PERÚ Ministerio del Ambiente | Instituto Geofísico del Perú - IGP | Dirección Científica | Subdirección de Ciencias de la Tierra Sólida - SCTS

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 CIUDAD DE CAMANÁ

(Comportamiento Dinámico del Suelo)

Responsable: Hernando Tavera

Lima – Perú
2014

ZONIFICACIÓN SÍSMICA – GEOTÉCNICA DE LA CIUDAD DE PUNTA DE CAMANÁ

Provincia de Camaná – Departamento de Arequipa

(Comportamiento Dinámico del Suelo)

Responsable del Proyecto: Dr. Hernando Tavera

Desarrollo del Proyecto

Unidad de Ingeniería

MsC. Isabel Bernal

Unidad de Geodinámica

MsC. Juan Carlos Gomez

Personal participante

Fabiola Rosado
Wilfredo Sulla
Javier Oyola
Martha Añazco
Gabriela Pérez
Jesús Huarachi
Henry Salas
Renzo Bustamante
Abraham Gamonal
Mariana Vivanco
Roberth Carrillo
Cristhian Chiroque
Segundo Ortiz
Julio Martínez
José Guzman

Apoyo Técnico

Estela Torres
Augusto Cárdenas

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 de la ciudad de Camaná, distrito de Camaná, provincia de Camaná, departamento de Arequipa. 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.

Los resultados obtenidos para la ciudad de Camaná han permitido identificar la existencia de tres tipos de suelos codificados como Tipos S1, S2 y S4, y según la Norma de Construcción Sismorresistente (Norma E.030) corresponde a las ZONAS I, II y IV.

El Mapa de Zonificación Sísmica-Geotécnica para la ciudad de Camaná 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, 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.-UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

- 3.2.- Hidrografía

4.- ANTECEDENTES

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.- Llanura Aluvial
    - 9.1.1.2.- Colinas
    - 9.1.1.3.- Valle Encañonado
    - 9.1.1.4.- Terrazas de Inundación
    - 9.1.1.5.- Playas
    - 9.1.1.6.- Acantilados
    - 9.1.1.7.- Conos Deyectivos

9.2.- Geología

9.2.1.- Geología Loca

9.2.1.- Complejo Basal de la Costa

9.2.2.- Formación Camaná

9.2.3.- Depósitos Cuaternarios

9.3.- Geodinámica

9.3.1.- Movimientos en Masa

9.3.2.- Erosión Fluvial

9.3.3.- Zonas Inundables por Tsunami

10.- GEOTÉCNIA

10.1.- Capacidad de Carga Admisible

10.2.- Clasificación de Suelos SUCS

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 Ensayo de Penetración Dinámica Ligera
ANEXO 4: Fichas de Posteo
ANEXO 5: Mapas formato A3

NOTA: La base de datos de campo, la información procesada y material fotográfico puede ser solicitado a la Dirección de Sismología 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 2014 el Proyecto "***Zonas Geográficas con Gestión de Información Sísmica***" y como parte del mismo, la Sub-Dirección de Ciencias de la Tierra Sólida desarrolla 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 siguientes ciudades:

- *Ciudad de **Acarí**, distrito de Acarí, provincia de Caravelí, departamento de Arequipa.*
- *Ciudad de **Bella Unión**, distrito de Bella Unión, provincia de Caravelí, departamento de Arequipa.*
- *Ciudad de **Yauca**, distrito de Yauca, provincia de Caravelí, departamento de Arequipa.*
- *Ciudad de **Chala**, distrito de Chala, provincia de Caravelí, departamento de Arequipa.*
- *Ciudad de **Camaná**, distrito de Camaná, provincia de Camaná, departamento de Arequipa.*
- *Ciudad de **Arequipa**, distrito Centro, provincia de Arequipa, departamento de Arequipa.*
- *Ciudad de **Cocachacra**, distrito de Cocachacra, provincia de Islay, departamento de Arequipa.*
- *Ciudad de **Punta de Bombón**, distrito de Punta de Bombón, provincia de Islay, departamento de Arequipa.*

De acuerdo a la historia sísmica del Perú, la región sur 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). 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 uno de los tipos de suelos identificados en este 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 la ciudad de Camaná, ubicada en el distrito de Camaná, provincia de Camaná, departamento de Arequipa (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 ante 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: Plaza de Armas de la Ciudad de Camaná

3.- UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La Provincia de Camaná es una provincia peruana de las ocho que conforman el Departamento de Arequipa, bajo la administración del Gobierno regional de Arequipa, en sur del Perú. Limita al norte con las provincias de Condesuyos, Castilla y Caylloma, al este con la provincia de Arequipa y la provincia de Islay, al sur con el océano Pacífico y al oeste con la provincia de Caravelí (Figura 2).

En el pasado, Camaná estuvo habitada por diferentes grupos étnicos sobre los que destacan: Los changos, Aimaras y pequeños pueblos incaicos. El pueblo fue sometido por el imperio incaico por orden del Inca Pachacutec. Los incas supieron aprovechar la fertilidad del terreno camanejo. Camaná fue fundada en 1539 en el pueblo de Huacapuy. Esta ciudad, debido a razones de salud fue abandonada hacia finales de 1539, con lo que se procedió a la fundación de Arequipa. Posteriormente, en 1556, D. Andrés Hurtado de Mendoza realiza la Segunda Fundación de la hoy ciudad de Camaná, la misma se llamó Villa de San Miguel de Ribera. Camaná comenzó a ser habitada por los españoles hacia finales del año; por tanto, se procedió a construir un puerto en Quilca que fue usado para llevar el ganado y productos agrícolas a diferentes partes del virreinato del Perú. El puerto de Quilca fue uno de los más importantes en la Colonia y también fue donde se concentraba gran tráfico español y por ello, fue asaltado muchas veces por piratas y corsarios.

En cuanto a la distribución de la población por distritos, el Cercado es el distrito más poblado con 14.043 habitantes y el menos poblado es Quilca con 698 habitantes. En los últimos años el ritmo de crecimiento poblacional de Camaná ha ido incrementándose en algunos distritos y disminuyendo en otros, en especial aquellos que están rodeados por el área rural o agrícola, lo que permitió que la expansión urbana se realice en terrenos eriazos ubicados al norte de la ciudad de Camaná. Esta población, de bajos recursos económicos, apoyó en el desarrollo de las actividades agrícolas, a la construcción y al comercio

Camaná es conocida como “La Villa Hermosa de Camaná", tiene una larga historia de haber sido afectada por diversos peligros naturales como los sismos y tsunamis, siendo los más importantes, los ocurridos en los años 1868 y 2001 (Silgado, 1978; Tavera, 2001).

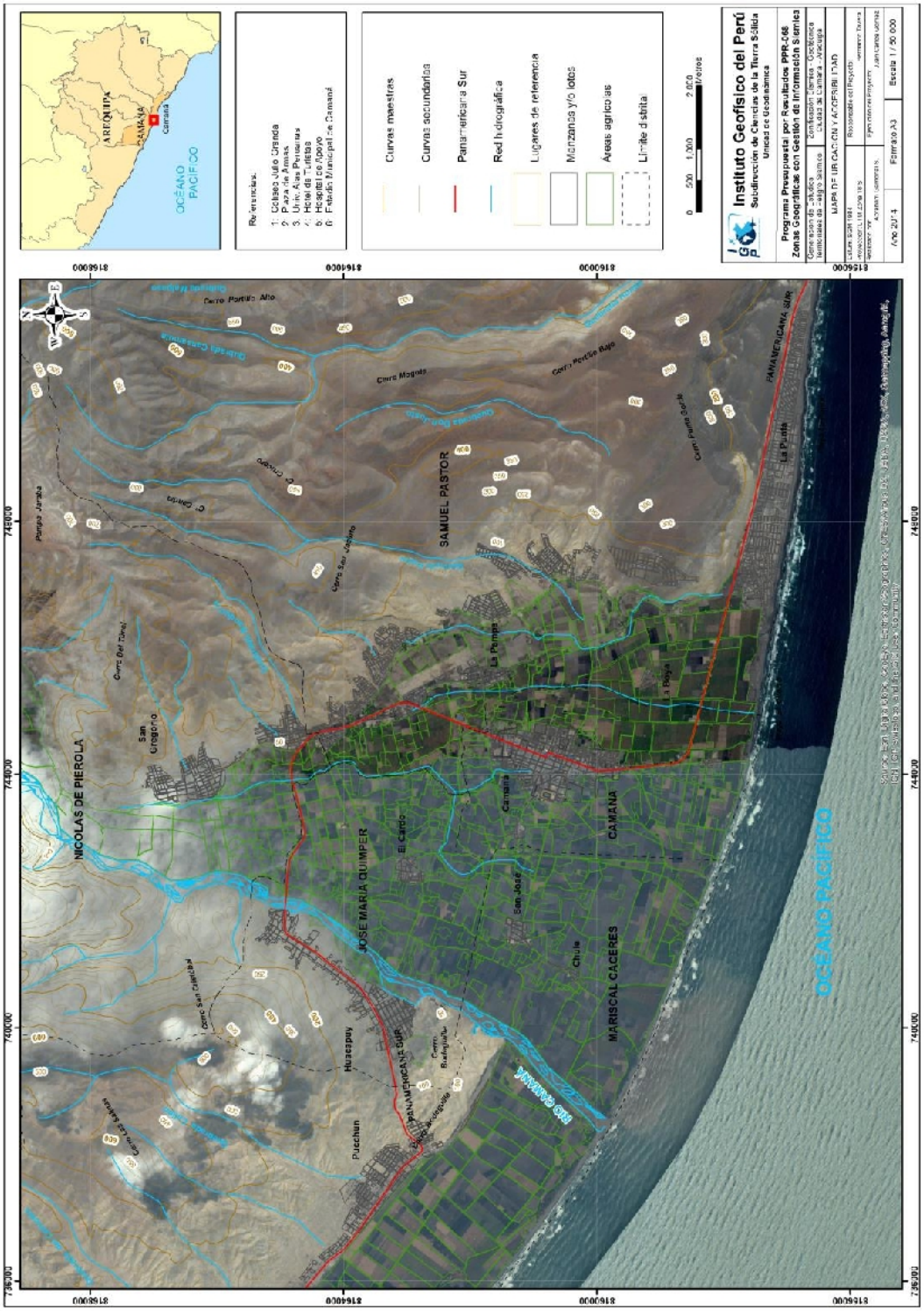


Figura 2: Ubicación geográfica de la ciudad de Camaná

3.1.- Hidrografía

El rio Camaná es el principal colector de las aguas superficiales y subterráneas de la zona de estudio. Este rio fluye en dirección Ne-SO sobre el flanco occidental del valle del mismo nombre, colindante con las estribaciones andinas. En las inmediaciones de San Gregorio, el cauce se amplía en la dirección SO hasta su desembocadura en el Océano Pacifico. En su parte alta, el cauce del rio es encañonado sobre un basamento rocoso conformado por rocas intrusivas compactas (Figura 3). Las áreas urbanas próximas al rio son El Cardo, San José, Chule, Pucchun y Huacapuy.

Figura 3: Cauce del rio Camaná y principales áreas urbanas ubicadas en su entorno.

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).

Por otro lado, a partir de los años 80, muchas de las ciudades costeras han soportado procesos continuos de migración de población proveniente de las provincias del interior del país y, debido a la falta de una adecuada planificación urbana y de acertadas políticas de planeamiento, la población inmigrante ha ocupado zonas de alto riesgo ante la ocurrencia de peligros como los sismos, tsunamis y otros efectos secundarios. A estas condiciones, 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. Asimismo, en algunas ciudades las viviendas se asientan en laderas de cerros, ríos, cauces de quebradas secas y zonas de terrazas inundables sin medir su vulnerabilidad e incrementando el riesgo en dichas zonas.

Considerando que el causante directo 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 (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.

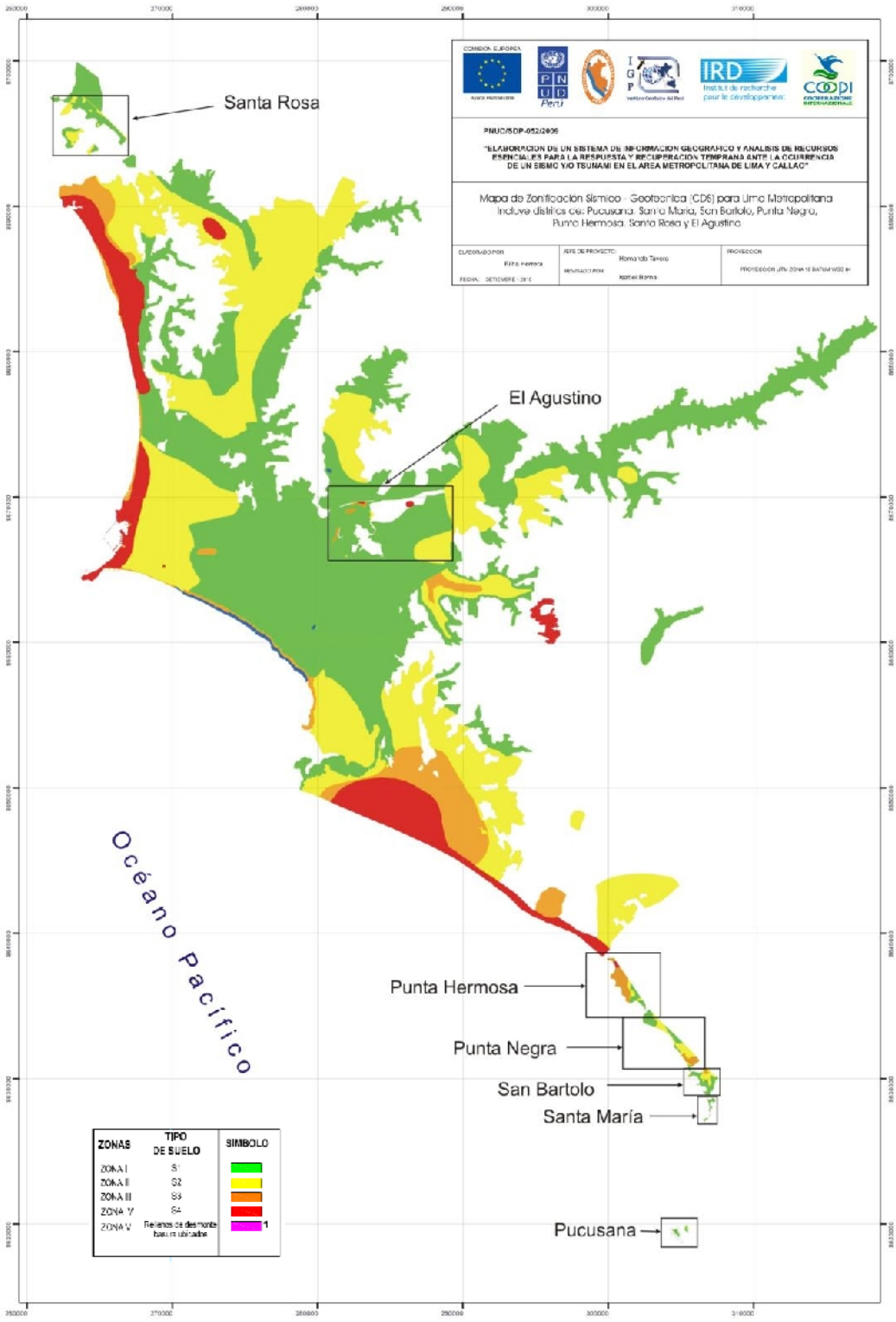


Figura 4: Mapa de Zonificación de suelos para Lima Metropolitana elaborado por el CISMID (APESEG, 2005) y complementado por el IGP (distritos en recuadro) dentro del proyecto PNUD (PNUD, 2010)

A partir del año 2012 y dentro 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 para 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 Huarmey del departamento de Ancash; además de Barranca y Huacho del departamento de Lima.

En el año 2014, el IGP realiza estudios similares en las ciudades de Acarí, Bella Unión, Yauca, Chala, Camaná, Arequipa, Punta de Bombón y Cocahacra, todas ubicadas en el departamento de Arequipa. ***Los resultados obtenidos para la Ciudad de Yauca son presentados en este informe bajo el siguiente título: “Zonificación Sísmica – Geotécnica de la Ciudad de Camaná”.***

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, geotécnicos, sísmicos y geofísicos. Cada uno de estos campos de investigación proveen de información básica sobre las observaciones de campo y la toma de data in situ, para lo cual es necesario disponer de mapas catastrales actualizados de las zonas en estudio, así como los correspondientes a las zonas de futura expansión urbana.

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

Estudios complementarios, dependiendo de cada área de estudio, son los relacionados a tsunamis, inundaciones por crecida de los ríos, licuación de suelos y deslizamientos de tierra y piedras en zonas de pendiente. 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.

6.- NORMA E.030, DISEÑO SISMORRESISTENTE

En 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 (2003)". 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 (Vs). 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 750 y 1500 m/s.*

.- ***Suelos intermedios (Tipo S2).*** *Suelos con características intermedias entre las indicadas para los suelos* S_1 *y* S_3.

.- ***Suelos flexibles o con estratos de gran espesor (Tipo S3).*** *Corresponden a suelos que presentan velocidades de ondas de corte menor e igual a 180 m/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 la Norma 3-030 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 (Vs) varía entre 500 y 1500 m/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 metros, 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 (Vs) varía entre 180 y 500 m/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 0.8 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 (Vs) son menores a 180 m/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 E03, 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 de la ciudad de Camaná se ha realizado con información recolectada en campo y la aplicación de diversas metodologías que se detallan a continuación.

7.1.- Estudios de Sismicidad

Se hace uso del Mapa Sísmico del Perú (Tavera, 2014) para describir las características sísmicas de la región en donde se encuentra el área de estudio. Del mismo modo, se describe a los sismos de mayor magnitud e intensidad ocurridos en la región a fin de describir los daños producidos por estos eventos durante el periodo histórico e instrumental. Para este objetivo de analiza la información contenida en Silgado (1978) y Dorbath et al, (1990), así como 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

Considera, en términos de probabilidad, conocer la severidad sísmica o aceleración con la cual podría ser sacudida el área en un determinado periodo de tiempo. Para tal efecto, 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).

7.3.- Estudios de Tsunamis

Se caracteriza y cartografía el peligro relacionado con la ocurrencia de tsunamis asociados a un sismo de magnitud 8.5 Mw que pudiera afectar a la zona costera de la ciudad de Camaná (Figura 5). Conocido el modelo de fuente sísmica y obtenida 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: Playas en La Punta ubicada a 15 minutos de la ciudad de Camaná.

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 la ciudad de Punta de Bombón 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 y geotécnica como calicatas, perforaciones, ensayos de mecánica de rocas, etc. Estos estudios se realizan con la finalidad de elaborar el diseño de cimentaciones para estructuras tales como viviendas, edificios, puentes, carreteras, taludes, presas, etc. También permite identificar y solucionar problemas de asentamientos, 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 (ver Anexos):

*.- **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.*

*.- **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.*

*.- **Ensayo de Penetración Dinámica Ligera** – DPL (Norma DIN4094): Consiste en un equipo de campo y registro continúo 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.*

*.- **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:

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

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.

.- ***Método de H/V***: considera como hipótesis de base que las vibraciones ambientales o microtremores 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 6).

Figura 6: Equipo sísmico utilizado para el registro de vibraciones ambientales: sensores Lennartz (2N) y registrador CityShark

En la Figura 7, se muestra la disposición del equipo sísmico al momento del registro de información, además de ejemplos de señales de vibración ambiental. La señal registrada en el punto CA-58 presenta bajos niveles de ruido; mientras que, la señal en CA-110, 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.

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 8), 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.

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.

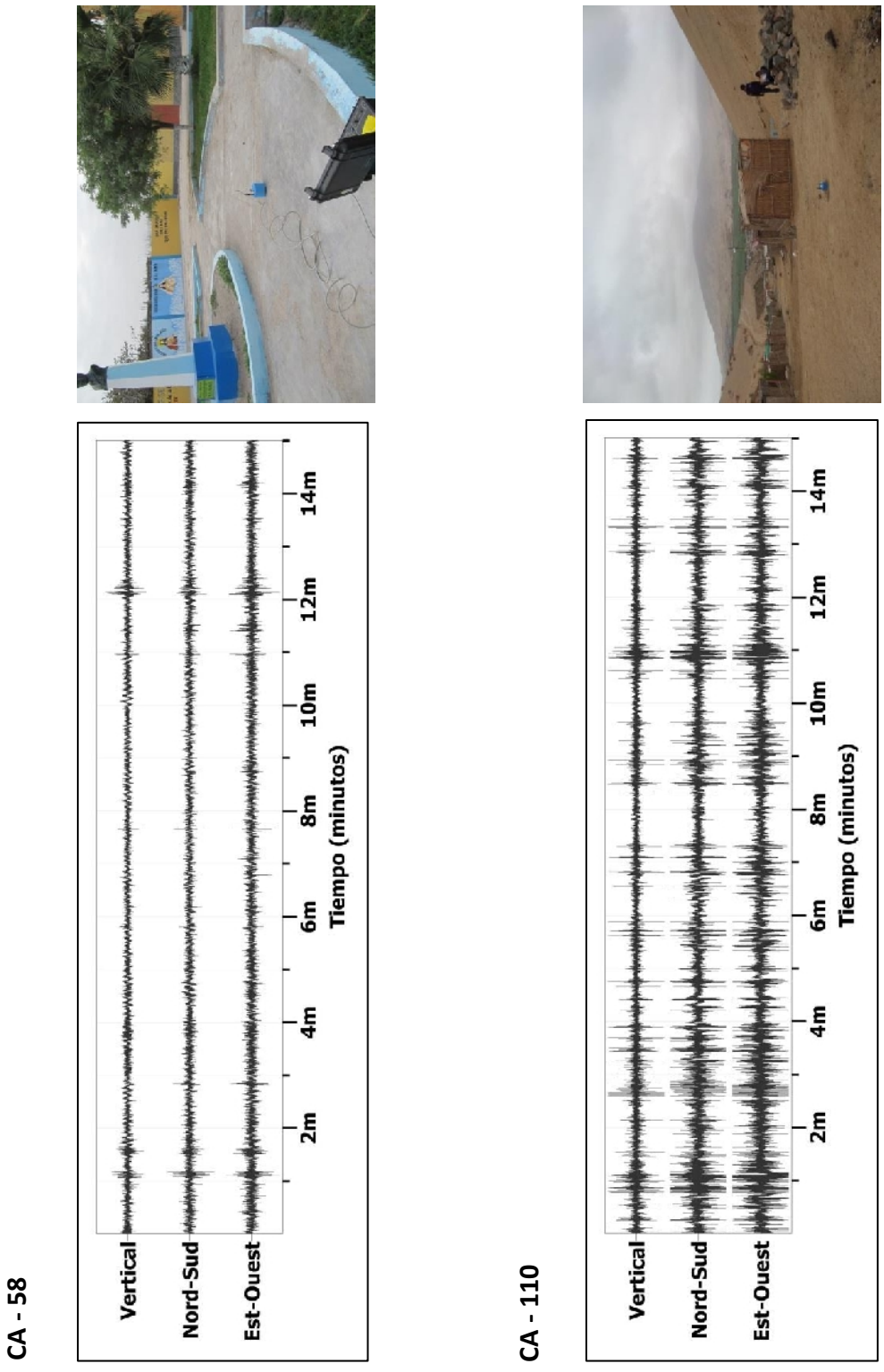
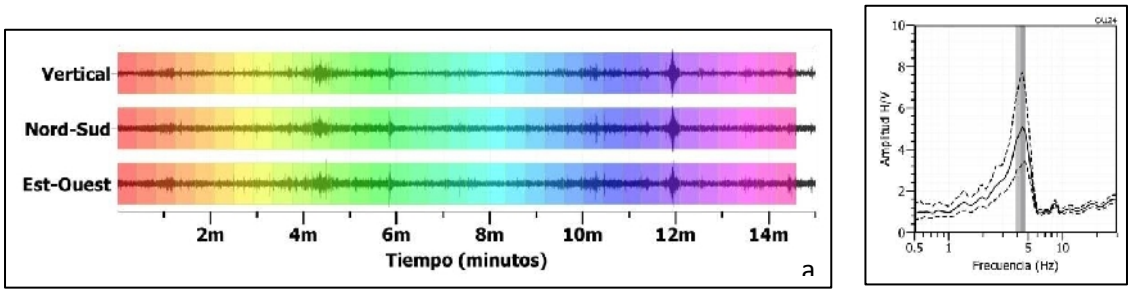


Figura 7: Imágenes de la disposición del equipo sísmico para el registro de vibraciones ambientales. Ejemplos de registros de vibración ambiental obtenidos sobre un punto de registro con presencia de ruido de fondo constante de menor amplitud (CA-58) y otro con ruido aleatorio (CA-110). Obsérvese las diferentes amplitudes de la señal registrada en cada punto.

CA - 124



CA - 138

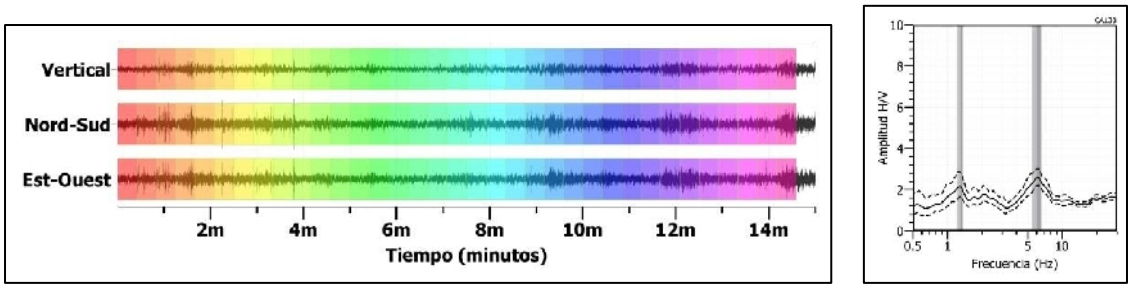


Figura 8: Ejemplos de selección de ventanas de registro de vibración ambiental (rectángulos de colores) y gráficos de H/V. CA-124: Registros y razones H/V donde se identifica un pulso de frecuencia predominante, CA-138: Registros y razones H/V en los cuales se identifica 2 picos de frecuencias con menos 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.

.- 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 (Figura 6). 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 (Figura 9). 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.

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.

Figura 9: Imagen de la disposición del equipo de refracción sísmica en la ciudad de Camaná

.- ***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 10).

Para el análisis de la información obtenida en campo se ha procedido con su calificación en función de la diferencia del potencial con relación al valor de Intensidad de corriente en cada punto de lectura y en conjunto. Este procedimiento permite eliminar la posible influencia de corrientes externas que afecten los valores de resistividad aparente. El procesamiento de los datos (I: intensidad de corriente, Vp: diferencia de potencia y K: constante geométrica del dispositivo), permite conocer los valores de Resistividad y su configuración en el subsuelo, incluyendo la corrección por topografía. La profundidad de investigación depende del dispositivo empleado de acuerdo al interés del estudio.

Figura 10: Imagen de disposición del equipo de prospección eléctrica para la toma de datos en la ciudad de Camaná

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.

.- 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 están referidos a suelos con presencia de agua, material orgánico y/o 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

La ciudad de Camaná se encuentra ubicada en el borde occidental de la región sur 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.

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 sur 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 (Figura 11). Una de estas ciudades es Camaná y según información histórica contenida en el catálogo sísmico del Perú, fueron los sismos de 1604 y 1868 los que causaron daños importantes en las viviendas de adobe y madera construidas por los primeros pobladores en estas ciudades emergentes. El tsunami de 1868 parece ser, después del sismo, el peligro adicional que causo mayor daño en la zona, en razón que sus playas, prácticamente se encuentran al nivel del mar. Estos sismos causaron en la región sur del Perú intensidades del orden de IX-VIII en la escala de Mercalli Modificada (Silgado, 1978).

Posteriormente, los sismos de 1979 y 2001 fueron los que causaron mayor daño en la ciudad, principalmente este ultimo debido a la elevada magnitud que alcanzo el evento (8.2 Mw). Según Tavera et al (2002), el sismo del 2001 produjo una área de ruptura del orden de 350x100 km^2, siendo el eje mayor paralelo a la línea de costa, causando daños y efectos desde Ocoña hasta la península de Ilo en Moquegua. El proceso de ruptura de este evento concluyo con la ocurrencia de tres importantes

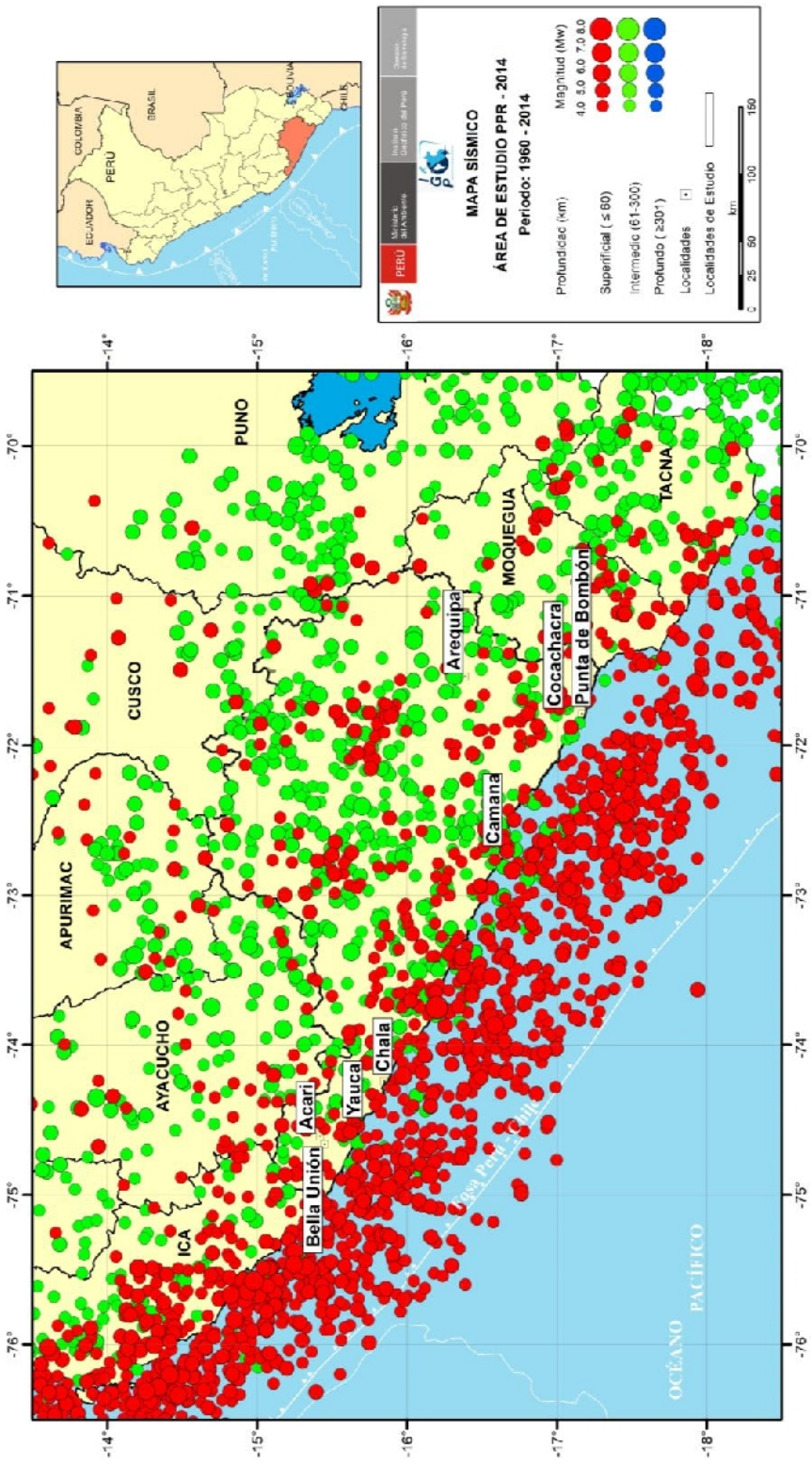


Figura 11: Mapa de sismicidad regional para el borde occidental de la región sur del Perú. Los círculos en rojo corresponden a sismos de foco superficial y los verdes, a sismos de foco intermedio.

réplicas y de ellas, dos presentaron sus epicentros entre la ciudad de Camaná y Punta de Bombón, produciendo intensidades de VII (MM) y daños en varias viviendas de la ciudad. Según INDECI, los daños y efectos en la ciudad de Camaná por el sismo y tsunami son (Figura 12):

.- ***Población**: damnificados, 12858; desaparecidos, 62; heridos, 41 y fallecidos, 25.*

.- ***Viviendas: afectadas**, 1256 y destruidas, 3730.*

.- ***Educación y Salud**: Centros educativos afectados, 51; centros educativos destruidos, 119 y Centros de salud afectados, 15.*

.- ***Áreas agrícolas**, afectadas en total 16902 hectáreas.*

.- ***Carreteras**: Daños en Panamericana Sur km 530 104; tramo Camaná-Qilca 112 km afectados.*

Figura 12: Imágenes de daños observados en Camaná debidos al sismo del 2001.

El sismo del 2001 llegó a generar un tsunami que básicamente afectó con mayor intensidad a las áreas urbanas ubicadas en las zonas costeras de Camaná, playas desde Pucchun hasta la Punta. Se ha estimado que las olas del tsunami habría alcanzado alturas del rden de 8 metros, llegando a inundar tierra adentro, distancias de 700 metros a la altura de la playa El Chorro y de 1200 metros sobre el rio Camaná y playa santa Mónica. El porcentaje de viviendas dañadas y colapsadas, además de los daños en campos agrícolas fue muy alto. La recolección de información decampo post tsunami, permitió considerar el hecho de que la población costera, terminado el sismo, llego a observar como la mar se retiraba hasta distancias de 200 metros, pero por falta de criterio y conocimiento no se alejaron de la zona de costa (Figura 13), por el contrario se dedicaron a recolectar a los peces varados. El costo de esta acción dio como resultado viviendas destruidas y 62 personas desaparecidas

En la Figura 14 se presenta el mapa de intensidades regionales correspondiente a sismos de gran magnitud ocurridos durante el periodo 1961 – 2014, y en el se observa que la ciudad de Camaná, históricamente ha sido afectada por sismos que han producido en superficie intensidades del orden de VIII (MM); por lo tanto, es una ciudad expuesta al alto riesgo para el caso de sismos y tsunamis. Información complementaria puede ser encontrada en Silgado (1978).

Por otro lado, en reciente informe elaborado por Tavera (2014), se indica que el sismo ocurrido en el año 2001 habría liberado aproximadamente el 60% de la energía acumulada en la zona costera de la región sur del Perú desde el año 1868; por lo tanto, la energía restante debe ser liberada por otro evento sísmico que involucra un área de ruptura por debajo de la península de Ilo, y que produciría en la ciudad de Camaná niveles altos de sacudimiento del suelo, quizás similares a los producidos por el sismo del 2001. Esta información es corroborada por estudios realizados por Chilif et al (2011) y Villegas-Lanza (2014) sobre la distribución de asperezas en la costa sur del Perú. En la Figura 15, se muestra la distribución de asperezas en el borde occidental de la región sur, siendo la codificada como A-3 la que tiene una alta probabilidad de generar un evento sísmico de gran magnitud en la región. Dentro de este escenario, también se debería considerar la aspereza A-4, que por las dimensiones de su área, el sismo a producirse afectaría a la zona de estudio.

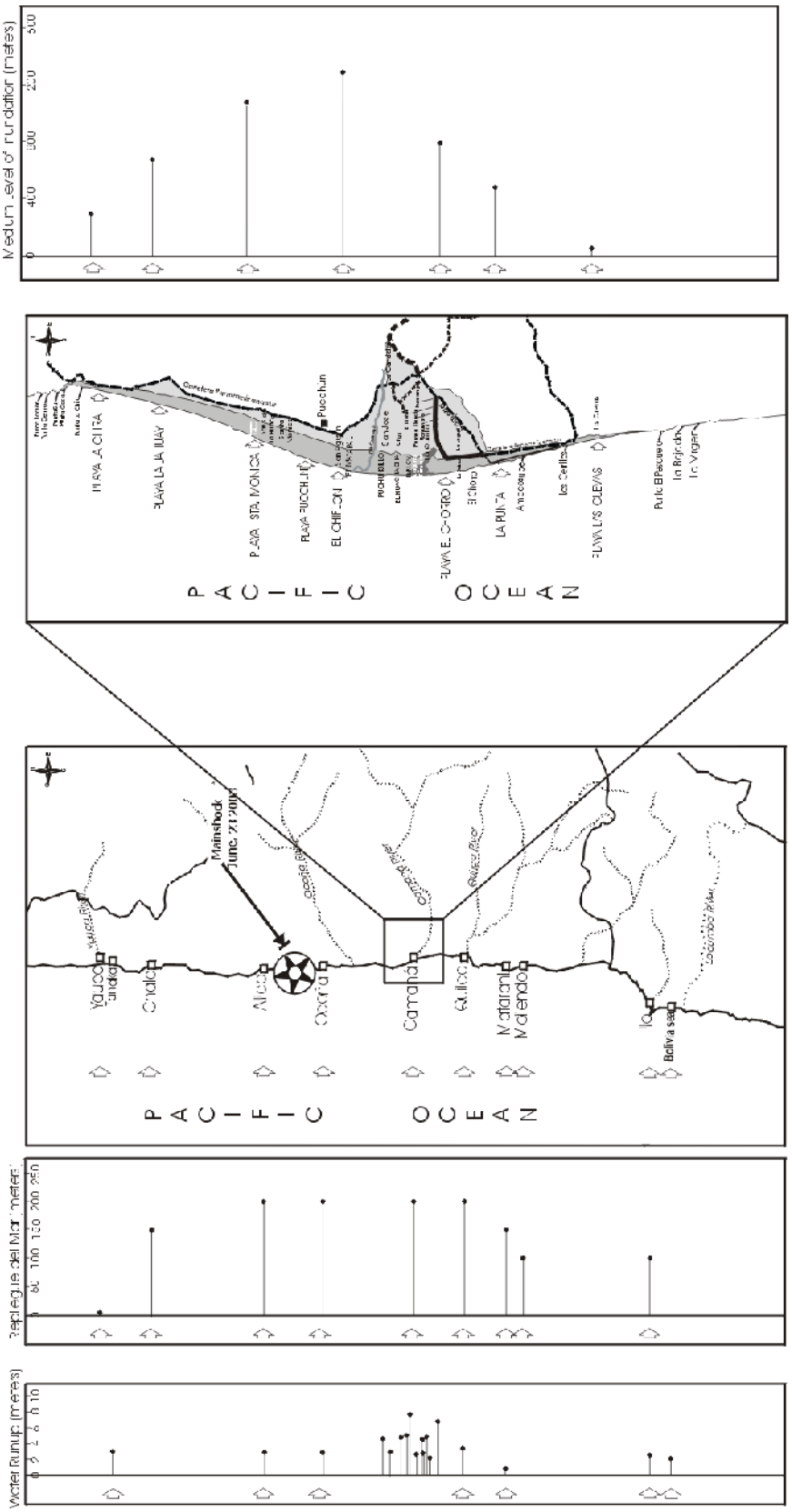


Figura 13: Características del tsunami del 2001 en la ciudad de Camaná (Tavera et al, 2001)

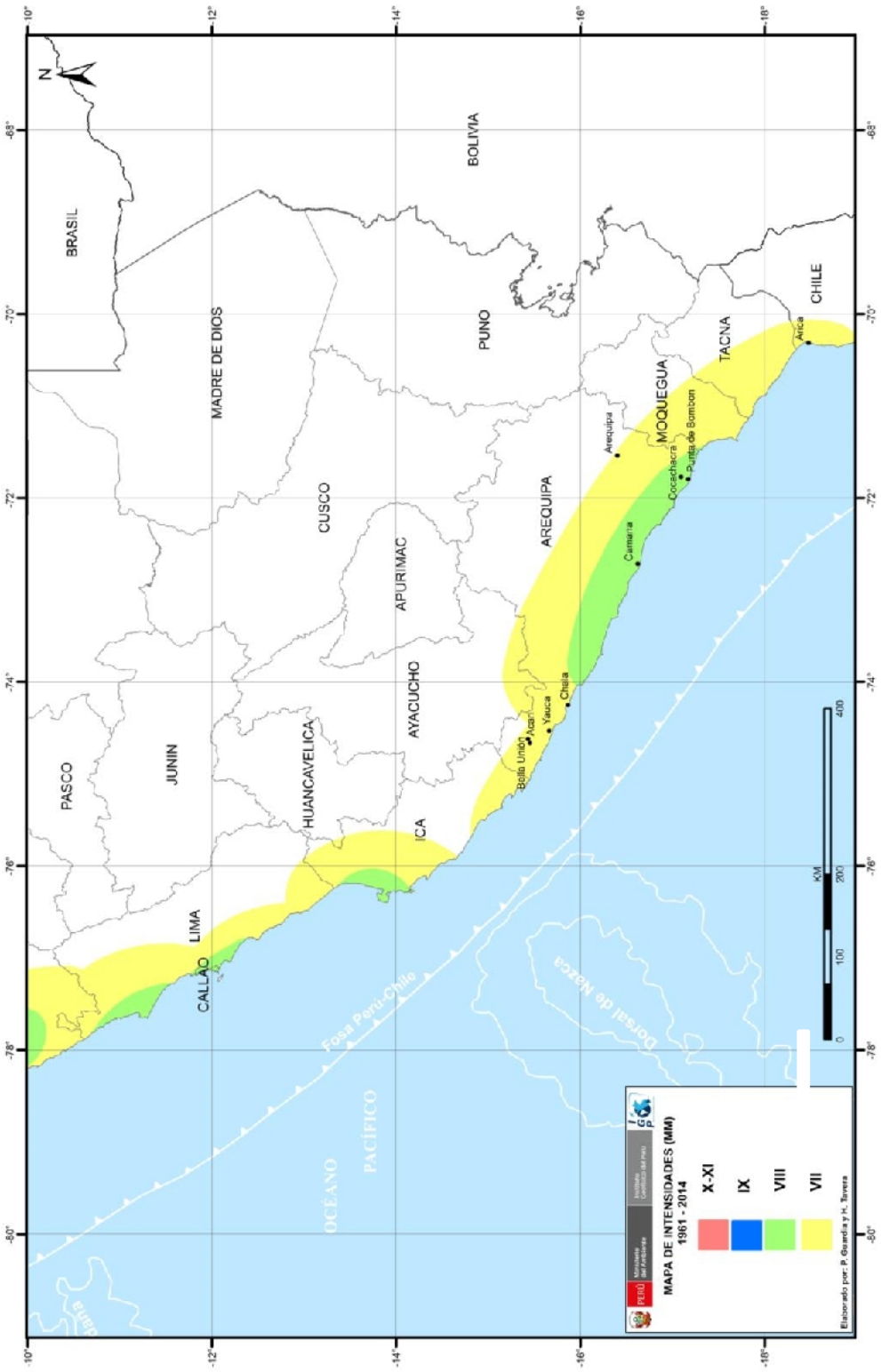


Figura 14: Mapa de intensidades máximas en la escala de Mercalli Modificada correspondientes a los sismos ocurridos en el borde occidental de la región sur del Perú entre los años 1961 y 2014.

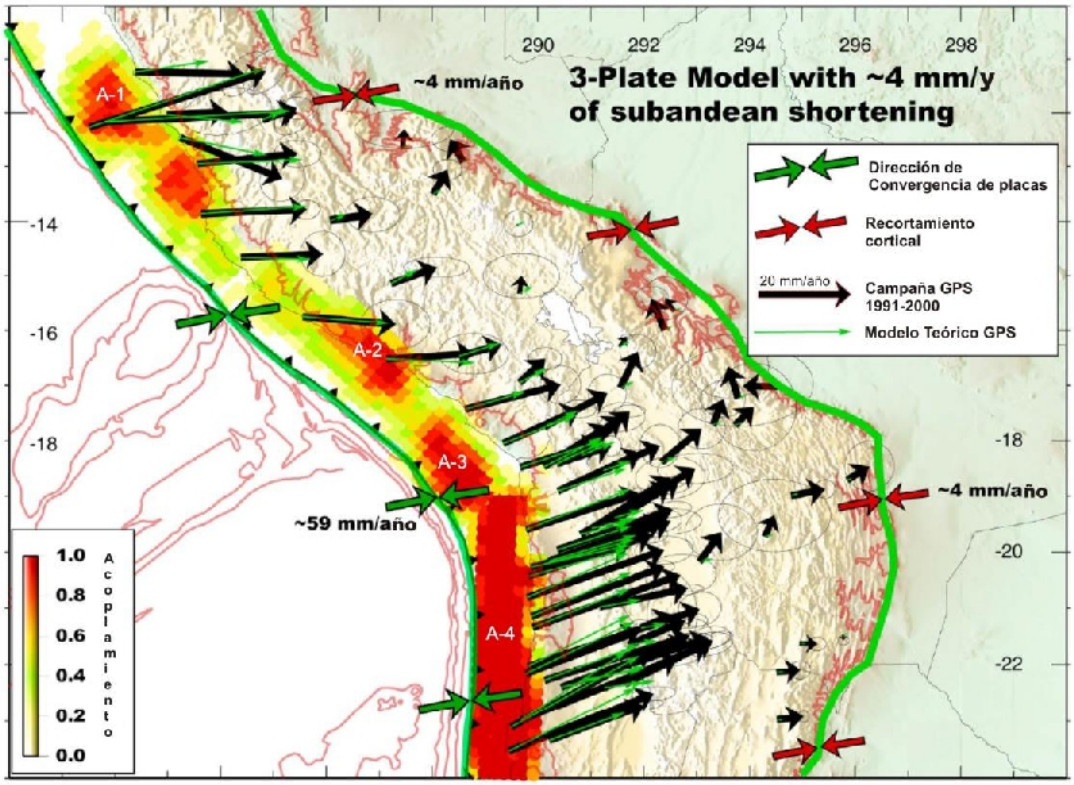


Figura 15: Mapa de asperezas y/o zonas de acoplamiento sísmico en el borde occidental de Perú-Chile obtenido a partir de datos de GPS. Las flechas negras corresponden a las medidas GPS in situ y las verdes a las obtenidas con el modelo teórico. La buena correlación sugiere la existencia de hasta cuatro 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. 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 Camaná se obtiene, para un periodo de retorno de 50 años con el 10% de excedencia, valores de aceleración entre 500 a 520 gals (Figura 16), 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, tal como ocurrió con el sismo de Arequipa del 2001 (Tavera, 2001) y Pisco 2007 (Tavera, 2008).

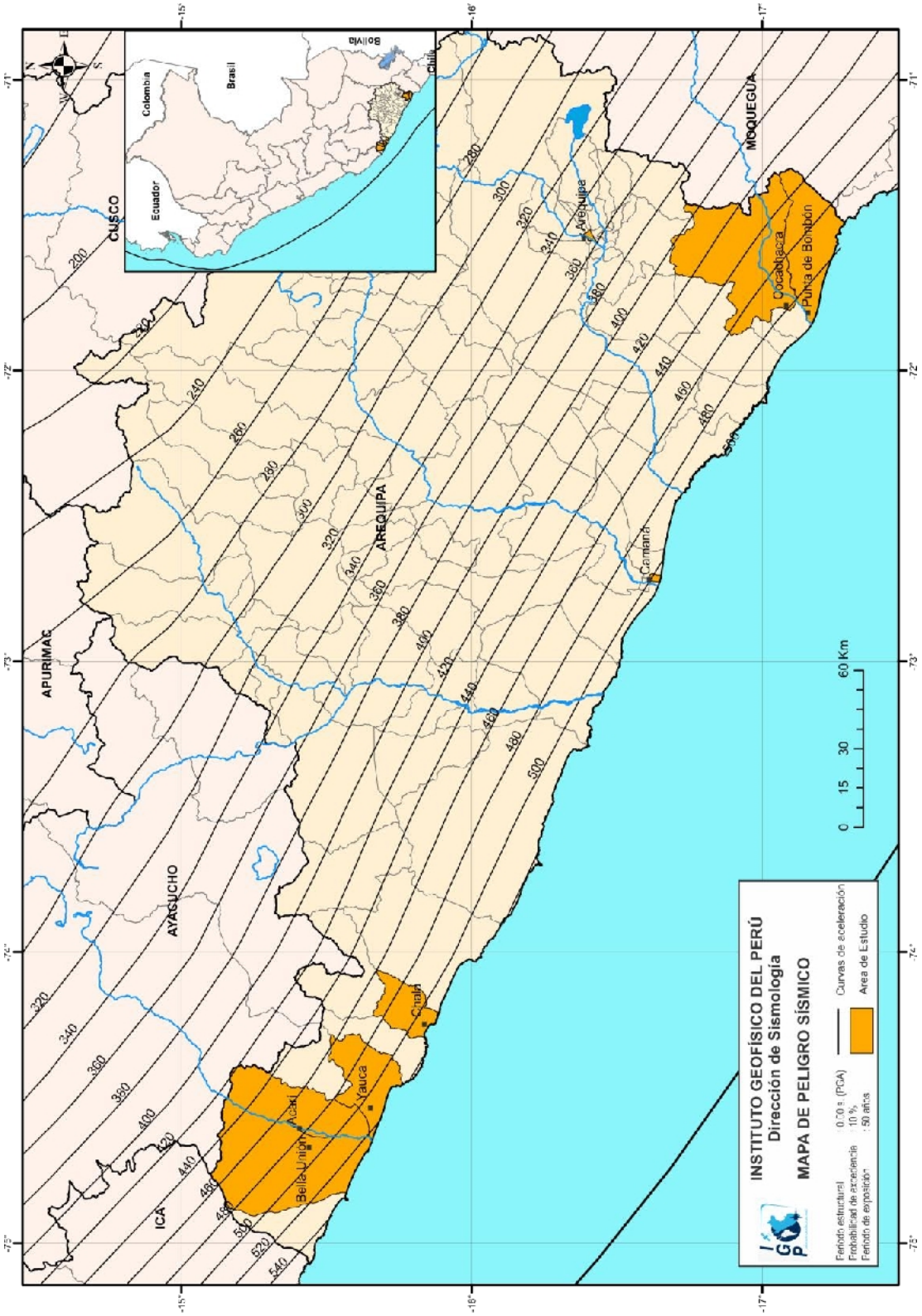


Figura 16: Peligro Sísmico para el borde occidental de la región sur del Perú correspondiente a un periodo de retorno de 50 años con el 10% de excedencia.

8.3.- Tsunamis

La información histórica sobre tsunamis ocurridos en la región sur del Perú y que afectaron, en diferente grado, a las zonas costeras es bastante numerosa (Silgado, 1978; Carpio y Tavera, 2002). Históricamente, se conoce que los tsunamis afectaron a la zona costera de todo el departamento de Arequipa con olas de hasta 8 metros de altura. Para el caso del tsunami del año 1868, Silgado (1978) indica que, en la localidad de Arica, la tercera ola del tsunami alcanzo alturas de 16 metros y movilizo corbetas tierra adentro hasta distancias de 300 metros y que luego, el tsunami del sismos de 1877 recupero dichas corbetas para dejarlas cerca de la playa. En la ciudad de Camaná, el tsunami que causó mayor daño ocurrió en el año 2001 y básicamente se debió a que en dicha ciudad, la expansión urbana se realizó sobre las áreas de playa; es decir, áreas de alto riesgo para el peligro que representan los tsunamis. Este tsunami habría alcanzado olas de hasta 8 metros de altura y logrado inundaciones horizontales de 1.2 km, principalmente en la cuenca del rio Camaná destruyendo campos agrícolas y viviendas en las zonas de playas desde Pucchún hasta La Punta.

De acuerdo a este reciente escenario de tsunami en la ciudad de Camaná, es necesario documentar técnicamente futuros escenarios a fin de que sean considerados por las autoridades para una mejor gestión del riesgo. Para lograr este objetivo se hace uso de las metodologías de modelamiento numérico y para ellos se considera la siguiente información:

.- Datos topográficos y batimétricos: Los datos de batimetría local provienen de las cartas 321, 322 y sondajes locales adquiridos de 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 de un Modelo Digital de Elevación (MDE) Aster GDEM y SRTM obteniéndose una resolución espacial de 30 metros.

.- Modelo de fuente sísmica: Se considera como escenario un sismo de magnitud 8.5 Mw con epicentro frente a la zona costera de Camaná y sus parámetros, así como la orientación de la fuente sísmica, fueron tomados del sismo ocurrido en el año 2001 (sismo de Arequipa). 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 asociados a las tres fases principales de un tsunami: generación, propagación e inundación. Para el modelado se tsunami se utiliza el algoritmo TUNAMI-N2, desarrollado por investigadores de la Universidad de Tohoku en Japón (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 la zona costera de la ciudad de Camaná, las primeras olas llegarían en 18-20 minutos después de ocurrido el sismo y tendrían alturas del orden de 9 metros a la altura de la boca del rio Camaná. Los niveles de inundación horizontal y la altura del volumen de agua, tierra adentro con respecto a la línea de costa y para varios puntos de referencia se detalla en la Tabla 1. De acuerdo a estos resultados, la mayor longitud de inundación se produciría a lo largo del rio Camaná con volúmenes de agua que alcanzarían los 6.5 metros de altura. De acuerdo a las Figuras 17 y 18, el área urbana de la ciudad de Camaná, podría no se afectada por el tsunami.

Tabla 1: Valores de longitud y altura de inundación por tsunami en la ciudad de Camaná.

CAMANÁ		
Áreas de interés	**Altura de Inundación (m)**	**Longitud de Inundación (km)**
Playa de Pucchún	4.5	1.3
San Agustín	5	1.2
Rio Camaná	6.5	1.5
La Calderona	4.5	1
Playa Pucchuncillo	4.5	1
Calderona	4.5	2
La Quinta	4	0.9
El Chorro	4	0.9
La Punta	4	0.8
Playa La Dehesa	4	1
Playa El Chorro	4	0.9
Playa La Punta	4	0.7

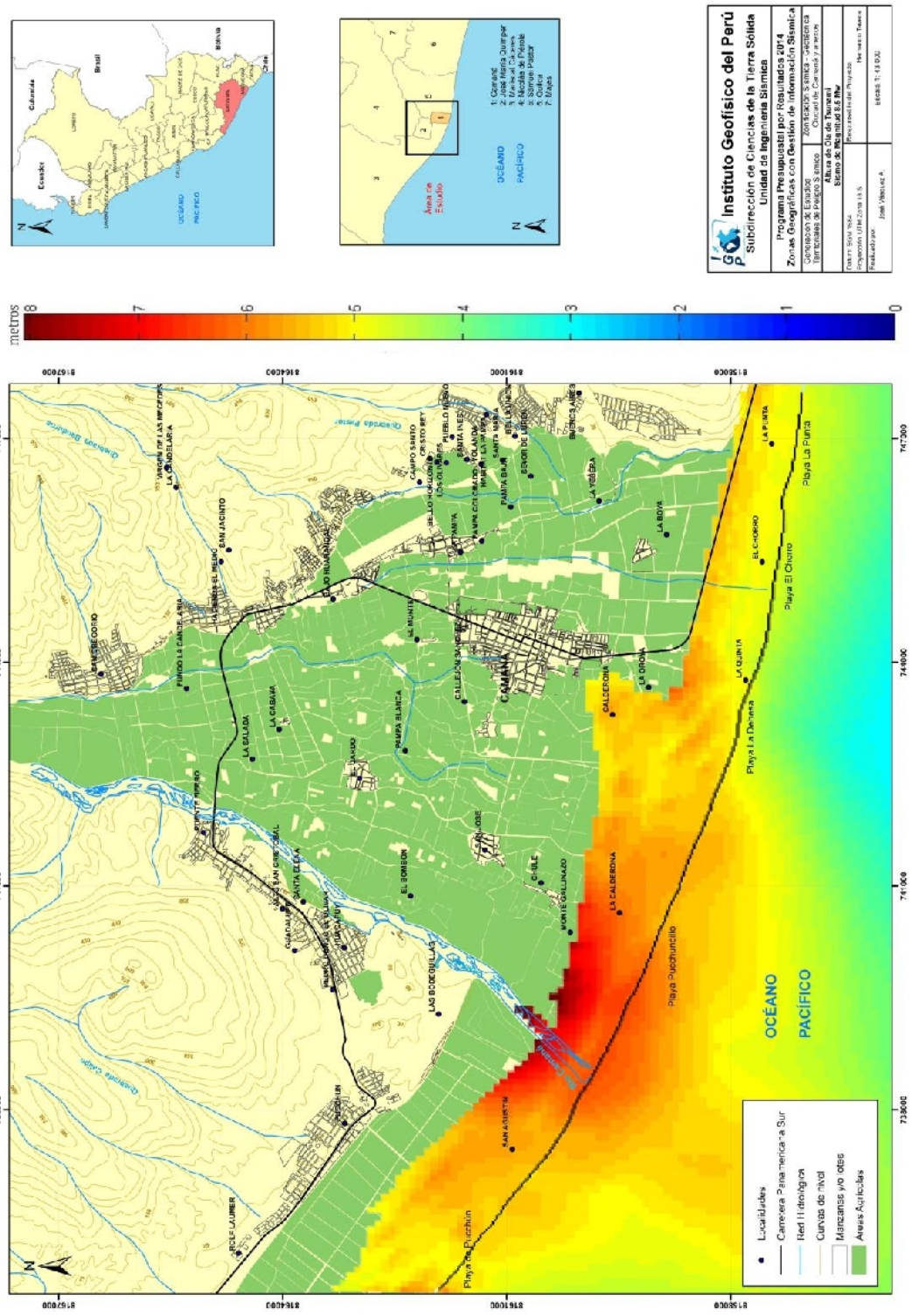


Figura 17: Mapa de niveles de altura de inundación en la zona costera de la ciudad de Camaná

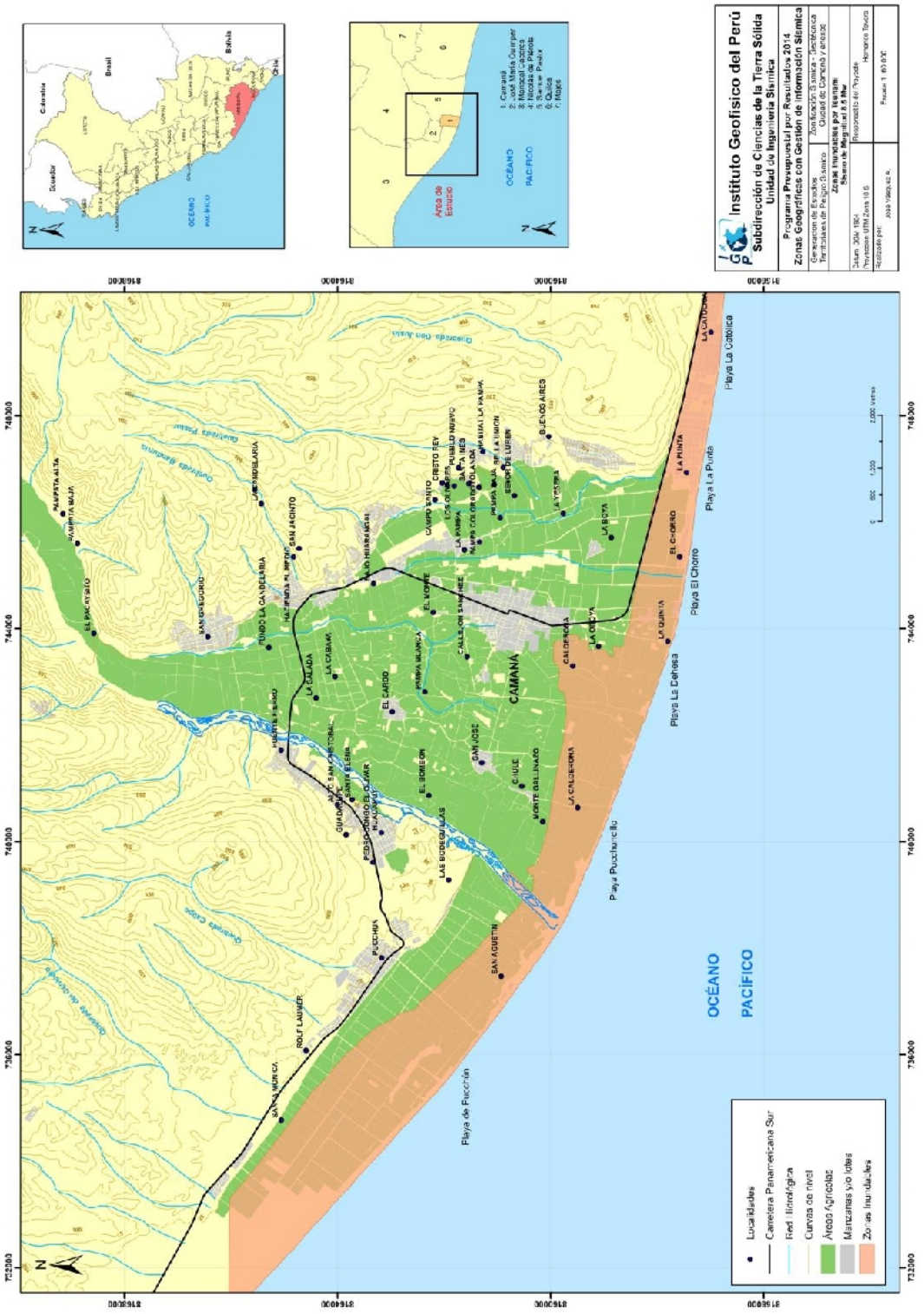


Figura 18: Mapa de niveles de inundación horizontal por tsunami en la zona costera de la ciudad de Camaná

9.- GEOMORFOLOGÍA, GEOLOGÍA Y GEODINÁMICA

9.1. Geomorfología

Los rasgos geomorfológicos presentes en la ciudad de Camaná 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 de la topografía de terreno y el 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 verificadas y validadas durante el trabajo de campo realizado en la ciudad de Camaná.

El modelo digital del terreno (MDT), representa a una superficie en 3D construida con la base topográfica digital a escala 1:5000, resolución espacial de 5 metros y referenciada al geoide WGS84/EGM96 (Zona 18S). La topografía se obtuvo a partir de la restitución aerofotogramétrica de fotografías aéreas de los años 1975 a 1990 a escala 1:15000. El MDT elaborado se presenta a escala gráfica de 1:50000 y muestra como las áreas de mayor elevación a localidades de Pucchún, Huacapuy y San Gregorio con una cota máxima de 220 m.s.n.m. (Figura 19

Por otro lado, el plano de pendientes representa los diferentes grados de desnivel del terreno; es decir, identifica las geoformas del terreno en base a la inclinación de las distintas unidades geomorfológicas. El mapa se obtiene en base a la aplicación de la subrutina SPATIAL ANALYST del software Arcgis que usa el archivo fuente de MDT. En Camaná, las áreas de mayor pendiente alcanzan algunas veces la verticalidad, tal como se observa en el balneario de La Punta y al sur de Pucchún con pendientes que varian entre 20° a 30° que son disectadas por quebradas activas cuyas paredes presentan pendientes mayores a 35°. Las áreas con menores pendientes se encuentran dentro del valle formado por el rio Camaná y a lo largo de la zona costera, menores a 15° de inclinación (Figura 20).

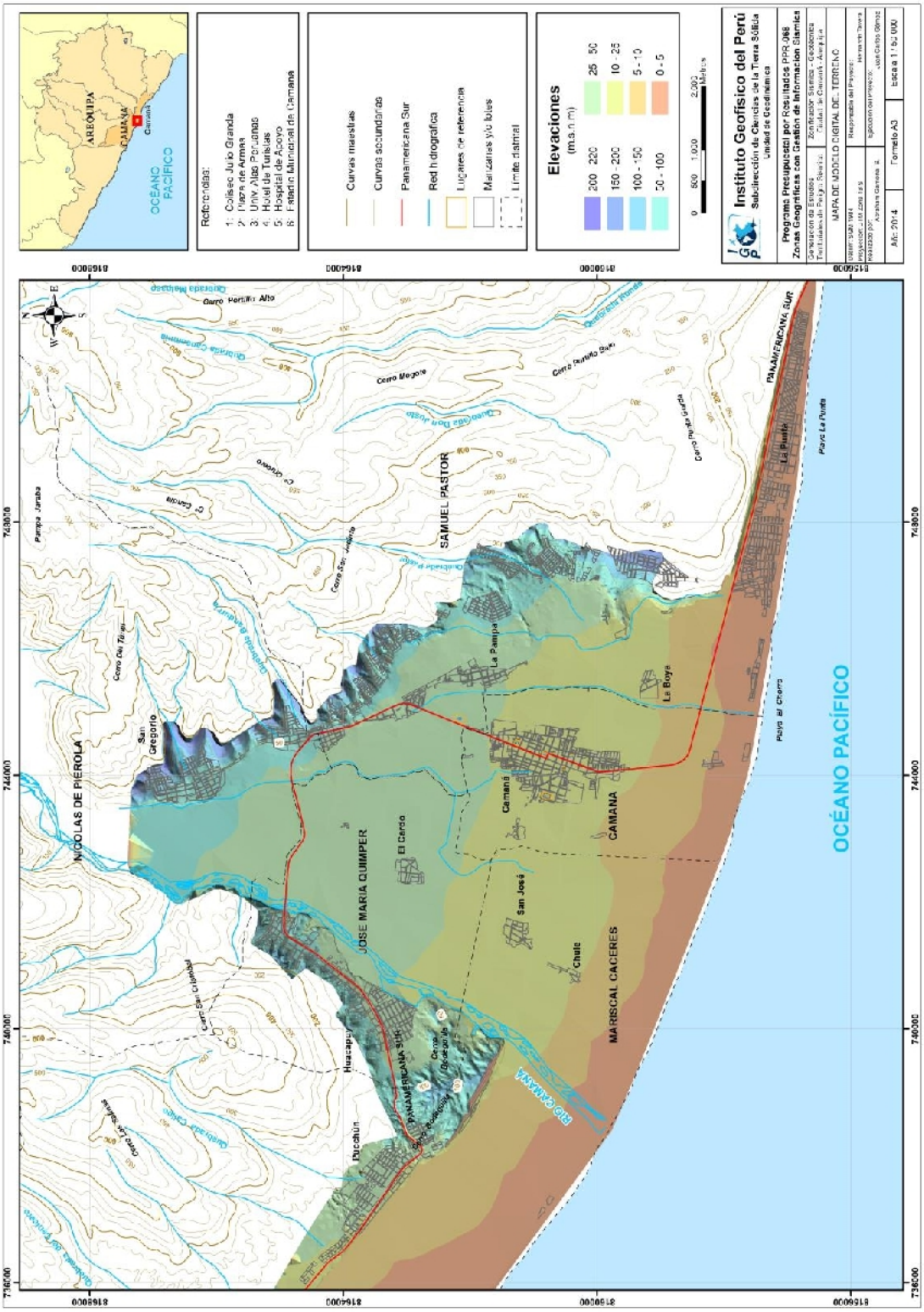


Figura 19: Mapa del modelo digital del terreno (MDT) para la ciudad de Camaná y alrededores

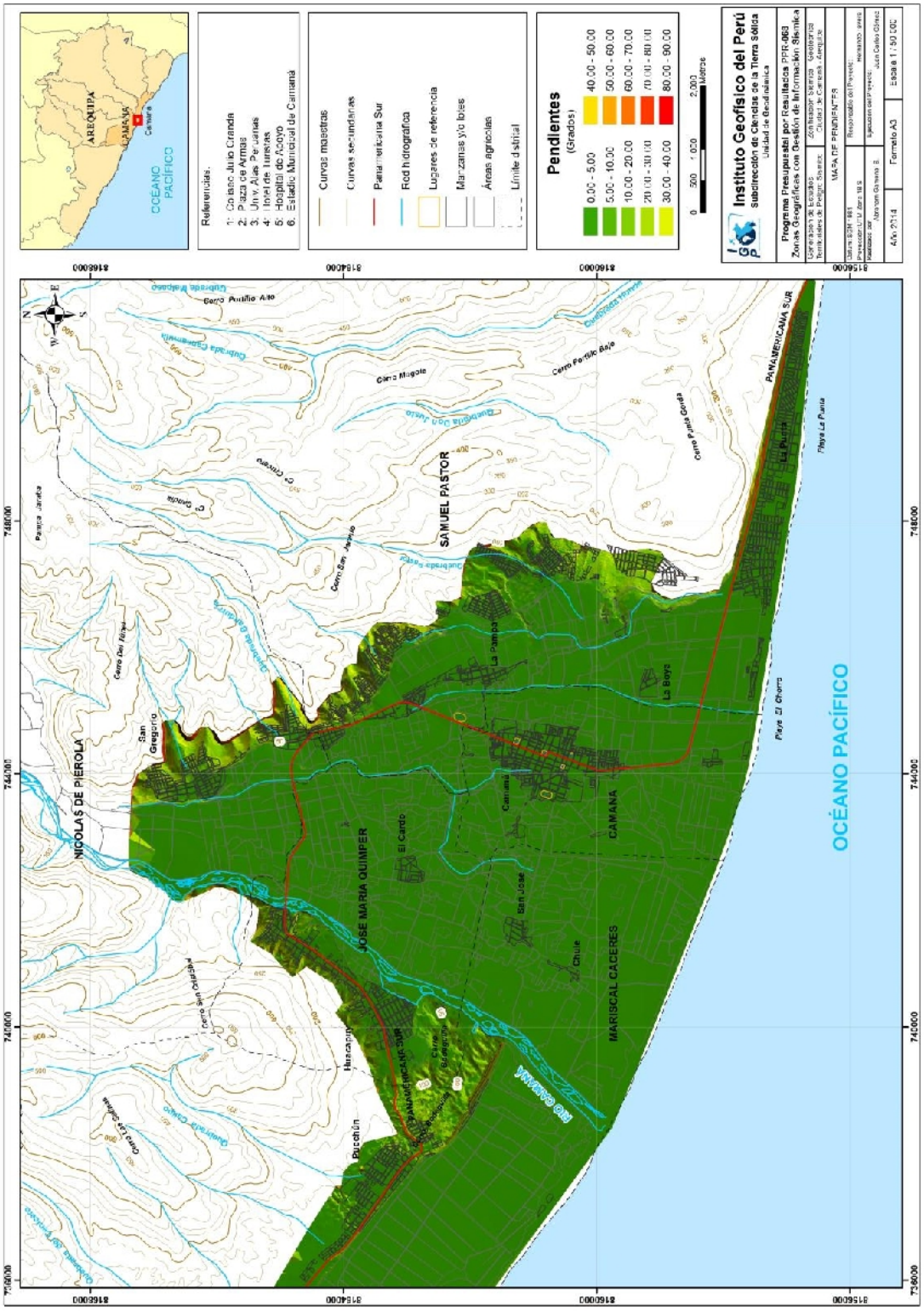


Figura 20: Mapa de pendientes para la ciudad de Camaná y alrededores

9.1.1. Unidades Geomorfológicas

La actual configuración geomorfológica de la ciudad de Camaná es debido a la dinámica fluvial del río Camaná, con la formación de un cañón al Norte de San Gregorio, para luego dar disponer de una extensa llanura aluvial. Posteriormente, los vientos moldearon las rocas sedimentarias de la Formación Camaná, dando origen a colinas y estribaciones montañosas. En la ciudad de Camaná se ha identificado la presencia de 7 unidades geomorfológicas y sus características son (Figura 21):

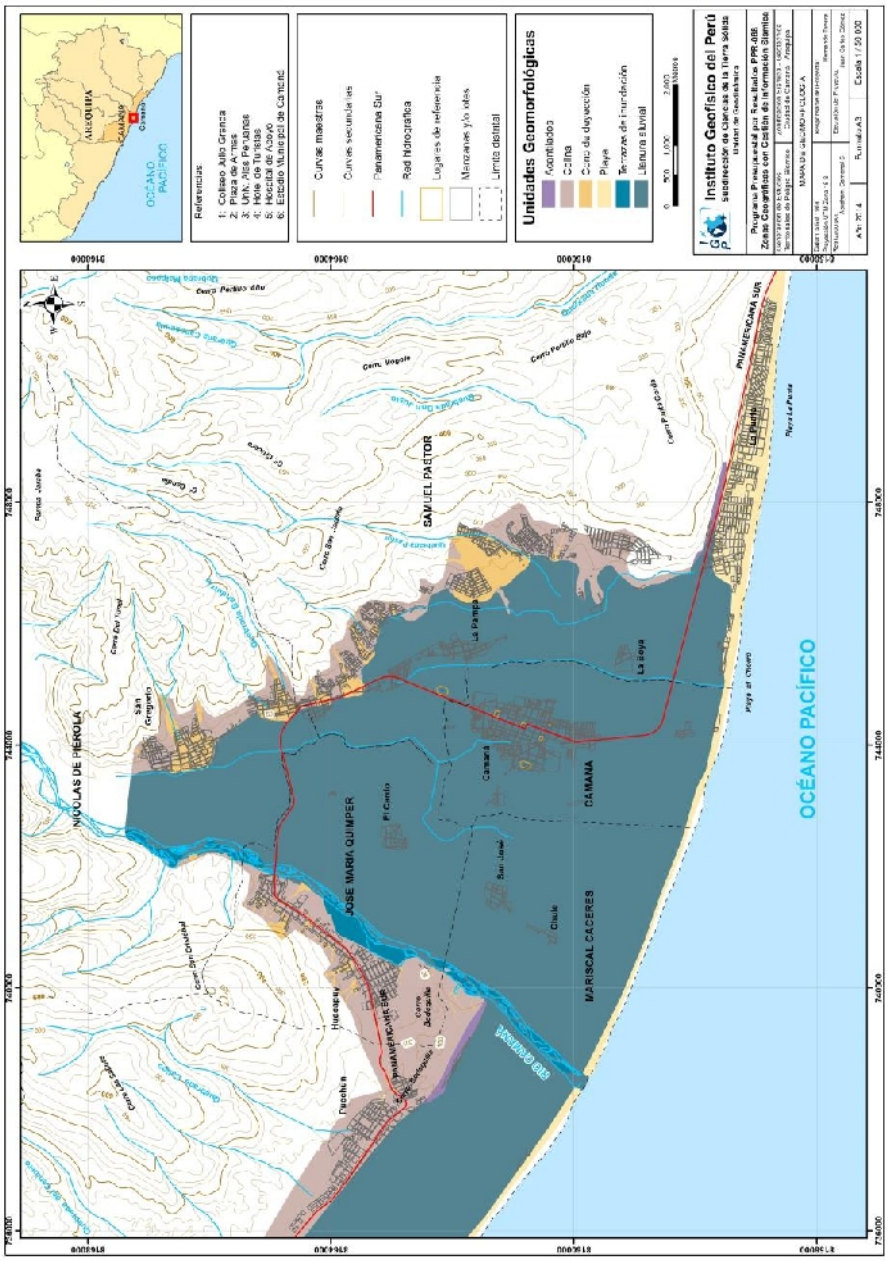


Figura 21 Mapa geomorfológico de la ciudad de Camaná y alrededores

9.1.1.1.- Llanura Aluvial

Es el resultado de la dinámica fluvial del río Camaná, el cual ha acarreado y depositado materiales granulares y finos, que actualmente forman superficies llanas, con ligeras ondulaciones (Figura 22). Agua abajo, en el distrito de San Gregorio comienza a ampliarse la llanura hacia el SO en forma de abanico. Sobre esta unidad se han desarrollado las principales zonas urbanas como: Camaná, San José, Chule, El Cardo, La Boya y Samuel Pastor.

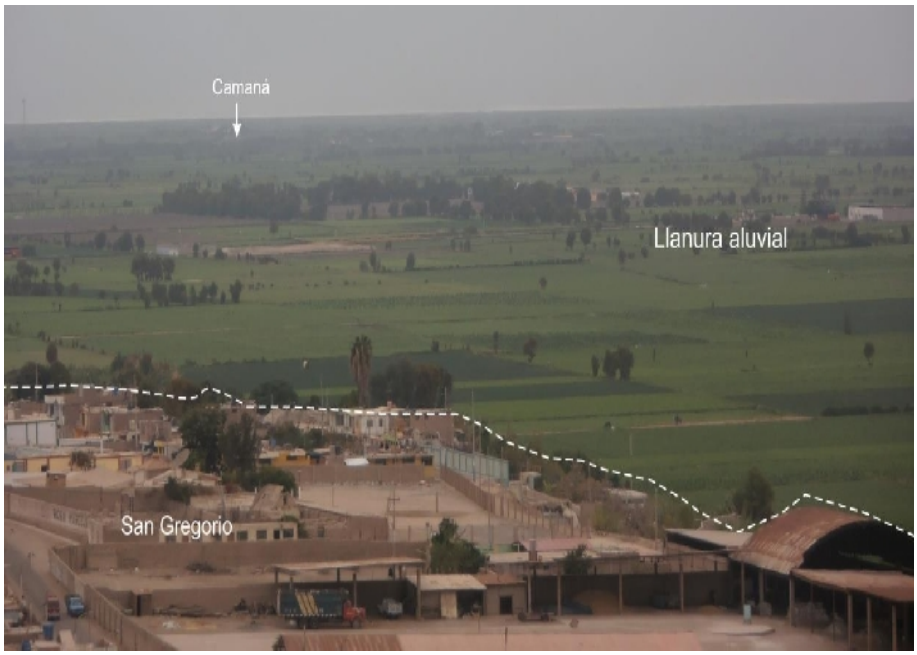


Figura 22: Sobre la llanura aluvial se asienta la ciudad de Camaná y San Gregorio en las estribaciones andinas y la llanura aluvial.

9.1.1.2.- Colinas

Son formas del relieve con alturas menores a 300 metros entre las cimas y las bases de las elevaciones. Se presentan redondeadas y alargadas, además de disectadas por quebradas inactivas. Se encuentran al norte de Pucchún y Huacapuy, al noreste de San Gregorio y al este de Samuel Pastor (Figuras 23, 24 y 25).

Figura 23: Colina de 20 m de altura que sobresale dentro del área urbana de Huacapuy.

Figura 24: Colina conformada por materiales arenosos presente en el extremo Norte de Pucchún.

Figura 25: Sucesión de colinas cerca de El Puente, margen derecha del río Camaná.

9.1.1.3 Valle encañonado

Corresponde a un valle cerrado con fuertes pendientes verticales, como, por ejemplo, el valle encañonado ubicado al Norte del distrito de San Gregorio formado por la acción erosiva del río Camaná sobre rocas intrusivas del Complejo Basal de la Costa (Figura 26).

Figura 26: En este sector las pendientes alcanzan la verticalidad y son de difícil acceso.

7.3.4 Terrazas de inundación

Se circunscribe al área de influencia del río Camaná y se ha desarrollado a lo largo del cauce. Están conformadas principalmente la intercalación de gravas, arenas y materiales finos (Figura 27).

Figura 27: Terraza de inundación de 1 metro de espesor conformada por material gravoso y a arenas de tamaño medio.

7.3.5 Playas

Formadas por la acción erosiva del mar que ha acarreado y depositado materiales gravosos y arenosos a lo largo del litoral del área de estudio. Por el tipo de material pueden reconocerse dos tipos de playas: hacia el noroeste de La Punta las gravas de 5 cm de diámetro son las que predominan debido a que este sector se encuentra cercano a la desembocadura del río Camaná; mientras que hacia el sureste de este sector las playas están formadas por arenas de grano medio y grueso, Figuras 28 y 29.

Figura 28: Gravas de tamaño medio en el sector de playa aledaña a la desembocadura del río Camaná.

Figura 29: Arenas de grano medio están presentes en las playas La Punta y Tortugas.

7.3.6 Acantilados

Están presentes al Norte en el sector de Pucchún y al Sur de La Punta. Se han originado por la acción erosiva del mar, por socavación y desplome de rocas areniscosas de la Formación Camaná para dar paso a escarpas verticales, Figuras 30 y 31.

Figura 30: Acantilado de 65 m de altura ubicado al norte de La Punta

Figura 31: Acantilado en el extremo occidental de la zona de estudio. El desnivel del terreno es de 45 m aproximadamente.

7.3.7 Conos deyectivos

Se encuentran en la periferia de la zona de estudio, especificamene en quebradas inactivas como Samuel Pastor y Hacienda El Medio. Actualmente, son ocupadas por viviendas (Figuras 32 y 33).

Figura 32: Vista frontal del cono defectivo sobre el cual se asienta la población de Hacienda el Medio.

Figura 33: Cono de deyección ocupado por viviendas como Hacienda el Medio.

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 la 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, entre otros. Por otro lado, el campo de aplicación de la geología es muy variado; sin embargo, en el presente estudio se hace incidencia en el reconocimiento de las propiedades físicas de las rocas y suelos sobre los cuales se asientan las áreas urbanas. Las distintas estructuras que se presentan en sus alrededores, las geoformas existentes y los eventos geodinámicos internos y externos, a fin de determinar el comportamiento del terreno ante la presencia de los distintos procesos geológicos que puedan suscitarse.

9.2.1.- Geología Local

Para el estudio geológico de la ciudad de Camaná, se hace uso de la información contenida en el compendio de geología regional de INGEMMET (a escala regional 1:100000), complementado con la geología local obtenida en base al cartografiado realizado en campo (escala 1:5000). Se debe describir las principales unidades litológicas aflorantes y sus características más resaltantes; información importante para cualquier estudio de Zonificación Sísmica – Geotécnica. Según el mapa de geología local (Figura 34), en el área de estudio afloran rocas de edades Paleozoica hasta el Holoceno. Las rocas más antiguas corresponden al Complejo Basal de la Costa conformado por dioritas, granodioritas y granitos; es decir, por rocas ígneas intrusivas granulares, las cuales afloran al Norte del distrito de San Gregorio. Sobre esta unidad litológica descansa en forma discordante la Formación Camaná (Paleógeno Superior), llamada así a una secuencia de areniscas amarillentas de grano medio y grueso, expuestas de mejor manera en la localidad de Camaná. La Formación Camaná infrayace en

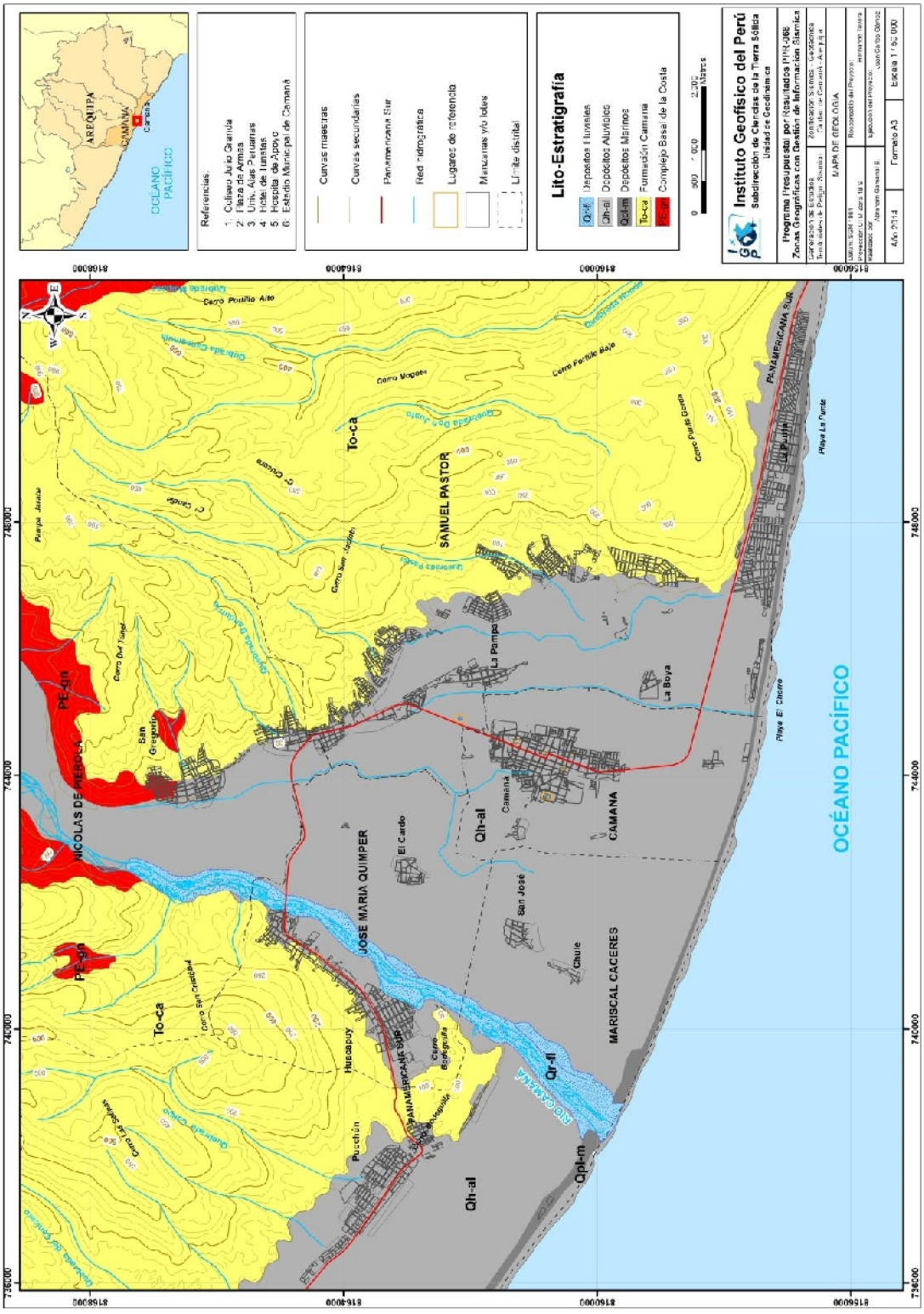


Figura 34: Mapa geológico local para la ciudad de Camaná y alrededores

discordancia a depósitos clásticos marinos del Pleistoceno, denominados "terrazas marinas", las cuales se encuentran a 200 m.s.n.m aproximadamente. Estos depósitos están conformados por arenas de grano grueso con restos de conchas marinas y pueden ser identificadas en la cima del cerro La Punta.

Finalmente, como materiales más recientes se encuentran los depósitos aluviales y fluviales. La dinámica fluvial del río Camaná, durante miles de años ha transportado y depositado gravas redondeadas y subredondeados, con niveles arenosos y lentes de arcillo-limosos, conformando así depósitos aluviales, que abarcan aproximadamente el 50% del área de estudio. Asimismo, los depósitos fluviales pueden observarse a lo largo del cauce actual del río Camaná. Se caracterizan por presentar escasa matriz arenosa soportando gravas redondeadas.

9.2.1.1.- Complejo Basal de la Costa

Corresponde a la unidad litológica más antigua del área de estudio, pues está datada del Paleozoico Inferior (440 millones de años). Se encuentra expuesta al Norte de San Gregorio, a ambos flancos del valle de Camaná. Las rocas varían entre dioritas, granodioritas y granitos, todas de origen ígneo y textura granular, resistentes a la erosión (Figura 35).

Figura 35: Contacto entre rocas dioríticas del Complejo Basal de la Costa y areniscas de la Formación Camaná, extremo NO del distrito de San Gregorio.

9.2.1.2.- Formación Camaná

Definida como una serie marina – litoral que consiste de una secuencia de areniscas de grano medio y grueso, con venillas de yeso que afloran en los extremos occidental y oriental del área de estudio. Presentan buzamientos sub-horizontales menores a 15° de inclinación con dirección SE y NO, en los sectores de Pucchún y Samuel Pastor respectivamente (Figura 36). El miembro inferior presenta una secuencia detrítica de arena gruesa con niveles salitrosos (caliche). El miembro superior se caracteriza por presentar arenas de grano medo a fino, aunque también se pueden observan niveles de limos. Ambos miembros se encuentran en discordancia erosiva y angular. En el trayecto, entre los sectores Huacapuy y Pucchún, se observan fallas normales e inversas subverticales, con desplazamientos verticales entre 15 y 25 cm (Figura 37).

Figura 36: Estratos sub-horizontales de areniscas de la Formación Camaná, constituyen el basamento del cerro La Punta.

9.2.1.3.- Depósitos Cuaternarios

Sobreyacen parcialmente y con discordancia erosiva a las rocas de los Grupos Pulluicana y Quilquiñan, constituyen secuencias de depósitos no consolidados correspondientes al Cuaternario que cubren aproximadamente el 80% del área

de estudio. Estos depósitos son clasificados según el agente geológico que los transportó: coluvial, aluvial y fluvial.

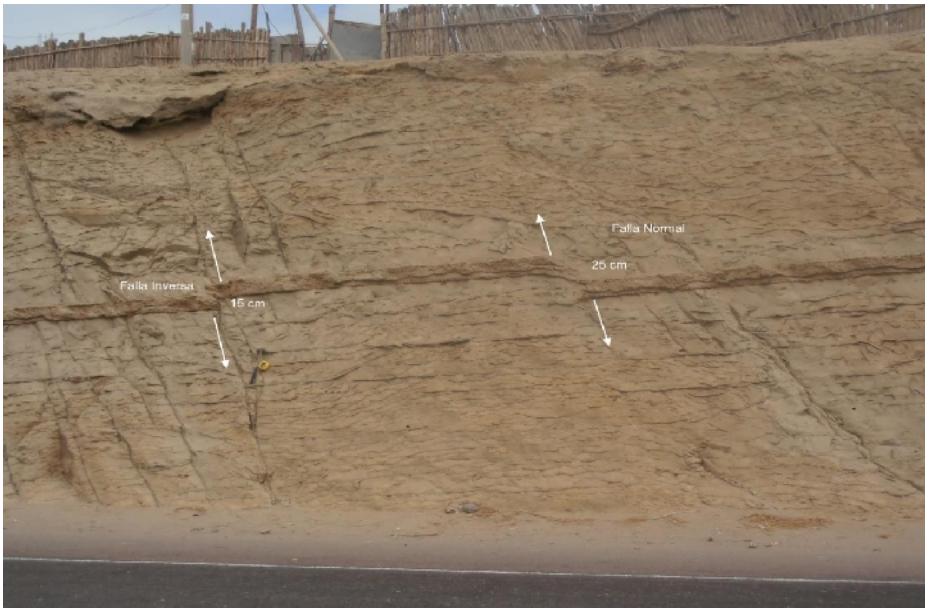


Figura 37: Fallas inversas y normales que afloran en la carretera Panamericana Sur, sector Pucchún.

Depósitos Coluviales: *Se encuentran en las zonas bajas de las estribaciones cordilleranas, en el extremo Este de San Gregorio y al sureste de Pucchún. Corresponden a materiales caídos y colapsados, por acción de la gravedad, con escaso recorrido, por lo que son depósitos mal gradados, con clastos de arenisca y matriz arenosa.*

Depósitos Aluviales: *Abarcan un 50% del área de estudio aproximadamente. Se extienden desde el distrito de San Gregorio hasta el contacto con los depósitos marinos, ubicados a lo largo de la costa. Estos depósitos consisten de niveles gravosos con matriz arenosa, las gravas varían entre 1 cm y 5 cm de diámetro. Se observan también, niveles de arena amarilla de grano grueso. En el distrito de Samuel Pastor (extremo Este de área de estudio), se observa una intercalación de estos materiales con areniscas de la Formación Camaná (Figura 38).*

Figura 38: Niveles de gravas intercalados con areniscas de la Formación Camaná.

Depósitos Fluviales: *Afloran a lo largo del cauce del río Camaná. Se encuentran formando bancos de gravas y arenas con intercalaciones de limos y arcillas. Según se ha observado en campo, un 80 % de las gravas corresponden a rocas intrusivas resistentes como granodioritas, dioritas y granitos (Figura 39).*

Figura 39: Materiales fluviales conformados principalmente por gravas y bancos de arena.

.- Depósitos Proluviales: S*on depósitos trasladados por flujos temporales o provisionales y depositados principalmente a lo largo de los conos de deyección. E encuentran presentes a lo largo de la quebrada Samuel Pastor con gravas de 2" de diámetro en promedio, entremezclada en una matriz limosa con arenas de grano medio y ceniza volcánica (Figura 40).*

Figura 40: La Urbanización Hábitad se encuentra sobre depósitos proluviales.

.- Depósitos Marinos: *Se encuentran a lo largo de la línea costera, desde Pucchún hasta La Punta. Están conformados por arenas grises de grano medio a grueso y gravas redondeadas que han sido transportadas y depositadas por las olas. Entre la desembocadura del río Camaná y la costa del sector de La Deheza, predominan los materiales gravosos debido al aporte de sedimentos por parte del río hacia el mar. Mientras que, hacia el Sur de La Deheza la gradación de materiales disminuye a arenas de grano grueso, por lo que en el sector de La Punta, se observan depósitos marinos que se extienden hasta la carretera Panamericana Sur, formando una franja de 450 m de espesor en promedio aproximadamente, medida que disminuye hacia el Sur en los sectores de Los Cerrillos y Las Cuevitas.*

.- Depósitos Eólicos: *Conformados por arenas de grano fino y limos color beige. Se observan bancos eólicos en el sector de La Punta, distribuidos a lo largo del acantilado del mismo nombre, Figura 41.*

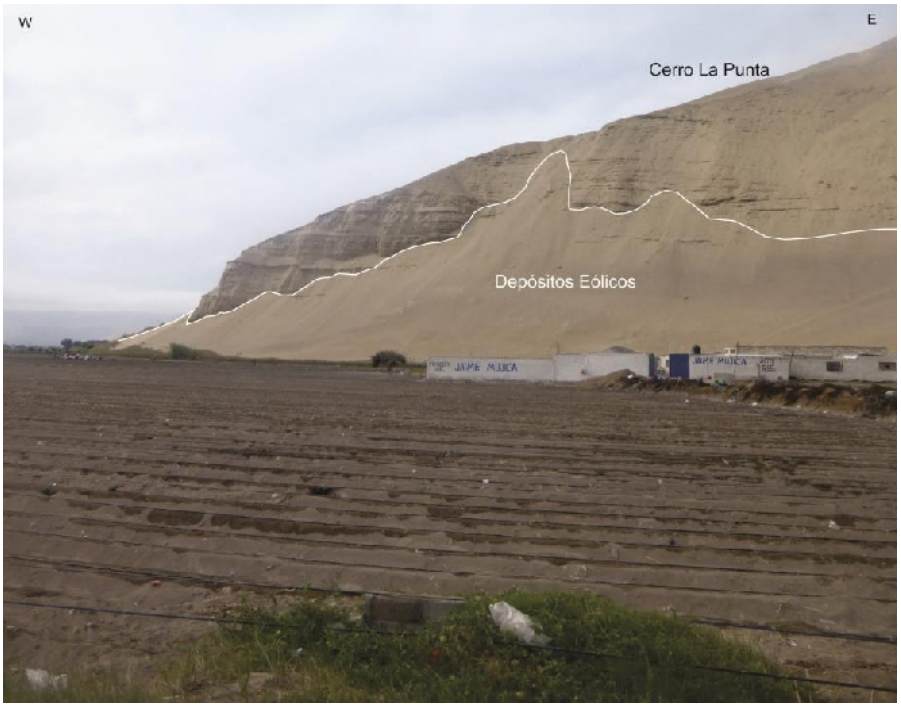


Figura 41: Arenas y limos ubicados en la parte baja del cerro La Punta.

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.*

Además, la presencia de "El Niño" ocasiona el incremento de la temperatura en la superficie del mar, provocando lluvias torrenciales con valores que sobrepasan los índices normales de precipitaciones en la costa; mientras que, en la sierra y en especial en el altiplano, las lluvias son escazas, presentándose estadios largos de sequias. Históricamente, las condiciones descritas en la costa centro y norte del territorio peruano son debidas a la presencia de "El Niño" y a otros factores relacionados con la actividad antrópica.

La geodinámica interna y externa presente en la zona de estudio (ver Anexo), es la responsable de modelar la superficie, creando geoformas que han sido objeto de estudio en capítulos anteriores. A continuación, se analiza los procesos dinámicos que se desarrollan en la ciudad de Camaná.

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 Yauca, 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 Camaná y alrededores, ha permitido identificar procesos de caída de rocas y bloques (tipo de movimiento) y los flujos de detritos debido al material que transportan, siendo sus características las siguientes:

***.- Caída de rocas:** Son eventos que involucran el desprendimiento de bloques de roca o tierra para luego caer por efecto de la gravedad. En este proceso de*

caída pueden rebotar, aumentando o disminuyendo de velocidad y dependiendo de su tamaño, el grado de daño será mayor o menor. Este tipo de movimiento en masa se observa en el extremo Este del distrito de Samuel Pastor. La pendiente elevada, el fracturamiento y la alteración de la roca condiciona la caída de bloques de hasta 2 metros de diámetro en promedio. La litología de los materiales caídos corresponde a areniscas de la Formación Camaná (Figura 42).

Figura 42: Colapso de bloques de areniscas de la Formación Camaná, debido a la pendiente elevada del terreno.

9.3.2.- Erosión fluvial

Es el desgaste continuo del suelo ocasionado por el flujo de agua sobre la superficie y cuyo grado dependerá de lo torrentoso que sea el flujo, esta condición está ligada a fuertes lluvias, su acción es destructiva y modeladora. La erosión es activa hasta la desembocadura del río Camaná y para evitarse se han construido enrocados a ambas márgenes, a la espera de impedir el socavamiento y desgaste lateral de las riberas, evitando el retroceso con la consiguiente pérdida de terrenos de cultivo. La acción erosiva del río se acrecienta en épocas de avenidas. En Camana, cerca del puente El Fierro, en la margen derecha del río, se observa caída de rocas por erosión fluvial (Figura 43).

Figura 43: Erosión fluvial en materiales arenosos, sector El Puente de Fierro. El afloramiento rocoso muestra un alto grado de fracturamiento, lo cual facilita la acción erosiva del río y permite el colapso de grandes bloques de roca.

9.3.3.- Zonas inundables por Tsunamis

Son considerados los sectores cercanos al litoral, desde La Punta hasta Pucchún. Para la delimitación de este sector se ha considerado el nivel máximo alcanzado por el tsunami del 2001, el cual causó cuantiosos daños en viviendas de la Punta y La Deheza e inundó extensas áreas agrícolas frente a Pucchún (Figuras 44 y 45).

Figura 44: La zona inundada por el tsunami del 2001 alcanzó la carretera Panamericana Sur, sector las Cuevas.

Figura 45: Áreas de cultivo inundadas por el tsunami del 2001, sector Pucchún.

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 Camaná se recolecto información según las siguientes técnicas:

.- Exploraciones a cielo abierto (calicatas, Norma ASTM D420): En la ciudad de Camaná se construyeron 15 calicatas (Tabla 2 y Figura 46), siendo la profundidad máxima de observación del orden de 3.75 metros y la mínima de 0.6 metros (ver Anexos).

Tabla 2: Coordenadas UTM para la identificación de las calicatas

CALICATA	UTM ESTE (m)	UTM NORTE (m)	ELEVACIÓN (m)	PROFUNDIDAD (m)
C-01	746924	8157658	5	1.4
C-02	747420	8160728	C	3
C-03	746622	8161835	54	3
C-04	744688	8164815	71	3
C-05	744094	8166159	71	3.75
C-06	745536	8159200	11	3
C-07	744172	8159672	11	2.9
C-08	742823	8161386	17	0.6
C-09	744281	8161783	19	1.6
C-10	744799	8160798	16	3
C-11	745300	8163141	41	3
C-12	741182	8160934	15	1.4
C-13	742681	8163203	27	0.6
C-14	740104	8163184	36	3
C-15	737390	8163520	26	3

.- Densidad de suelo in situ (Norma ASTM D1556): En cada punto de exploración se realizó el ensayo de densidad de campo haciendo uso del método del cono a fin de conocer la densidad y el contenido de humedad del suelo en condiciones naturales. Esta información es necesaria para la preparación de las muestras de

suelo al momento de realizar los ensayos de corte directo. En la Tabla 3 se presente los resultados obtenidos en cada punto de observación.

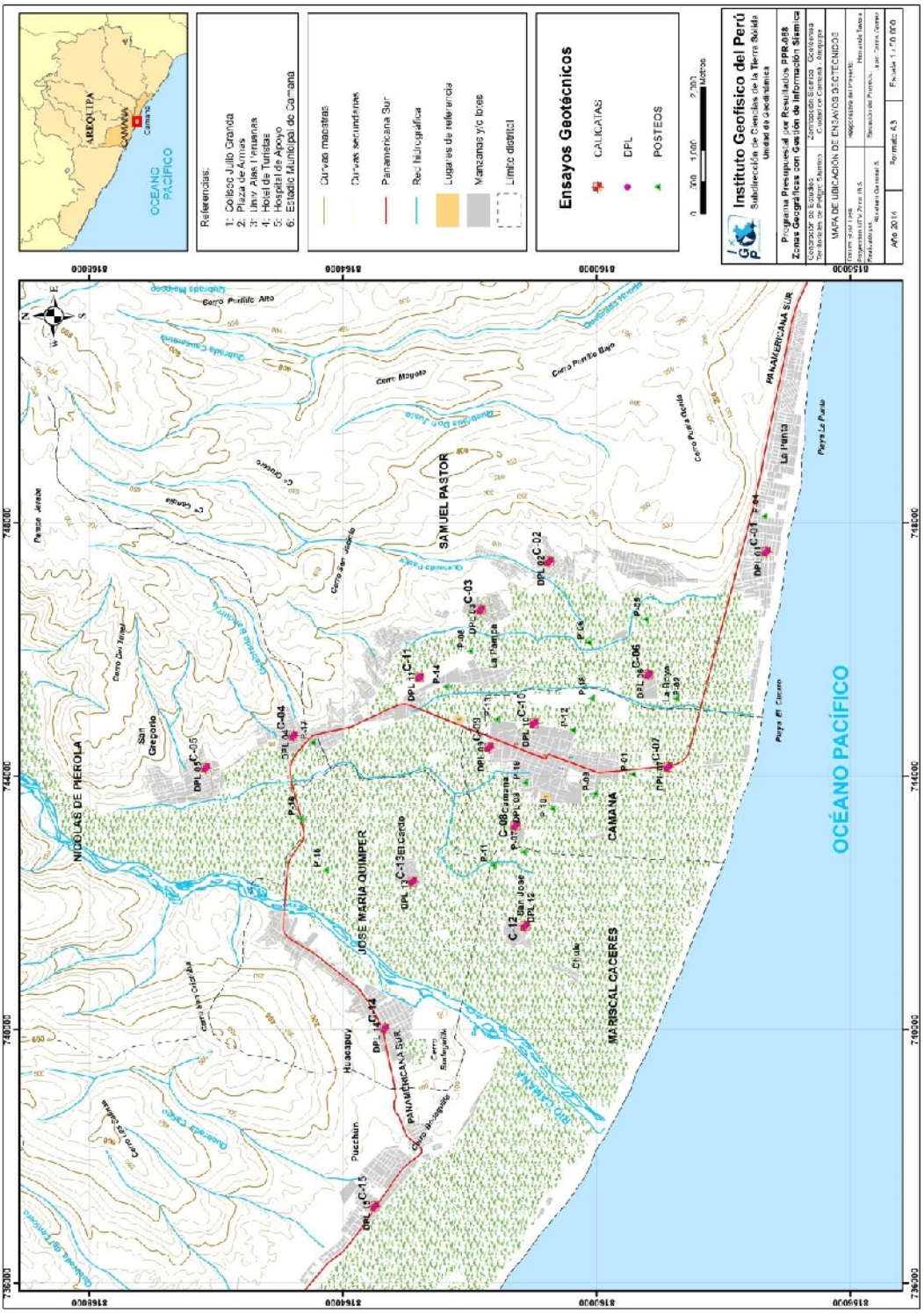


Figura 46: Mapa de ubicación de calicatas y puntos de posteo de suelos en la ciudad de Camaná

.- Exploración con posteadora manual (Norma ASTM D1452): A fin de completar la información geotécnica, se procedió a realizar 7 muestreos adicionales de suelo utilizando una posteadora manual (Tabla 4), siendo en este caso, la máxima profundidad de observación de 2.55 metros y la mínima de 0.1 metros (ver Anexos). 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 Camaná.

Tabla 3: Valores de densidades de suelo in situ obtenidas para la ciudad de Camaná

CALICATA	PROFUNDIDAD (m)	DENDIDAD HÚMEDA gr/cm^3	DENDIDAD SECA gr/cm^3
C-01	1.25	2.05	1.67
C-02	3.00	2.02	1.97
C-03	3.00	1.69	1.58
C-04	3.00	1.81	1.69
C-05	3.75	1.68	1.67
C-06	1.40	1.17	0.37
C-07	3.00	1.58	1.28
C-08	0.55	1.77	1.65
C-09	1.40	1.56	1.15
C-10	3.00	1.72	1.48
C-11	3.00	1.59	1.52
C-12	1.30	1.64	0.98
C-13	0.80	2.16	1.64
C-14	3.00	1.28	1.14
C-15	3.00	1.55	1.46

.- Ensayo de penetración dinámica ligera (DPL, Norma DIN4094): Se procedió a estimar la resistencia del suelo al hincado del cono dinámico en 8 puntos dentro de la ciudad de Camaná (Tabla 5). Esto ensayos se realizaron hasta una profundidad máxima de 3.38 metros y mínima de 0.07 metros debido a que los suelos están conformados pro gravas intercaladas con arenas que presentan ángulos de fricción promedio de 29° a 37°, característico de suelos compactos (ver Anexos).

.- **Ensayo de corte directo** (Norma ASTM D3080): Para conocer la resistencia de los suelos al corte, las muestras de suelo recolectadas en campo se enviaron al laboratorio geotécnico de la Universidad Agraria La Molina. Los resultados del análisis se muestran en la Tabla 6. En general, los resultados muestran que los

suelos de la ciudad de Camaná presentan cohesión es mínima; mientras que, los ángulos de fricción interna superan los 37°, propios de suelos gravosos.

Tabla 4: Coordenadas UTM para la identificación de los posteos en la ciudad de Bella Unión

POSTEO	UTM ESTE (m)	UTM NORTE (m)	ELEVACIÓN (m.s.n.m)	PROFUNDIDAD (m)
P-01	744034	8159428	6	2.6
P-02	745225	8158752	3	1.9
P-03	756655	8157955	7	1.4
P-04	748104	8157354	8	2.3
P-05	746476	8159224	9	2.2
P-06	746109	8160121	21	2.9
P-07	742798	8161157	23	3
P-08	745976	8161998	33	2.2
P-09	743722	8160026	18	2.7
P-10	743491	8160703	20	3
P-11	742598	8161635	19	1.9
P-12	744732	8160374	14	2
P-13	744901	8161580	18	1.4
P-14	745414	8162384	18	2.5
P-15	742521	8164273	39	1.9
P-16	743335	8164673	37	2.5
P-17	744531	8164482	51	0.7
P-18	745232	8160085	17	1.7
P-19	743901	8161129	22	2.7

Tabla 5: 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)
DPL-01	747542	8157325	2	2.1
DPL-02	747390	8160750	65	0.51
DPL-03	746628	8161827	59	0
DPL-04	744640	8164781	79	0.68
DPL-05	744135	8166164	58	0.46
DPL-06	745606	8159177	11	3.2
DPL-07	744148	8158870	10	2.8
DPL-08	743220	8161276	16	1.56
DPL-09	744456	8161694	19	1.4
DPL-10	744838	8160986	27	2.66
DPL-11	745559	8162792	8	0.25
DPL-12	741638	8161126	46	1.38
DPL-13	742336	8162899	30	1.57
DPL-14	740020	8163339	51	0
DPL-15	737214	8163497	16	0

Tabla 6: Valores obtenidos para el ensayo de corte directo en la ciudad de Camaná

Muestra	Ángulo de fricción interna del suelo (°)	Cohesión aparente del suelo (Tn/m²)
C-01	28.1	0.1
C-02	26.8	0.2
C-03	29.8	0.2
C-04	37.43	0
C-05	29.2	0.1
C-06	NP	NP
C-07	27.2	0.2
C-08	28.3	0.1
C-09	26.5	0.2
C-10	37.33	0
C-11	27.9	0.1
C-12	37.25	0
C-13	28.1	0.2
C-14	26.9	0.2
C-15	28.2	0.2

10.1.- Capacidad de Carga Admisible

La capacidad del terreno para soportar cargas aplicadas sobre él es denominada como capacidad de carga admisible. De los ensayos de corte directo se hace uso los datos del ángulo de fricción y la cohesión a fin de calcular la capacidad de carga última de los suelos, considerando el factor de seguridad de 1/3 definida en la Norma Técnica Peruana para el diseño de cimentaciones. En el caso de la ciudad de Camana, los valores de capacidad de carga fueron calculados para una profundidad de cimentación de 1.2 metros y ancho minimo de cimentación de 1 metro (Tabla 7). La clasificación de los suelos se realiza en base a la Tabla 8 y los resultados de muestran en la Figura 47.

Según estos resultados, gran parte de la ciudad de Camaná se asienta sobre suelos con capacidad portante media (2 a 3 kg/cm^2), correspondiente a suelos compactos de origen aluvial y resistentes al cortante.

Tabla 7: Capacidad de carga admisible en los suelos de la ciudad de Camaná.

MUESTRA	Capacidad de carga última (Tn/m²)	Capacidad de carga admisible (Kg/cm²)
C-01	46.54	1.55
C-02	46.65	1.56
C-03	68.27	1.71
C-04	194.89	4.87
C-05	54.12	1.8
C-06	NP	NP
C-07	48.87	1.63

MUESTRA	Capacidad de carga última (Tn/m²)	Capacidad de carga admisible (Kg/cm²)
C-08	47.76	1.59
C-09	44.67	1.49
C-10	191	4.78
C-11	45.38	1.51
C-12	187.72	4.69
C-13	54.01	1.8
C-14	47.17	1.57
C-15	55.5	1.85

Tabla 8: Rangos establecidos para la capacidad portante en la ciudad de Yauca

Capacidad Carga Admisible (Kg/cm²)	**DENOMINACION**
< 1.0	MUY BAJA
1.0 - 2.0	BAJA
2.0 - 3.0	MEDIA
> 3.0	ALTA

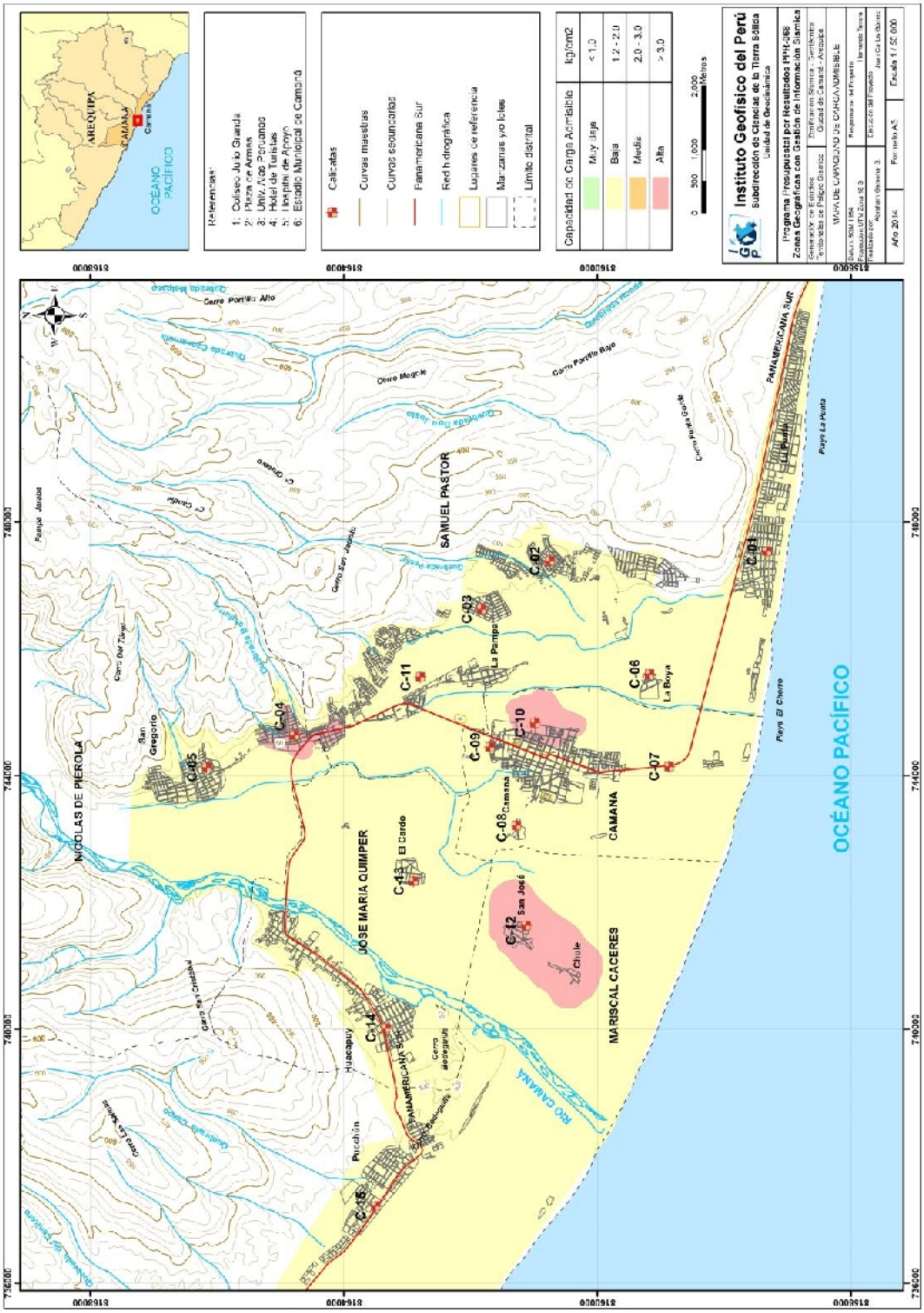


Figura 47: Mapa de capacidad portante para la ciudad de Camaná

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 Camaná. Se ha identificado la existencia de 6 tipos de suelos cuyas características se describen a continuacion (Figura 48 y Tabla 9):

.- Suelos tipo SP: *Son suelos arenosos mal gradados y están presentes en la playa La Punta, en los sectores de San Gregorio, Uchumayo y La Pampa. El contenido de material fino varía entre 1 y 3 %, el contenido de humedad varía entre 3.5 y 13.5 %, y no presentan plasticidad. Los suelos presentan valores de capacidad de carga admisible de 1.5 y 1.8 Kg/cm^2.*

.- Suelos tipo SM: *Son suelos limo-arenosos con contenidos de gravas. Se encuentran en algunos sectores como Cristo Rey; además de San Jorge, Villa Jardín, Huacapuy y Pucchún. El contenido de material fino varía entre 18 y 35 %, el contenido de humedad varía entre 3.2 y 15.8 %, y no presentan plasticidad. Sus valores de capacidad de carga admisible es de 1.49 y 1.85 Kg/cm^2.*

.- Suelos tipo GW: *Son suelos gravosos bien gradados, con contenido de arenas y limos. Estos suelos se encuentran en el sector de Hacienda El Medio. El contenido de material fino es de 4%, el contenido de humedad de 4.5 %, y no presentan plasticidad. Su capacidad de carga admisible es de 4.87 Kg/cm^2.*

.- Suelos tipo GP: *Son suelos gravosos mal gradados y se encuentran en el área urbana de Camaná y San José. El contenido de material fino es de 1 %, el contenido de humedad varía entre 4.9 y 5.2 %, y no presentan plasticidad. Su capacidad de carga admisible es de 4.69 y 4.78 Kg/cm^2.*

.- Suelos tipo ML: *Son suelos limosos con contenido de arena y se encuentran en el área urbana de Camaná y El Cardo. El contenido de material fino varía entre 60 y 85 %, el contenido de humedad varía entre 4.8 y 15.2. %, y no presentan plasticidad. Su capacidad de carga admisible es de 1.63 y 1.8 Kg/cm^2.*

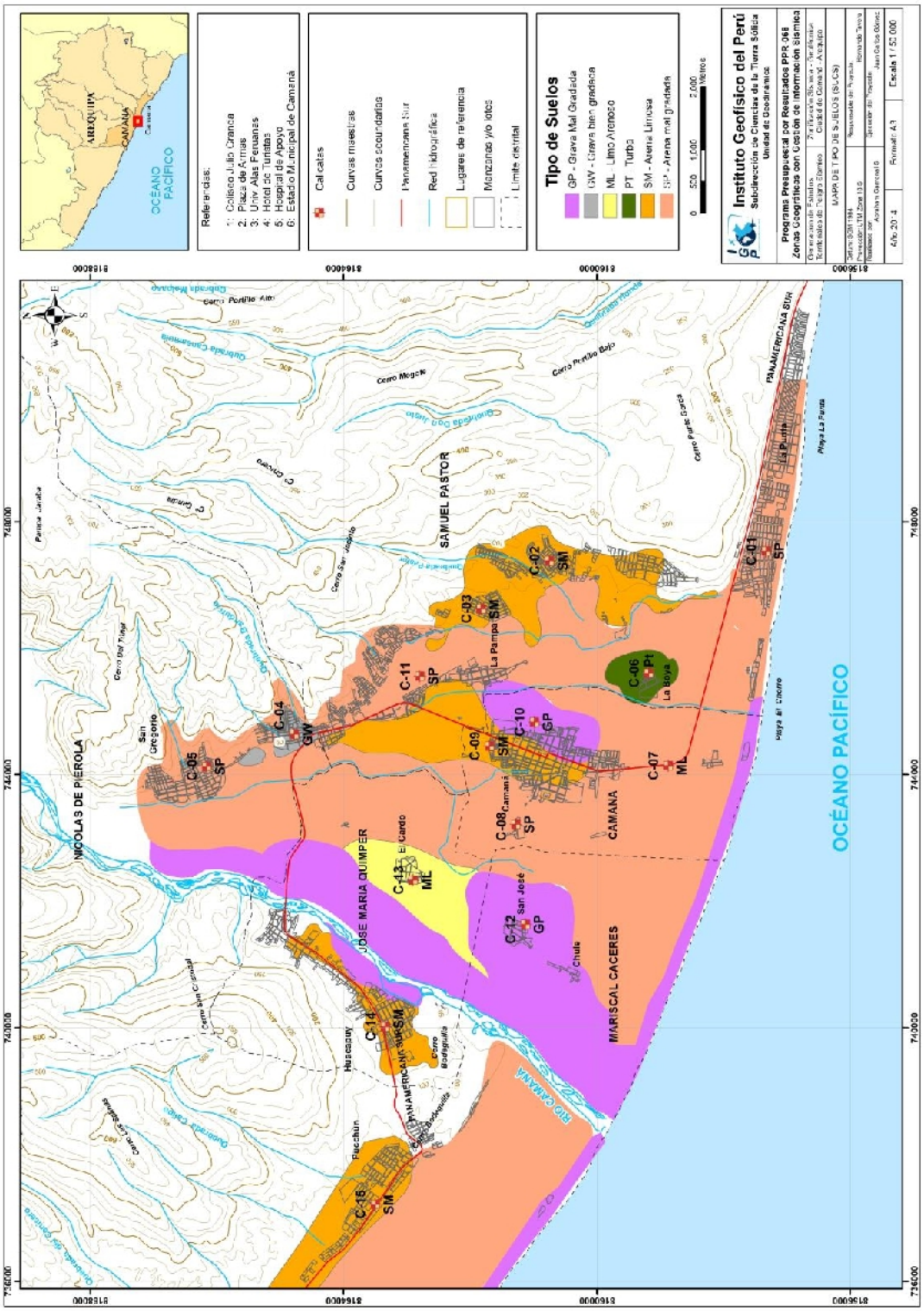


Figura 48: Mapa de clasificación SUCS de suelos en la ciudad de Camaná

.- Suelos tipo Pt: *Son suelos constituidos fundamentalmente por materia orgánica y no son recomendables como terrenos de cimentación. Presenta un contenido de finos del 95% y en estado de saturación. Sobre estos suelos se asienta el sector de La Boya.*

Tabala 9: Valores de la clasificación SUC de suelos en la ciudad de Camana

CALICATA	PROFUNDIDAD (m)	NIVEL FREÁTICO	GRAVAS %	ARENAS %	FINOS %	LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	INDICE PLÁSTICO	CONTENIDO DE HUMEDAD	CLASIFICACIÓN SUCS	DENOMINACIÓN
C-01	3.00	1.25	0.00	97	3	NP	NP	NP	9.6	SP	Arena fina mal gradada
C-02	3.00	NP	0.00	65	35	NP	NP	NP	3.5	SM	Arena fina limosa
C-03	3.00	NP	15.00	65	20	NP	NP	NP	4	SM	Arena limosa, gravosa
C-04	3.00	NP	85.00	11	4	NP	NP	NP	4.5	GW	Grava arebosa, limosa
C-05	4.00	NP	4.00	94	2	NP	NP	NP	3.5	SP	Arena media a fina
C-06	3.00	1.40	0	5	95	NP	NP	NP	Saturado	Pt	Turba
C-07	3.00	3.00	0.00	15	85	NP	NP	NP	15.2	ML	Limo Arenoso
C-08	1.10	1.10	0	99	1	NP	NP	NP	13.5	SP	Arena fina
C-09	1.90	1.50	0	80	20	NP	NP	NP	15.8	SM	Arena limosa
C-10	3.20	NP	80	19	1	NP	NP	NP	4.9	GP	Grava arenosa
C-11	3.00	NP	0	99	1	NP	NP	NP	4.3	SP	Arena fina
C-12	1.40	1.3	85	14	1	NP	NP	NP	5.2	GP	Grava arenosa
C-13	2.00	1.5	0	40	60	NP	NP	NP	4.8	ML	Limo arenoso
C-14	3.20	NP	0	60	40	NP	NP	NP	3.8	SM	Arena limosa
C-15	3.10	NP	0	82	18	NP	NP	NP	3.2	SM	Arena limosa

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 principal objetivo 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 Camaná.

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 Camaná, 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 49 se muestra la distribución espacial de los 420 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 49 se muestra, como ejemplo el procedimiento seguido para el punto CA-113. 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, la frecuencia predominante de 5.2 Hz con amplificaciones relativas de hasta 6 veces con respecto al nivel de referencia. Hacia el extremo inferior derecho de la figura se muestra la variación azimutal de la amplitud de las vibraciones generadas por la cantidad de energía inducida al medio (espectrograma). En ella se observa que la energía se irradia principalmente en dirección Este-Oeste. Este procedimiento de análisis se aplica al total de la información obtenida en campo.

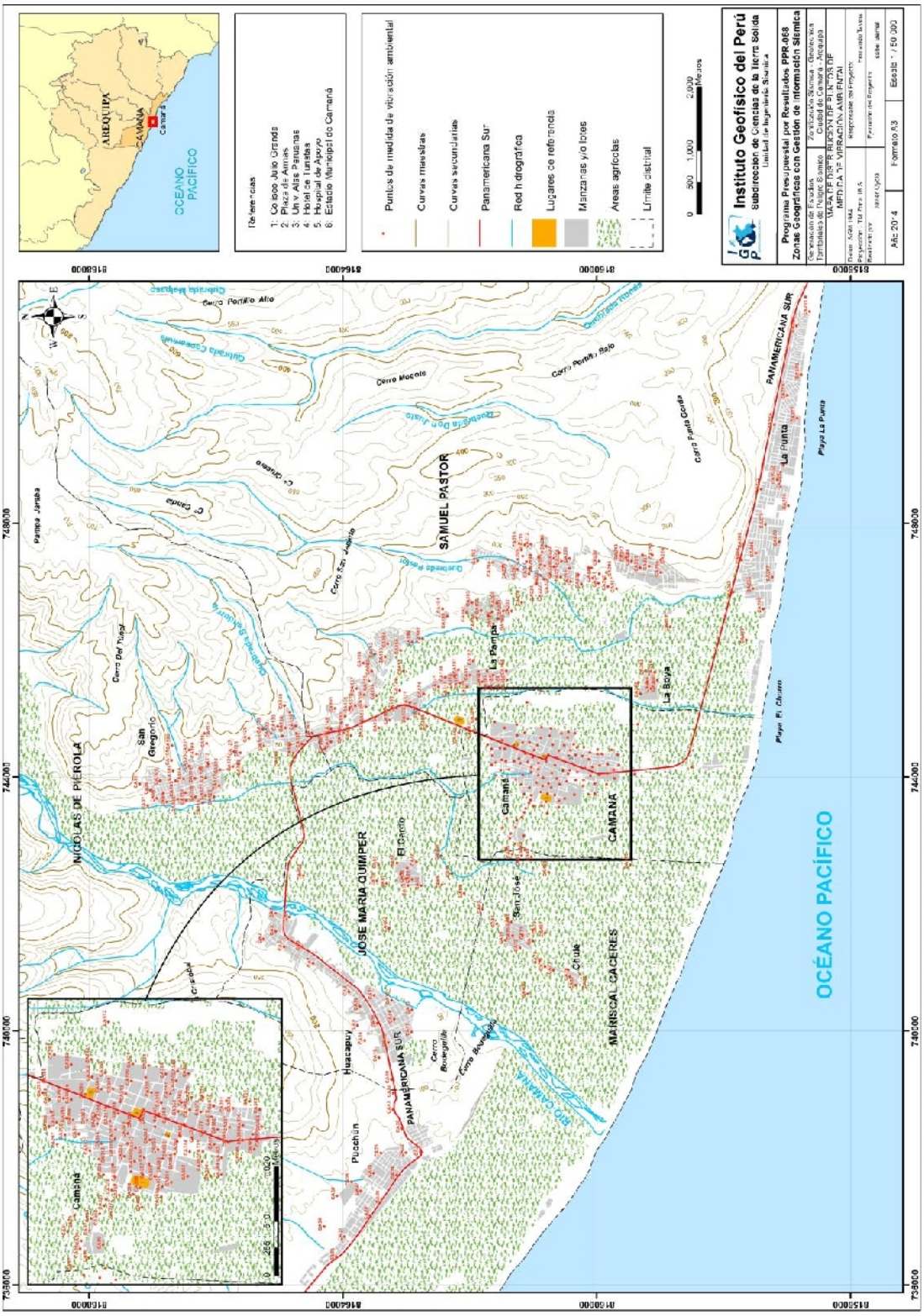


Figura 49: Mapa de la ciudad de Camaná y distribución de puntos de registro de vibración ambiental

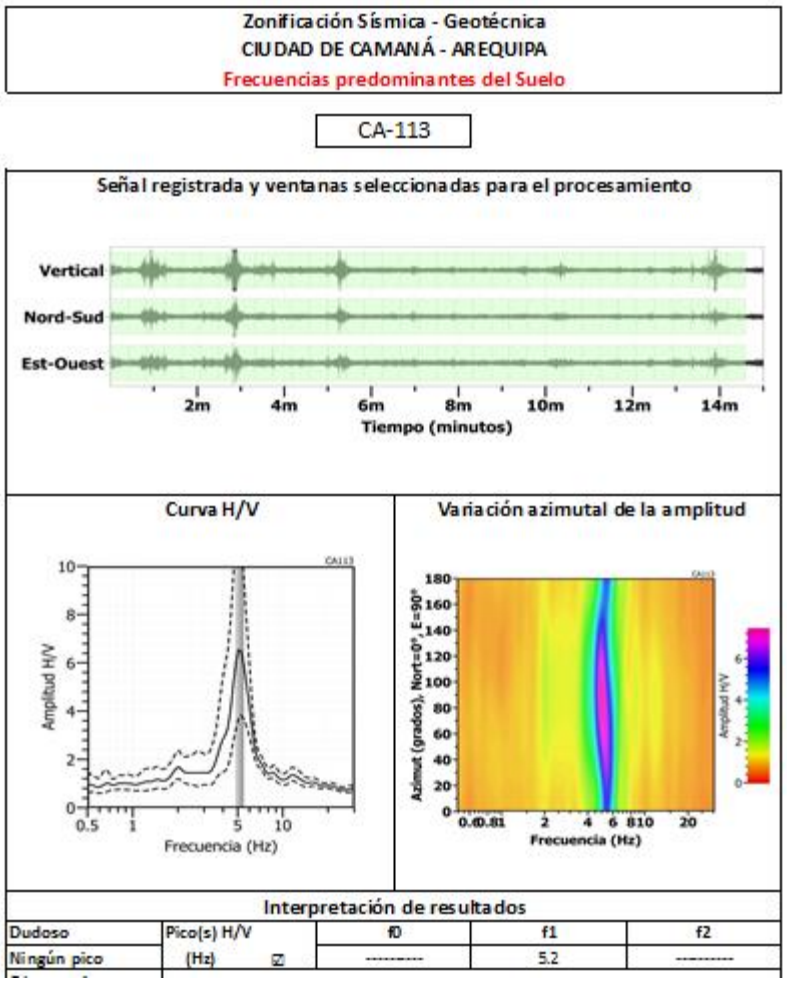


Figura 50: Ejemplo de la ficha H/V para el punto CA-113 en la cual se recopila la información registrada y analizada. Arriba, señal registrada; Medio; razón espectral (H/V) en línea gruesa y su desviación estándar en línea discontinua. Espectrograma y Abajo: resultados.

.- 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 zonas con valores similares para las frecuencias predominantes, evidenciando un comportamiento dinámico diferente entre dichas zonas.

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 de las razones espectrales H/V, permite considerar para su análisis dos rangos de frecuencia: **Fo** (F<2.0 Hz), **F1** (2.0 Hz ≥F≥ 10 Hz) y **F2** (F>10 Hz), en razón que en varios puntos de medición sobresalen dos y tres picos de frecuencias con diferentes amplificaciones. A continuación, se describe y analiza la distribución espacial de las frecuencias predominantes identificadas en la ciudad de Camaná.

.- Frecuencias predominantes Fo: *Según la Figura 51, estas frecuencias están presentes hasta en un 70% del total de puntos y recolección de campo, todos en el rango entre 0.5 a 1.8 Hz. Pero en este estudio no se tomará en cuenta este rango de frecuencias por ser de mayor interés, desde el punto de vista estructural, las frecuencias mayores a 2 Hz. En la Figura 52, se muestra ejemplos de estas frecuencias para lo puntos CA-13, CA-380 y CA-416, todos ubicados en la localidad de Huacapuy (margen derecha del rio Camaná), al SE de la ciudad y en el extremo sur de La Pampa. Las amplitudes de todos estos picos de frecuencia son menores 4 veces. Asimismo, obsérvese que en el punto CA-380 sobresale con nitidez el pico de frecuencia a 5.8 Hz.*

.- Frecuencias predominantes F1*: En la Figura 53, este rango de frecuencias ha sido agrupado en dos sub-rangos, entre 2.0 a 5.0Hz (valores en negro) y de 5.0 a 10.0Hz (valores en gris), básicamente porque en los gráficos de razones espectrales se ha observado la presencia de hasta dos picos de frecuencias predominantes. Estos puntos se encuentran principalmente en el extremo Oeste de la ciudad de Camaná y próximos a las quebradas de San Gregorio y Bandurria. Por ejemplo, dentro del abanico aluvial de Camaná (El Cardo, San José, Chule, Camaná) predominan frecuencias entre 2.0 y 4.0 Hz, y en la localidad de Huacapuy, específicamente en el extremo NE del valle y la Punta, se identifican valores entre 5.0 – 10.0 Hz. Por otro lado, cerca de la localidad de Pucchún y en el extremo Este de La Pampa y La Boya, se observa valores altos de frecuencias predominantes y en algunos casos, no se identifica picos de frecuencias, lo cual sugiere la presencia de suelos de mayor consistencia.*

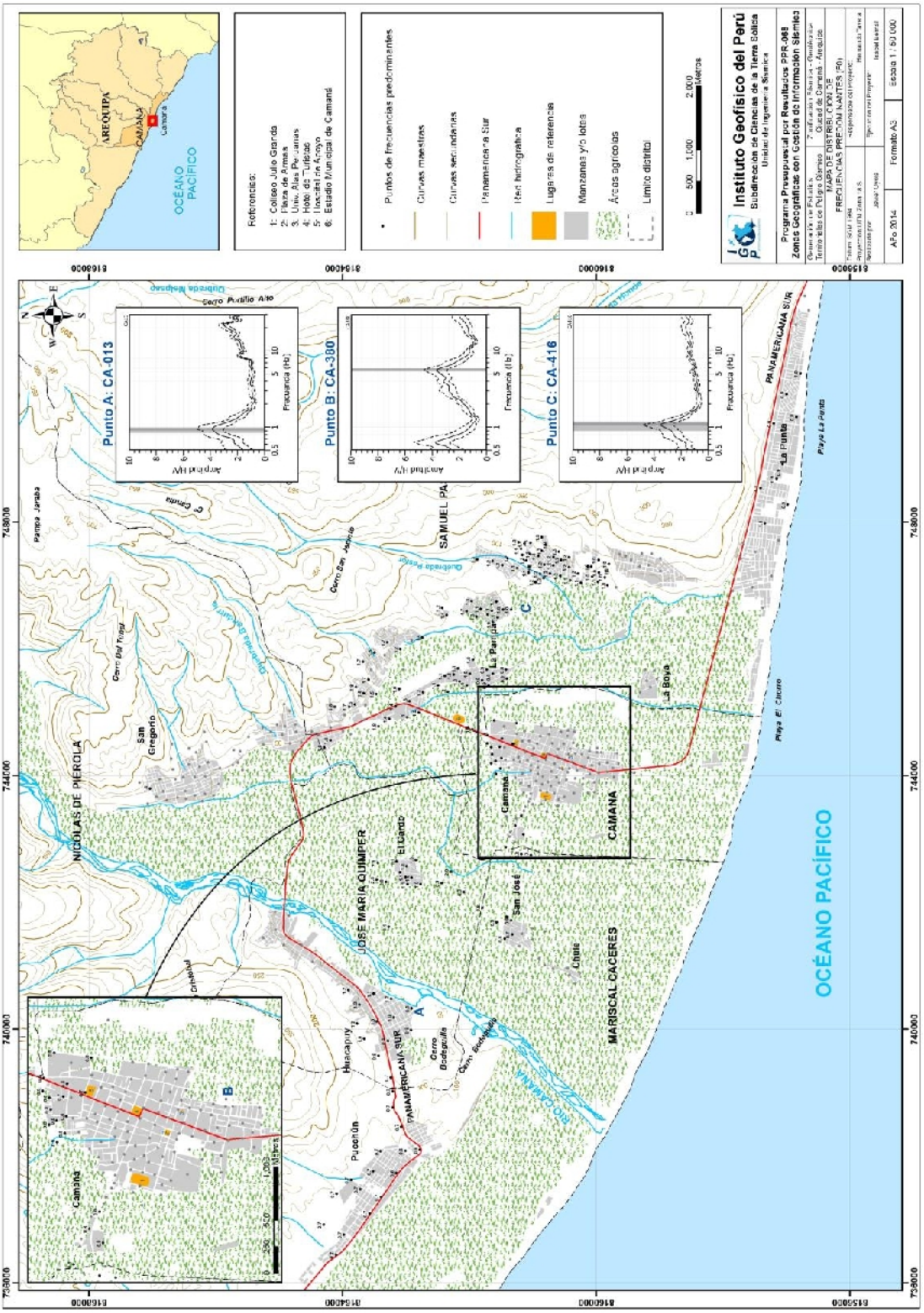
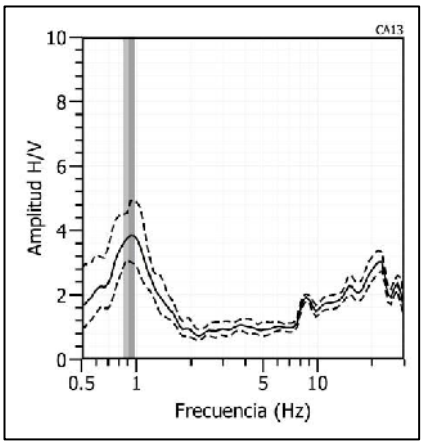
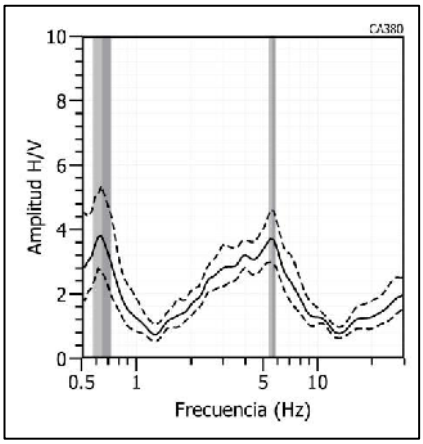


*Figura 51: Mapa de la ciudad de Camaná y distribución espacial de las frecuencias predominantes **Fo.** Los gráficos de razones espectrales corresponden a puntos representativos.*

CA - 13



CA - 380



CA - 416

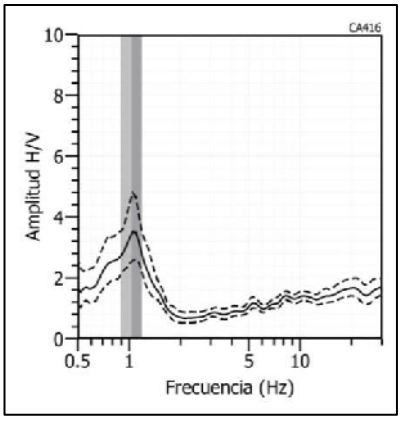


Figura 52: Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango Fo (F<2.0 Hz): puntos CA-13, CA-380 y CA-416, ubicados en la localidad de Huacapuy, al SE de la ciudad de Camaná y extremo sur de La Pampa. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

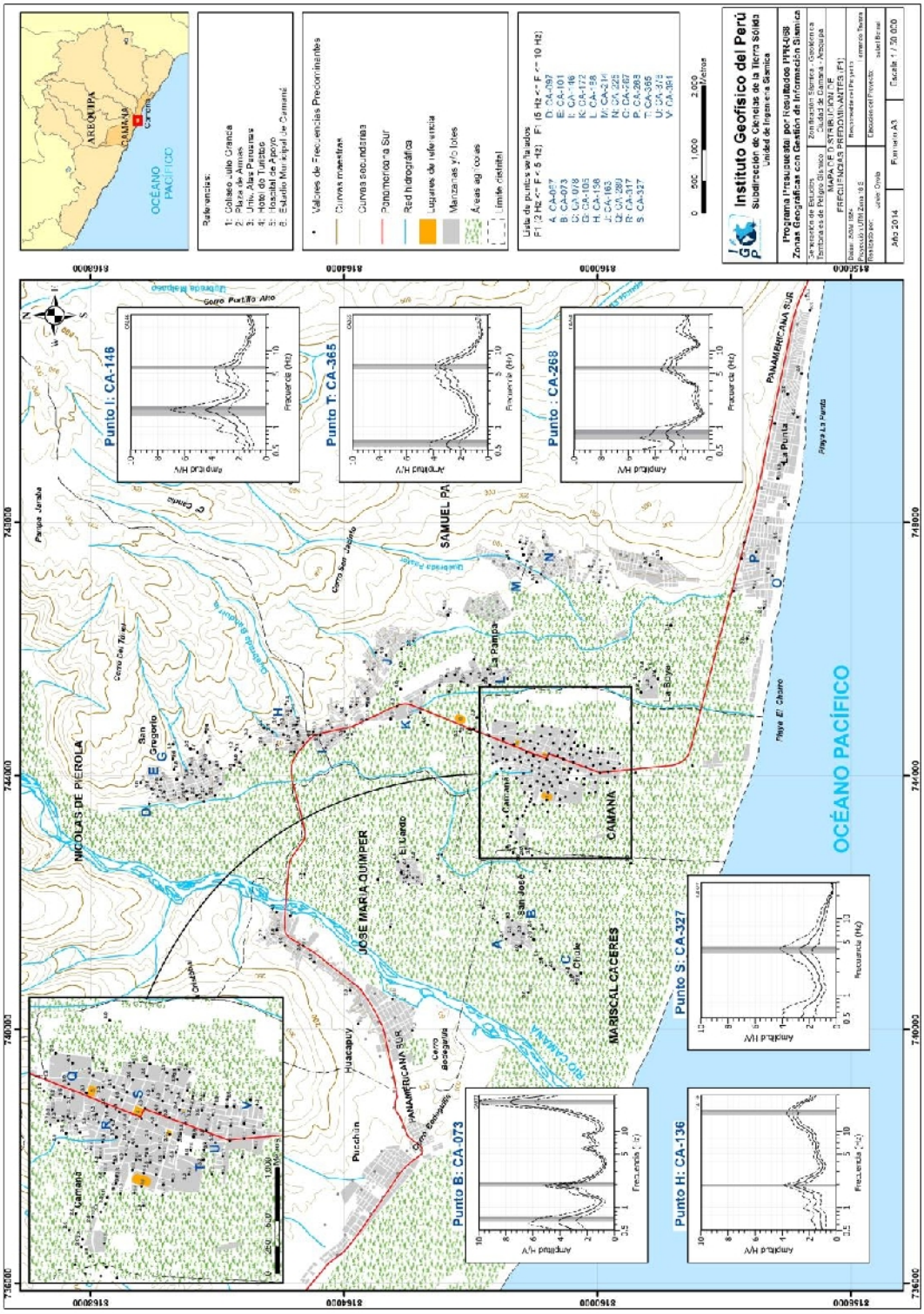


*Figura 53: Mapa de la ciudad de Camaná y distribución espacial de las frecuencias predominantes **F1.** Los gráficos de razones espectrales corresponden a puntos representativos.*

En la Figura 54, se muestran ejemplos de razones espectrales en el rango de 2.0 – 5.0 Hz, para los siguientes puntos:

.- Puntos CA-67, CA-73 y CA-78, ubicados en las localidades de San Jose y Chule, sobre terrenos de cultivo.

.- Puntos CA-289, CA-317 y CA-327, ubicados en la ciudad de Camaná, así como en su extremo norte.

En estos puntos sobresalen frecuencias que fluctúan de entre 2.0 a 4.0 Hz con amplificaciones relativas de hasta 4 veces. En la ciudad de Camaná, claramente se identifica frecuencias alrededor de los 4.0 Hz con amplificaciones de hasta 3 veces; mientras que, hacia su extremo NE, entre el límite del abanico aluvial y las zonas altas sobresalen, frecuencias a 2.0 Hz con amplificaciones de hasta 3 veces. Adicionalmente, en las razones espectrales para los puntos CA-73 y CA-78 se observa la presencia de picos de frecuencias con valores mayores a 10 Hz y amplificaciones relativas de hasta 8 veces.

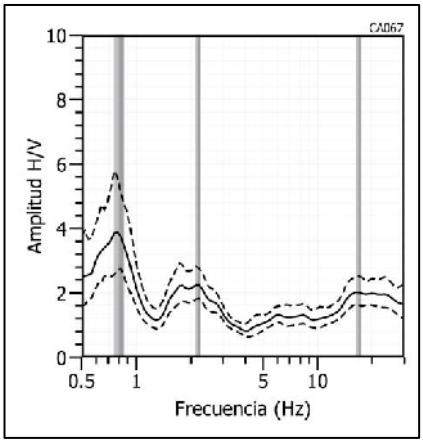
En la Figura 55, se muestran ejemplos de razones espectrales para el rango de 5.0 a 10.0 Hz, puntos CA-97, CA-101 y CA-214 ubicados, los dos primeros, en el extremo NE del área de estudio y en donde sobresalen frecuencias a 7.2 y 8.5 Hz con amplificaciones de hasta 6 veces. El punto CA-124 se encuentra próximo a la Quebrada Pastor con frecuencias entre 1.2 y 6.5 Hz, y amplificaciones de 5.8 y 3.9 veces. En este punto, el segundo pico de frecuencia estaría asociado a la respuesta del suelo a los efectos estratigráficos y/o topográficos.

Los puntos CA-146, CA-172 y CA-188 ubicados en el extremo NE del área de estudio, próximo al límite del abanico aluvial y las zonas altas, así como en la localidad La Pampa (terrenos de cultivo), sobresalen dos picos de frecuencia entre 0.8 - 1.8 Hz y 6 Hz con amplificaciones de hasta 4.6 y 3.1 veces respectivamente. Adicionalmente, en el punto CA-188 sobresale un tercer pico a 12.2 Hz con amplificaciones de hasta 2.7 Hz.

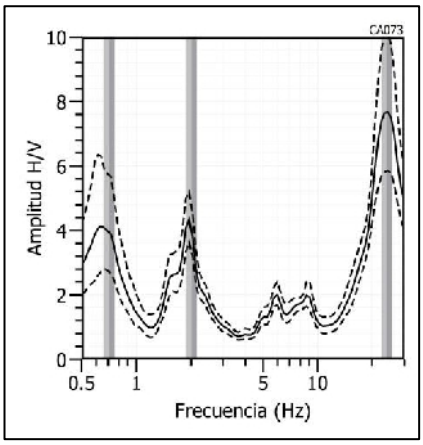
En los puntos CA-365, CA-376 y CA-391 ubicados sobre el extremo Sur de la ciudad de Camaná, sobresalen frecuencias a 6.4, 6.0 y 5.1 Hz con amplificaciones máximas relativas de hasta 4, 3 y 5.4 veces respectivamente. En

los dos últimos gráficos se identifican bandas de respuesta a 3.0 y 5.1 Hz, lo cual evidencian que los suelos presentan mayor complejidad en su estructura.

CA - 67



CA - 73



CA - 78

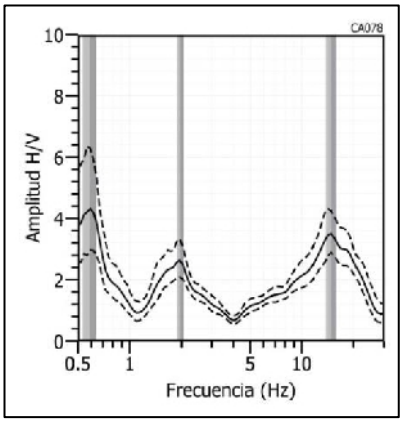
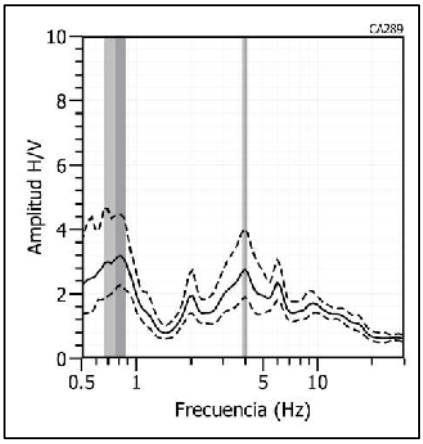
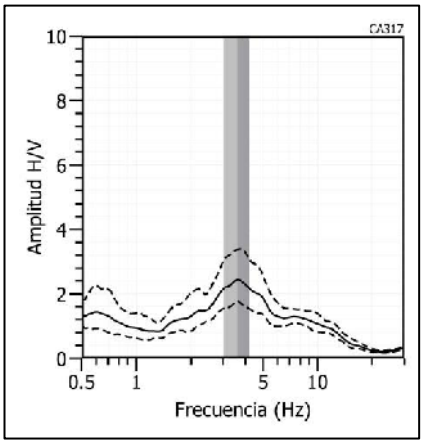


Figura 54: Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F1: puntos CA-67, CA-73 y CA-78, ubicados en la San José y Chule. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

CA - 289



CA - 317



CA - 327

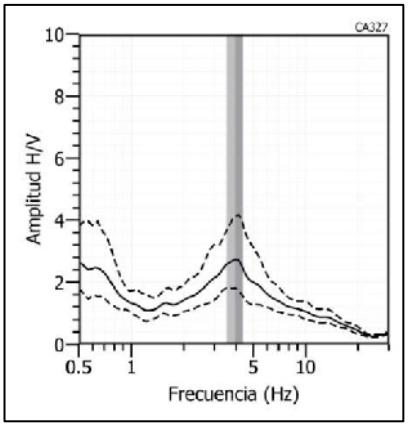
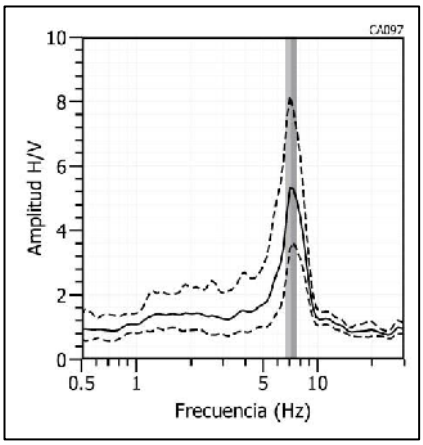
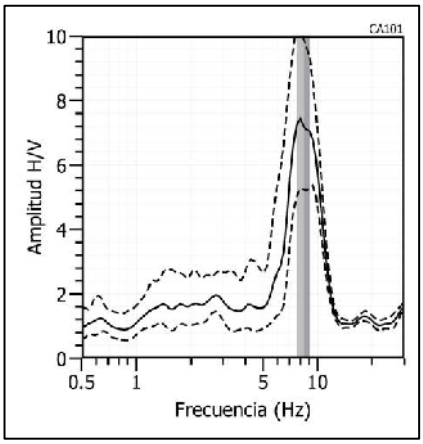


Figura 54: Continuación… // Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F1: puntos CA-289, CA-317 y CA-327, ubicados en la ciudad de Camaná. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

CA - 97



CA - 101



CA - 214

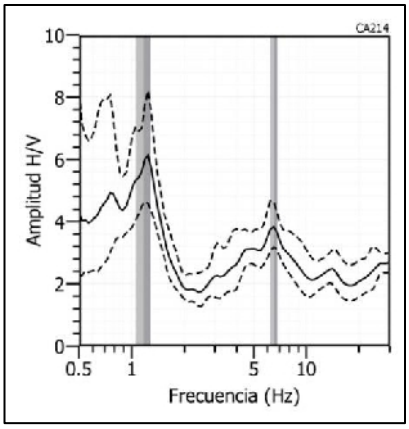
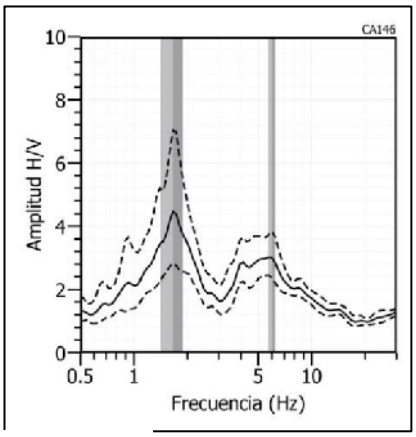
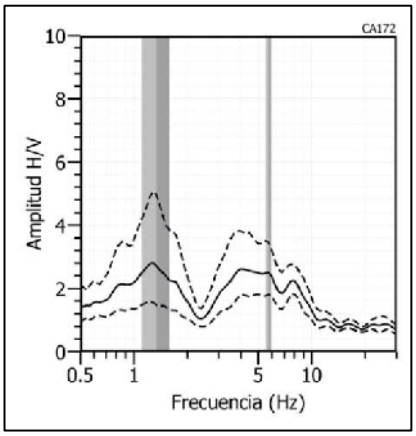


Figura 54: Continuación… // Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F1: puntos CA-97, CA-101 y CA-214, ubicados en el extremo NE de la ciudad y quebrada Pastor. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

CA - 146



CA - 172



CA - 188

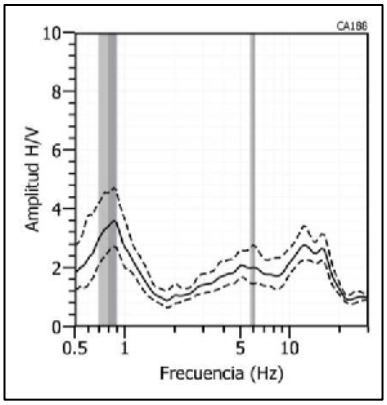
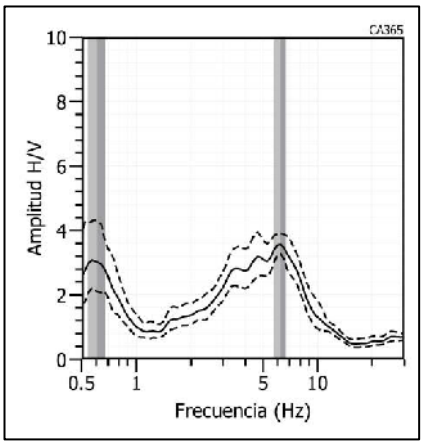
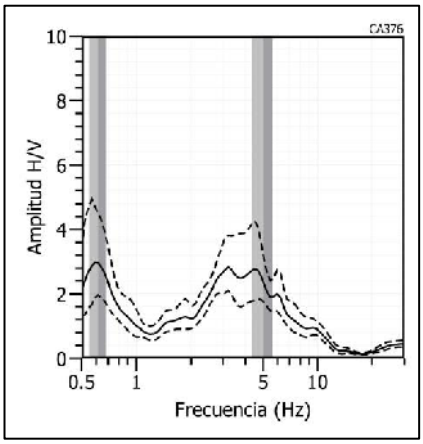


Figura 55: Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F1: puntos CA-146, CA-172 y CA-188, ubicados al norte de la ciudad de Camaná y en Quebrada Pastor. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

CA - 365



CA - 376



CA - 391

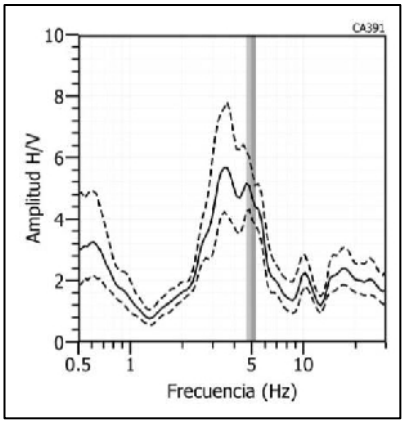


Figura 55: Continuación::: // Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F1: puntos CA-365, CA-376 y CA-391, todos ubicados en el extremo sur de la ciudad de Camaná. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

En los puntos CA-225, CA-267 y CA-268, ubicado el primero al sur de la Quebrada Pastor y los dos últimos en el extremo Oeste de La Punta, sobresalen frecuencias a 1.16 y 5.2 Hz con amplificaciones de 4.0 y 3.0 veces respectivamente; además de mostrar tendencia a valores mayores (7.0 Hz). En el caso de CA-267 y CA-268, a pesar de encontrarse ubicados muy próximos, responden a diferentes rangos de frecuencia entre 2.4 a 3.4 Hz y de 5.7 a 7.5 Hz con amplificaciones de hasta 3 veces.

*.- **Frecuencias predominantes F2**: Este rango de frecuencia se presenta principalmente en los puntos ubicados en el centro del abanico aluvial, tal como se observa en la Figura 56 y de manera dispersa, hacia el extremo Este del área de estudio.*

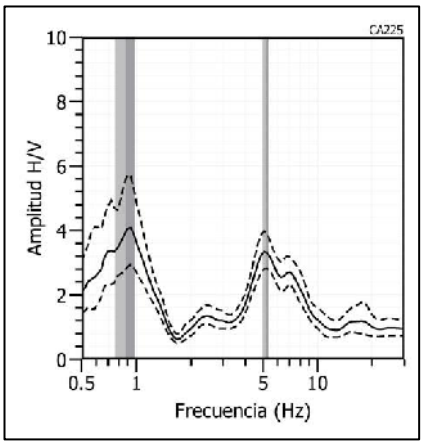
11.3.- Estudios Sísmicos con la Técnica de Arreglos Sísmicos

La técnica MASW (Multichannel Análisis 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 (Vs) en el punto central de cada arreglo.

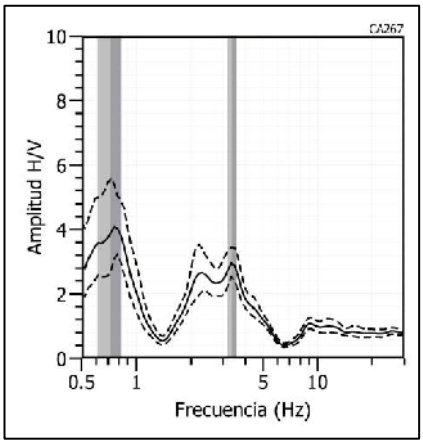
Para el registro de información se ha utilizado un equipo de refracción sísmica que consta de un registrador multipropósito, modelo GEODE (24-canales), geófonos de 4.5 Hz y registros a una resolución de 24 bits con un rango dinámico mayor a 110 dB. Como fuente de impacto y/o energía para generar las 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.

.

CA - 225



CA - 267



CA - 268

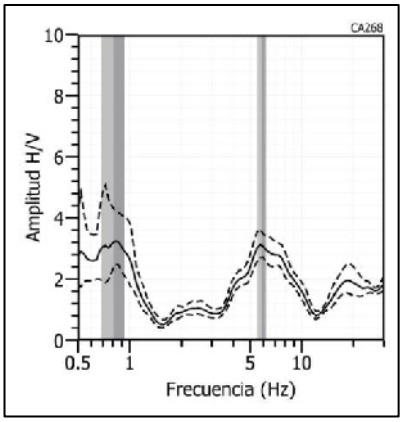


Figura 55: Continuación… // Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F1: puntos CA-225, CA-267 y CA-268, ubicados en la Quebrada Pastor y extremo oeste de La Punta. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

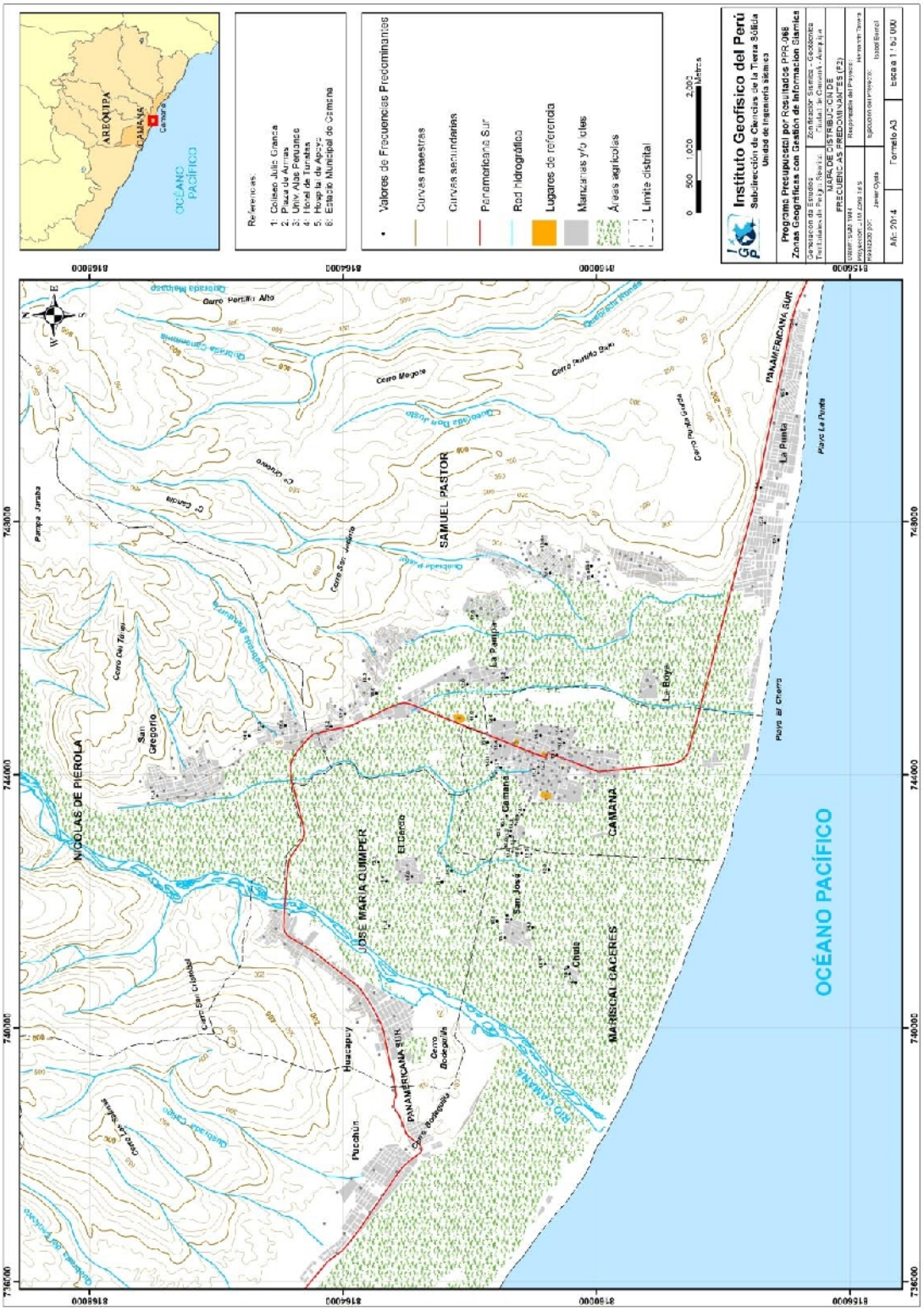


Figura 56: Mapa del área de estudio y distribución espacial de las frecuencias predominantes F2

En la Figura 57, se presenta el mapa de la ciudad de Camaná con la distribución espacial de 18 líneas de refracción sísmica codificadas como: LS01-CA,…., LS18-CA. Las curvas de dispersión de ondas obtenidas para cada tendido y número de impactos, fueron promediadas y luego invertidas usando el algoritmo DINVER a fin de obtener perfiles de velocidad para puntos específicos del tendido. Para el análisis de los resultados se considera la clasificación, que la Norma E-030 establece, para cada tipo de suelo en base a los siguientes rangos de velocidades para las ondas de corte (Vs):

.- Rocas duras, velocidades Vs > 1,500 m/s
.- Rocas moderadamente duras, velocidades Vs de 800 a 1500 m/s
.- Suelo muy duro o roca blanda, velocidades Vs de 500 a 800 m/s
.- Suelo duro, velocidades Vs de 180 a 500 m/s
.- Suelo blando, velocidades Vs <180 m/s
.- Suelo excepcionalmente blando (S4) (condiciones excepcionales)

A continuación, se describe las caracteristicas de cada uno de los perfiles sismicos construidos para conocer la velocidad de las ondas de corte (Vs) en la ciudad de Camaná (Figura 58).

Línea LS01- CA: *Sondaje realizado en Pucchún. El perfil sísmico muestra que los valores de velocidad de la onda S (Vs) son confiables hasta una profundidad de 20 metros. Se ha identificado una capa de 4 metros de espesor y velocidades Vs de 364m/s, correspondiendo a suelos duros a muy duros. La superficie de contacto con el semi-espacio, presenta velocidades Vs mayores a 529m/s, lo cual sugiere la presencia de suelos muy duros.*

Línea LS02- CA: *Sondaje realizado en Huacapuy. El perfil sísmico muestra que los valores de velocidad de la onda S (Vs) son confiables hasta una profundidad de 26 metros. Se ha identificado la presencia de dos capas, la primera de 9 metros de espesor y velocidades Vs de 324 m/s, correspondiendo a suelos duros. La segunda capa tiene un espesor de 12 metros y velocidades Vs de 469 m/s. que sugieren suelos duros a muy duros. La superficie de contacto con el semi-espacio, presenta velocidades Vs mayores a 534 m/s, lo cual sugiere a suelo muy duro.*

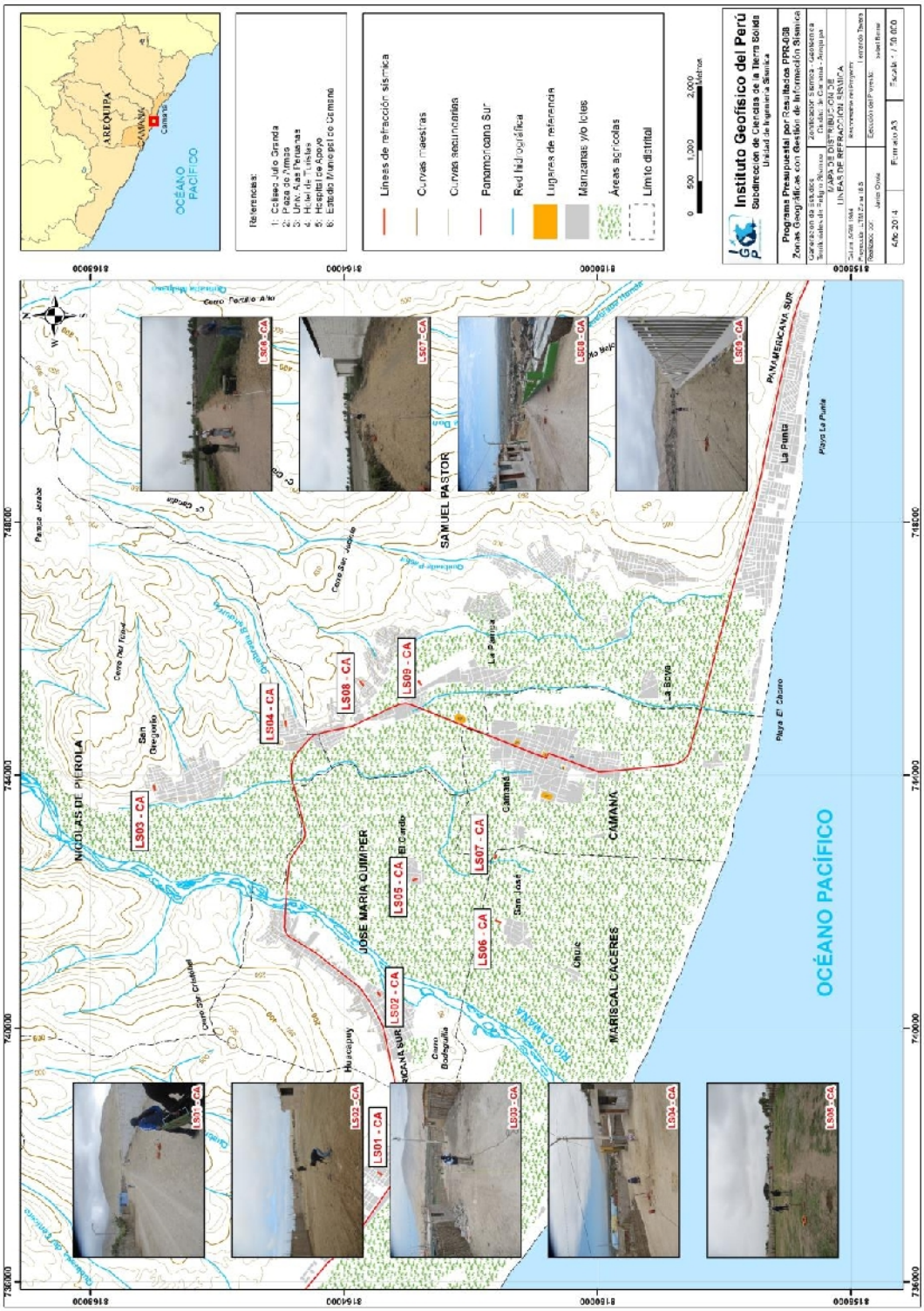


Figura 57: Mapa de la ciudad de Camaná y distribución espacial de las líneas de refracción sísmica codificadas como: LR01-CA,…, LR9-CA.

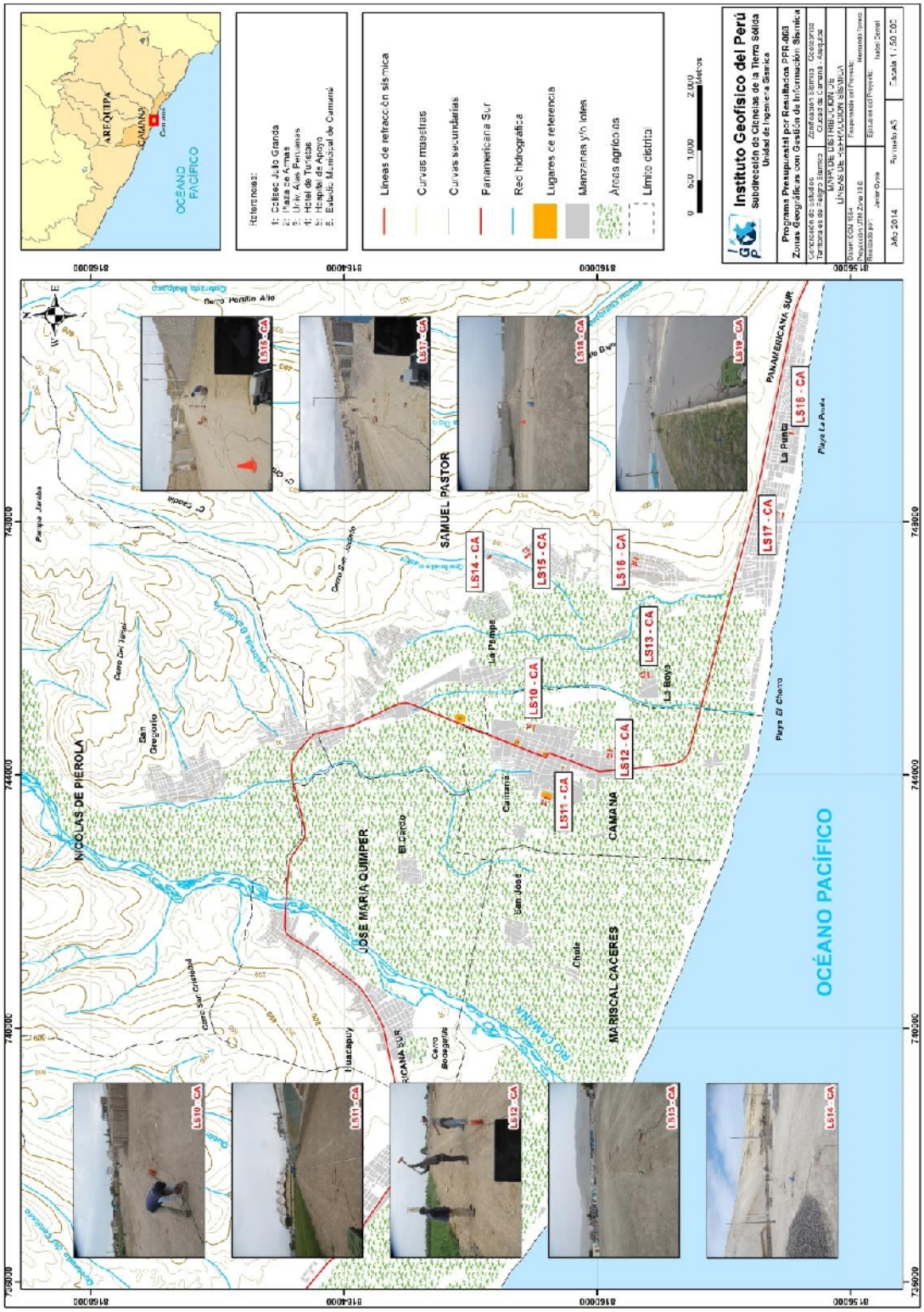
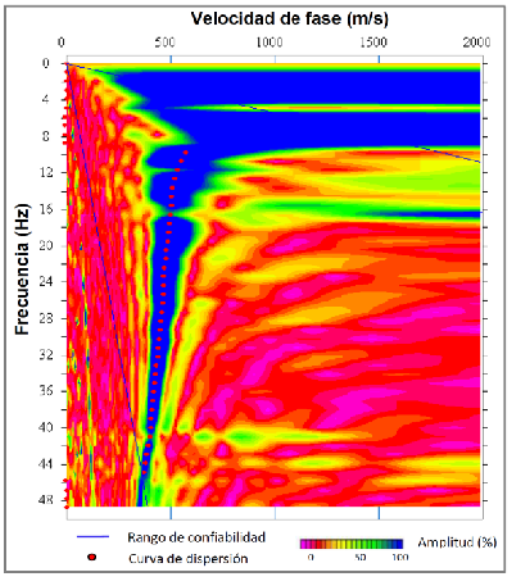
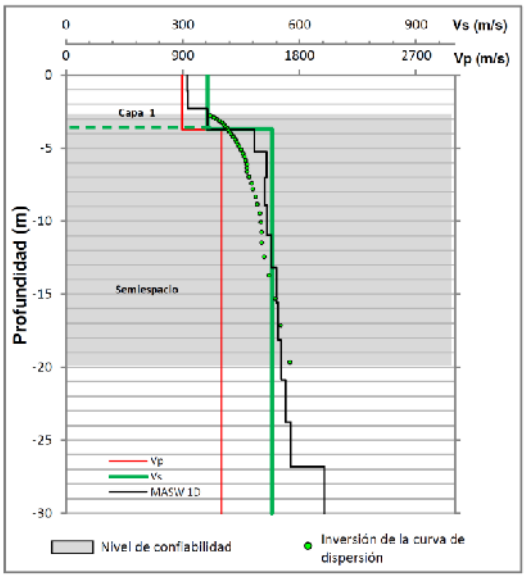


Figura 57: Continuación… // Mapa de la ciudad de Camaná y distribución espacial de las líneas de refracción sísmica codificadas como: LR10-CA,…, LR18-CA.

Curva de dispersión



Perfil de velocidad Vs



Recolección de datos

Resultados

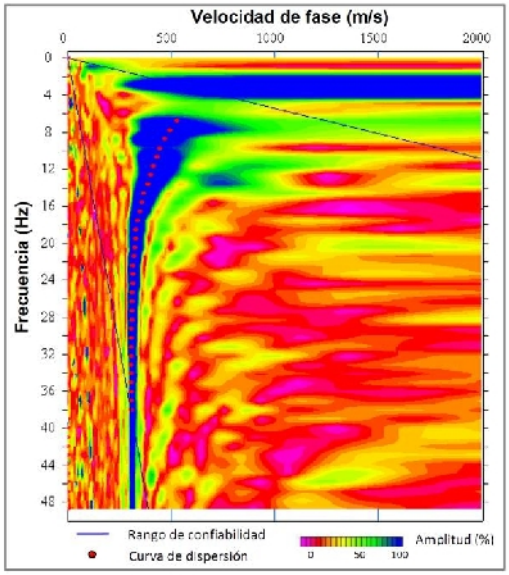
Capa sismica	Espesor (m)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Densidad (g/cm³)
1	4	364	896	1.6
Semi-espacio	-	529	1199	1.7

Vs=Velocidad de las ondas de corte. Vp=Velocidad de las ondas de compresión.

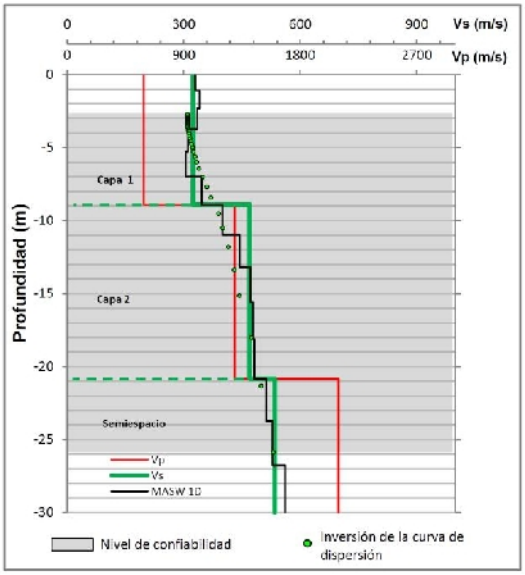
Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW 1D)							LS01-CA
IGP	Subdirección de Ciencias de la Tierra Sólida	UBICACIÓN:	Pucchún				
		DISTRITO:	Mcal. Caceres	PROVINCIA:	Camana	REGIÓN:	Arequipa
	Unidad de Ingeniería Sísmica	LONGITUD DEL TENDIDO:	92 mts.	NIVEL FREÁTICO:	SI	FECHA:	26/09/2014
		COORDENADAS UTM:	NORTE (m) :8163438	ESTE (m) : 737709		COTA (m.s.n.m) : 44	
ELABORADO POR:	W. Sulla & L. Velarde	REVISADO POR:	Ing. Isabel Bernal	APROBADO POR:		Dr. Hernando Tavera	

Figura 58: Analisis e interpretacion geofisica obtenida con el metodo MASW para el arreglo LS01-CA

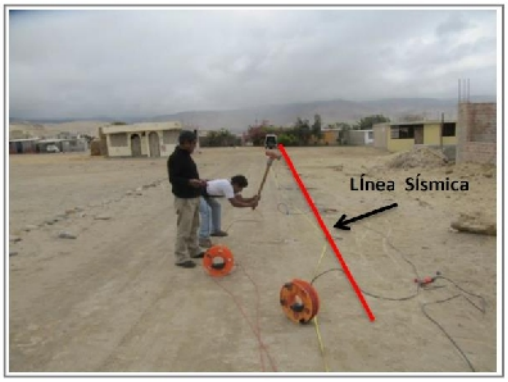
Curva de dispersión



Perfil de velocidad Vs



Recolección de datos



Resultados

Capa sísmica	Espesor (m)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Densidad (g/cm³)
1	9	324	591	1.5
2	12	469	1294	1.8
Semi-espacio	-	534	2098	2.0

Vs=Velocidad de las ondas de corte Vp=Velocidad de las ondas de compresión

Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW 1D)							LS02-CA
IGP	Subdirección de Ciencias de la Tierra Sólida	UBICACIÓN:	Huacapuy				
		DISTRITO:	J. María Quimper	PROVINCIA:	Camana	REGIÓN:	Arequipa
	Unidad de Ingeniería Sísmica	LONGITUD DEL TENDIDO:	92 mts.	NIVEL FREÁTICO:	Si	FECHA:	26/09/2014
		COORDENADAS UTM:	NORTE (m) :8163449	ESTE (m) : 740548		COTA (m.s.n.m) : 47	
ELABORADO POR:	W. Sulla & L. Velarde	REVISADO POR:	Ing. Isabel Bernal	APROBADO POR:		Dr. Hernando Tavera	

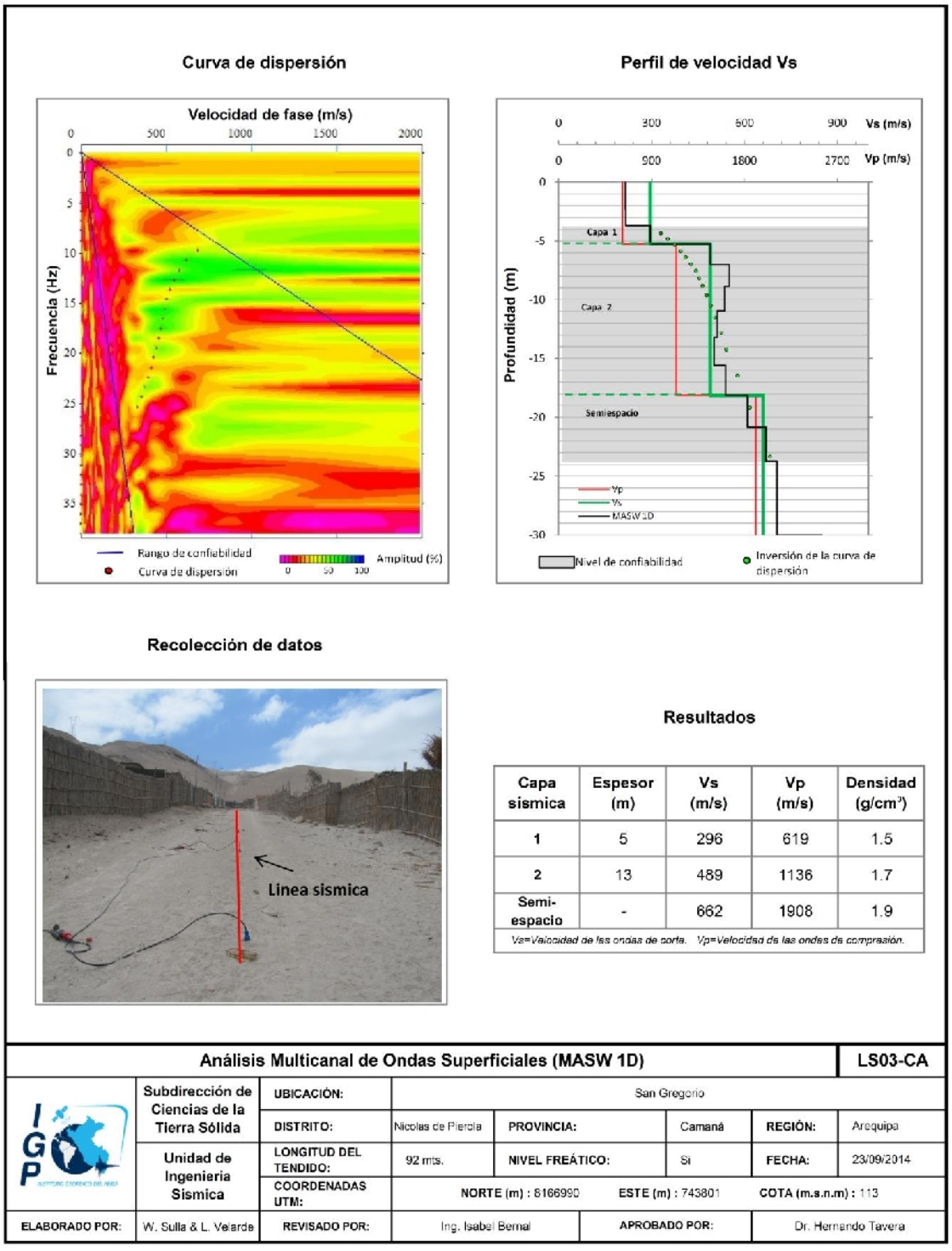
Figura 58: Continuación… // Analisis e interpretacion geofisica obtenida con el metodo MASW para el arreglo LS02-CA

Línea LS03- CA: *Sondaje realizado en poblado San Gregorio. El perfil sísmico muestra que los valores de velocidad de la onda S (Vs) son confiables hasta una profundidad de 24 metros. Se ha identificado la existencia de dos capas, la primera de 5 metros de espesor y velocidades Vs de 296 m/s, correspondientes a suelos duros. La segunda capa presenta un espesor de 13 metros y velocidades Vs de 489 m/s, correspondientes a suelos muy duros. La superficie de contacto con el semi-espacio, presenta velocidades Vs mayores a 662m/s y corresponden a rocas blandas.*

Línea LS04- CA: *Sondaje realizado en la Hacienda del Medio en San José. El perfil sísmico muestra que los valores de velocidad de la onda S (Vs) son confiables hasta una profundidad de 24 metros. Se ha identificado la presencia de dos capas, la primera presenta un espesor de 7 metros y velocidades Vs de 395 m/s, correspondientes a suelos duros a muy duros. La segunda con 9 m de espesor y una velocidad Vs de 531 m/s. que sugieren suelos muy duros. El semi-espacio, presenta velocidades Vs mayores a 738 m/s el cual correspondería a rocas blandas.*

Línea LS05- CA: *Sondaje realizado en El Cardo. El perfil sísmico muestra que los valores de velocidad de la onda S (Vs) son confiables hasta una profundidad de 28 metros. Se ha identificado la existencia de dos capas, la las siguientes capas: La primera de 5 metros de espesor y velocidades Vs de 223 m/s, correspondiente a suelos duros. La segunda presenta 10 metros de espesor y velocidades Vs de 295 m/s. que sugieren suelos duros a muy duros. La superficie de contacto con el semi-espacio, presenta velocidades Vs mayores a 389 m/s, correspondientes a suelos duros a muy duros.*

Línea LS06- CA: *Sondaje realizado en San José. El perfil sísmico muestra que los valores de velocidad de la onda S (Vs) confiables hasta una profundidad de 27 metros. Se ha identificado la existencia de una capa de 18 metros de espesor y velocidades Vs de 271 m/s, correspondientes a suelos duros. El semi-espacio, presenta velocidades Vs mayores a 370 m/s, equivalentes a suelos duros a muy duros.*



Capa sismica	Espesor (m)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Densidad (g/cm³)
1	5	296	619	1.5
2	13	489	1136	1.7
Semi-espacio	-	662	1908	1.9

Vs=Velocidad de las ondas de corte. Vp=Velocidad de las ondas de compresión.

Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW 1D)							LS03-CA
IGP	Subdirección de Ciencias de la Tierra Sólida	UBICACIÓN:	San Gregorio				
		DISTRITO:	Nicolas de Pierola	PROVINCIA:	Camaná	REGIÓN:	Arequipa
	Unidad de Ingenieria Sismica	LONGITUD DEL TENDIDO:	92 mts.	NIVEL FREÁTICO:	Si	FECHA:	23/09/2014
		COORDENADAS UTM:	NORTE (m) : 8166990	ESTE (m) : 743801		COTA (m.s.n.m) : 113	
ELABORADO POR:	W. Sulla & L. Velarde	REVISADO POR:	Ing. Isabel Bernal	APROBADO POR:		Dr. Hernando Tavera	

Figura 58: Continuación… // Analisis e interpretacion geofisica obtenida con el metodo MASW para el arreglo LS03-CA

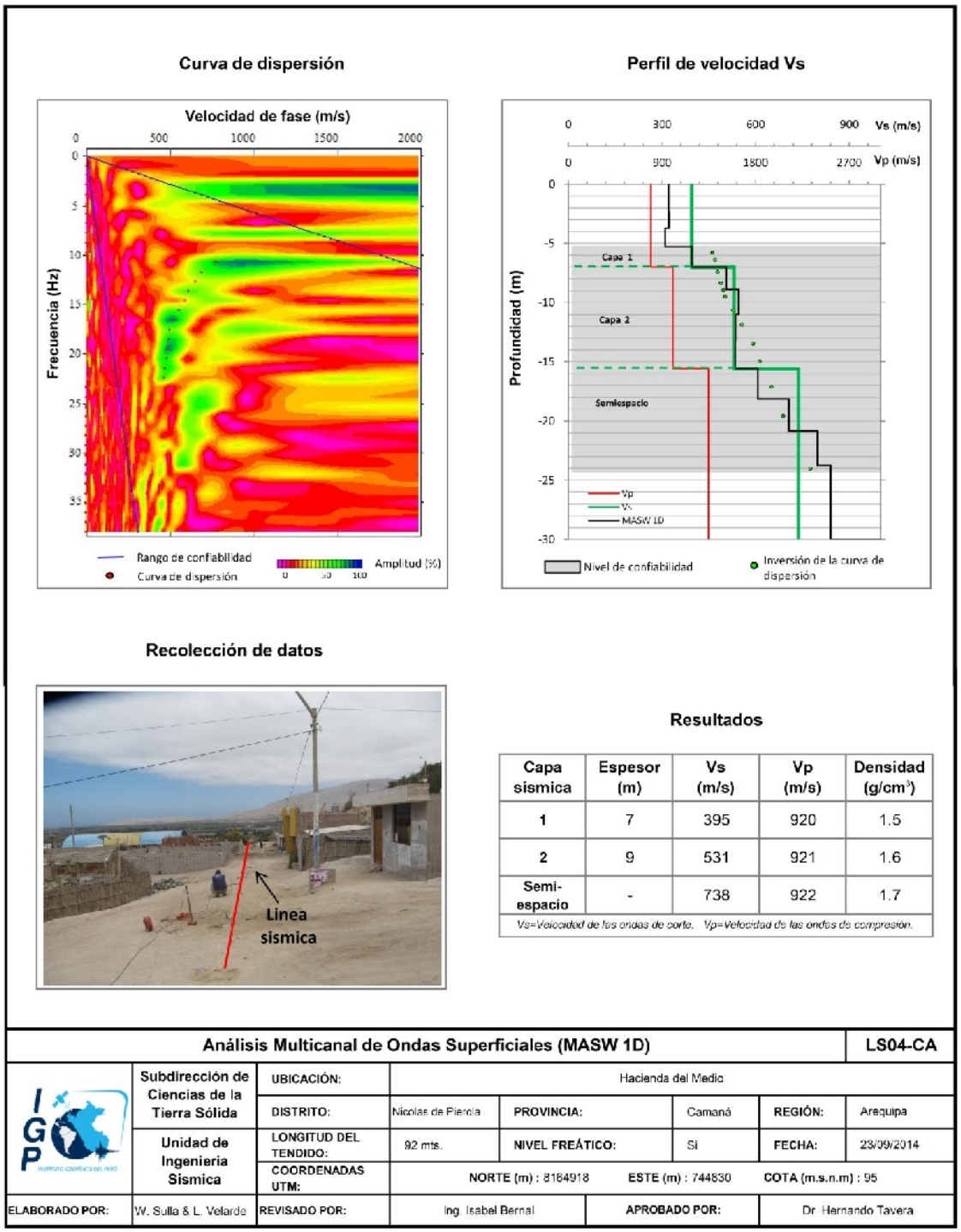
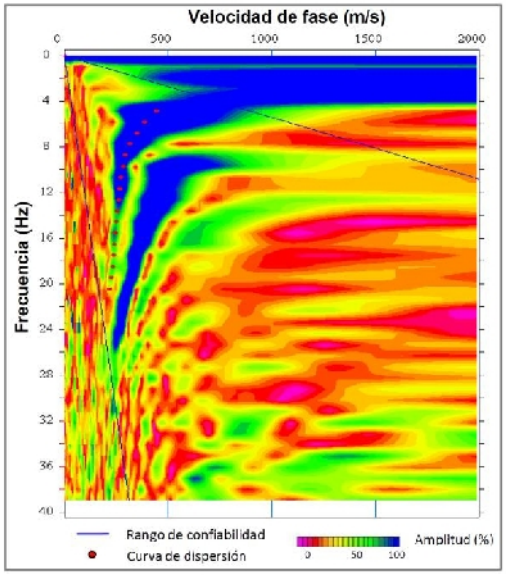
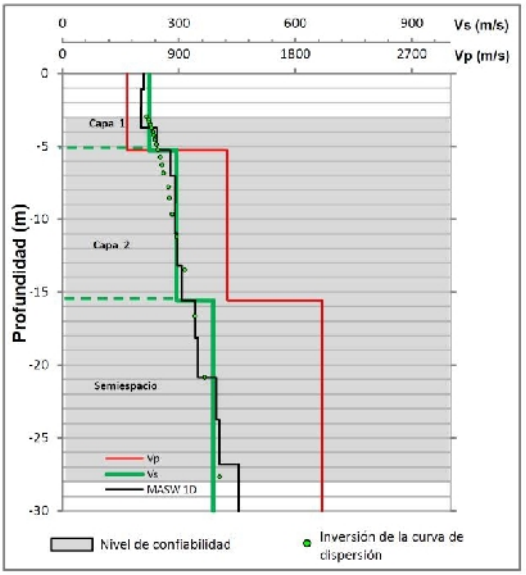


Figura 58: Continuación… // Analisis e interpretacion geofisica obtenida con el metodo MASW para el arreglo LS04-CA

Curva de dispersión



Perfil de velocidad Vs



Recolección de datos

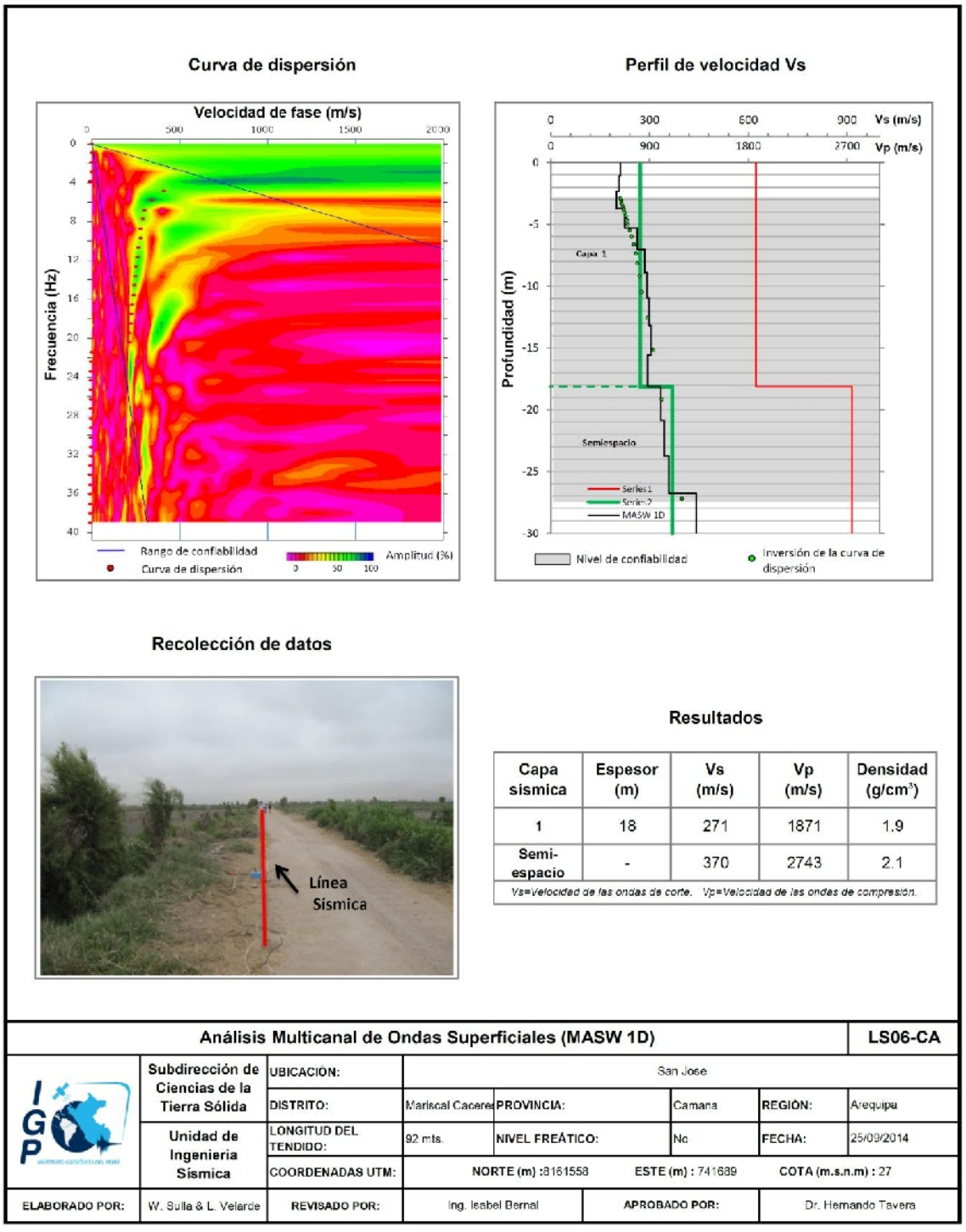
Resultados

Capa sísmica	Espesor (m)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Densidad (g/cm³)
1	5	223	500	1.4
2	10	295	1275	1.8
Semi-espacio	-	389	2008	2.0

Vs=Velocidad de las ondas de corte. Vp=Velocidad de las ondas de compresión.

Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW 1D)							LS05-CA
IGP	Subdirección de Ciencias de la Tierra Sólida	UBICACIÓN:	El Cardo				
		DISTRITO:	J. María Quimper	PROVINCIA:	Camana	REGIÓN:	Arequipa
	Unidad de Ingeniería Sísmica	LONGITUD DEL TENDIDO:	92 mts.	NIVEL FREÁTICO:	No	FECHA:	25/06/2014
		COORDENADAS UTM:	NORTE (m) :8152877	ESTE (m) : 742359		COTA (m.s.n.m) : 43	
ELABORADO POR:	W. Sulla & L. Velarde	REVISADO POR:	Ing. Isabel Bernal	APROBADO POR:		Dr. Hernando Tavera	

Figura 58: Continuación… // Analisis e interpretacion geofisica obtenida con el metodo MASW para el arreglo LS05-CA



Capa sísmica	Espesor (m)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Densidad (g/cm³)
1	18	271	1871	1.9
Semi-espacio	-	370	2743	2.1

Vs=Velocidad de las ondas de corte. Vp=Velocidad de las ondas de compresión.

Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW 1D)							LS06-CA
	Subdirección de Ciencias de la Tierra Sólida	UBICACIÓN:	San Jose				
		DISTRITO:	Mariscal Caceres	PROVINCIA:	Camana	REGIÓN:	Arequipa
	Unidad de Ingeniería Sísmica	LONGITUD DEL TENDIDO:	92 mts.	NIVEL FREÁTICO:	No	FECHA:	25/09/2014
		COORDENADAS UTM:	NORTE (m) :8161558	ESTE (m) : 741689		COTA (m.s.n.m) : 27	
ELABORADO POR:	W. Sulla & L. Velarde	REVISADO POR:	Ing. Isabel Bernal	APROBADO POR:		Dr. Hernando Tavera	

Figura 58: Continuación… // Analisis e interpretacion geofisica obtenida con el metodo MASW para el arreglo LS06-CA

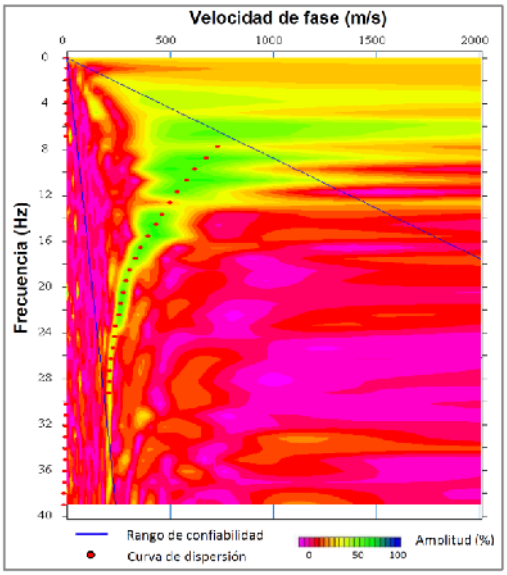
Línea LS07- CA: *Sondaje realizado en Uchumayo. El perfil sísmico muestra que los valores de velocidad de la onda S (Vs) son confiables hasta una profundidad de 30 metros. Se ha identificado la presencia de dos capas, la primera de 7 metros de espesor y velocidades Vs de 278 m/s, correspondientes a suelos duros. La segunda presenta 14 metros de espesor y velocidades Vs de 506 m/s. que sugieren suelos muy duros. La superficie de contacto con el semi-espacio, presenta velocidades Vs mayores a 710 m/s y que corresponden a suelos muy duros o posibles rocas blandas.*

Línea LS08- CA: *Sondaje realizado en Juan Pablo Vizcardo y Guzmán. El perfil sísmico muestra que los valores de velocidad de la onda S (Vs) son confiables hasta una profundidad de 28 metros. Se ha identificado una primera capa de 9 metros de espesor y velocidades Vs de 487 m/s, correspondiente a suelos duros a muy duros. La segunda capa presenta 4 metros de espesor y velocidades Vs de 656 m/s, que sugieren rocas blandas. La superficie de contacto con el semi-espacio, presenta velocidades Vs mayores a 829m/s, lo cual sugiere a rocas moderadamente duras.*

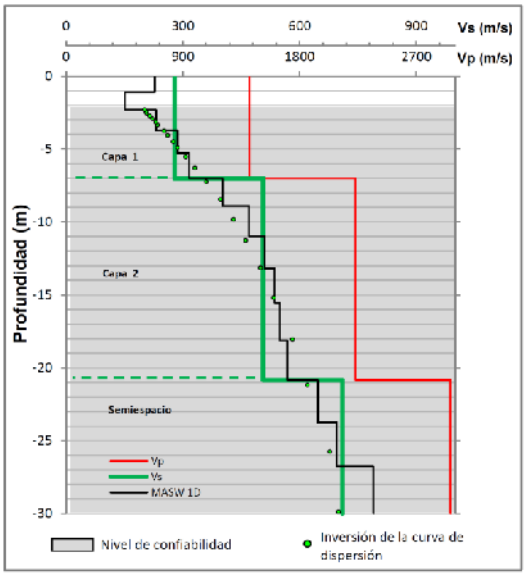
Línea LS09-CA: *Sondaje realizado en El Carmen. El perfil sísmico muestra que los valores de velocidad de la onda S (Vs) son confiables hasta una profundidad de 18 metros. Se ha identificado la presencia de una capa de 11 metros de espesor y velocidad Vs de 304 m/s, correspondientes a suelos duros. La superficie de contacto con el semi-espacio, presenta velocidades Vs mayores a 474m/s, lo cual sugiere a suelos muy duros.*

Línea LS10-CA: *Sondaje realizado en el extremo noreste de la ciudad de Camaná a 800 metros de la Plaza de Armas. El perfil sísmico muestra que los valores de velocidad de la onda S (Vs) son confiables hasta una profundidad de 29 metros. Se ha identificado la presencia de dos capas, la primera de 4 metros de espesor y velocidades Vs de 211 m/s, corresponden a suelos duros. La segunda capa presenta 9 metros de espesor y velocidades Vs de 357 m/s, que sugiere a suelos duros a muy duros. El contacto con el semi-espacio, presenta velocidades Vs mayores a 603 m/s y corresponden a suelos muy duros.*

Curva de dispersión



Perfil de velocidad Vs



Recolección de datos

Resultados

Capa sísmica	Espesor (m)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Densidad (g/cm³)
1	7	278	1410	1.8
2	14	506	2231	2.0
Semi-espacio	-	710	2963	2.2

Vs=Velocidad de las ondas de corte. Vp=Velocidad de las ondas de compresión.

Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW 1D)							LS07-CA
	Subdirección de Ciencias de la Tierra Sólida	UBICACIÓN:	Uchumayo				
		DISTRITO:	Samuel Pastor	PROVINCIA:	Camana	REGIÓN:	Arequipa
	Unidad de Ingeniería Sísmica	LONGITUD DEL TENDIDO:	69 mts.	NIVEL FREÁTICO:	No	FECHA:	25/09/2014
		COORDENADAS UTM:	NORTE (m) :8161609	ESTE (m) : 742709		COTA (m.s.n.m) : 25	
ELABORADO POR:	W. Sulla & L. Velarde	REVISADO POR:	Ing. Isabel Bernal	APROBADO POR:		Dr. Hernando Tavera	

Figura 58: Continuación… // Analisis e interpretacion geofisica obtenida con el metodo MASW para el arreglo LS07-CA

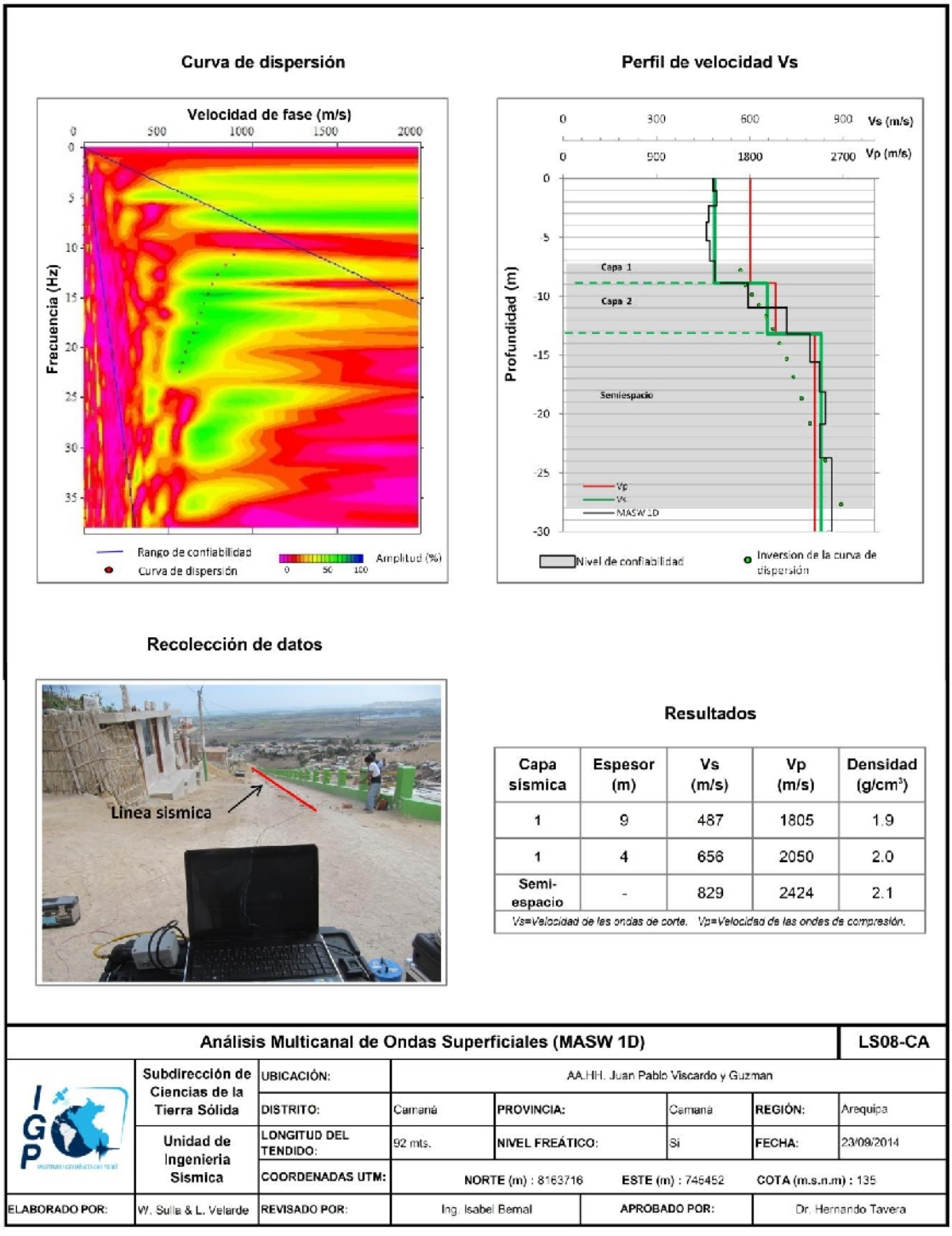
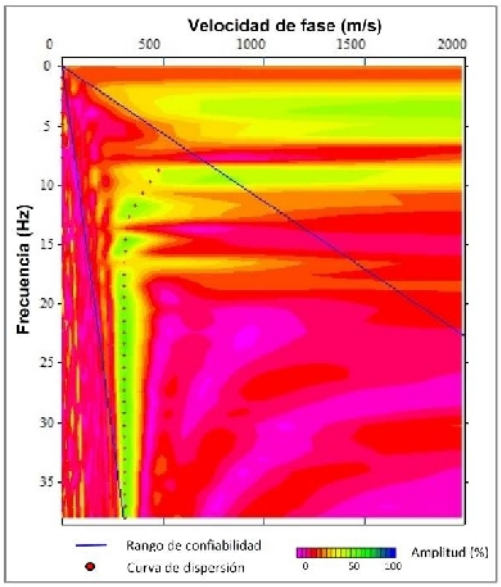
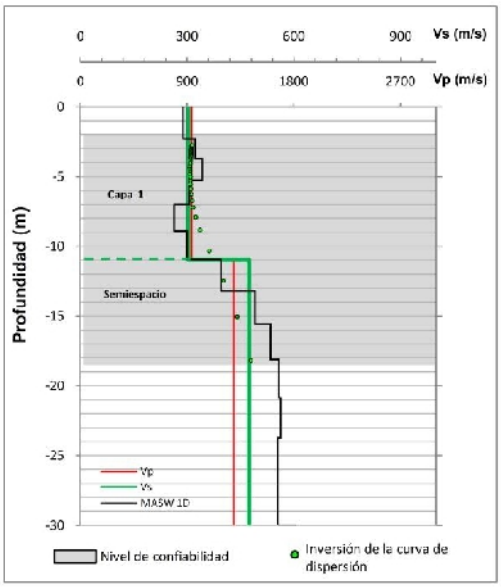


Figura 58: Continuación… // Analisis e interpretacion geofisica obtenida con el metodo MASW para el arreglo LS08-CA

Curva de dispersión



Perfil de velocidad Vs



Recolección de datos

Resultados

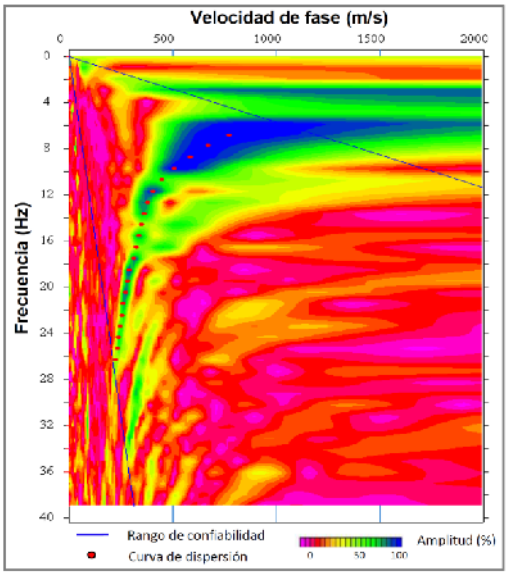
Capa sísmica	Espesor (m)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Densidad (g/cm³)
1	11	304	937	1.6
Semi-espacio	-	474	1297	1.7

Vs=Velocidad de las ondas de corte Vp=Velocidad de las ondas de compresión

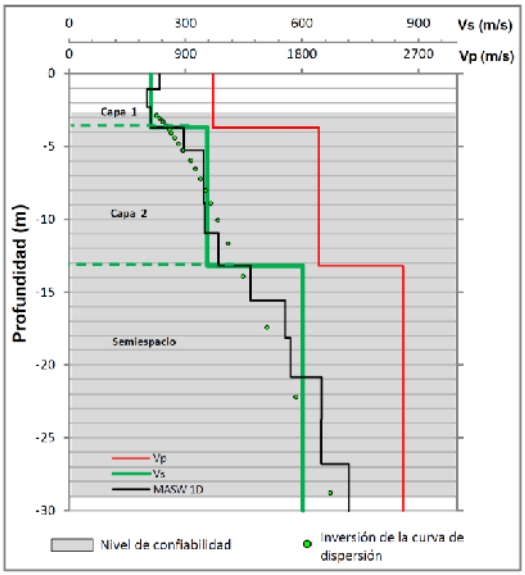
Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW 1D)							LS09-CA
	Subdirección de Ciencias de la Tierra Sólida	UBICACIÓN:	Centro poblado El Carmen				
		DISTRITO:	Samuel Pastor	PROVINCIA:	Camana	REGIÓN:	Arequipa
	Unidad de Ingeniería Sísmica	LONGITUD DEL TENDIDO:	92 mts.	NIVEL FREÁTICO:	Si	FECHA:	23/09/2014
		COORDENADAS UTM:	NORTE (m) : 8162805	ESTE (m) : 745461		COTA (m.s.n.m) : 64	
ELABORADO POR:	W. Sulla & L. Velarde	REVISADO POR:	Ing. Isabel Bernal	APROBADO POR:		Dr. Hernando Tavera	

Figura 58: Continuación… // Analisis e interpretacion geofisica obtenida con el metodo MASW para el arreglo LS09-CA

Curva de dispersión



Perfil de velocidad Vs



Recolección de datos

Resultados

Capa sísmica	Espesor (m)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Densidad (g/cm³)
1	4	211	1113	1.7
2	9	357	1931	1.9
Semi-espacio	-	603	2581	2.1

Vs=Velocidad de las ondas de corte. Vp=Velocidad de las ondas de compresión.

Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW 1D)							LS10-CA
IGP	Subdirección de Ciencias de la Tierra Sólida	UBICACIÓN:	Camaná				
		DISTRITO:	Camaná	PROVINCIA:	Camaná	REGIÓN:	Arequipa
	Unidad de Ingeniería Sísmica	LONGITUD DEL TENDIDO:	92 mts	NIVEL FREÁTICO:	Si	FECHA:	24/09/2014
		COORDENADAS UTM:	NORTE (m) :8161004	ESTE (m) : 744749		COTA (m.s.n.m) : 21	
ELABORADO POR:	W. Sulla & L. Velarde	REVISADO POR:	Ing. Isabel Bernal	APROBADO POR:		Dr. Hernando Tavera	

Figura 58: Continuación… // Analisis e interpretacion geofisica obtenida con el metodo MASW para el arreglo LS10-CA

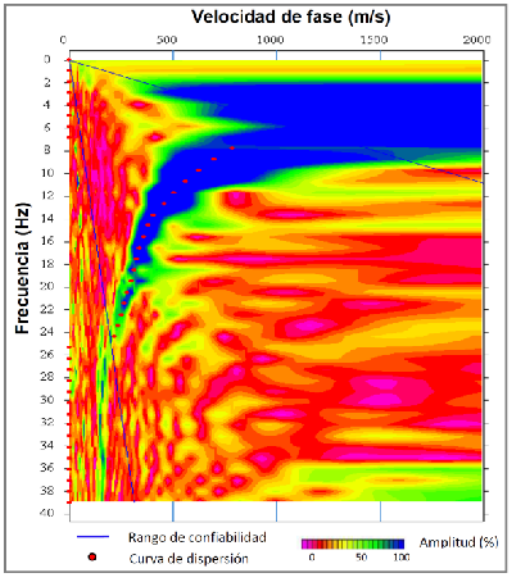
Línea LS11-CA: *Sondaje realizado en el Coliseo Cerrado de Camaná. El perfil sísmico muestra que los valores de velocidad de la onda S (Vs) son confiables hasta una profundidad de 30 metros. Se ha identificado la presencia de tres capas, la primera de 4 metros de espesor y velocidades Vs de 205 m/s, correspondientes a suelos duros a muy duros. La segunda capa con espesor de 7 metros y velocidades Vs de 359 m/s que corresponden a suelos duros a muy duros. La tercera capa con espesor de 13 metros y velocidades Vs de 568 m/s y que corresponden a rocas blandas. La superficie de contacto con la siguiente capa, presenta velocidades Vs mayores a 720 m/s y corresponden a rocas blandas.*

Línea LS12-CA: *Sondaje realizado en la urbanización Independencia. El perfil sísmico muestra que los valores de velocidad de la onda S (Vs) son confiables hasta una profundidad de 29 metros. Se ha identificado la existencia de dos capas, la primera capa presenta un espesor de 7 metros y velocidades Vs de 218 m/s, correspondientes a suelos duros. La segunda presenta un espesor de 14 metros y velocidades Vs de 432 m/s, equivalentes a suelos duros a muy duros. La superficie de contacto con el semi-espacio, presenta velocidades Vs mayores a 727m/s, corresponden a rocas blandas.*

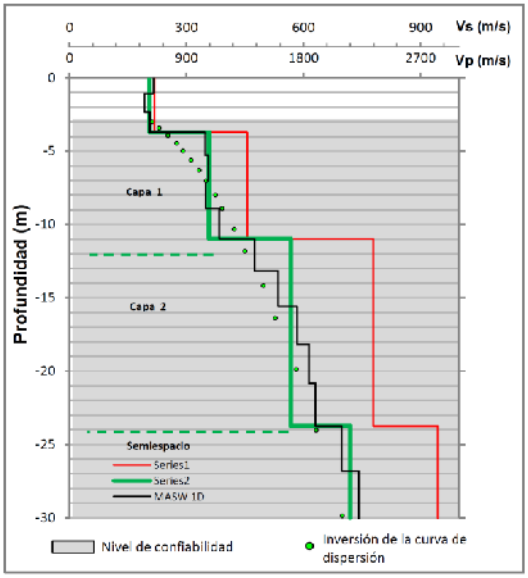
Línea LS13-CA: *Sondaje realizado en La Boya. El perfil sísmico muestra que los valores de velocidad de la onda S (Vs) son confiables hasta una profundidad de 16 metros. Se ha identificado la existencia de una capa de 9 metros de espesor y velocidades Vs de 164 m/s, correspondientes a suelos blandos. La superficie de contacto con la siguiente capa, presenta velocidades Vs mayores a 377m/s, equivalentes a suelos duros a muy duros.*

Línea LS14-CA: *Sondaje realizado en La Pampa. El perfil sísmico muestra que los valores de velocidad de la onda S (Vs) son confiables desde los 6 metros hasta una profundidad de 29 metros. Se ha identificado la presencia de dos capas, la primera con un espesor de 7 metros y velocidades Vs de 390 m/s, correspondientes a suelos duros a muy duros. La segunda presenta un espesor de 14 metros y velocidades Vs de 506 m/s, equivalentes a suelos muy duros. La superficie de contacto con el semi-espacio, presenta velocidades Vs mayores a 624m/s, equivalentes a rocas blandas.*

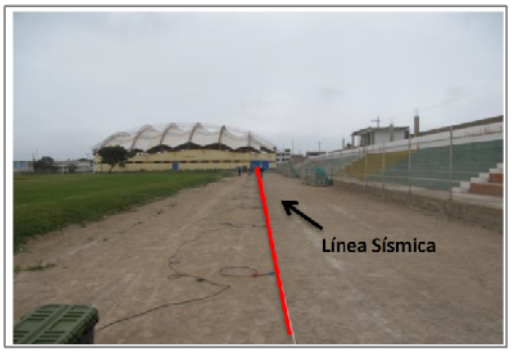
Curva de dispersión



Perfil de velocidad Vs



Recolección de datos



Resultados

Capa sísmica	Espesor (m)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Densidad (g/cm³)
1	4	205	658	1.5
2	7	359	1364	1.7
3	13	568	2337	2.0
Semi-espacio	-	720	2838	2.2

Vs=Velocidad de las ondas de corte. Vp=Velocidad de las ondas de compresión.

Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW 1D)							LS11-CA
IGP	Subdirección de Ciencias de la Tierra Sólida	UBICACIÓN:	Coliseo Cerrado de Camana				
		DISTRITO:	Camana	PROVINCIA:	Camana	REGIÓN:	Arequipa
	Unidad de Ingeniería Sísmica	LONGITUD DEL TENDIDO:	92 mts.	NIVEL FREÁTICO:	SI	FECHA:	26/08/2014
		COORDENADAS UTM:	NORTE (m) :8159194	ESTE (m) : 745580		COTA (m.s.n.m) : 20	
ELABORADO POR:	W. Sulla & L. Velarde	REVISADO POR:	Ing. Isabel Bernal	APROBADO POR:		Dr. Hernando Tavera	

Figura 58: Continuación… // Analisis e interpretacion geofisica obtenida con el metodo MASW para el arreglo LS11-CA

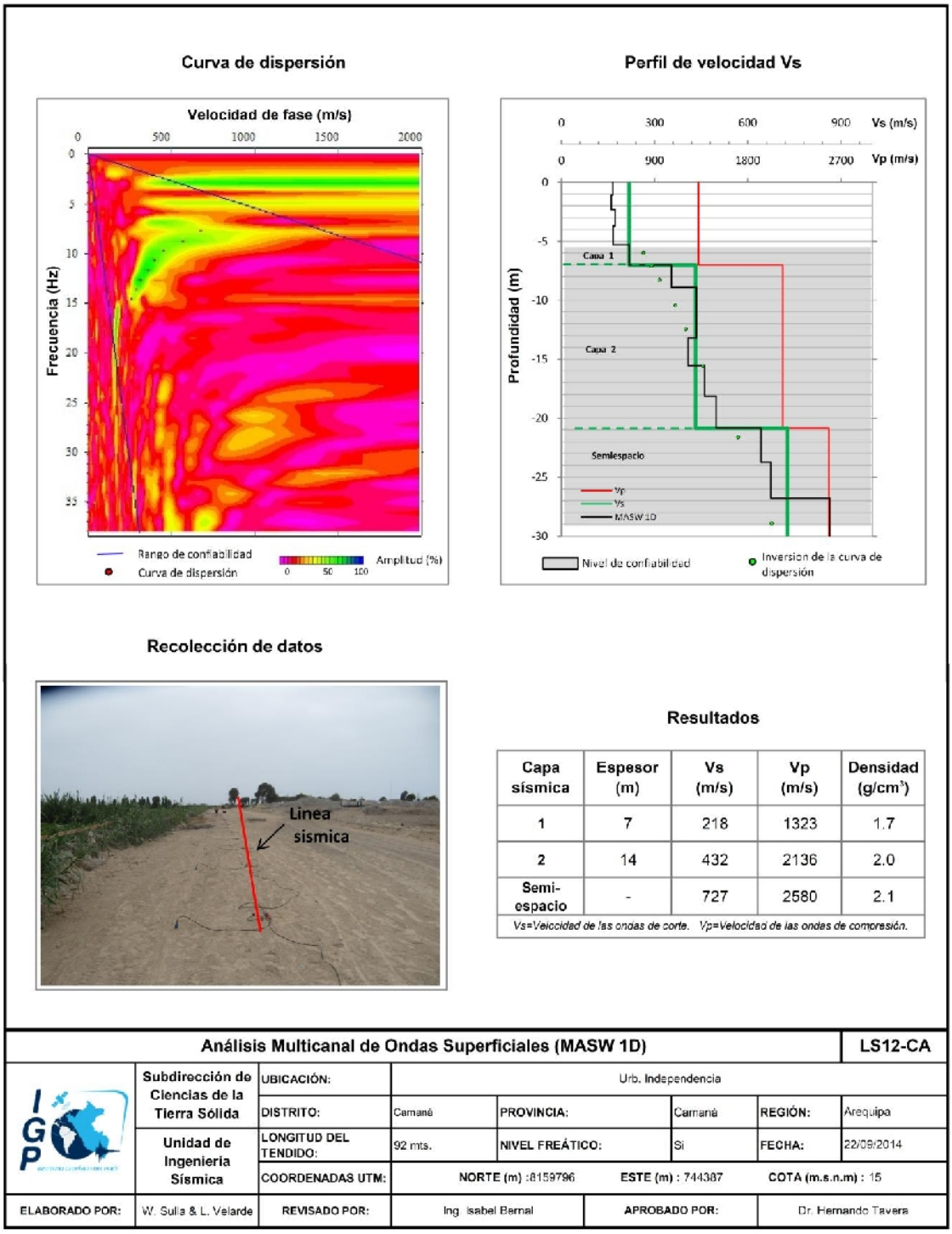
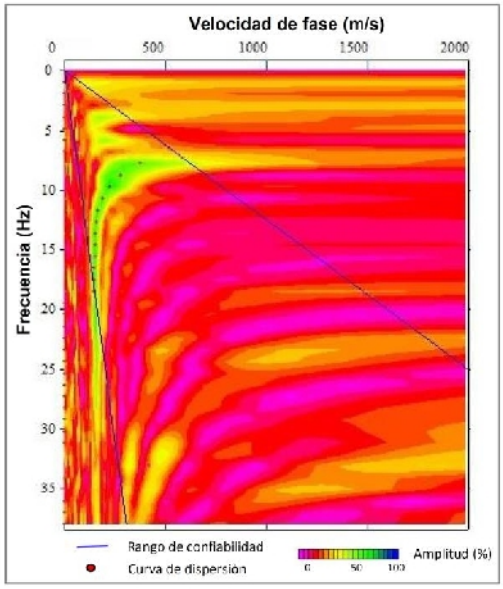
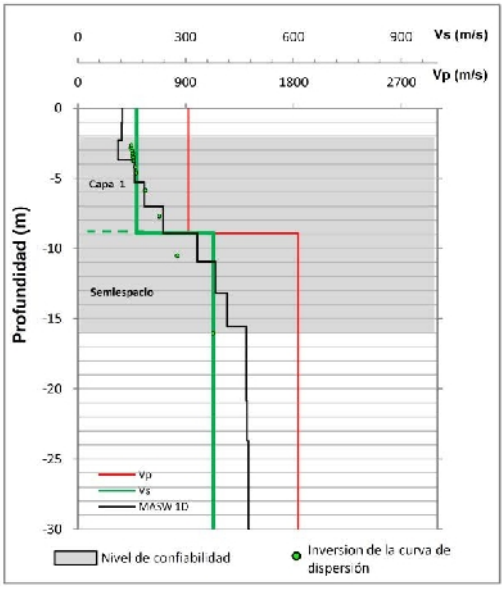


Figura 58: Continuación… // Analisis e interpretacion geofisica obtenida con el metodo MASW para el arreglo LS12-CA

Curva de dispersión



Perfil de velocidad Vs



Recolección de datos

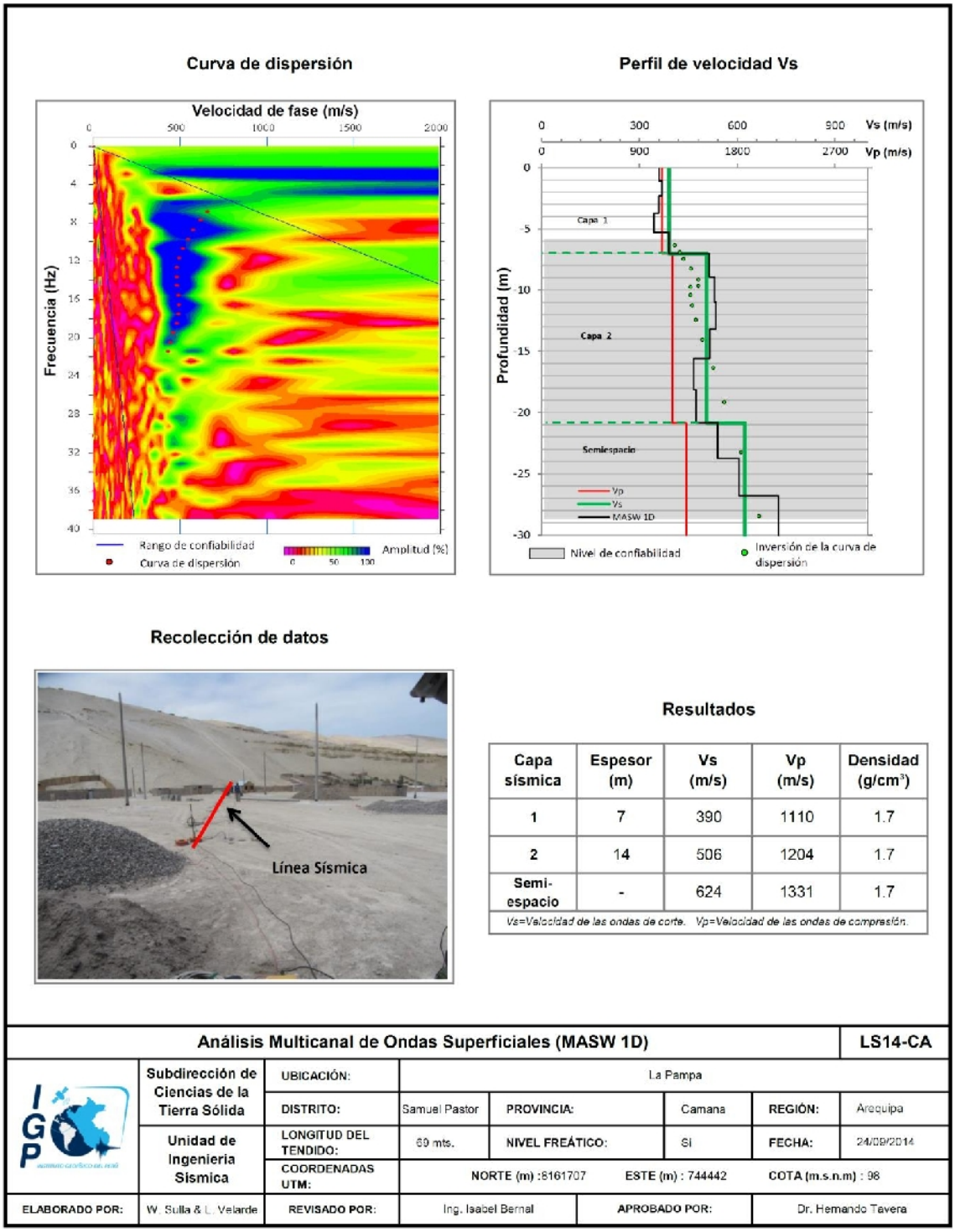
Resultados

Capa sísmica	Espesor (m)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Densidad (g/cm³)
1	9	164	925	1.6
Semi-espacio	-	377	1840	1.9

Vs=Velocidad de ondas de corte. Vp=Velocidad de ondas de compresión.

Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW 1D)							LS13-CA
IGP	Subdirección de Ciencias de la Tierra Sólida	UBICACIÓN:	Centro poblado La Boya				
		DISTRITO:	Samuel Pastor	PROVINCIA:	Camana	REGIÓN:	Arequipa
	Unidad de Ingeniería Sísmica	LONGITUD DEL TENDIDO:	92 mts.	NIVEL FREÁTICO:	Si	FECHA:	22/08/2014
		COORDENADAS UTM:	NORTE (m) :8159194	ESTE (m) : 745580		COTA (m.s.n.m) : 20	
ELABORADO POR:	W. Sulla & L. Velarde	REVISADO POR:	Ing. Isabel Bernal	APROBADO POR:		Dr. Hernando Tavera	

Figura 58: Continuación… // Analisis e interpretacion geofisica obtenida con el metodo MASW para el arreglo LS13-CA



Capa sísmica	Espesor (m)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Densidad (g/cm³)
1	7	390	1110	1.7
2	14	506	1204	1.7
Semi-espacio	-	624	1331	1.7

Vs=Velocidad de las ondas de corte. Vp=Velocidad de las ondas de compresión.

Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW 1D)							LS14-CA
IGP	Subdirección de Ciencias de la Tierra Sólida	UBICACIÓN:	La Pampa				
		DISTRITO:	Samuel Pastor	PROVINCIA:	Camana	REGIÓN:	Arequipa
	Unidad de Ingeniería Sísmica	LONGITUD DEL TENDIDO:	69 mts.	NIVEL FREÁTICO:	SI	FECHA:	24/09/2014
		COORDENADAS UTM:	NORTE (m) :8161707	ESTE (m) : 744442		COTA (m.s.n.m) : 98	
ELABORADO POR:	W. Sulla & L. Velarde	REVISADO POR:	Ing. Isabel Bernal	APROBADO POR:		Dr. Hernando Tavera	

Figura 58: Continuación… // Analisis e interpretacion geofisica obtenida con el metodo MASW para el arreglo LS14-CA

Línea LS15-CA: *Sondaje realizado en la Asoc. Villa Linares. El perfil sísmico muestra que los valores de velocidad de la onda S (Vs) son confiables hasta una profundidad de 29 metros. Se ha identificado l presencia de dos capas, la primera de 7 metros de espesor y velocidad Vs de 707 m/s, correspondientes a rocas blandas. La segunda presenta un espesor de 14 metros y velocidades Vs de 848 m/s, equivalentes a rocas moderadamente duras. La superficie de contacto con el semi-espacio, presenta velocidades Vs mayores a 989 m/s, lo cual sugiere a rocas moderadamente duras.*

Línea LS16-CA: *Sondaje realizado en el AA.HH. Alto Buenos Aires. El perfil sísmico muestra que los valores de velocidad de la onda S (Vs) son confiables hasta una profundidad de 30 metros. Se ha identificado la existencia de dos capas, la primera de 5 metros de espesor y velocidades Vs de 243 m/s, correspondientes a suelos duros. La segunda presenta un espesor de 10 metros y velocidades Vs de 344 m/s, equivalentes a suelo duros. La superficie de contacto con la siguiente capa, presenta velocidades Vs mayores a 404 m/s, y corresponden a suelos duros a muy duros.*

Línea LS17-CA: *Sondaje realizado en La Punta. El perfil sísmico muestra que los valores de velocidad de la onda S (Vs) son confiables hasta una profundidad de 23 metros. Se ha identificándose la presencia de una capa de 13 metros de espesor y velocidades Vs de 180 m/s, correspondientes a suelos blandos. La superficie de contacto con la siguiente capa, presenta velocidades Vs mayores a 408m/s, equivalentes a suelos duros a muy duros.*

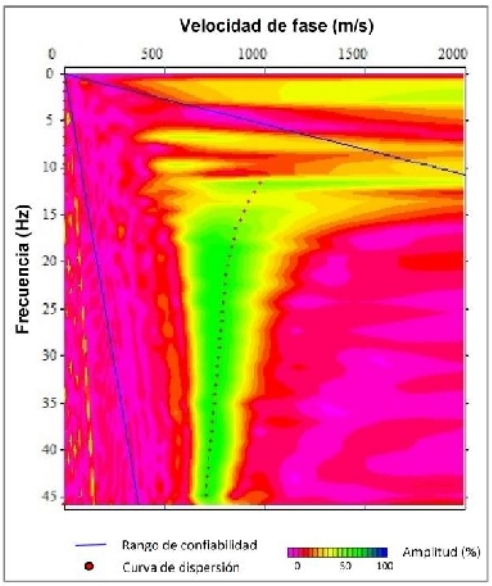
Línea LS18-CA: *Sondaje realizado en La Punta. El perfil sísmico muestra que los valores de velocidad de la onda S (Vs) son confiables hasta una profundidad de 16 metros. Se ha identificado la presencia de una capa 11 metros de espesor y velocidades Vs de 207 m/s, correspondientes a suelos duros. El contacto con el semi-espacio, presenta velocidades Vs mayores a 376 m/s, equivalentes a suelos duros a muy duros.*

De acuerdo a los estudios geológicos, los suelos en El Cardo, Camaná, San José y Samuel Pastor, están constituidos por depósitos aluviales conformados por limos, arcillas, gravas y arenas; es decir, suelos poco consolidados que según los estudios de geofísica presentarían velocidades Vs entre 200 y 300 m/s para las capas

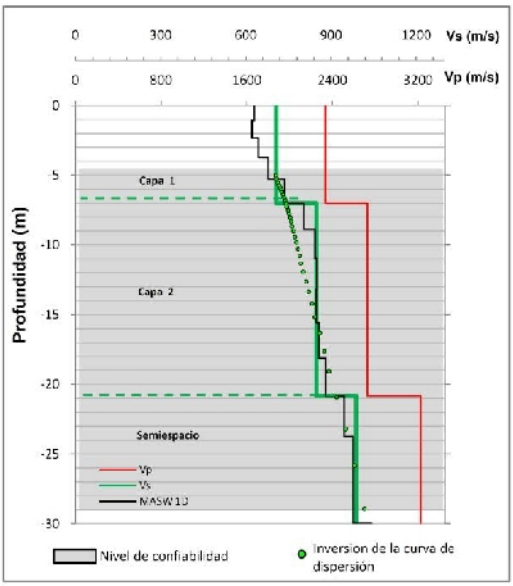
más superficiales, y velocidades mayores conforme se incrementa la profundidad (LS05-LS07, LS09-LS13). Contrariamente, en Pucchun y Huacapuy los suelos están conformados por terrazas bien consolidadas y según los estudios geofísicos, presentan velocidades altas, entre 300 y 400 m/s.

En Juan Pablo Vizcardo y Guzman, y San Gregorio, los suelos son parte de la Formación Camaná conformada por capas de areniscas de grano fino a grueso intercaladas con limonitas y lutitas calcáreas y conglomerados finos a medios. Según los estudios geofísicos, estos suelos presentan velocidades entre 350 a 700 m/s; es decir, suelos compactos (LS08, LS14-LS15). En La Punta los suelos están conformados por depósitos marinos y según los estudios geofísicos le corresponde velocidades Vs menores a 200 km/seg. En todos los casos, las velocidades de ondas Vs obtenidas con coherentes con la composición geológica de los suelos presentes en la ciudad de Camaná y alrededores.

Curva de dispersión



Perfil de velocidad Vs



Recolección de datos

Resultados

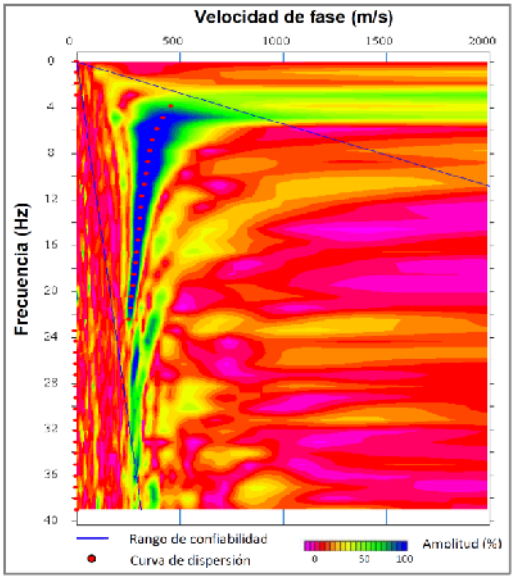
Capa sísmica	Espesor (m)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Densidad (g/cm³)
1	7	707	2340	2.0
2	14	848	2725	2.0
Semi-espacio	-	989	3225	2.2

Vs=Velocidad de las ondas de corte. Vp=Velocidad de las ondas de compresión.

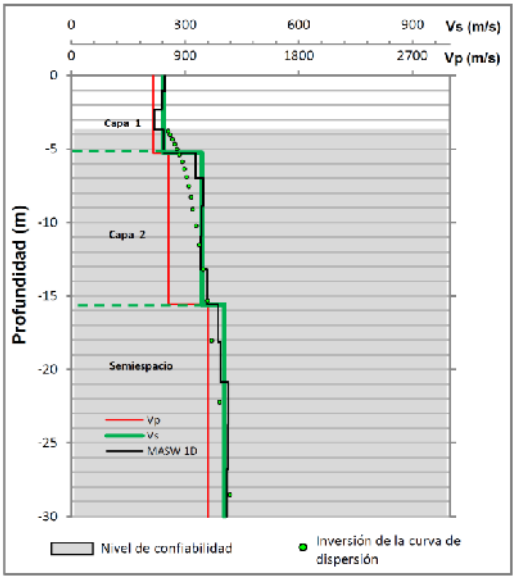
Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW 1D)							LS15-CA
	Subdirección de Ciencias de la Tierra Sólida	UBICACIÓN:	Asociacion Villa Linares				
		DISTRITO:	Samuel Pastor	PROVINCIA:	Camaná	REGIÓN:	Arequipa
	Unidad de Ingeniería Sísmica	LONGITUD DEL TENDIDO:	92 mts.	NIVEL FREÁTICO:	Si	FECHA:	24/09/2014
		COORDENADAS UTM:	NORTE (m) : 8161101	ESTE (m) : 747668	COTA (m.s.n.m) : 65		
ELABORADO POR:	W. Sulla & L. Velarde	REVISADO POR:	Ing. Isabel Bernal	APROBADO POR:	Dr. Hernando Tavera		

Figura 58: Continuación… // Analisis e interpretacion geofisica obtenida con el metodo MASW para el arreglo LS15-CA

Curva de dispersión



Perfil de velocidad Vs



Recolección de datos

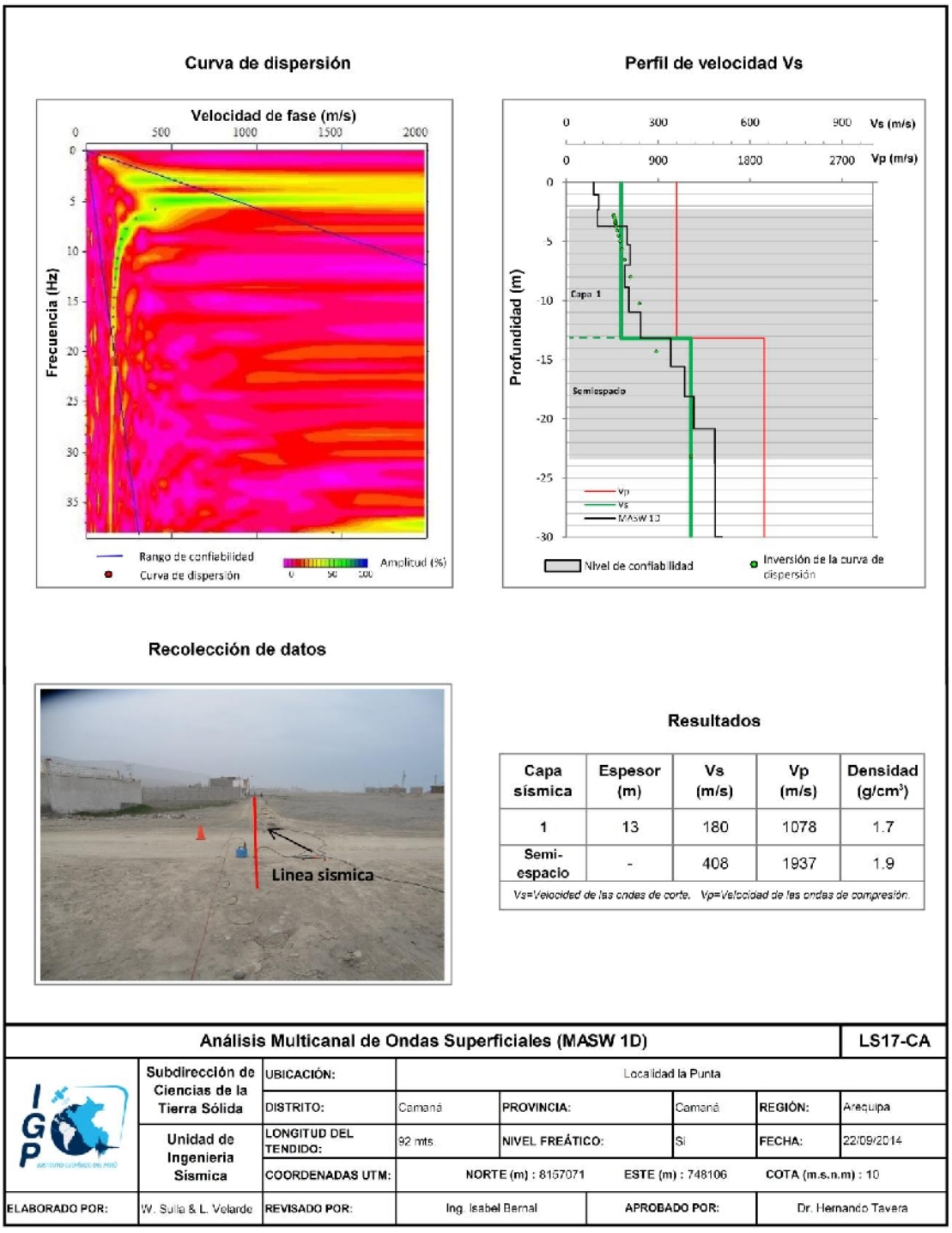
Resultados

Capa sísmica	Espesor (m)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Densidad (g/cm³)
1	5	243	648	1.5
2	10	344	767	1.6
Semi-espacio	-	404	1078	1.7

Vs=Velocidad de las ondas de corte. Vp=Velocidad de las ondas de compresión.

Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW 1D)							LS16-CA
IGP	Subdirección de Ciencias de la Tierra Sólida	UBICACIÓN:	AA.HH. Alto Buenos Aires				
		DISTRITO:	Samuel Pastor	PROVINCIA:	Camana	REGIÓN:	Arequipa
	Unidad de Ingeniería Sísmica	LONGITUD DEL TENDIDO:	92 mts.	NIVEL FREÁTICO:	Si	FECHA:	24/09/2014
		COORDENADAS UTM:	NORTE (m) :8159382	ESTE (m) : 747418		COTA (m.s.n.m) : 160	
ELABORADO POR:	W. Sulla & L. Velarde	REVISADO POR:	Ing. Isabel Bernal	APROBADO POR:		Dr. Hernando Tavera	

Figura 58: Continuación… // Analisis e interpretacion geofisica obtenida con el metodo MASW para el arreglo LS16-CA



Capa sísmica	Espesor (m)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Densidad (g/cm³)
1	13	180	1078	1.7
Semi-espacio	-	408	1937	1.9

Vs=Velocidad de las ondas de corte. Vp=Velocidad de las ondas de compresión.

Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW 1D)							LS17-CA
IGP	Subdirección de Ciencias de la Tierra Sólida	UBICACIÓN:	Localidad la Punta				
		DISTRITO:	Camaná	PROVINCIA:	Camaná	REGIÓN:	Arequipa
	Unidad de Ingeniería Sísmica	LONGITUD DEL TENDIDO:	92 mts.	NIVEL FREÁTICO:	Si	FECHA:	22/09/2014
		COORDENADAS UTM:	NORTE (m) : 8157071	ESTE (m) : 748106		COTA (m.s.n.m) : 10	
ELABORADO POR:	W. Sulla & L. Velarde	REVISADO POR:	Ing. Isabel Bernal	APROBADO POR:		Dr. Hernando Tavera	

Figura 58: Continuación… // Analisis e interpretacion geofisica obtenida con el metodo MASW para el arreglo LS17-CA

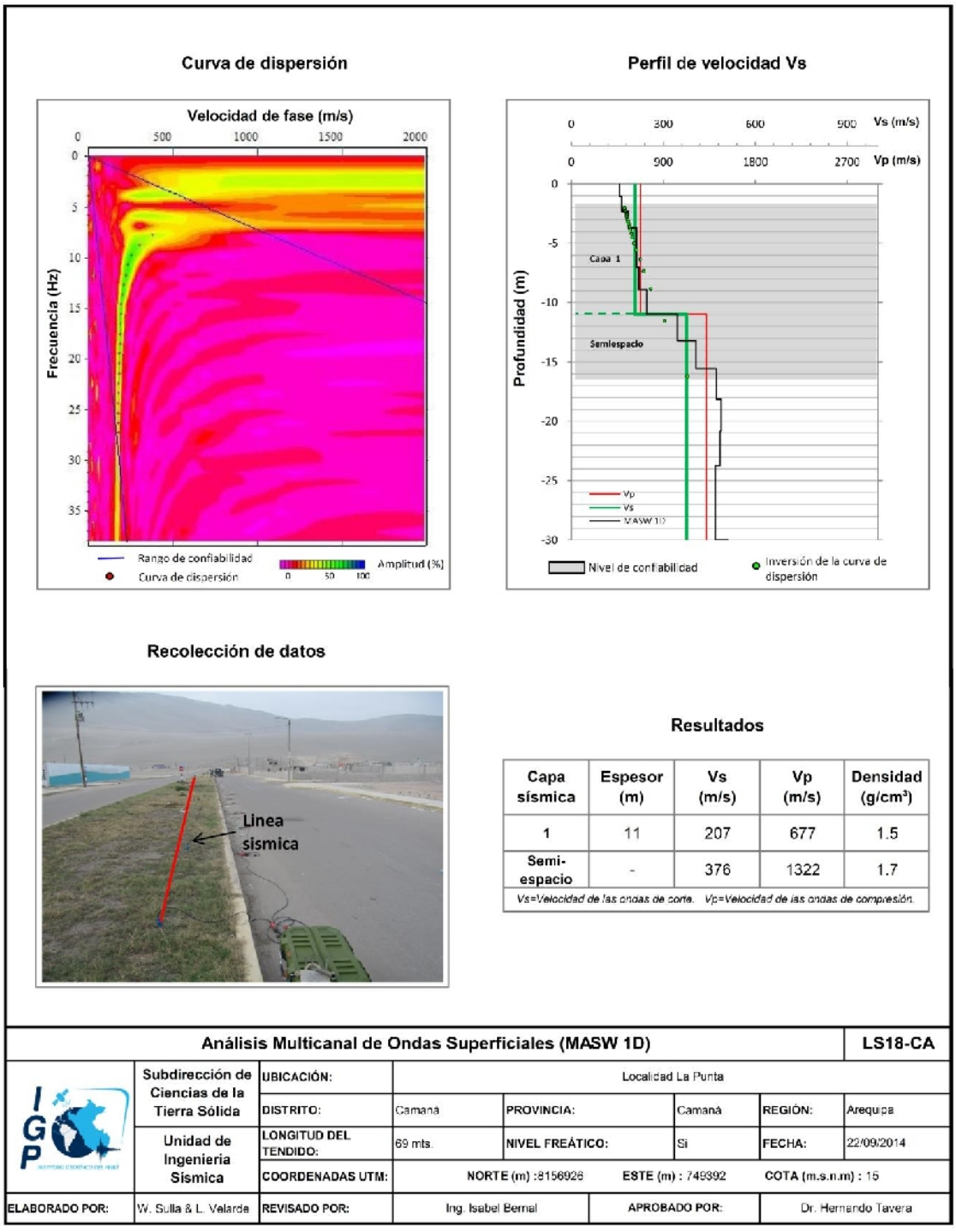


Figura 58: Continuación… // Analisis e interpretacion geofisica obtenida con el metodo MASW para el arreglo LS18-CA

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 59 se muestra la distribución espacial de los valores de periodos dominantes obtenidos para la ciudad de Camaná y alrededores. Los periodos de 0.5 segundos se concentran, en las localidades de San José y Chule ubicados a 1 km del margen izquierdo del rio Camaná; además, entre San José y la ciudad de Camaná. Asimismo, en la proximidad de la Qda. San Gregorio y Bandurria, pero con menor energía. Conforme se tiende hacia la localidad El Cardo y hacia el extremo NE del área de estudio próximo al límite del abanico aluvial y las zonas altas, se concentran periodos de 0.4 segundos.

Los periodos de 0.3 segundos se concentran preferencialmente en los sectores centro y norte de la ciudad de Camaná y hacia los extremos Sur y SO de la localidad La Punta. Los periodos de 0.1 a 0.2 segundos se encuentran principalmente en los extremos noreste, noroeste y sureste de la ciudad y podrían ser asociados a la interferencia dinámica de una capa sedimentaria de menor espesor.

Los suelos de la ciudad de Camaná, además de responder a periodos de 0.3 segundos, también es afectada por periodos secundarios de 0.1 y 0.2 segundos, principalmente en su extremo sur donde se tiene mayor predominio de estos valores. Estos mismos valores de periodos están presentes en los extremos noreste y sureste de la ciudad de Camaná, además de áreas cercanas a las localidades de Pucchun y Huacapuy con valores de hasta 0.1 segundos. En el extremo noreste de Huacapuy prevalecen valores entre 0.2 y 0.5 segundos, lo cual sugieres la presencia de suelos muy complejos.

Los periodos dominantes que caracterizan a los suelos de la ciudad de Acarí están relacionados por sus condiciones físico - dinámicas a través de la relación To=4H/Vs (To, periodo dominante; H, espesor del estrato y Vs, velocidad de onda de corte). Entonces, conocidos los periodos y la velocidad de las ondas de corte (Vs), se puede proceder a calcular los espesores de las capas del suelo. Asumiendo, velocidades de 200 m/s para las ondas de corte (Vs) y periodos de 0.2 y 0.5 segundos,

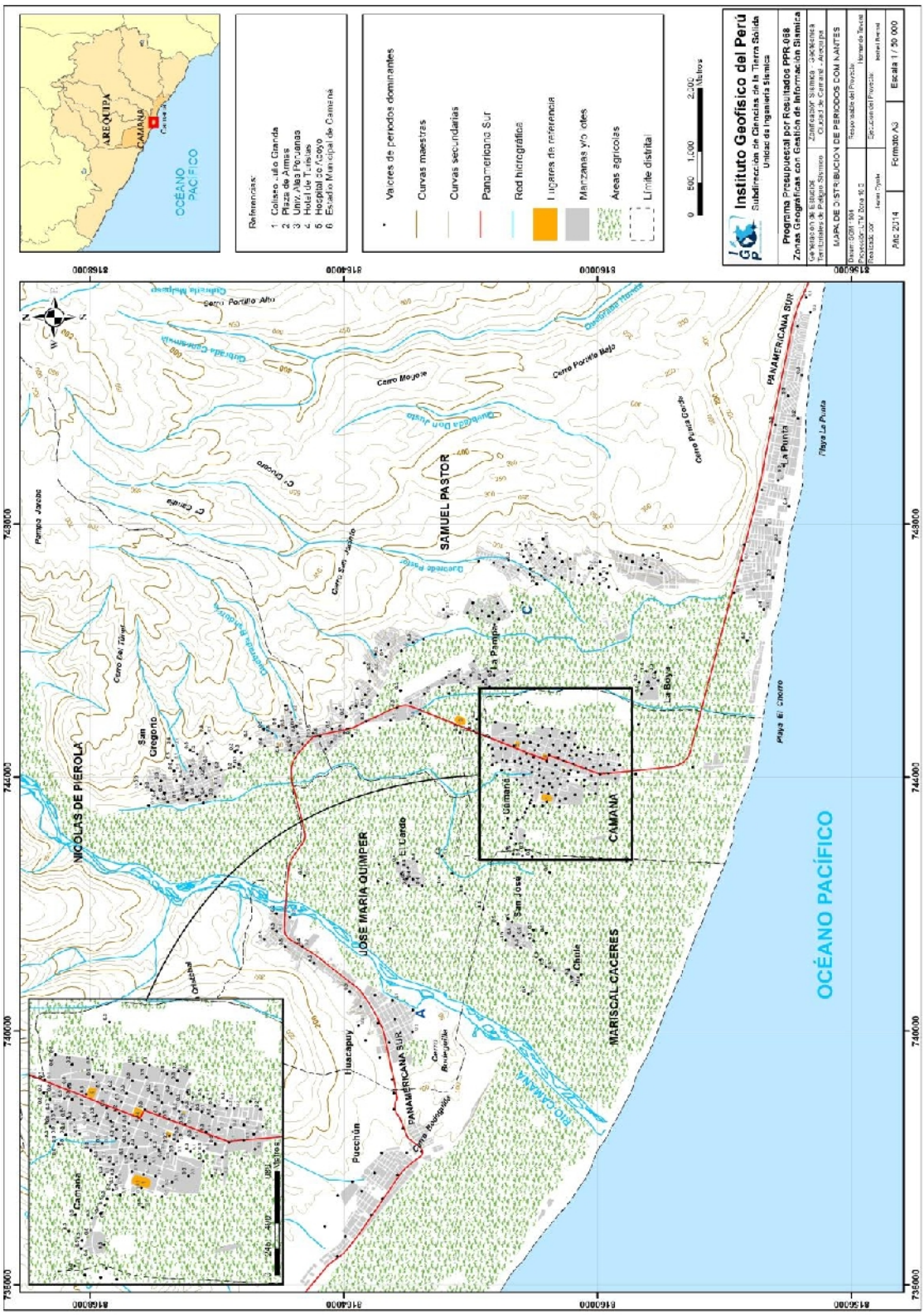


Figura 59: Mapa de la ciudad de Camaná y distribución espacial de los valores de periodos dominantes.

se estima para la capa superficial espesores de 10 a 25 metros. Para mayores velocidades como 380 m/s y periodos de 0.2 segundos, se obtiene espesores de 19 metros. Estos espesores para la capa superficial son confirmados con los modelos de velocidad y espesores obtenidos con métodos geofísicos.

El análisis de la distribución espacial de los valores de periodos dominantes en la ciudad de Camaná y alrededores, permite observar que periodos de 0.5 segundos están presentes en toda el arrea que abarca la zona céntrica de la ciudad y sobre su extremo sureste, sobre terrenos de cultivo de olivos. En el extremo suroeste de la ciudad se concentran periodos de 0.4 segundos, y hacia el extremo noroeste los periodos tienden a valores de 0.1 y 0.2 segundos. Esta distribución de periodos dominantes del suelo se correlaciona con la morfología y topografía de la ciudad de Camaná.

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 y superficies con mayor o menor contenido de agua. En la ciudad de Camaná se han realizado 8 líneas de tomografía eléctrica con el dispositivo polo-dipolo y la distribución de 21-25 electrodos con un espaciamiento de 6 y 10 metros entre electrodo y sobre tendidos longitudinales de 120, 144 y 240 metros, lo cual permitió tener alcances en profundidad del orden de 20 y 30 metros (Figura 60).

A continuación, se describe las características de cada uno de las secciones geo-eléctricas obtenidas a fin de conocer el valor real de la resistividad del subsuelo, en la ciudad de Camaná (Figura 61).

Sección geo-eléctrica L01-CA: *Sección realizada en el extremo norte de la ciudad de Camaná, próximo a la carretera Panamericana, sobre terrenos de cultivo. En esta sección predominan valores resistivos. A lo largo de la sección se distribuyen valores de 9 a 112 ohm.m, hasta una profundidad promedio de 39 metros, para luego incrementarse hasta los 409 ohm.m, a partir de los 20 metros de profundidad. A niveles mayores de profundidad, estos valores de resistividad disminuyen. La presencia de grava en la zona de estudio correspondería a los*

valores resistivos y los suelos arenosos, limosos y arcillosos con alto nivel freático, a los valores bajo resistivos.

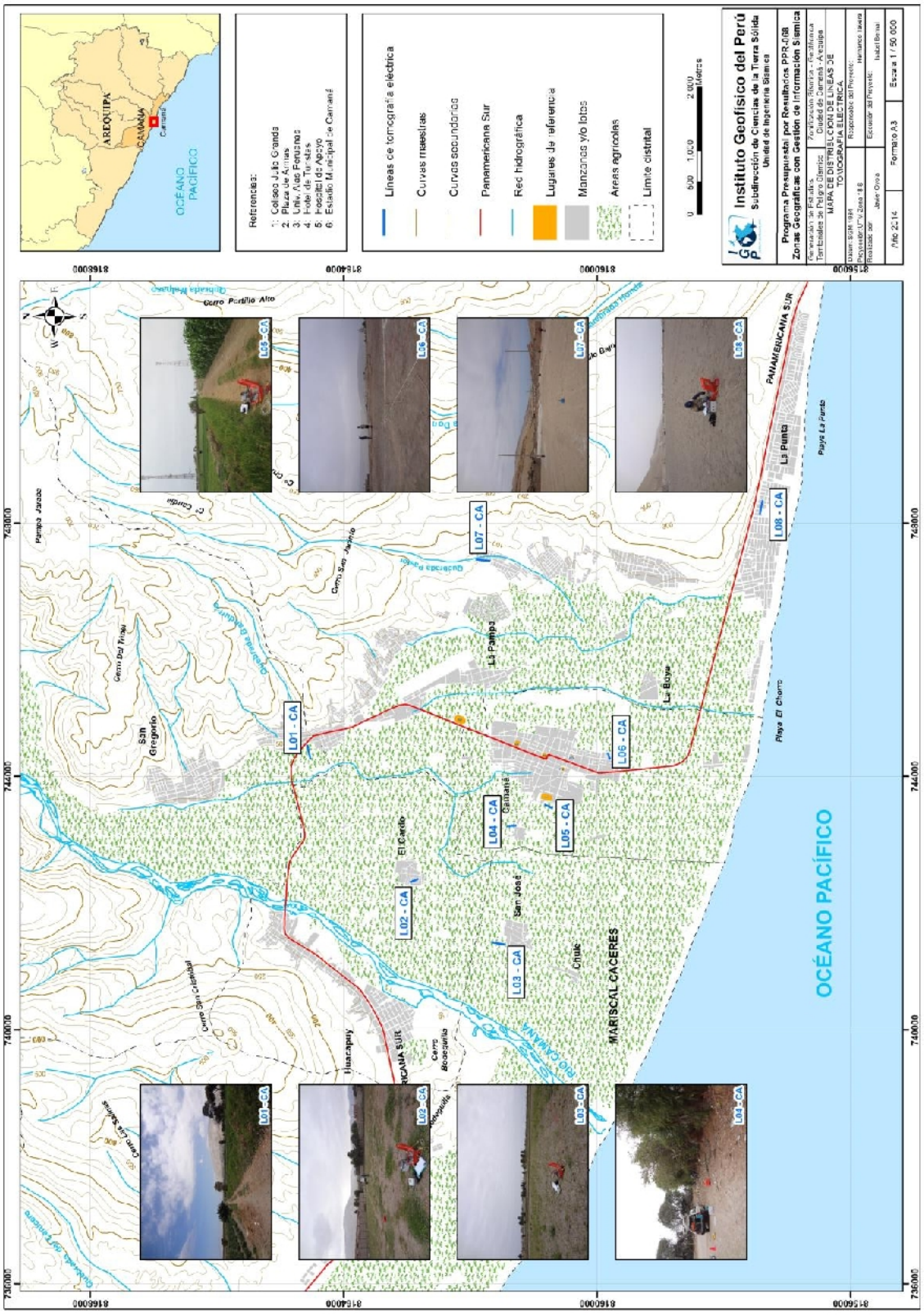


Figura 60: Mapa de la ciudad de Camaná y ubicación de las 8 líneas de tomografía eléctrica.

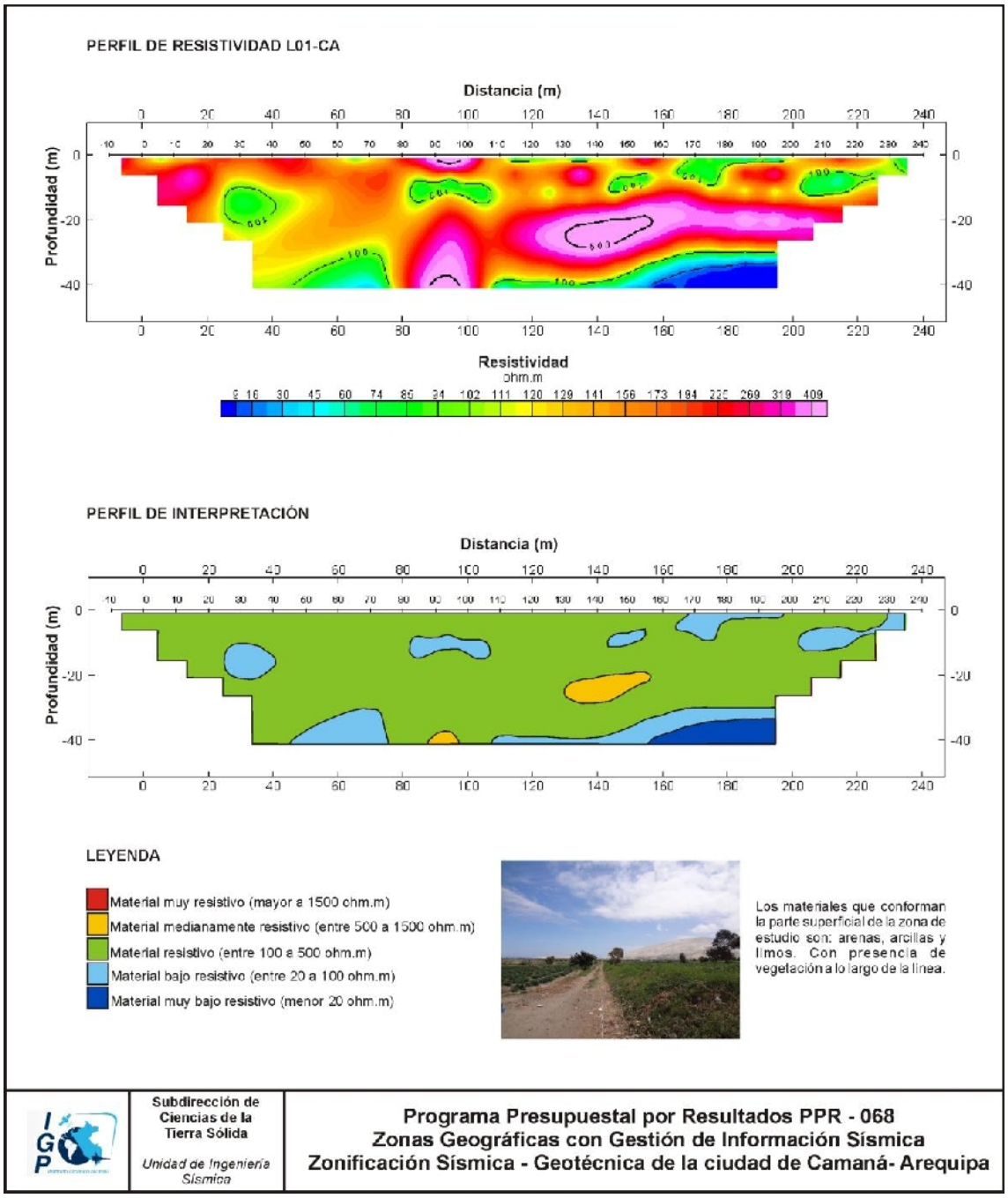


Figura 61: Resultados obtenidos para el perfil de resistividad L01-CA

Sección geo-eléctrica L02-CA: *Sección realizada en el extremo noroeste del área urbana de Camana, en el pueblo El Cardo sobre una cancha de futbol. En esta sección, predominan valores resistivos y bajos resistivos. A lo largo de la sección, se distribuyen valores de 9 a 100 ohm.m entre profundidades que van de 5 a 22 metros en promedio, para luego incrementarse hasta 409 ohm.m a mayor profundidad. Estos resultados son coherentes con la existencia de suelos saturados por la presencia de vegetación.*

Sección geo-eléctrica L03-CA: *Sección realizada en el extremo noroeste del área urbana de Camaná, en San José sobre terrenos de cultivo. En esta sección predominan valores resistivos a bajos resistivos. A lo largo de toda la sección se distribuyen valores de entre 20 y 100 ohm.m, hasta profundidades promedio de 10 metros, para luego incrementarse hasta alcanzar valores de 409 ohm.m, sobre toda la sección. En el extremo inferior derecho de la sección, se observan valores hasta 16 ohm.m. Los valores de resistividad son coherentes con la presencia de vegetación y el predominio de suelos limosos y arcillosos.*

Sección geo-eléctrica L04-CA: *Sección realizada al noroeste del área urbana de Camaná, próxima a la Av. Quilca, parte de la línea se encuentra sobre terrenos de cultivo. En esta sección predominan valores bajos resistivos. Se observa valores entre 9 y 100 ohm.m, hasta profundidades promedio de 5 metros. Los valores de resistividad mayores a 100 ohm.m ocupan un 80% de la sección, llegando a extenderse hasta el nivel máximo de profundidad de observación. Los valores muy bajo resistivos y bajo resistivos son asociados a la saturación de los terrenos de cultivo.*

Sección geo-eléctrica L05-CA: *Sección realizada en las proximidades del coliseo Julio Ernesto Granda y a la Av. 9 de Noviembre sobre terrenos de cultivo. En esta sección predominan los valores bajos resistivos. Se observan valores entre 9 y 20 ohm.m hasta una profundidad promedio de 3 metros. Luego se observa valores entre 21 y 100 ohm.m que se distribuyen a lo largo de la línea hasta alcanzar la profundidad de 8 metros. También se observan valores mayores a 100 ohm.m que se distribuyen en forma horizontal a lo largo de toda la línea, llegando hasta los 23 metros de profundidad por debajo de los electrodos 11 y 60. Estos valores bajos se asocian a la presencia de materiales saturados como parte de los suelos limosos y arcillosos.*

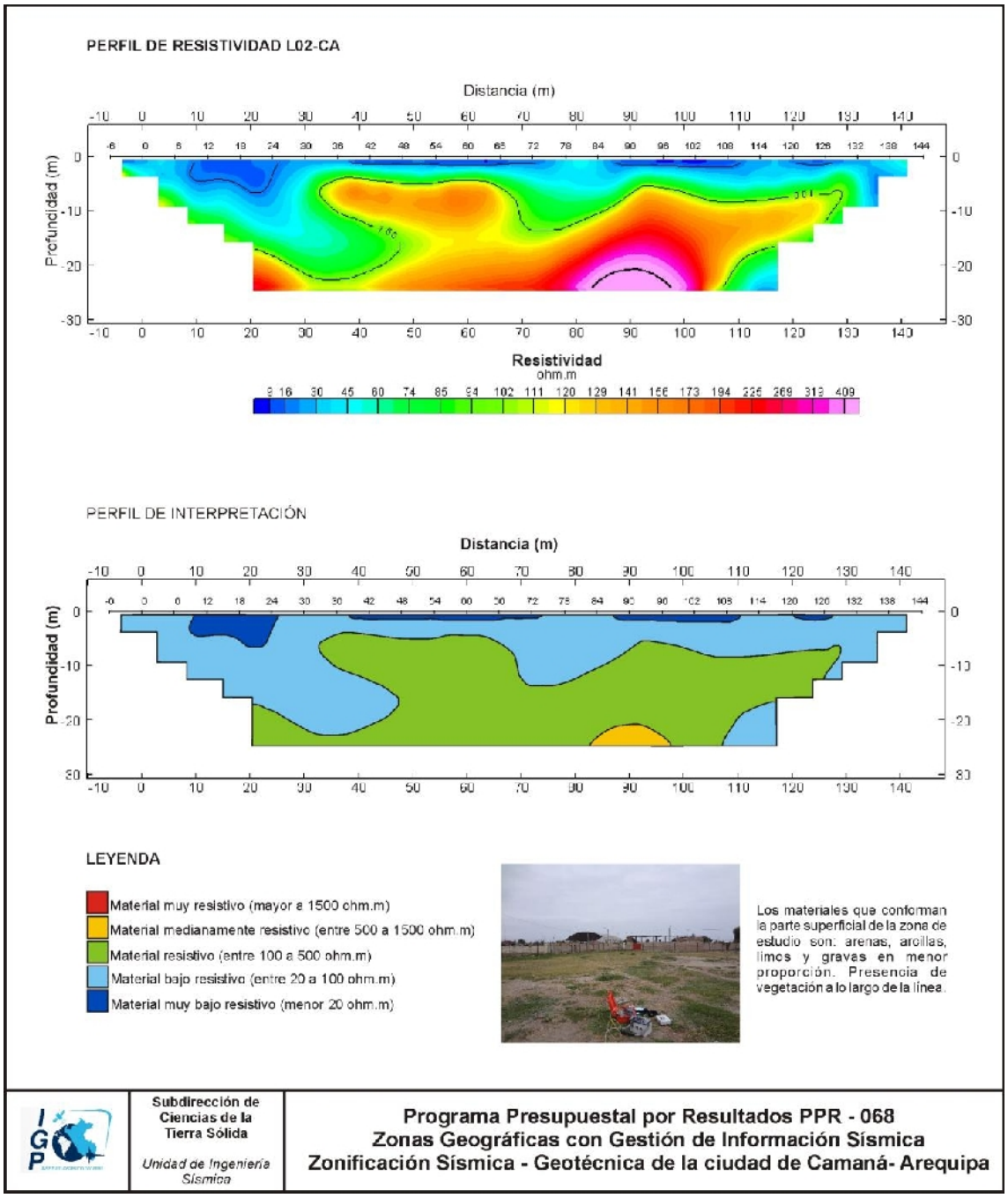


Figura 61: Resultados obtenidos para el perfil de resistividad L02-CA

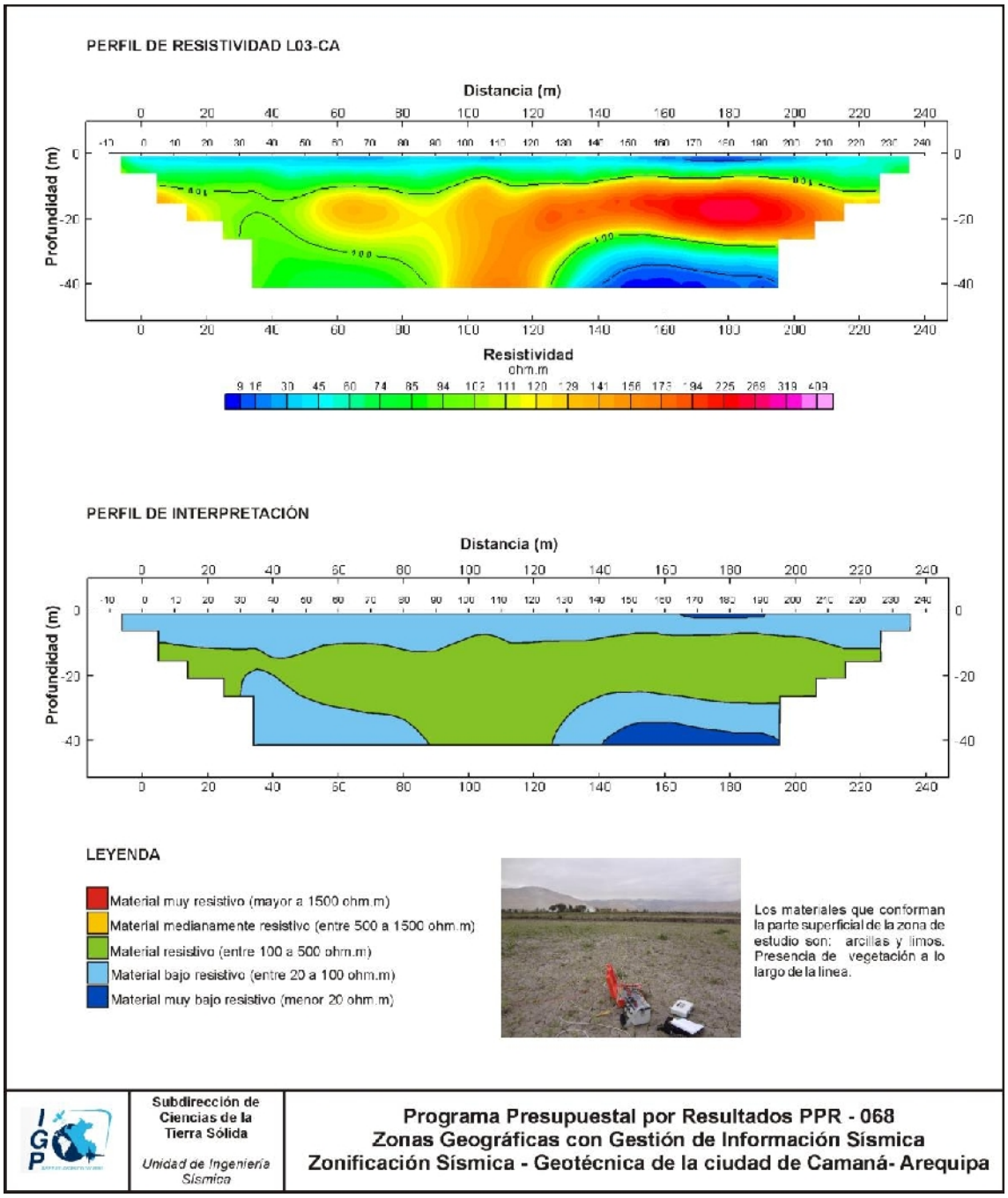


Figura 61: Resultados obtenidos para el perfil de resistividad L03-CA

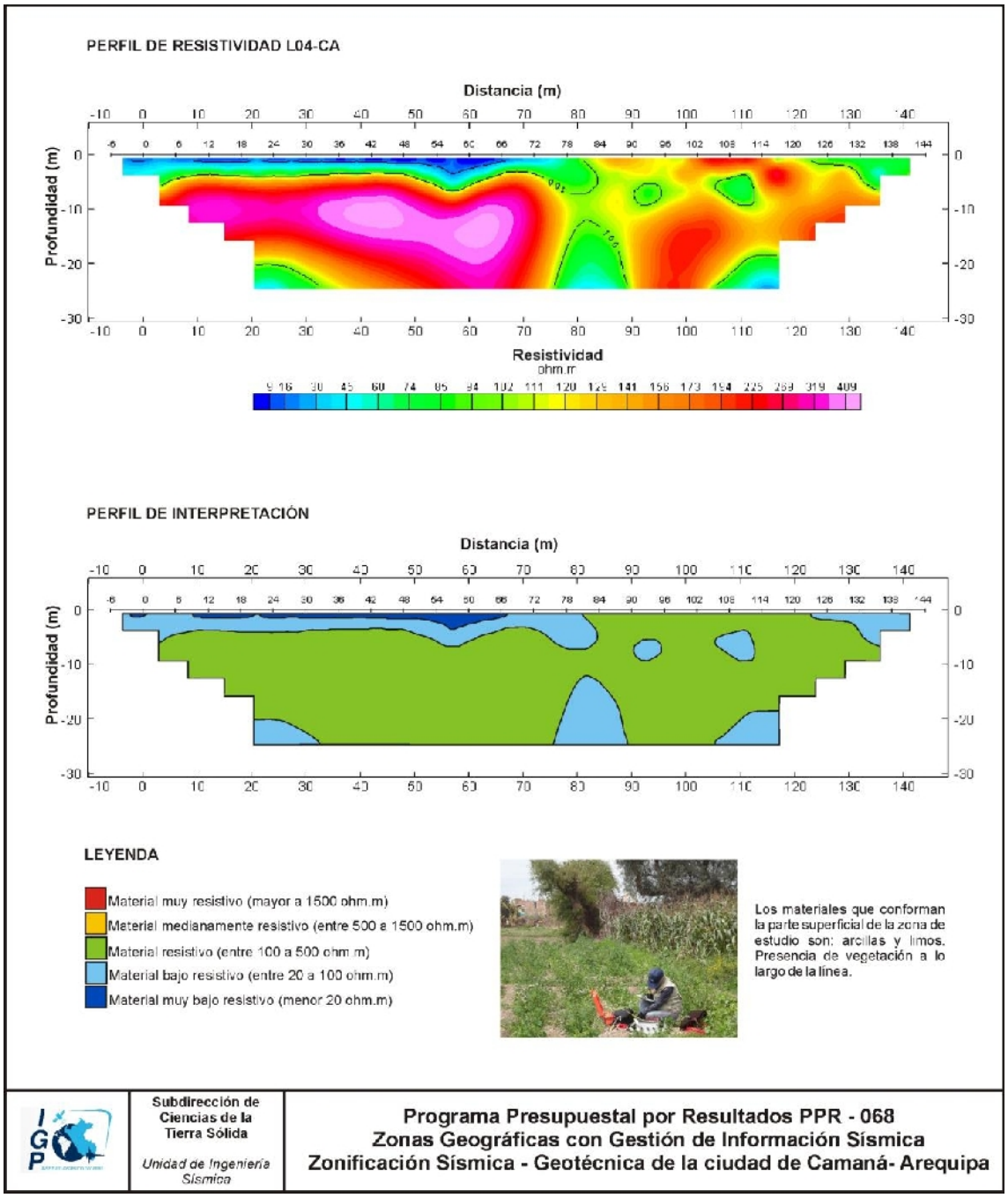


Figura 61: Resultados obtenidos para el perfil de resistividad L04-CA

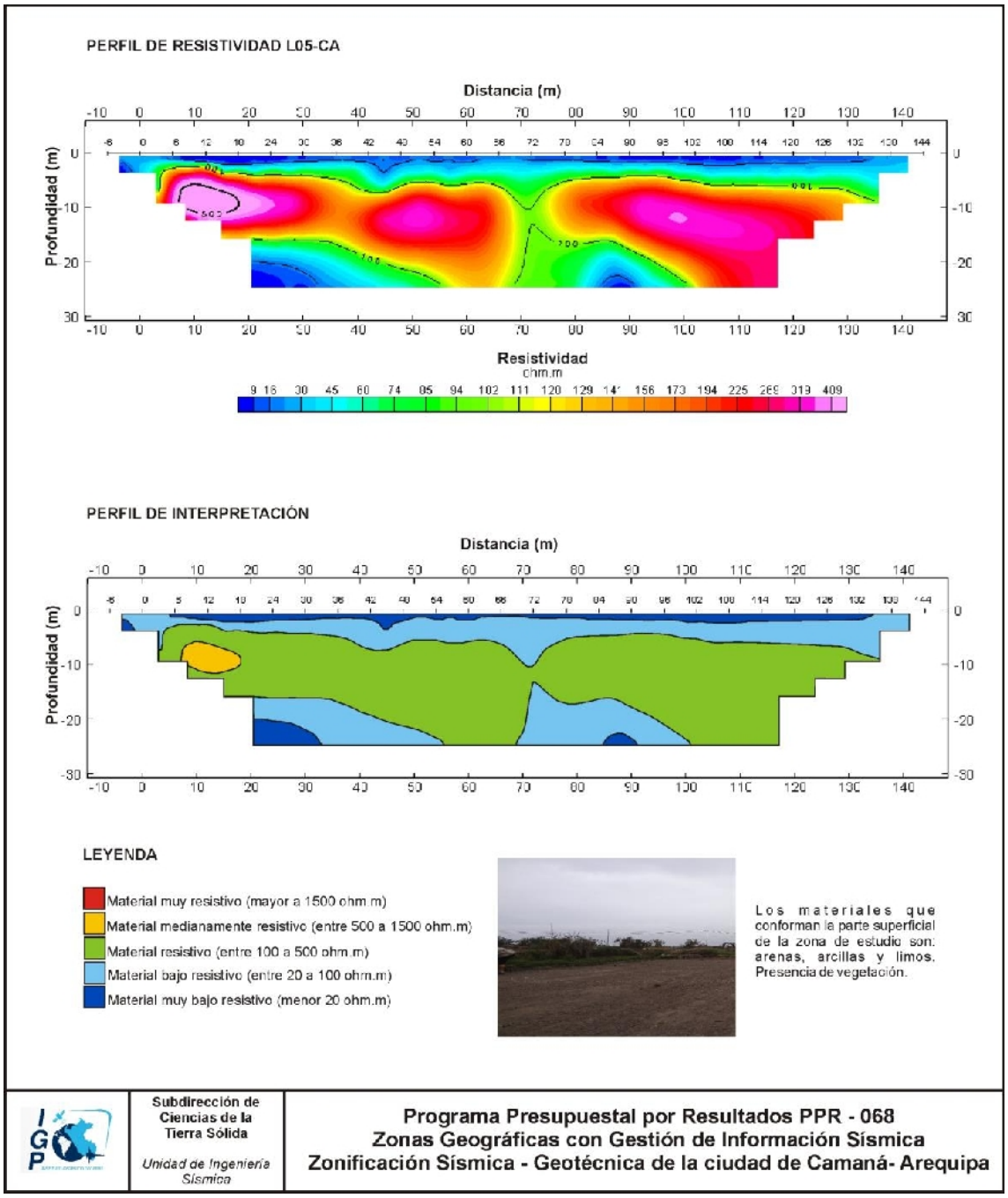


Figura 61: Resultados obtenidos para el perfil de resistividad L05-CA

Sección geo-eléctrica L06-CA: *Sección realizada en la calle Miraflores, sobre una cancha de futbol. En esta sección predominan valores bajo resistivos. En esta sección predominan los valores bajos resistivos. A lo largo de toda la sección se distribuyen valores de entre 6 y 20 ohm.m, hasta una profundidad promedio de 8 metros, para luego incrementarse hasta los 100 ohm.m a la profundidad de 23 metros. En el extremo inferior izquierdo de la sección, se observan valores que llegan hasta los 409 ohm.m, sugiriendo la presencia de materiales impermeables. Los materiales predominantes en la parte superior de la superficie son suelos arenosos y arcillosos.*

Sección geo-eléctrica L07-CA: *Sección realizada en el extremo noreste de la zona urbana, en La Pampa sobre terrenos arenosos. En esta sección predominan valores resistivos. En superficie se observa valores entre 101 y 409 ohm.m hasta profundidades promedio de 10 metros. A lo largo de toda la sección se distribuyen valores entre 9 y 100 ohm.m que ocupan el 90% de la línea. En la zona, los suelos son de tipo arenoso y gravoso.*

Sección geo-eléctrica L08-CA: *Sección realizada en La Punta, paralela a la Panamericana Sur, aproximadamente a 600 metros de la playa. En esta sección predominan los valores resistivos que ocupan el 90% de la sección. Además, se observan valores de entre 100 y 409 ohm.m en forma de dos elipses a mayor profundidad. La saturación que se observa en la sección puede deberse a la infiltración que genera el agua de mar. Los suelos en la parte superficial son arenas y gravas.*

En resumen, la distribución de los valores de resistividad evidencia la presencia de valores resistivos a bajos resistivos, en el extremo Oeste del área urbana de Camana, debidos principalmente a que corresponden a antiguos terrenos de cultivo. Por otro lado, hacia su extremo Este se ve el predominio de valores bajo resistivos y muy bajos resistivos, a pesar de que las áreas de La Pampa y La Punta se encuentran en zonas sin presencia de nivel freático alto, pero estos valores podrían deberse a la presencia de aguas residuales producto de las actividades de la población local y/o agua de mar en el segundo caso. En el caso de la Calle Miraflores, el nivel freático es alto.

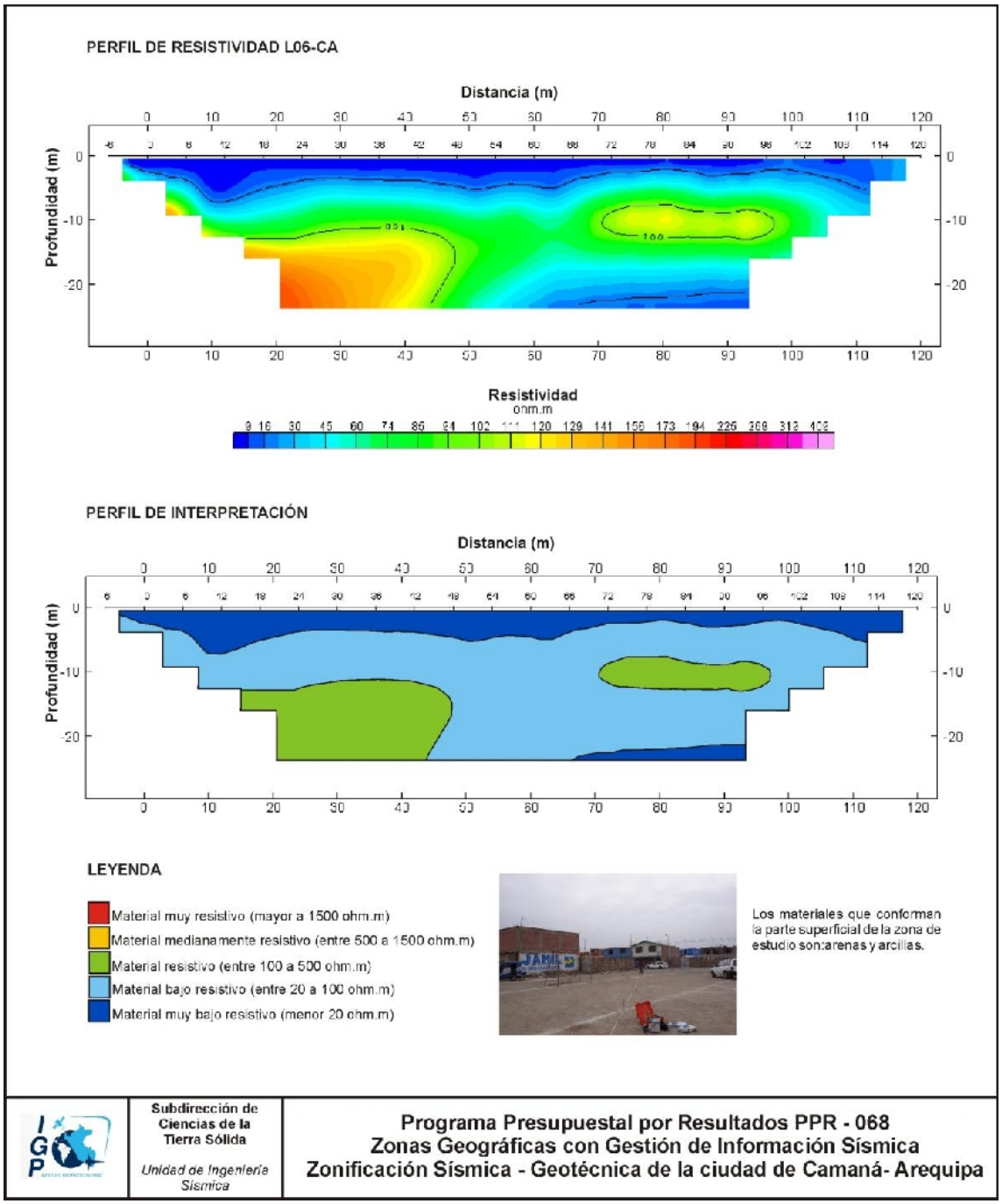


Figura 61: Resultados obtenidos para el perfil de resistividad L06-CA

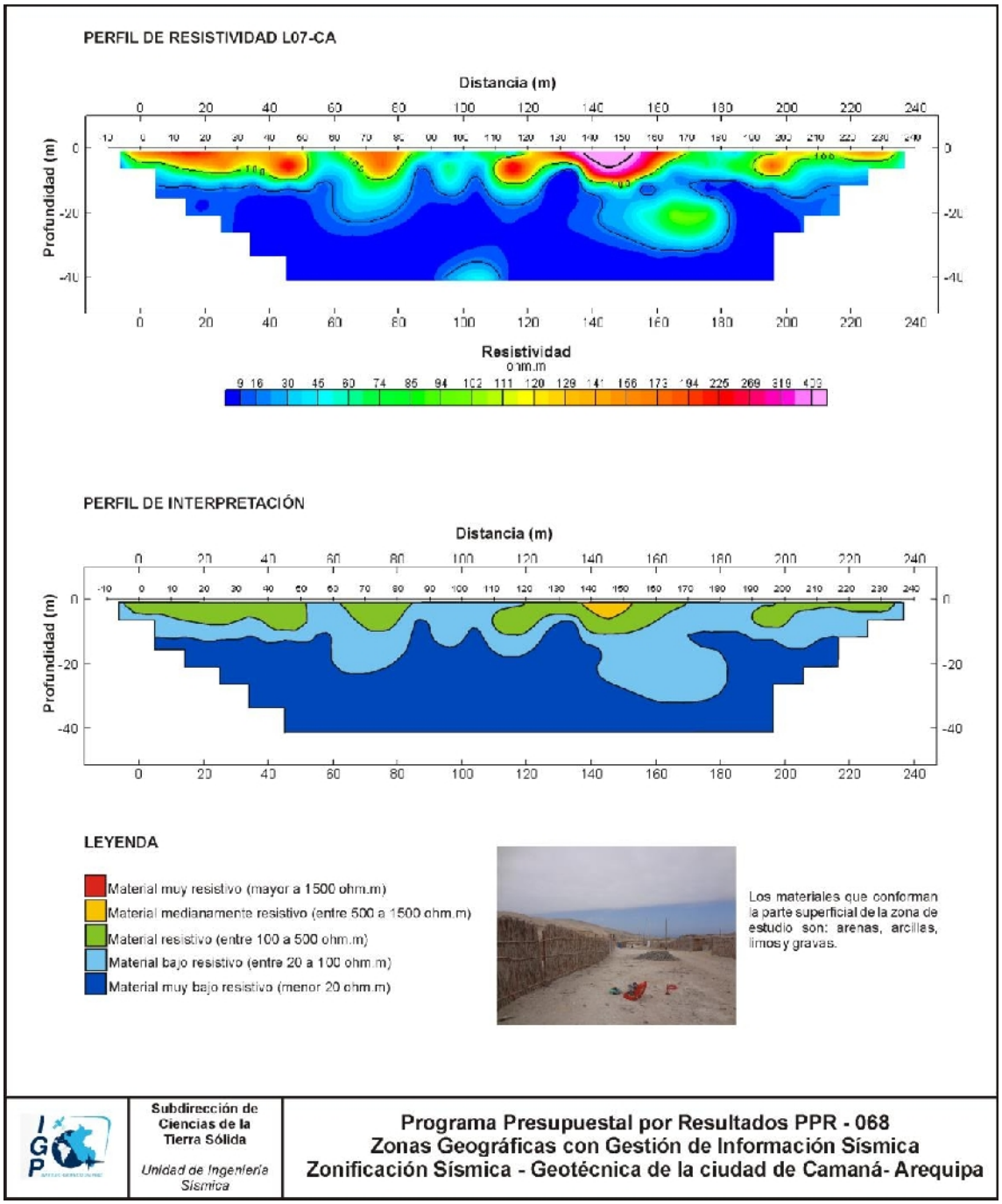


Figura 61: Resultados obtenidos para el perfil de resistividad L07-CA

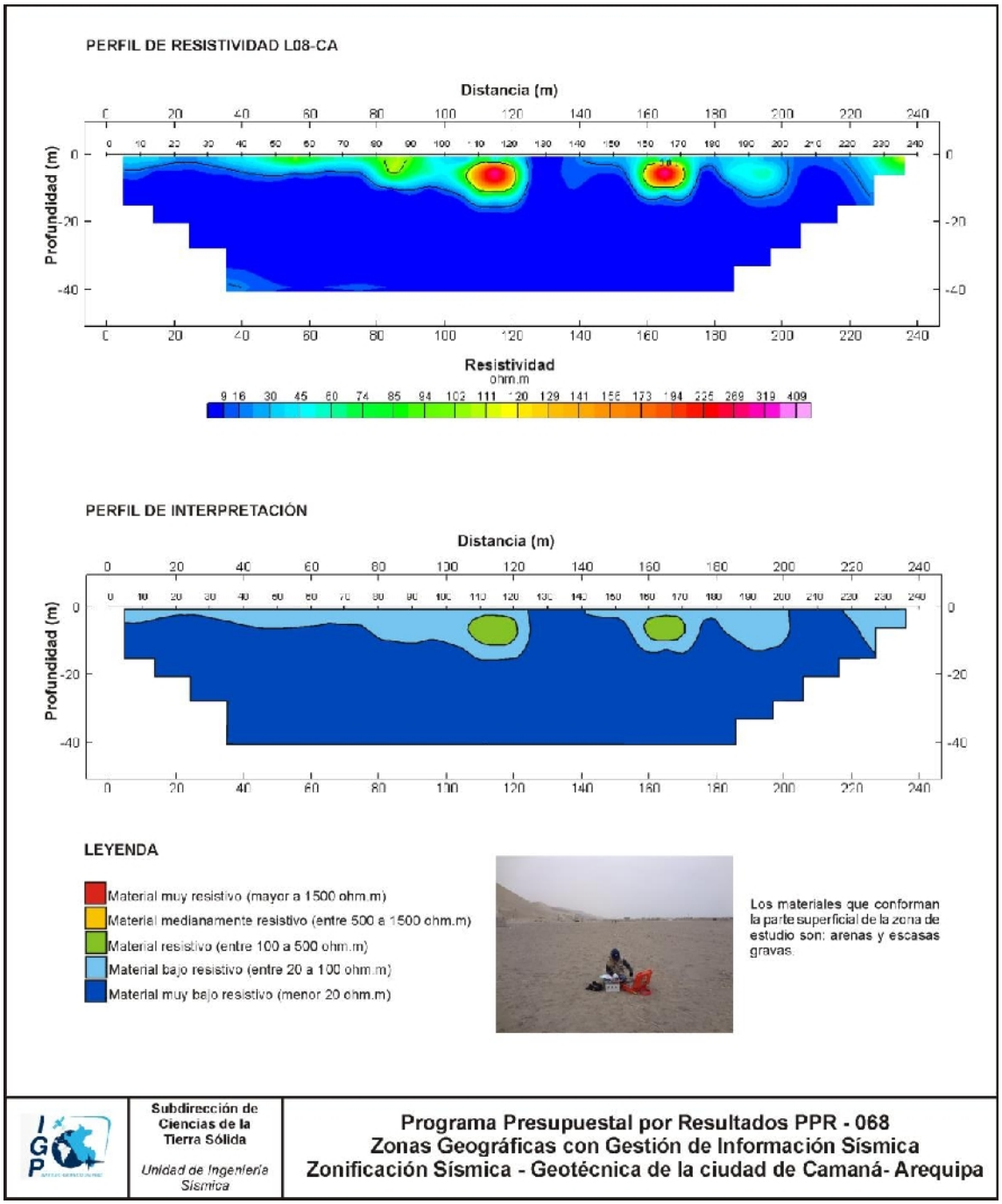


Figura 61: Resultados obtenidos para el perfil de resistividad L08-CA

12.- ZONIFICACIÓN SÍSMICA - GEOTÉCNICA

El Mapa de Zonificación Sísmica-Geotécnica para la ciudad de Camaná considera el análisis e interpretación de la información geológica, geomorfológica, geodinámica, geotécnica, sísmica y geofísica. Para la ciudad de Camaná, las características dinámicas del suelo han permitido identificar, de acuerdo a la Norma de Construcción Sismorresistente (Norma E030), la existencia de tres tipos de suelo: S1, S2 y S4.

12.1.- Mapa de Zonificación Sísmica - Geotécnica

Para la ciudad de Camaná se propone la siguiente Zonificación Sísmica-Geotécnica (Figura 62):

***ZONA I**: Conformada por estratos de origen ígneo cubiertos por un manto de origen coluvial poco consolidado y de poco espesor (3 a 5 metros). A profundidad este suelo tiene un comportamiento 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. En el extremo este de la zona céntrica de la localidad, los suelos presentan capacidad portante media. Hacia el extremo NE del área en estudio, la respuesta dinámica del suelo tiene un aporte topográfico, debido a que los suelos adicionalmente responden a periodos secundarios de 0.5 segundos. Asimismo, en el extremo sur de la ciudad de Camaná se concentran valores de 0.1 y 0.2 segundos que deben ser considerados en obras de ingeniería. Las velocidades de corte pueden variar de 270 a 450 m/s para la capa superficial de poco espesor y de 520 m/s para la capa más profunda (10 a 40 metros).*

***ZONA II**: Conformada por estratos superficiales de suelos granulares finos a medios y suelos aluviales con espesores de hasta 10 metros, subyaciendo a estos estratos se tiene material de mayor consistencia. Esta zona comprende a la ciudad de Camaná y las áreas urbanas que se encuentran sobre el abanico aluvial, donde los periodos dominantes del terreno, determinados por las mediciones de vibración ambiental, varían entre 0.3 y 0.5 segundos; por lo que, su comportamiento dinámico es tipificado como un suelo Tipo S2 de la norma*

sismorresistente peruana. Los suelos presentan capacidad portante de media a baja. Periodos de 0.5 segundos se concentran en las localidades de San José y Chule, y adicionalmente sobre áreas de menor dimensión ubicadas en el extremo norte de la Quebrada Bandurria, pudiendo ser debidos a efectos topográficos. Asimismo, hacia el extremo sur de la ciudad de Camaná, a pesar de evidenciar un dominio de 0.3 segundos, se tiene la presencia de áreas donde se concentran valores de 0.1 y 0.2 segundos.

***ZONA III**: Corresponde a suelos Tipo S3 y no han sido identificados en la zona en la ciudad de Camaná.*

***ZONA IV**: Esta zona considera a los sectores próximos a la línea de costa donde predominan depósitos marinos y alto nivel freático y/o presenta la mayor probabilidad de ser afectados por Tsunamis ante la ocurrencia de un eventos sísmicos. El comportamiento dinámico de los suelos ha sido tipificado como suelo Tipo S4 de la norma sismorresistente peruana. Dicha Norma considera, a este tipo de suelos, como un caso especial por presentar condiciones excepcionales.*

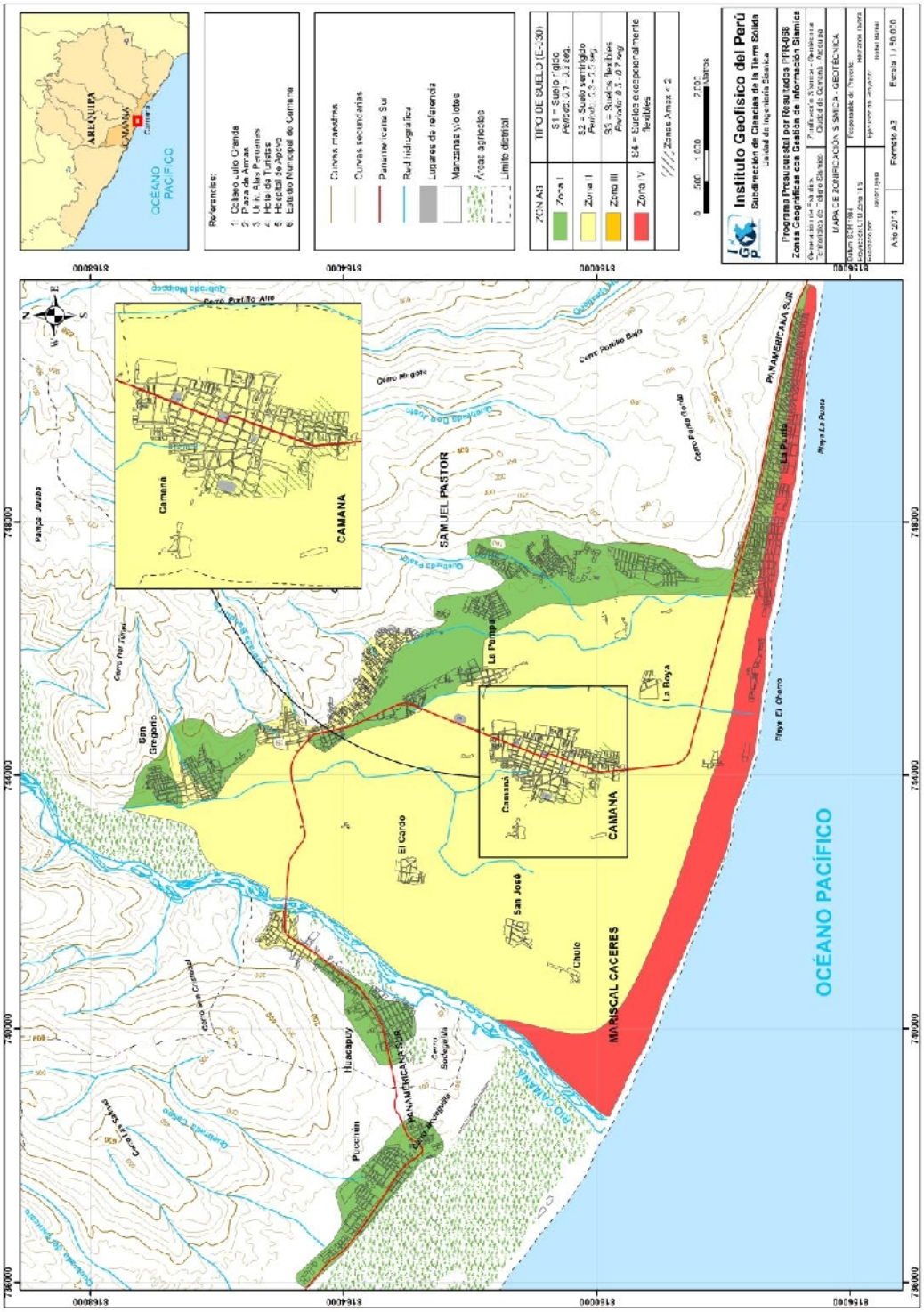


Figura 62: Mapa de Zonificación Sísmica-Geotécnica para la ciudad de Camaná.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

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

CONCLUSIONES

La Formación Camaná es la unidad litológica que constituye el basamento de la ciudad de Camaná, completamente cubierta por materiales del Cuaternario. Los eventos geodinámicos son la caída de rocas, la erosión fluvial y la ocurrencia de tsunamis. La capacidad portante de los suelos de la ciudad de Camaná son de media a alta.

El Mapa de Zonificación Sísmica – Geotécnica indica que la ciudad de Camaná se encuentra sobre suelos Tipo S1, S2 y S4; es decir, los correspondientes a las zonas: Zona I, Zona II y Zona IV definidas en la Norma Sismorresistente Peruana.

RECOMENDACIONES

Este documento técnico debe ser utilizado por las autoridades locales y regionales de la ciudad de Camaná 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 Camaná.

BIBLIOGRAFÍA

Alfaro, A., Egozcue y A. Ugalde (1999): Determinación de características dinámicas del suelo a partir de microtremores. Memorias del Primer Congreso de Ingeniería Sísmica, España.

Agro Acción Alemana (2010): Gestion de riesgos en Ancash. Experiencias y propuestas. Ministerio Aleman.

APESEG (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 microtremors. 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. Tésis de Maestría, II-UNAM, Mexico.

Bernal, I. y H. Tavera (2007): Pruebas de vibración ambiental realizadas en la localidad de Condormarca, provincia de Bolívar. Dpto. de la Libertad. Informe Técnico, 23p.

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.

Caldas, J. (1978). Geología del cuadrángulo de San Juan, Acarí y Yauca. 31-m. INGEMMET, Boletín A-30.

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.

Cobbing, J. (1970). Geología de los cuadrángulos de Huacho (23h). Boletín N°26 , INGEMMET.

Dale D. (1990). Mountain waves and Downslope Winds. Meteorological Monographs. 23:59 81

Dorbath, L., Cistermas, A., Dorabath, C. (1990): Assessment in the size of large and great historical earthquake in Peru. B.S.S.A., 80,551-576

Escobar, D. 1993. Evolución climática y sinóptica de los vientos Paracas. Tesis Ing. Meterólogo. Facultad de Ciencias, Dpto. Física y Meterología. UNALM.

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

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 Education, 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.

Guevara, C. (1961): Geología de los cuadrángulos de Punta de Bombón y Clemesi, INGEMMET,

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

INADUR (2000): Mapa de peligros y plan de uso del suelo de la ciudad de Chimbote. Instituto Nacional de Desarrollo Urbano.

INDECI (2001): Informes de los principales desastres ocurridos en Perú. Instituto de Defensa Civil del Perú.

INGEMMET (1970): Cuadrángulo Geológicos de Barranca. Boletín N°26 – hoja 22h. Sector Energía y Minas.

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

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 (2003): 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.

Pagador, C. (2010). Evaluación de recursos hídricos superficiales en la Cuenca del río Huaura. Autoridad nacional del agua.

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

SENAMMHI (2008): Datos de tempreaturas máximas y minimas de la Estación Pampa Blanca.

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., Buforn, 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 et al. (2013). Sismo de Acari-Yauca del 25 de setiembre de 2013 (7.0Mw). Aspectos Sismológicos.. Dirección de Sismología, IGP. Informe Técnico N°03-2013. 25 pags.

Tavera, H. (2001). El terremoto de la región sur del Perú del 23 de junio de 2001. Instituto geofísico del Perú. Informe Especial, Dirección de Sismología. 422 pag.

Tavera, H. (2008). EL terremoto de Pisco (Perú) del 15 de agosto de 2007 (7.9 Mw). Instituto Geofisico del Perú, Dirección de Sismología. Informe Especial. 480 pags.

Tavera, H. (2001). El terremoto de la Región Sur del Peru del 23 de Junio de 2001. Dirección de Sismologia, IGP, Lima – Perú.

Tavera, H. (2014). Mapa Sismico del Perú, periodo 1960 – 2014. Dirección de Ciencias de la Tierra Sólida, IGP.

Tavera, H. 82008): El terremoto de Pisco (Perú) del 15 de Agosto de 2007 (7.9 Mw). Dirección de Sismología, IGP, Lima – Perú.

Tavera et al, (2014). Estimación del Peligro Sismico 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