas sísmicas de cada línea sísmica.

Tabla 11. Valores de espesor y velocidad V_s de las líneas sísmicas.

Línea sísmica	n° capa				
	1		2		Semiespacio
	Esp.(m)	V_s (m/s)	Esp.(m)	V_s (m/s)	V_s (m/s)
LS01-AS	5	240	8	416	604
LS02-AS	2	177	9	261	532
LS03-AS	5	413	8	610	915
LS04-AS	13	252	-	-	416
LS05-AS	4	174	12	279	454
LS06-AS	2	286	9	421	776
LS07-AS	11	257	-	-	385
LS08-AS	4	231	5	309	404
LS09-AS	11	264	-	-	386
LS10-AS	4	274	-	-	433
LS11-AS	4	260	7	386	457
Suelos blandos ($V_s < 180$ m/s)					
Suelos duros ($V_s=180$ m/s - 500m/s)					
.....moderadamente duros (180 - 350)					
.....duros (350 -500)					
Suelos muy duros o roca blanda ($V_s=500$ m/s-800m/s)					
Rocas moderadamente duras ($V_s=800$ m/s-1500m/s)					

En resumen, las líneas sísmicas LS01-AS, LS02-AS, LS04-AS, LS05-AS, LS07-AS y LS09-AS realizadas al borde del litoral sugieren la presencia de una primera capa de suelos blandos a moderadamente duros correspondiente a suelos limo-arenosos; mientras que, la segunda capa compuesta por suelos duros correspondería a depósitos aluviales de cantos y gravas con matriz limo-arenosa.

Las líneas LS03-AS y LS06-AS sugieren que sus primeras capas están compuestas por suelos blandos y corresponderían a depósitos eólicos conformados por arenas maduras muy redondeadas que sobreyacen a una segunda capa de depósitos aluviales conformados por cantos y gravas.

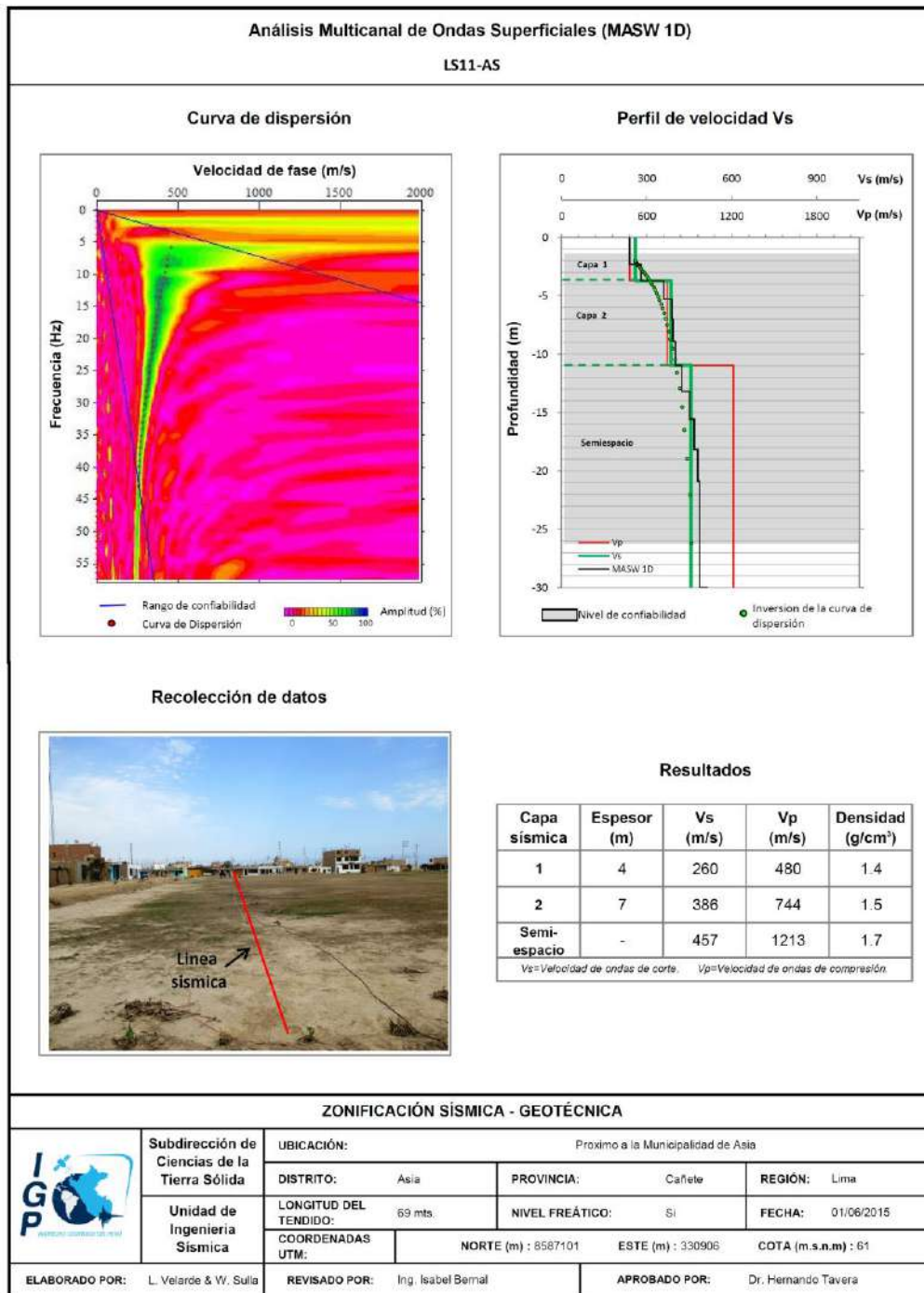


Figura 48. k) Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método MASW para la línea LS11- AS.

Finalmente, en la ciudad de Asia los suelos del extremo NO de la ciudad, están compuestos por dos capas, la primera con velocidades entre 170 y 200 m/s y espesores de hasta 5 metros que corresponderían a suelos blandos a moderadamente duros (depósitos marinos y limo-arenosos). La segunda capa está presente en los extremos NE, Sur y SE con velocidades entre 250 y 380 m/s y espesores de 5 a 12 metros que corresponderían a suelos duros conformados por depósitos aluviales de cantos y gravas con matriz limo-arenosa.

11.3.- Periodos dominantes

Para presentar los resultados finales obtenidos con la técnica H/V, 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 49 se muestra la distribución espacial de los valores de periodos dominantes en la ciudad de Asia y alrededores. Los resultados obtenidos permiten definir áreas con valores de 0.1- 0.3 segundos y de 0.4 - 0.6 segundos. Los periodos más bajos se encuentran principalmente en el extremo Este del área de estudio. Por otro lado, hacia la línea de costa (oeste del Boulevard de Asia, los Humedales y en el extremo norte de la ciudad), sobresalen estos dos rangos de periodos, rodeando a otra área con periodos de 0.4 y 0.6 segundos.

Los periodos dominantes que caracterizan a los suelos de la ciudad de Asia están relacionados por sus condiciones físico-dinámicas a través de la relación $T_0=4H/V_s$ (T_0 , periodo dominante; H , espesor del estrato y V_s , velocidad de onda de corte). Entonces, conocidos los periodos y la velocidad de las ondas de corte (V_s), se puede estimar los espesores de las capas del suelo. Asumiendo, velocidades de 180 y 250 m/s para las ondas de corte (V_s) y periodos de 0.2 y 0.5 segundos, se estima para la capa superficial espesores de entre 8 y 30 metros. Estos valores son confirmados con los modelos de velocidad y espesores de capas obtenidos con los métodos geofísicos.

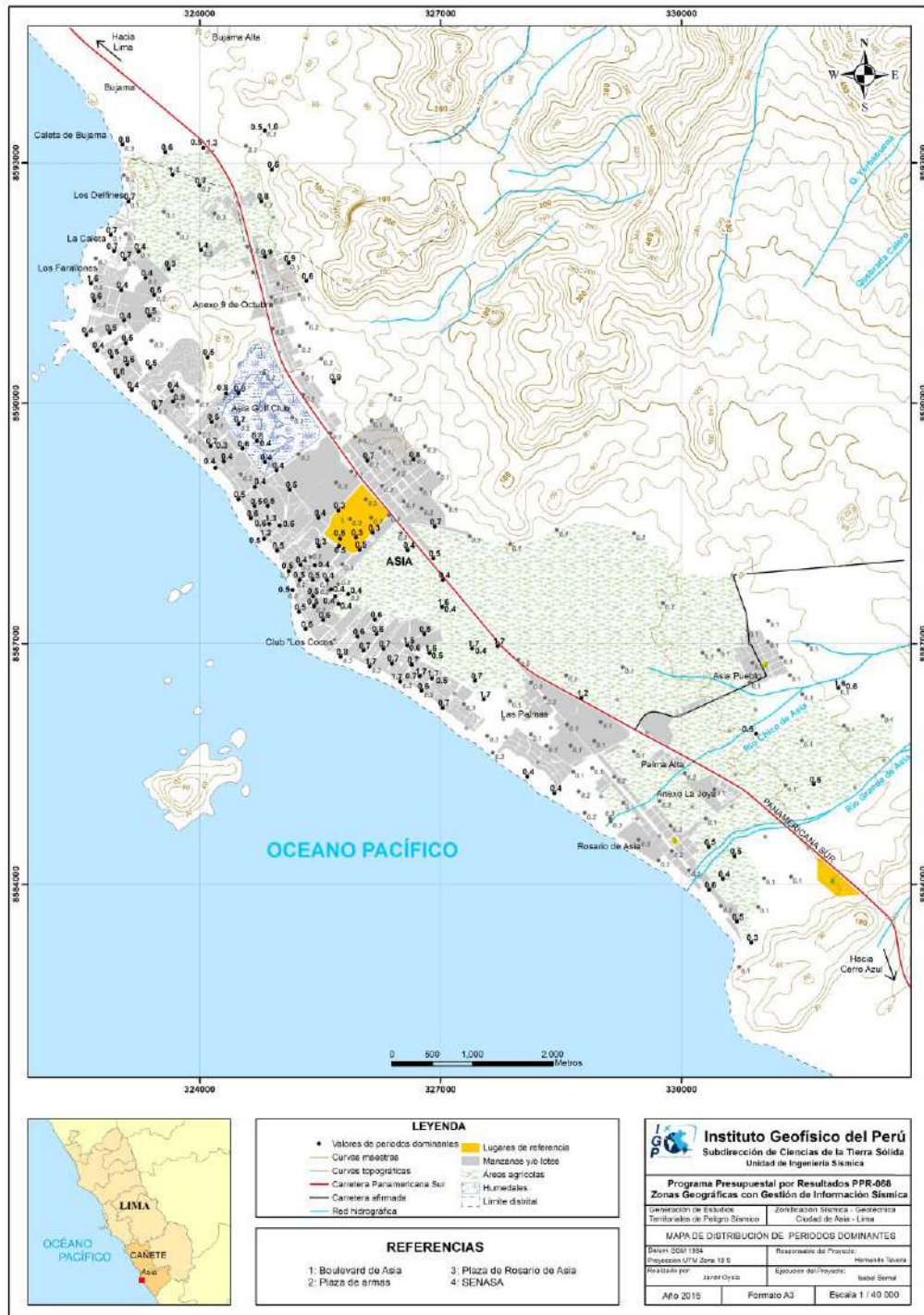


Figura 49: Mapa de la distribución espacial de los valores de periodos dominantes

11.4.- Estudios de tomografía eléctrica

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 con mayor o menor contenido de agua. Conocidas las resistividades del suelo ($\Omega.m$), por medio de secciones transversales (2-D) se modela versus la profundidad y los resultados son validados con datos geológicos. En la ciudad de Asia y alrededores se han realizado 6 líneas de tomografía eléctrica con el dispositivo polo-dipolo (Figura 50) y la distribución de 25 electrodos a fin de alcanzar tendidos de 120, 144 y 240 metros, lo cual permitió tener alcances en profundidad del orden de 24 y 40 metros (Tabla 12).

Tabla 12: Parámetros de operación considerados en los tendidos eléctricos

Nombre de la Línea o sección geo-eléctrica	Separación de Dipolo / Número de electrodos	Extensión de la línea
LE01-AS	5 m / 25 Electrodos	120 m
LE02-AS	10 m / 25 Electrodos	240 m
LE03-AS	10 m / 25 Electrodos	240 m
LE04-AS	5 m / 25 Electrodos	120 m
LE05-AS	10 m / 25 Electrodos	240 m
LE06-AS	6 m / 25 Electrodos	144 m

A continuación, se describe las características de cada una de las secciones geo-eléctricas realizadas y cuya información permitirá conocer el valor real de la resistividad del subsuelo en la ciudad de Asia y alrededores.

.- Línea de Tomografía Eléctrica LE01-AS: Línea eléctrica realizada en los Condominios Golf Club, ubicado en el extremo noroeste de la ciudad (Figura 51a). La profundidad alcanzada es de 19 metros con el predominio de valores bajos resistivos. En la parte superficial se observa tres tramos de resistividades mayores a 20 ohm.m con espesores variables. Estos valores también se observan en el extremo final e inferior de la línea. Valores menores a 20 ohm.m se observan en forma horizontal a lo largo de la línea. Los materiales que

conforman la parte superficial de la línea son arena y gravas, la superficie es afirmada. Los valores bajos presentes en la línea pueden asociarse a la proximidad del mar.

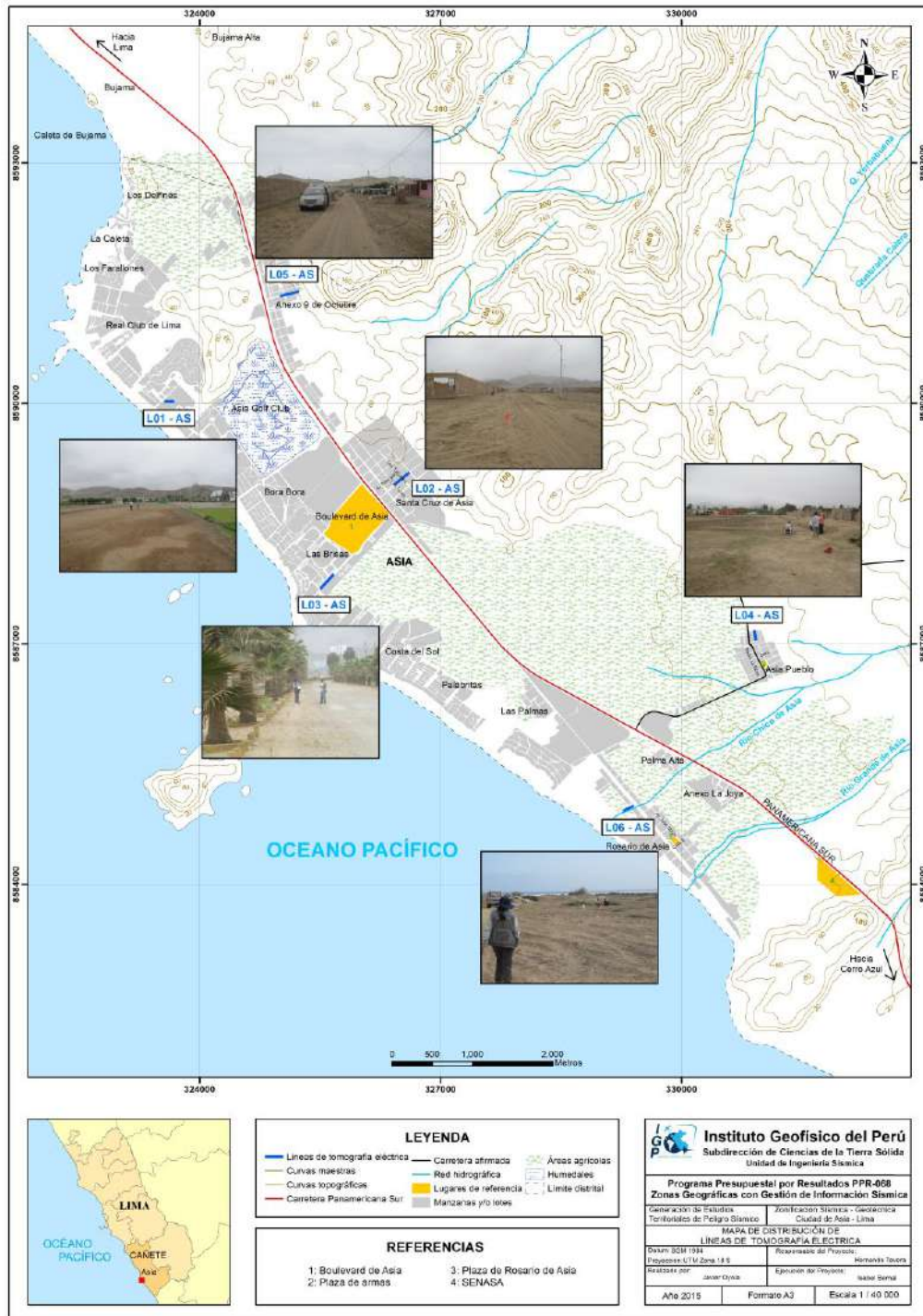


Figura 50: Mapa de la ciudad de Asia y ubicación de las 6 líneas de tomografía eléctrica.

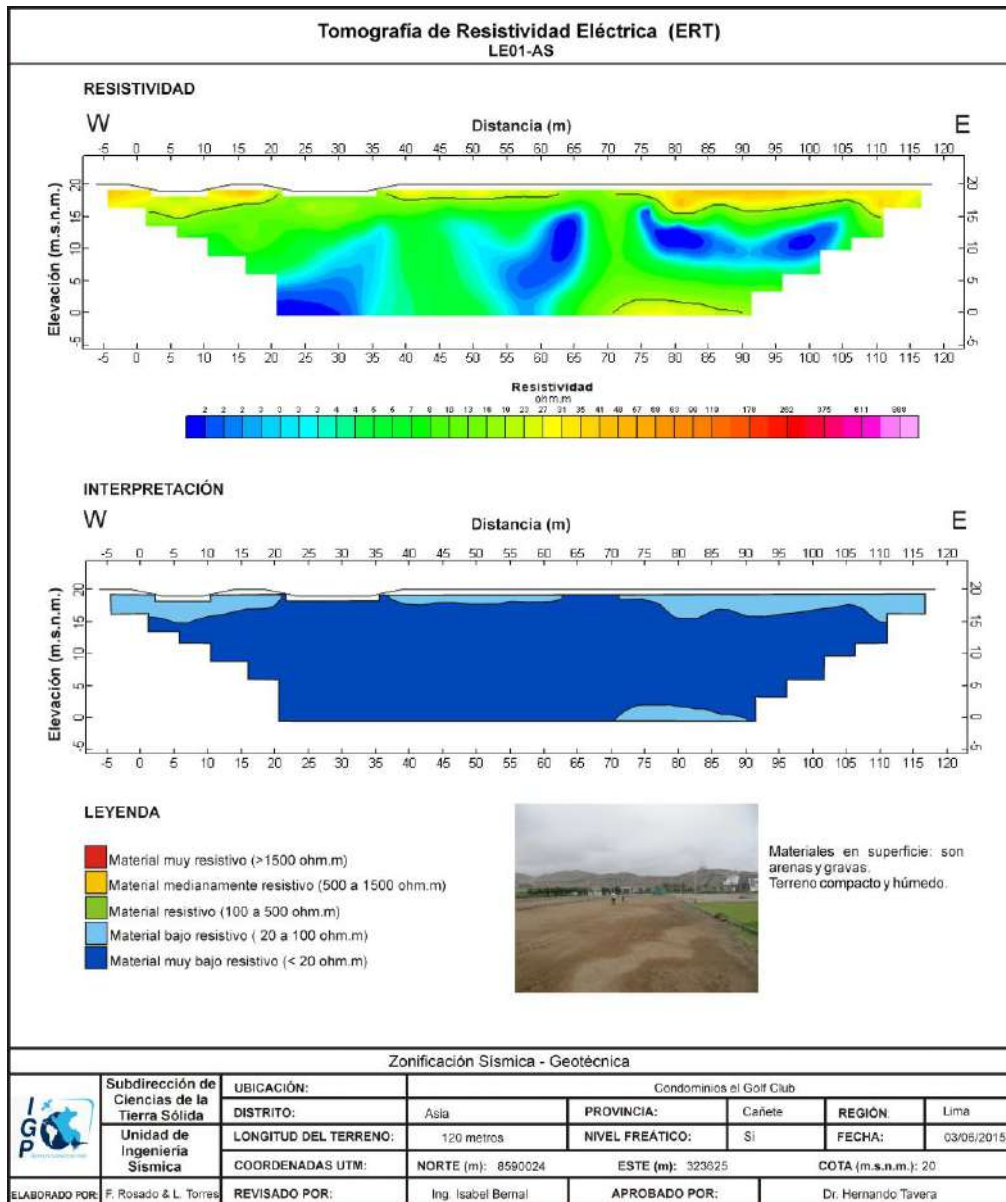


Figura 51a. Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método de tomografía eléctrica para la línea LE01-AS.

- Línea de Tomografía Eléctrica LE02-AS: Línea eléctrica realizada en la zona de la Capilla, ubicada en la parte central este del área urbana de Asia (Figura 51b). La profundidad alcanzada es de 40 metros con el predominio de valores bajos resistivos. En superficie se observa dos tramos con valores mayores a 500 ohm.m, entre las estaciones 8 a 10 y entre las estaciones 160 a 180, por debajo de estos valores se presentan valores mayores a 100 ohm.m. Entre las estaciones 30 a 50 se presentan valores mayores a 100 ohm.m aproximadamente a 15 metros de profundidad. Los valores de resistividad menores a 100 ohm.m cubren la mayor parte de la línea de tomografía eléctrica

con formas y espesores variados. Los materiales que conforman la parte superficial de la línea son arenas y gravas.

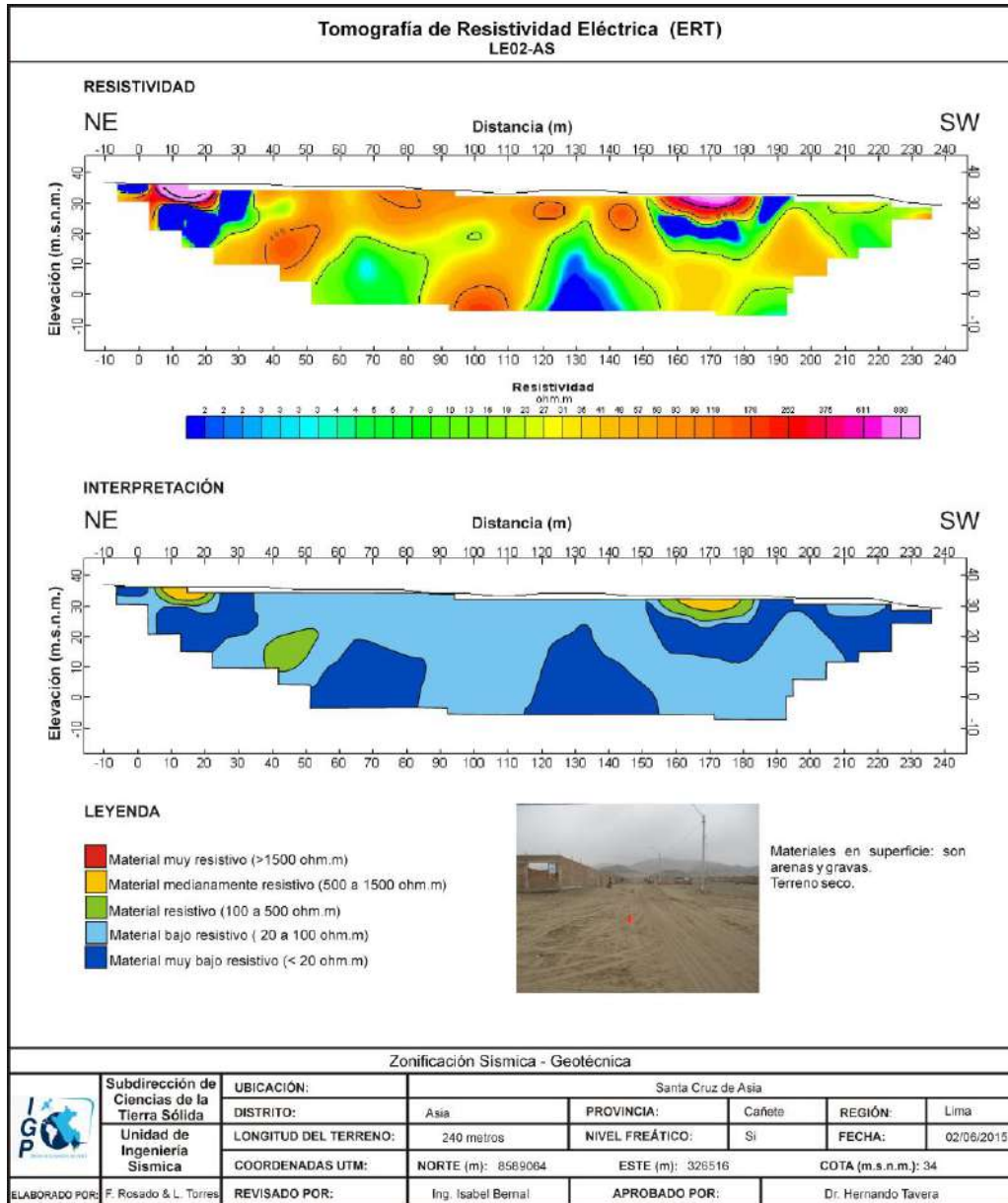


Figura 51b. Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método de tomografía eléctrica para la línea LE02-AS.

.- Línea de tomografía eléctrica LE03-AS: Línea eléctrica realizada en la Av. Cayma, extremo centro-oeste de la ciudad de Asia (Figura 51c). La profundidad alcanzada es de 40 metros con el predominio de valores muy bajos resistivos predominan en la línea. Se observa valores de resistividad mayores a 20 ohm.m entre las estaciones 200 a 220 con espesores de aproximadamente 5 metros. Este valor de resistividad se observa en profundidad al inicio de la línea. En la

línea se observan valores de resistividad menores a 20 ohm.m, en superficie y profundidad, siendo asociados a la proximidad del mar. Los materiales que conforman la parte superficial de la línea son arena, limos, gravas.

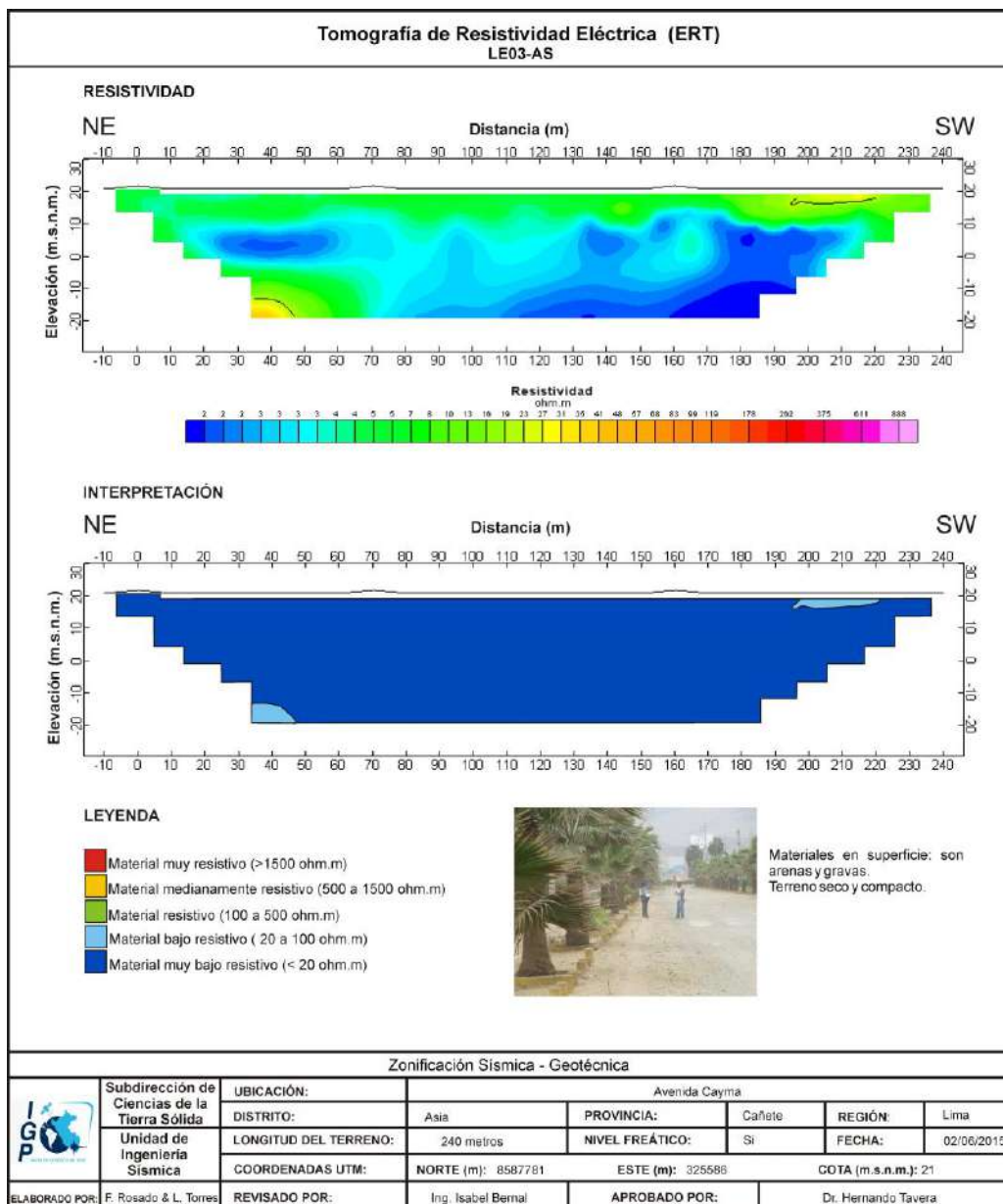


Figura 51c. Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método de tomografía eléctrica para la línea LE03-AS.

.- Línea de tomografía eléctrica LE04-AS: Línea eléctrica realizada en una cancha de fútbol ubicada en la Cooperativa Asia (Figura 51d). La profundidad alcanzada es de 19 metros con el predominio de valores resistivos a lo largo de la línea. Se observan resistividades entre 4 a 20 ohm.m en dos tramos, el primero entre las estaciones 20 a 27 y el segundo entre las estaciones 86 a 96

con profundidades que llegan a los 2 metros aproximadamente. Valores de resistividad mayores a 20 ohm.m se observan en superficie en forma horizontal con espesores variables a lo largo de la línea. Al inicio de la línea y a una profundidad aproximada de 9 metros, se observa resistividades mayores a 500 ohm.m con espesores variables. Estos valores de resistividad también se observan, en profundidad, en el extremo final de la línea. Los materiales que conforman la parte superficial de la línea son gravas y limos. Se observó la presencia de pastos en superficies húmedas.

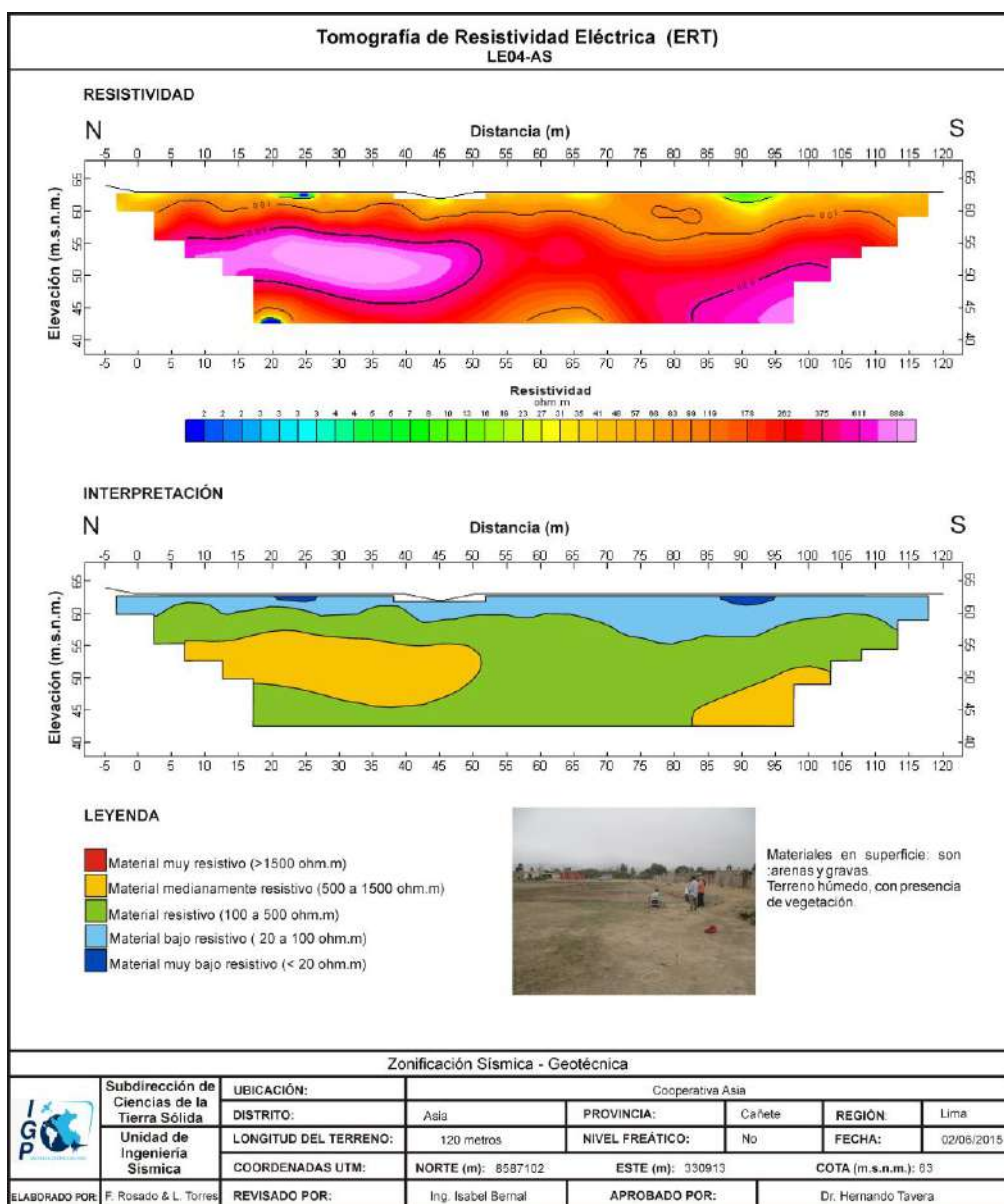


Figura 51d. Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método de tomografía eléctrica para la línea LE04-AS.

- Línea de tomografía eléctrica LE05-AS: Línea eléctrica realizada al costado del Colegio 9 de Octubre, ubicado en el extremo noroeste de la ciudad de Asia (Figura 51e). La profundidad alcanzada es de 40 metros con el predominio de valores bajos resistivos en la línea. Se observa resistividades mayores a 100 ohm.m en superficie, los cuales se extienden de forma horizontal con espesores variables desde la estación 15 a 220. En profundidad, estos valores se encuentran en dos tramos, el primero entre las estaciones 40 a 100 y el segundo entre las estaciones 138 a 160.

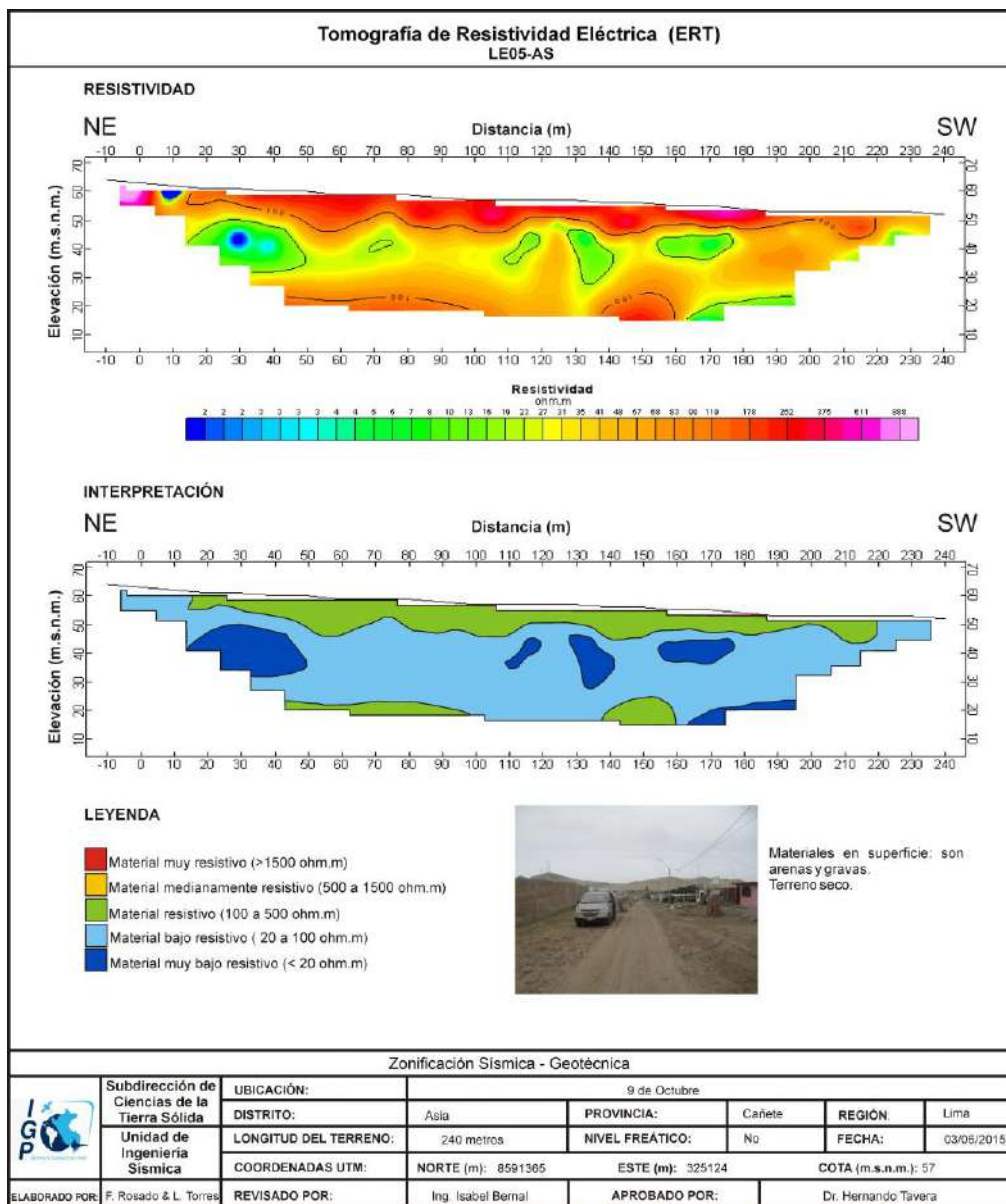


Figura 51e. Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método de tomografía eléctrica para la línea LE05-AS.

Los valores mayores a 20 ohm.m afloran en superficie al inicio y al final de la línea, para luego profundizarse y extenderse por la línea. Asimismo, estos valores encierran a otros muy bajos resistivos que se presentan en forma de ovoides. Los materiales que conforman la parte superficial de la línea son arenas y gravas.

.- Línea de tomografía eléctrica LE06-AS: Línea eléctrica realizada en el anexo Rosario de Asia, próximo al Río Chico ubicado en el extremo sur de la ciudad de Asia (Figura 51f).

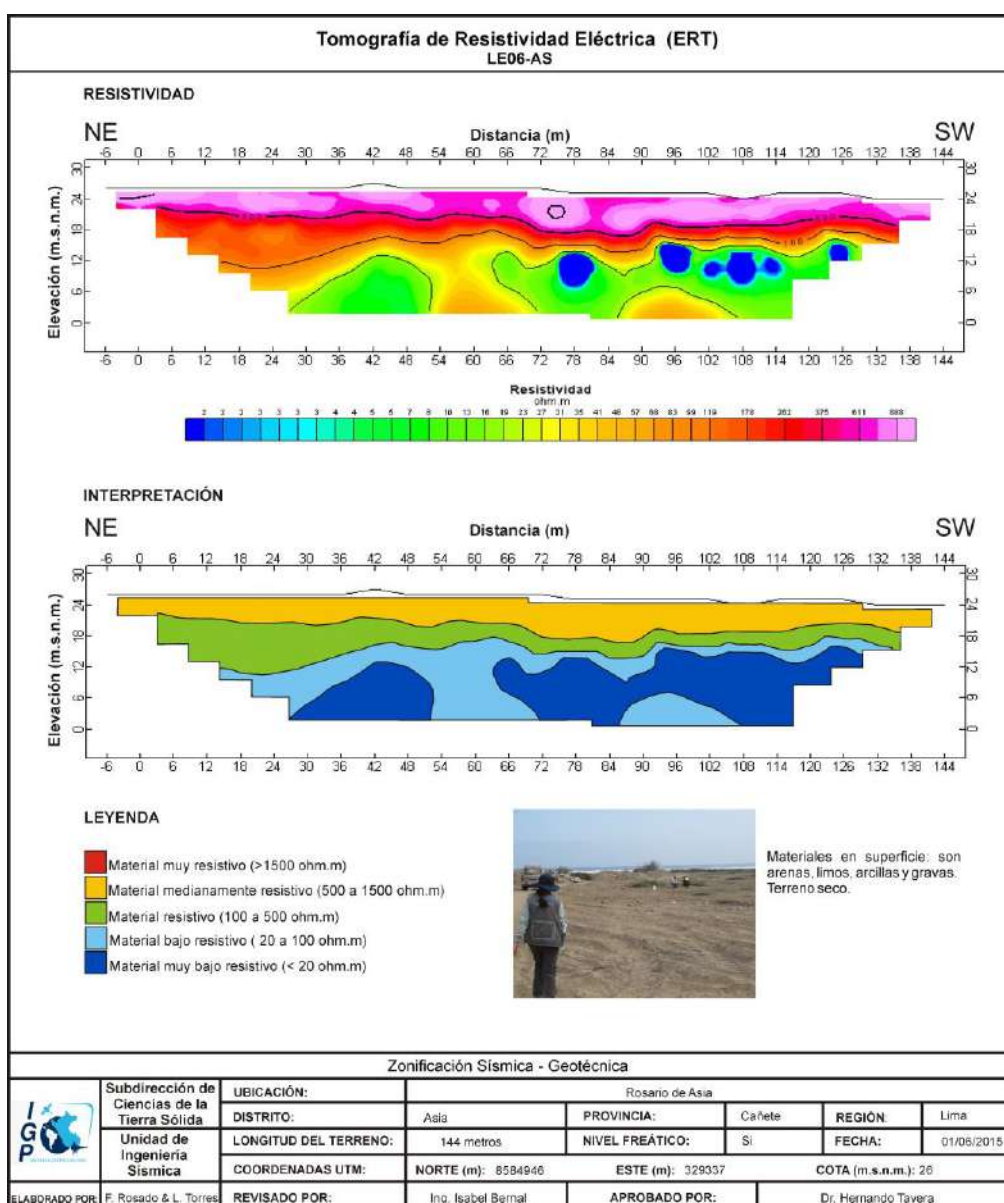


Figura 51f. Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método de tomografía eléctrica para la línea LE06-AS.

En esta línea, la profundidad alcanzada es de 24 metros con el predominio de valores bajos resistivos. Asimismo, se observan valores mayores a 500 ohm.m que se extienden a lo largo de la línea con espesores variables en superficie, y por debajo se identifica la presencia de valores mayores a 100 ohm.m con espesores menores hacia el extremo SO de la línea. Estos valores de resistividad se extienden en forma horizontal a lo largo de la línea. Los valores muy bajos y bajos resistivos pueden asociarse a la proximidad con el mar. Los materiales que conforman la parte superficial de la línea son arenas, gravas, arcilla y limos, con la presencia de poca vegetación.

En resumen, la distribución de los valores de resistividad, evidencian la presencia de valores muy bajos resistivos, en el extremo Oeste del área urbana de Asia, asociados a su cercanía al mar. En las Brisas próximos al Boulevard de Asia, se obtuvieron valores de 2 a 10 ohm.m para estratos con espesores mayores a los 30 metros. Hacia su extremo Este, se tiene el predominio de valores bajo resistivos y resistivos. En Asia pueblo se obtuvieron resistividades que fluctúan entre 100 y 800 ohm.m.

12.- ZONIFICACIÓN SÍSMICA - GEOTÉCNICA

El Mapa de Zonificación Sísmica-Geotécnica para la ciudad de Asia y alrededores considera el análisis e interpretación de la información geológica, geomorfológica, geodinámica, geotécnica, sísmica y geofísica. Para la ciudad de Asia, las características dinámicas del suelo han permitido identificar, de acuerdo a la Norma de Construcción Sismorresistente (Norma E-030), la existencia de tres tipos de suelos: Tipo S1, S2 y S4, este último asociado a condiciones excepcionales.

12.1.- Mapa de Zonificación Sísmica - Geotécnica

Para la ciudad de Asia se propone la siguiente zonificación Sísmica – Geotécnica (Figura 52):

.- ZONA I: Conformada por estratos de grava - aluvial que se encuentran a nivel superficial o cubiertos por un estrato de material fino de poco espesor. Este suelo tiene un comportamiento semi-rígido, con periodos de vibración natural que varían entre 0.1 y 0.3 segundos, correspondiendo a suelos Tipo S1 de la norma sismorresistente peruana. Esta zona presenta velocidades de ondas de corte (V_s) del orden de 400m/s y suelos con capacidad portante de 3 kg/cm².

.- ZONA II: Se incluye a terrenos conformado por estratos superficiales de suelos areno-arcillosos con espesores que varían entre 4 y 15 metros, subyaciendo a estos estratos se tiene suelos de mayor consistencia. Los periodos dominantes del terreno fluctúan entre 0.4 y 0.6 segundos, correspondiendo a suelos Tipo S2 de la norma sismorresistente peruana. Esta zona presenta velocidades de ondas de corte (V_s) de 180 a 380 m/ y suelos con capacidad portante de 1.0 a 2.0 kg/cm².

.- ZONA IV: Conformada por depósitos marinos y suelos pantanosos. El comportamiento dinámico de los suelos ha sido tipificado como suelo Tipo S4 de la norma sismorresistente peruana (Según la Norma E03, es un caso especial y/o condiciones excepcionales).

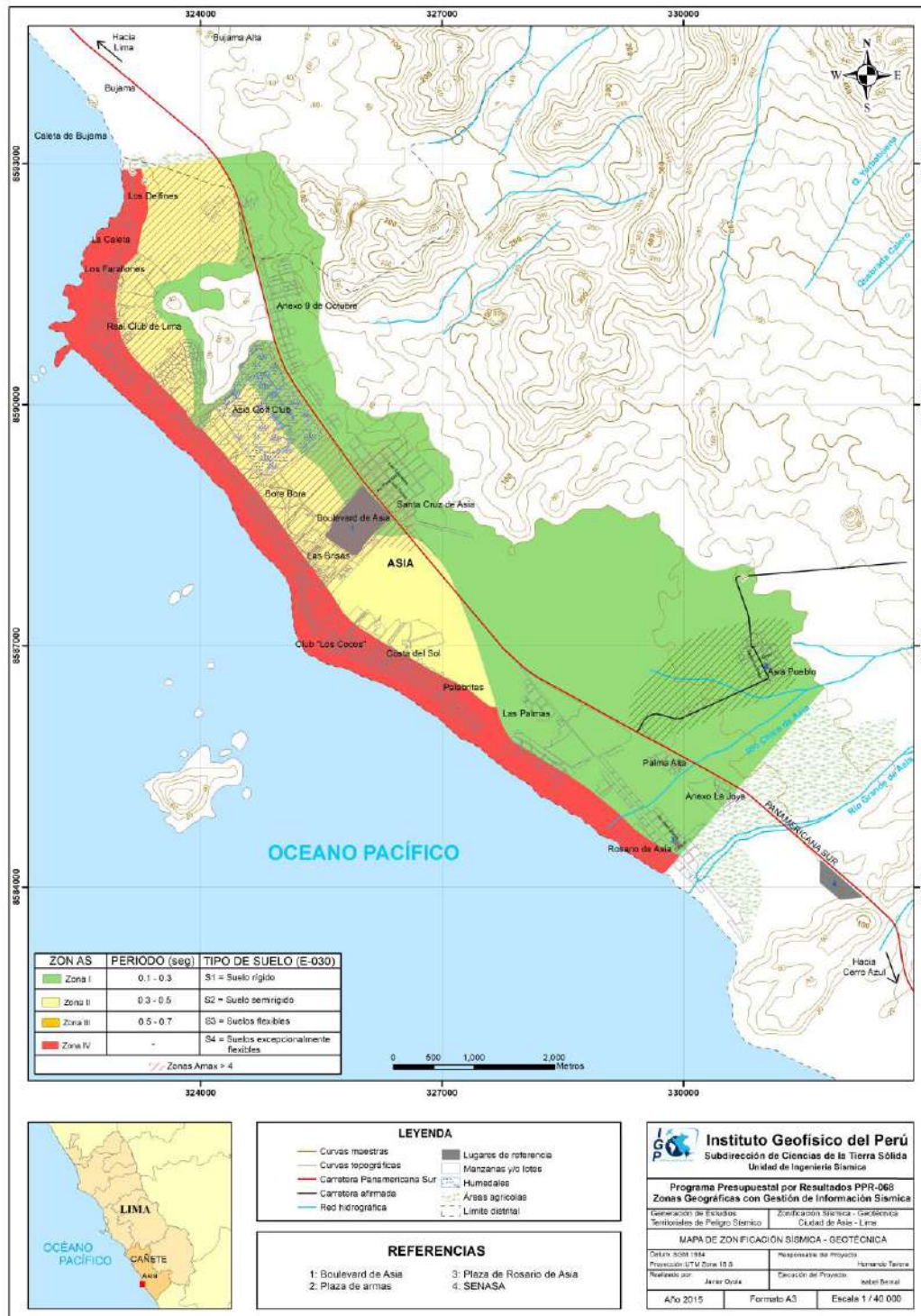


Figura 52: Mapa de zonificación Sísmica – Geotécnica para la ciudad de Asia y alrededores

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El estudio de Zonificación Sísmica-Geotécnica (Comportamiento Dinámico del Suelo) para la ciudad de Asia y alrededores, ha permitido llegar a las siguientes conclusiones y recomendaciones:

CONCLUSIONES

El 54 % de la superficie de la ciudad de Asia se encuentra sobre un abanico aluvial (gravas, arenas y arcillas semicompactadas) y en los alrededores, el resto de la superficie es ocupada por dunas, lomas y playa. Es parte del distrito, las islas que se encuentran frente a la ciudad. El substrato rocoso está conformado por rocas volcánicas sedimentarias del tipo areniscas cuarzosas de grano fino a medio, intercaladas con niveles de andesitas de la Formación Chilca, que afloran a 100 m al este de Santa Cruz de Asia.

Se ha identificado procesos de caída de rocas en Santa Cruz de Asia, así como oleajes en el límite costero que afecta al boulevard con el deterioro del cerco perimétrico de los condominios.

El Mapa de Zonificación Sísmica-Geotécnica para la ciudad de Asia y alrededores ha permitido identificar, de acuerdo a la Norma de Construcción Sismorresistente (Norma E-030), la existencia de tres tipos de suelos: Tipo S1, S2 y S4, este último asociado a condiciones excepcionales observadas a lo largo de la zona costera.

RECOMENDACIONES

Este documento técnico debe ser utilizado por las autoridades locales y regionales de la ciudad de Asia para una mejor Gestión del Riesgo ante la ocurrencia de sismos y efectos secundarios. Del mismo modo, para aportar con las normativas necesarias para el desarrollo y expansión urbana de la ciudad de Asia.

BIBLIOGRAFÍA

- Alfaro, A., Egozcue y A. Ugalde (1999): Determinación de características dinámicas del suelo a partir de microtemores. Memorias del Primer Congreso de Ingeniería Sísmica, España.
- Autoridad Nacional del Agua, ANA (2011) - Evaluación de recursos hídricos superficiales en la cuenca del río Chancay – Huaral.
- APESSEG (2005): Estudio de vulnerabilidad y riesgo sísmico en 42 distritos de Lima y Callao, CISMID, 10 pag.
- Aki, K., (1957): Space and time spectra of stationary stochastic waves, with special reference to microtemors. Bulletin of the Earthquake Research Institute, University of Tokyo 35, 415–457.
- 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 1-6, 2004 Paper No. 2207
- Beresnev, I.A., K.L. Wen, and Y.T. Yeh 1995a, “Nonlinear Soil Amplification: It’s Corroboration in Taiwan. Bull, Seism. Soc. Am., Vol. 85, pp. 496-515
- Bernal, I. (2002) Microzonificación sísmica de la ciudad de Tlaxcala, Mexico. Tesis de Maestría en Ciencias, UNAM, pag. 130.
- Bernal, I. (2006): Microzonificación Sísmica de la Ciudad de Tlaxcala – Mexico. Tesis de Maestría, II-UNAM, Mexico.
- Bernal, I. y H. Tavera (2007): Estimación de frecuencias predominantes y amplificaciones relativas en los terrenos del BCP-Ciudad de Trujillo. Informe presentado al BCP, 22p.
- Braja, M. (2001). Fundamentos de Ingeniería Geotécnica. Thomson y Learning, 580 pag.
- Capon, J.,(1973): Signal processing and frequency-wavenumber spectrum analysis for a large aperture seismic array, in *Methods in Computational Physics*, Vol. 13, ed. Bolt, B.A., Academic Press Inc, New York
- Carpio, J. y Tavera, H. (2002). Estructura de un catálogo de Tsunamis para el Perú basado en el Catalogo de Gustakov (2002). BSGP, V94, 45-59.
- Chlieh, M., Perfettini, H., Tavera, H., Avoac, J-P. (2011). Interseismic coupling and seismic potential along Central Andes subduction zone. J. G. R. Vol 116, B12405, doi:10.1029/2010JB008166
- Cruden, D. (1991). A simple definition of a landslide. IAEG. Bull. 43, 27-29.

- Casagrande. A. (1948): Classification and identification of soils, American Society of Civil Engineers, Transactions, Vol. 113, 901-991.
- Dale D. (1990). Mountain waves and Downslope Winds. Meteorological Monographs. 23:59 81
- Dorbath, L., Cisternas, A., Dorabath, C. (1990): Assessment in the size of large and great historical earthquake in Peru. B.S.S.A., 80,551-576
- Fäh D., Kind F. and Giardini D. (2002). Inversion of local S-wave velocity structures from average H/V ratios, and their use for the estimation of site effects. *Journal of Seismology*, 7, 449-467
- Felícísimo, 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.
- INDECI (2003) – Uso de suelos y medidas de Mitigación en la ciudad de Asia.
- Goto, C. y Ogawa, Y. (1992): Numerical Method of Tsunami Simulation with the Leap-frog Scheme. Translated for the TIME project by N Shuto.
- Guillier, B., J.-L. Chatelain . H. Tavera . H. Perfettini . A. Ochoa . B. Herrera (2014): Establishing empirical period formula for RC buildings in Lima (Peru): evidence for the impact of both the 1974 Lima earthquake and the application of the Peruvian seismic code on high-rise buildings (in preparation).
- Gutiérrez-Elorza, M. (2008). Geomorfología. Pearson Educación, S.A., Madrid, 898 pp.
- Gutierrez, C. y S.K. Singh (1992): A site effect study in Acapulco, Guerrero, Mexico: Comparison of results from strong motion and microtremor data, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 82, 642-659, 1992.
- Hartzel, S. H. (1992). Site response estimation from earthquake data. *Bull. Seism. Soc. Am.* 82, 2308-2327
- Hutchinson, J.N. (1986). A sliding-consolidation model for flow slides, *Can.Geotech.J.*, 23, 115-126
- INDECI (2001): Informes de los principales desastres ocurridos en Perú. Instituto de Defensa Civil del Perú.
- Knighton, A. (1998): Fluvial Forms & Processes: a new Perspective . Londres. Arnold
- Lachet, C. y P. Y. Bard (1994): Numerical and theoretical investigations on the possibilities and limitations of Nakamura's technique, *J. Phys. Earth.*, 42, 377-397 pp.
- 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 MH (2001). Tutorial: 2 D and 3 D electrical imaging survey, Geotomo Software, Malaysia
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2015) - <http://renac.mtc.gob.pe/inventariovial/default2.aspx>
- Morisawa, M. (1968). Streams: their dynamics and morphology. McGraw-Hill. New York, New York, USA.
- Nakamura, Y., (1989): A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface, *QR of RTRI*, 30, No.1, 25-33 pp.
- Norma E-30 (2016): Diseño sismorresistente en el Perú, SENCICO.
- Nuria, D. y A. González (1993): Propiedades dinámicas de edificios de la ciudad de México. 6tas. Jornadas Chilenas de Sismología e ingeniería antisísmica. Santiago, Chile, 1, pp. 585-594.
- Ordaz, M., A. Aguilar, J. Arboleda (2007): Program for computing seismic hazard: CRISIS-2007 V1.1., Institute of Engineering, UNAM, México.
- Okada, H. (2003): The Microtremor Survey Method, Geophysical monograph series, No 12, Society of exploration geophysicists, 135 pp.
- Palacios, O., y Caldas, J., y Vela, C., INGEMMET (1992) - Geología del Cuadrángulo de Chancay – Hoja 24i.
- Papazachos, et al. (2004): Global realtions between seismic fault parameters and momento magnitude of eathquakes. *Bull. Geol. Soc. of Greece*, 36, 1482-1489.
- PNUD (2010):. Riesgo sísmico y medidas de reducción del riesgo en Lima. PNUD, INDECI, Proyecto N° 00058530
- Sadigh, K., C. Chang, J. Egan, F. Makdisi, R. Young (1997): Attenuation relationship for shallow crustal earthquakes based on California Strong Motion Data, *Seis. Res. Lett.*, V-68, N-1, January/February.
- Santacana, N. (2001): Análisis de susceptibilidad del terreno a la formación de deslizamientos superficiales y grandes deslizamientos mediante el uso de sistemas de información geográfico. Aplicación a la cuenca alta del rio Llobregat. Tesis Doctoral Universidad Politécnica de Cataluña
- Silgado, E. (1978): Historia de los sismos más notables ocurridos en el Peru entre 1513 y 1974. Instituto Geológico Minero del Perú, Lima, Perú, 120 pag.
- Tavera, H., Bufo, E. (2001): Source mechanism of earthquakes in Peru. *Journal of Seismology* 5: 519–539, 2001.
- Tavera, H., Bernal, I., Gomez, J-C. (2010): Zonificación Sísmico-Geotécnico para el Distrito del Callao (Comportamiento Dinámico del Suelo). Informe Técnico COOPI-IRD.
- Tavera, H., Bernal, I., Gomez, J-C. (2010): Zonificación Sísmico-Geotécnico para el Distrito del Lima (Comportamiento Dinámico del Suelo). Informe Técnico COOPI-IRD.
- Tavera, H., Bernal, I., Condori, C. (2012): Propuesta del mapa de Peligro Sísmico para el Perú. Sismología, IGP.

- Tavera et al, (2002): The Arequipa (Peru) earthquake of June 23, 2001. *Journal of Seismology*, 6: 279-283, 2002.
- Tavera, H. (2014). Mapa Sísmico del Perú, periodo 1960 – 2014. Dirección de Ciencias de la Tierra Sólida, IGP.
- Tavera et al, (2014). Estimación del Peligro Sísmico para el Perú. Subdirección de Ciencias de la Tierra Sólida, IGP.
- Varnes D.J. (1958). "Landslides types and processes". Special report 29: Landslides and engineering practice (E.B. Eckel, ed.) HRB, National Research Council, Washington, D.C., pp. 20-47.
- Varnes D.J. (1978). "Slope movement types and processes". Special report 176: Landslides: Analysis and control (R.L. Schuster and R.J. Krizek, eds.), TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp.11-33.
- Young, R., S. Chiou, W. Silva, J. Humphrey (1997): Strong Ground Motion Attenuation Relationship for subduction zone earthquakes. *Seism. Res. Lett.*, V-68, N-1, January/February.

MAPAS



DIRECCIÓN DE CIENCIAS DE LA TIERRA SOLIDA

Calle Calatrava 216 – Urb. Camino Real – La Molina

Teléfono: 3172300 (140)