



PERÚ

Ministerio
del Ambiente



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

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



ZONIFICACIÓN SÍSMICA – GEOTÉCNICA DE LA CIUDAD DE CHULUCANAS

Lima - Perú
2019

Instituto Geofísico del Perú

Presidente Ejecutivo: Hernando Tavera

Director Científico: Danny Scipion

Autores

Isabel Bernal

Caracterización Sísmica y Geofísica de la ciudad de Chulucanas

Juan Carlos Gomez

Caracterización Geológica y Geotécnica de la ciudad de Chulucanas

Equipo de Evaluación Geológica y Geotécnica: Cristhian Chiroque

Equipo de Evaluación Sísmica y Geofísica: Fabiola Rosado / Henry Salas / Wilfredo Sullá / Liliana Torres / Javier Oyola / Kelly Pari / Luz Arredondo / Jesús Huarachi / Jorge Salas

Personal de apoyo: Augusto Cárdenas / Roberth Yupanqui

Personal administrativo: Marisol Enriquez

Este Informe ha sido producido por:

Instituto Geofísico del Perú
Calle Badajoz 169, Mayorazgo IV etapa, Ate
Teléfono (511) 3172300

**ZONIFICACIÓN SÍSMICA – GEOTÉCNICA DE LA
CIUDAD DE CHULUCANAS**

**Distrito de Chulucanas – Provincia de Morropón
Región Piura**

RESUMEN

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

El análisis e interpretación de los datos obtenidos permiten tener como resultado la “Zonificación Sísmica – Geotécnica de los suelos de la ciudad de Chulucanas”, información primaria que debe ser utilizada por ingenieros civiles y arquitectos en el diseño y construcción de estructuras apropiadas para cada uno de los tipos de suelos identificados en este estudio. Este documento técnico debe constituirse como herramienta de gestión de riesgo a ser utilizado por las autoridades locales y regionales.

El presente informe está constituido por tres (3) partes, en la primera se realiza la presentación y descripción de las características del área de estudio, así como las principales conclusiones. En la segunda parte, se presenta el desarrollo del estudio realizado para la caracterización geológica y geotécnica de la ciudad de Chulucanas, y en la tercera parte, el estudio realizado para la caracterización sísmica y geofísica de la ciudad de Chulucanas. Finalmente, en un CD se adjunta toda la información y mapas temáticos generados durante la realización del presente estudio.

ÍNDICE

RESUMEN

ÍNDICE

PARTE 1: Presentación

1. Introducción
 - 1.1. Objetivo
 - 1.2. Historia
 - 1.3. Accesibilidad y clima
 - 1.4. Economía
 - 1.5. Estudios Previos

2. Condiciones locales de sitio
 - 2.1. La Norma Técnica E.030

Conclusiones

PARTE 2: Caracterización geológica y geotécnica de la ciudad de Chulucanas.

PARTE 3: Caracterización sísmica y geofísica de la ciudad de Chulucanas.

ANEXOS: Todo el material gráfico está contenido en el CD que se adjunta al presente documento.

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 2018 el Proyecto “**Zonas Geográficas con Gestión de Información Sísmica**” y como parte del mismo, la Sub-Dirección de Ciencias de la Tierra Sólida desarrolló la Actividad “**Generación de Estudios Territoriales de Peligro Sísmico**” a fin de obtener el Mapa de Zonificación Sísmica – Geotécnica (Comportamiento Dinámico del Suelo) para las áreas urbanas de las siguientes ciudades (Figura 1):

- **Piura**, distrito de Piura, capital de la provincia y región de Piura.
- **Castilla**, distrito de Castilla, provincia y región de Piura.
- **Sullana**, capital del distrito y provincia de Sullana, región de Piura.
- **Paita**, capital del distrito y provincia de Paita, región de Piura.
- **Chulucanas**, distrito de Chulucanas, provincia de Morropón, región de Piura.
- **Catacaos**, distrito de Catacaos, provincia y región de Piura.
- **Sechura y Parachique**, capital del distrito y provincia de Sechura, región de Piura.

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

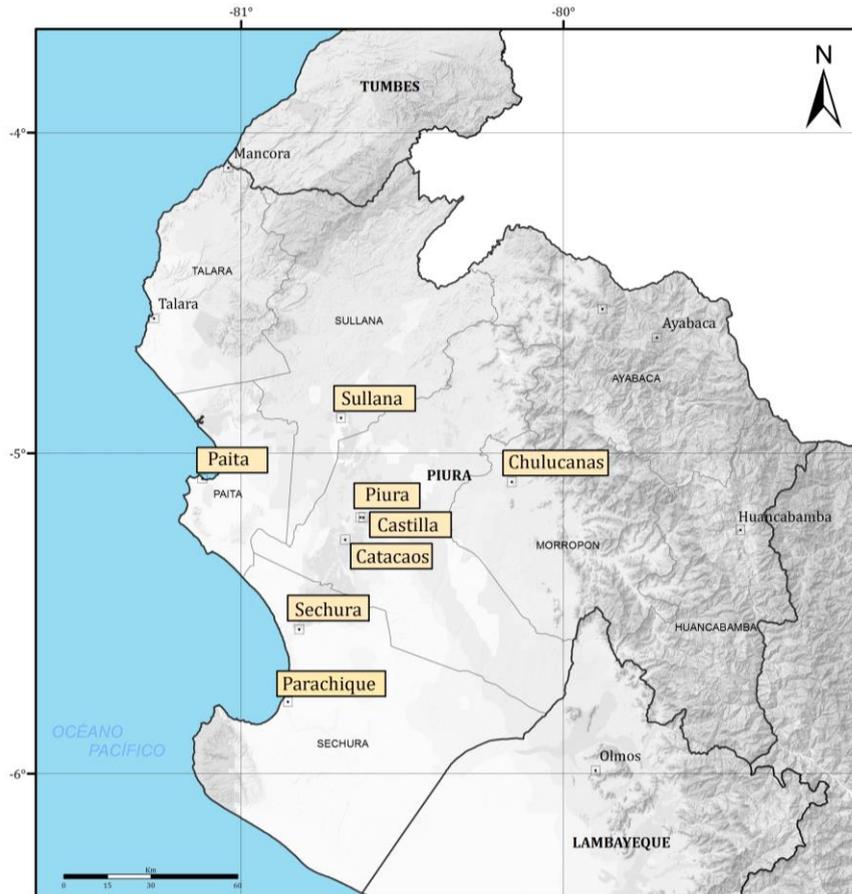


Figura 1: Distribución espacial de las ciudades intervenidas durante el año 2018: Zonificación Geofísica – Geotécnica de suelos.

Los estudios de Zonificación Sísmica – Geotécnica (Comportamiento Dinámico del Suelo) permitirán tener mayor conocimiento sobre las características dinámicas del suelo sobre el cual se levantan las ciudades y/o futuras áreas de expansión. Para ello se realiza la aplicación de diferentes metodologías que consideran datos sísmicos, geofísicos, geológicos y geotécnicos. Los resultados que se obtienen permiten comprender que no hay suelo malo y que solamente se debe considerar el diseño y la construcción de viviendas y estructuras apropiadas para cada tipo de suelo. Dentro de este contexto, la población de la localidad de Chulucanas debe comprender que existen tres (3) reglas para construir una casa sismorresistente (www.acerosarequipa.com):

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

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

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

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

1.1. Objetivo

El principal objetivo a cumplir en este estudio es obtener el mapa de Zonificación Sísmica - Geotécnica para la ciudad de Chulucanas, provincia de Morropón, región de Piura, a partir de la integración de los resultados obtenidos con diferentes métodos sísmicos, geofísicos, geológicos y geotécnicos. Asimismo, es de interés del presente estudio que las autoridades dispongan de un documento técnico que les ayude en el desarrollo y ejecución de proyectos orientados a la gestión del ordenamiento territorial y desarrollo sostenible de la ciudad.

1.2. Historia

Chulucanas deriva de la palabra quechua chulucani que significa “me estoy derritiendo”, debido a la temperatura alta de Piura. Esta ciudad comenzó siendo desde 1884 capital del distrito de Yapatera, conformado por 3000 hab. Con el paso de los años, esta cantidad fue en ascenso debido a la demanda de mano de obra para las tareas agrícolas, acogiendo población migrante de la sierra. De esta manera, Chulucanas fue asumiendo funciones de intercambio de bienes y servicios de orientación agrícola, constituyéndose en el centro urbano más importante del área; es por ello, que el 31 de enero de 1936, bajo la Ley 8174, se crea la provincia de Morropón con su capital Chulucanas. Un año más tarde, Chulucanas se constituye como distrito de la citada provincia (Figura 2).



Figura 2: Vista panorámica de la Plaza de Armas y la Catedral del distrito de Chulucanas.

El crecimiento urbano de Chulucanas, estuvo sujeto inicialmente a la transferencia informal de lotes de terrenos sin habilitación urbana, ocasionando una expansión urbana desordenada y ocupación de sectores expuestos a la ocurrencia de eventos de origen natural. Por tal razón, hoy en día Chulucanas está conformado en gran porcentaje por asentamientos humanos como son: Villa Canadá, Pilar Nores, Luis de La Puente Uceda, Nuevo Amanecer y Virgen de Las Mercedes. Asimismo, tiene centros poblados como: Ciudad de Chulucanas (Sectores I, II, III, IV, V) y Centro; y los pueblos jóvenes como: Consuelo de Velazco, José Carlos Mariátegui, Ñácara, Mercado Jarrín, Micaela Bastidas, Vate Manrique y Santa Rosa. Además, cuenta con la habilitación Urbana Inmaculada Concepción y la Asociación de Vivienda 28 de Julio.

Actualmente, el distrito de Chulucanas es administrada por el Gobierno Regional de Piura y limita por el norte con el distrito de Frías (Ayabaca) y Tambogrande (Piura); al este con el distrito de Buenos Aires, La Matanza y Salitral (Morropón); al sur con el distrito de San Domingo y Morropón (Morropón); y por el oeste con el distrito de Piura, Catacaos y Castilla (Piura). En la Figura 3, se muestra la ubicación geográfica de la ciudad de Chulucanas.

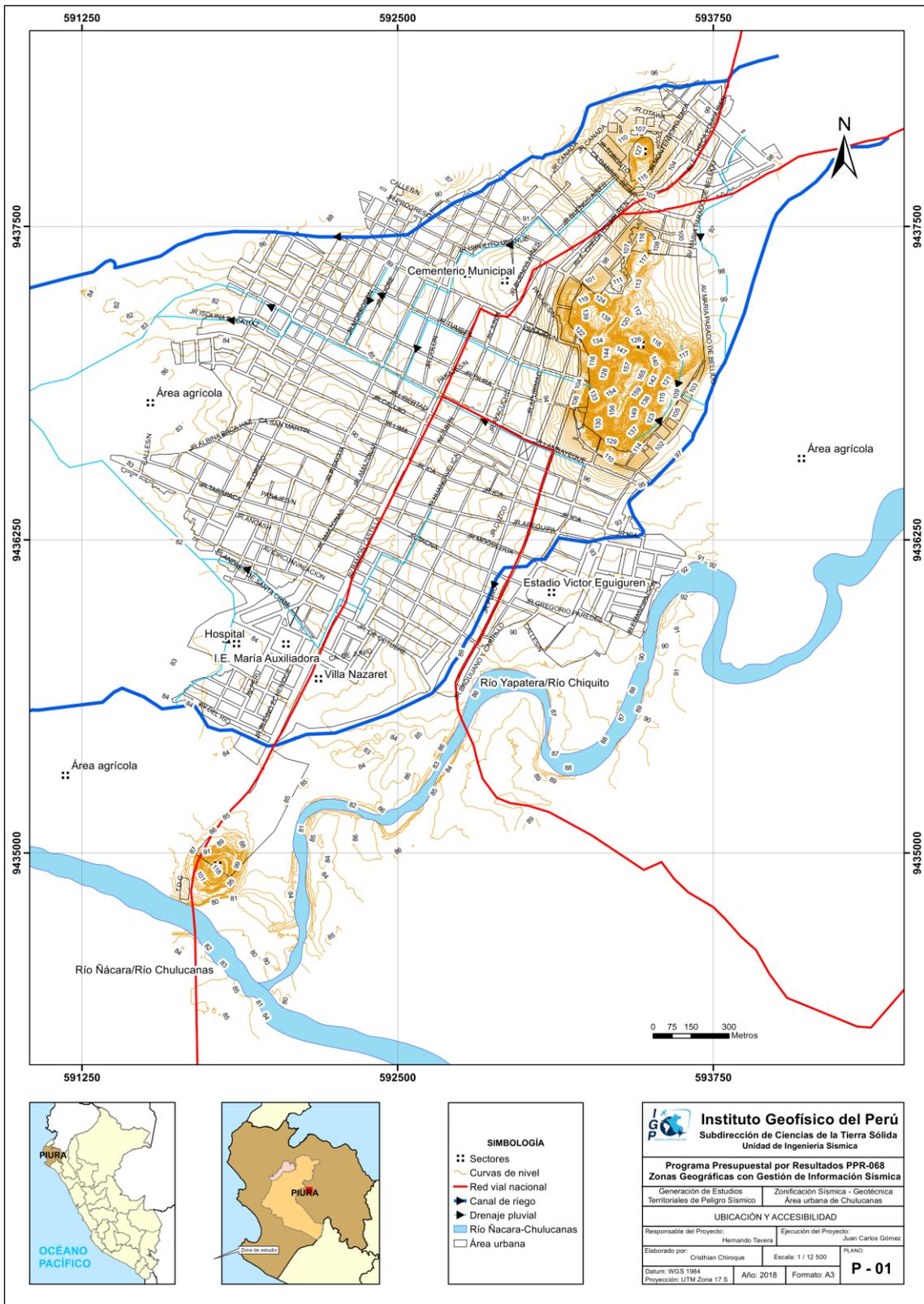


Figura 3: Mapa de ubicación geográfica de la ciudad de Chulucanas.

1.3. Accesibilidad y Clima

El acceso a la ciudad de Chulucanas se realiza vía terrestre por la carretera Panamericana Norte, vía asfaltada en regular estado de conservación, desde la ciudad de Lima (1040 km).

El clima en la ciudad de Chulucanas es variable entre cálido y templado, con una precipitación pluvial baja con promedio anual que varía entre 0.5 mm y 24 mm. La temperatura media anual en la ciudad de Chulucanas oscila entre los 24 a 26 °C. La temperatura máxima promedio anual en la ciudad, es de 32.0 °C y alcanza los 33.4 °C en verano y 30.7 °C en invierno. Mientras que, la temperatura mínima promedio anual es de 18.8 °C con valores promedios de 21.6 °C en verano y 16.7 °C en invierno.

En el último evento El Niño 1997 - 1998, durante el invierno de 1997, la temperatura mínima alcanzó un promedio de 21.3 °C; es decir, una anomalía térmica entre 4 y 5 °C por encima de lo normal.

Los extremos de temperatura también son una característica particular de Chulucanas. En febrero del 2007 la temperatura máxima alcanzó un valor promedio para el mes de 35.9°C y un valor extremo de 39.2°C en marzo del 2007. En diciembre de 1998 la temperatura mínima alcanzó un valor extremo de 9.0 °C, situación que ocurrió bajo el escenario de La Niña. En el invierno del 2010 la temperatura mínima en julio alcanzó un valor promedio de 15.2 °C y un valor extremo de 10.5 °C, siendo la más baja.

1.4. Economía

Una forma de reconocer las principales actividades económicas que impulsan el desarrollo socioeconómico de Chulucanas, es identificar la actividad de mayor participación de la población económicamente activa (PEA) de la localidad. Para ello, se revisó la información bibliográfica del INEI (2007) y la PEA de Chulucanas tiene en primer lugar a la agricultura y ganadería con un valor 40.97%; mientras que, en segundo lugar se tiene al comercio con un valor de 15.98% y finalmente se tiene al transporte, almacenes y comunicaciones, siendo todas estas las principales actividades económicas de la localidad.

1.5. Estudios previos

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

- Plan Director de Chulucanas (2000) - Mapa de Peligros, Plan de Usos del Suelo y Plan de Mitigación ante Desastres de la Ciudad de Chulucanas. Este estudio tuvo por objetivo realizar el diagnóstico de la vulnerabilidad y riesgo de la zona urbana y alrededores de la ciudad de Chulucanas. Dicha información sería la base de la formulación del Plan Director de la ciudad. El plan Director se ejecutó en el año 2011 con la ejecución de estudios geológicos y geotécnicos.
- Instituto Nacional De Recursos Naturales - INRENA (2002) - Inventario de Fuentes de Agua Subterránea. Este estudio ejecutado por INRENA, tuvo por objetivos identificar las unidades hidrogeológicas, las fuentes de agua subterránea en el valle de Piura parte alta y determinar la geometría, tanto lateral como vertical, así como la morfología del basamento o espesores del acuífero. De este informe se ha previsto las profundidades de los niveles freáticos presentes en la ciudad de Chulucanas a través de la prospección de pozos ya existentes.
- Plan Regional de prevención de desastres (2005). Este estudio se realiza a escala regional, con mapas a escala 1/100 000 teniendo como principales puntos las cuencas hidrográficas de los ríos Chira y Piura. Del informe se han tomado datos demográficos.
- Caracterización de arcillas en la provincia de Morropón Chulucanas (2006). La provincia de Morropón y el distrito de La Encantada tienen una gran demanda de arcillas como materia prima para la elaboración de pastas cerámicas. Las muestras han sido analizadas por difracción de rayos X (DRX) y espectroscopia, además de análisis químicos. Los resultados determinaron la presencia de cuarzo seguido por albita, luego algunos minerales arcillosos.
- Metalogenia y Geología Económica por Regiones (2011). Elaborado por

INGEMMET. Este informe a escala regional fue elaborado con la finalidad de inventariar los recursos minerales metálicos y no metálicos con los que cuenta la región Piura. De este estudio se ha obtenido la columna estratigráfica de la cuenca Lancones y Yapatera correspondiente a la zona de estudio.

- Estudio mapa de peligros, plan de usos del suelo ante desastres y medidas de mitigación de la ciudad de Chulucanas (2011). En este estudio elaborado por PNUD a través del Programa de Ciudades Sostenibles, tuvo por objetivo evaluar los peligros o amenazas de origen natural a los que se encuentra expuesta la ciudad de Chulucanas; evaluar los niveles de vulnerabilidad y estimar los niveles de riesgo existentes, con el fin de diseñar una propuesta de mitigación. De este estudio se han recabado la mayor cantidad de datos demográficos, índice de desarrollo, economía. Los mapas temáticos elaborados de hidrografía fluvial y pluvial de la ciudad de Chulucanas, geotecnia con 15 calicatas con tipos de suelos y capacidad de carga admisible. Estos datos se utilizarán para complementar la información obtenida en el presente año.

2. CONDICIONES LOCALES DE SITIO

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

Las condiciones locales de sitio son evaluadas en los estudios de Zonificación Sísmica - geotécnica y el resultado es considerado como una de las herramientas más importantes para minimizar los daños producidos por los sismos. La finalidad es evaluar el comportamiento dinámico de los suelos (CDS), teniendo en cuenta que la intensidad de las sacudidas sísmicas varía considerablemente a distancias cortas y áreas pequeñas. Diversos estudios muestran, que los suelos ante la incidencia de ondas sísmicas asociadas a movimientos débiles y/o fuertes, responden de acuerdo a sus condiciones locales, pudiendo estos modificar el contenido frecuencial de las ondas y/o generar amplificaciones de las ondas sísmicas (Hartzell, 1992; Beresnev et al., 1995; Bard 1995; Lermo y Chávez-García, 1993, 1994 a, b; Bard y Sesame, 2004; Bernal, 2002), ver Figura 4.



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

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

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

2.1. La Norma Técnica E.030

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

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

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

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

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

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

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

Dónde:

di = espesor de cada uno de los estratos n

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

En general, para cualquier estudio se deberá considerar el tipo de suelo que mejor describa las condiciones locales de cada zona de interés. Para este estudio, la Zonificación Sísmica – Geotécnica se realiza en función de las características mecánicas y dinámicas de los suelos que conforman el terreno de cimentación del área de estudio y de las consideraciones dadas por Norma E.030 (Diseño Sismorresistente). En tal sentido y de acuerdo a los estudios realizados, se establece la existencia de 5 zonas cuyas características son:

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

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

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

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

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

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

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

CONCLUSIONES

El estudio de Zonificación Sísmica - Geotécnica para la ciudad de Chulucanas, ha permitido llegar a las siguientes conclusiones:

- Según el cartografiado geomorfológico local realizado en la ciudad de Chulucanas se determinó que existen 06 unidades geomorfológicas, de las cuales se corroboró en campo que el 40% de la zona urbana se asienta sobre una llanura aluvial, el 10% sobre terrazas fluvio aluviales, 15% sobre laderas de montañas, 15% colinas y 10 sobre lomas y el lecho fluvial de los ríos Ñácara y Yapatera. El sustrato rocoso de la ciudad de Chulucanas está conformado por piroclastos volcánicos de la Formación Lancones distribuidos al sur y norte de la ciudad, representando los cuerpos más elevados de la geomorfología en los cerros Ñañañique y Ñácara, mientras que los depósitos del Cuaternario están conformados por materiales aluviales y fluviales en donde se asienta gran parte del área urbana.
- La geodinámica en la ciudad de Chulucanas está representada por caídas de rocas que se desarrollan en las laderas de los cerros Ñácara y Ñañañique debido a dos factores principales, el fracturamiento de las rocas aflorantes en la zona y el factor antrópico. Este último, interviene en las laderas y taludes que dejan zonas inestables, que con la meteorización forma, una capa detrítica gruesa que luego se depositan ladera abajo.
- Se identificaron 04 tipos de suelos en la zona urbana y alrededores entre los que se tienen: Arenas mal graduadas (SP) y arenas limosas (SM), arenas arcillosas (SC) y arena limo arcillosa (SM-SC), se han delimitado zonas de capacidad de carga muy baja debido a la presencia de nivel freático y zonas con humedad media a alta hasta 20 %.
- Se ha identificado 03 zonas con capacidad de carga muy baja, ubicándose la primera al noreste, en el sector Mercado Jarrín salida a Chapica (nivel freático a 2.80 m). La segunda zona se ubica al oeste en el P.J. Consuelo de Velazco, José Carlos Mariátegui y AA.HH. Virgen de Las Mercedes. Finalmente, la tercera zona, se ubica entre Micaela Bastidas y CP. Chulucanas sector IV, a 200 m de Villa Nazaret; en todas ellas los suelos son arenosos saturados y un nivel freático alto.

- Los resultados obtenidos para el área urbana de Chulucanas, a partir de sus características físicas y dinámicas del suelo, han permitido identificar, de acuerdo a las consideraciones indicadas en la Norma de Construcción Sismorresistente E-030, la existencia de suelos de Tipo S1, S2 y S4, que comprenden a suelos rígidos, medianamente rígidos y excepcionales respectivamente (Figura 5).

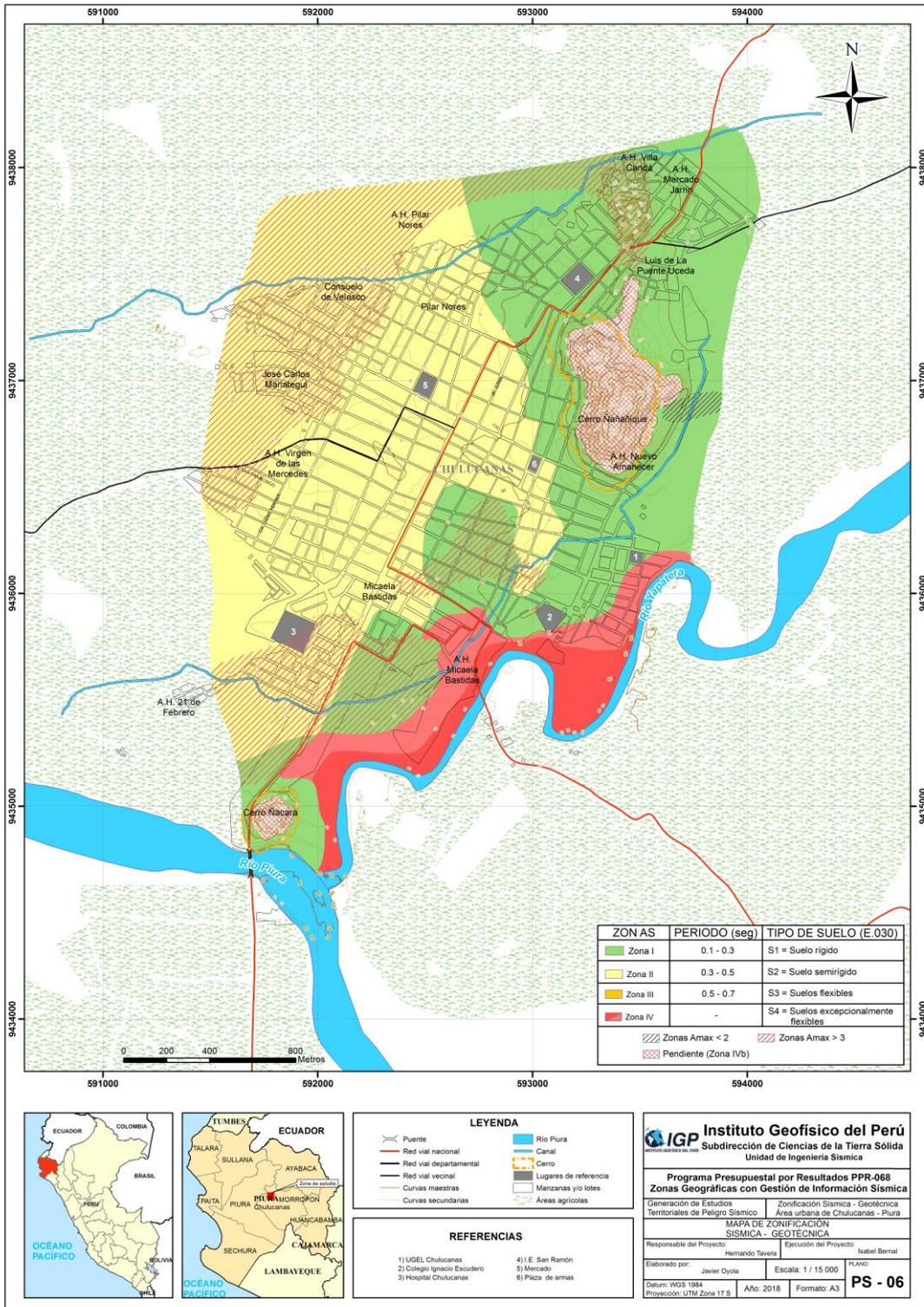


Figura 5: Mapa de Zonificación Sísmica – Geotécnica para la ciudad de Chulucanas.

**CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA
DE LA CIUDAD DE CHULUCANAS**

CONTENIDO

1. METODOLOGÍA

2. GEOMORFOLOGÍA

- 2.1. Levantamiento Fotogramétrico
- 2.2. Modelo digital de Elevación (MDE)
- 2.3. Pendientes
 - 2.3.1. Clasificación del grado de pendientes
- 2.4. Unidades geomorfológicas
 - 2.4.1. Montaña
 - 2.4.2. Colinas
 - 2.4.3. Lomas
 - 2.4.4. Llanura fluvio aluvial
 - 2.4.5. Llanura de inundación
 - 2.4.6. Lecho fluvial

3. GEOLOGÍA

- 3.1. Geología regional
 - 3.1.1. Geología histórica
- 3.2. Geología local
 - 3.2.1. Volcánico Lancones (Km-vl)
 - 3.2.2. Depósitos Cuaternarios

4. GEODINÁMICA

- 4.1. Procesos de geodinámica interna
- 4.2. Procesos de geodinámica externa
 - 4.2.1. Inundaciones
 - 4.2.2. Caída de rocas

5. ASPECTOS GEOTÉCNICOS

- 5.1. Exploraciones a cielo abierto (Calicatas, Norma ASTM 420)
- 5.2. Densidad del suelo in-situ (Norma ASTM D 1556)
- 5.3. Exploraciones con posteadora manual (Norma ASTM D1452)
- 5.4. Ensayos de penetración dinámica ligera DPL (Norma DIN 4094)
- 5.5. Clasificación de suelos SUCS (Norma ASTM D4827)
- 5.6. Ensayos de corte directo (norma ASTM D-3080)

5.6.1. Capacidad de carga admisible

5.6.2. Tipos de capacidad de carga admisible

CONCLUSIONES

1. METODOLOGÍA

Para realizar la caracterización geológica y geotécnica de los suelos en la ciudad de Chulucanas se ha seguido la siguiente metodología:

- ✓ **Gabinete I:** Las actividades realizadas incluyeron la revisión de imágenes satelitales (Orto imagen con 3.0 m. de resolución del servidor Perú SAT-1, año 2017) que fue georreferenciada haciendo uso de sistemas de información geográfica (SIG), con la finalidad de delimitar la zona de estudio. Asimismo, se realizó la recopilación de información geológica y geotécnica regional y local existente (boletines geológicos, informes técnicos, entre otros).
- ✓ **Campo I:** Se realizó el cartografiado de las unidades geomorfológicas y litológicas aflorantes a escala 1:25,000. Asimismo, se identificó y delimitó los eventos geodinámicos relacionados a inundaciones fluviales (desborde del río Yapatera en la margen derecha a la altura del sector San Martín) y pluviales (acumulación de las aguas de escorrentía en zonas de depresión como el AA. HH Mercado Jarrín).
- ✓ **Campo II:** Elaboración de ensayos geotécnicos, tales como: Calicatas: a una profundidad promedio de 3.00 m (10 calicatas). Ensayos de penetración dinámica ligera (10 DPL); y ejecución de auscultaciones haciendo uso de posteadora (10 posteos).
- ✓ **Laboratorio:** Procesamiento de las muestras de suelos, a través de ensayos de laboratorio, tales como granulometría (tipo de suelos SUCS), humedad, densidad y corte directo (capacidad portante).
- ✓ **Gabinete II:** Elaboración del informe técnico que adjunta los siguientes anexos: fichas geotécnicas (calicatas, posteos, DPL, correlación DPL con SPT y análisis granulométrico), fichas geodinámicas (identificación de zonas susceptibles a movimientos en masa e inundaciones) y planos temáticos a escala 1:25,000.

2. GEOMORFOLOGÍA

La geomorfología estudia las diferentes formas de relieve de la superficie terrestre (geoformas) y los procesos que las generan, este relieve es el resultado de la interacción de fuerzas endógenas y exógenas. Las primeras actúan como creadoras de grandes elevaciones y depresiones producidas fundamentalmente por movimientos en masa de componente vertical; mientras que, las segundas, como desencadenantes de una continua denudación que tiende a rebajar el relieve originado, estos últimos llamados procesos de geodinámica externa se agrupan en la cadena meteorización-erosión, transporte y sedimentación (Gutierrez, 2008). El estudio de la geodinámica externa se efectúa en un sistema proceso-respuesta, siendo el primero el agente creador (origen) y el segundo la geoforma resultante. El término geoforma es un concepto genérico que designa todos los tipos de formas de relieve independientemente de su origen y dimensión (Zinck, 1988; Zinck & Valenzuela, 1990). En este capítulo se describen las características físicas de las geoformas existentes en la ciudad de Chulucanas, en relación a su origen.

Previamente, en base al levantamiento topográfico y mediante herramientas computacionales (SIG) se ha elaborado los planos: Modelo Digital del Elevación (MDE) y pendientes, con el fin de delimitar las características geomorfológicas del terreno, éstas fueron verificadas y validadas durante el trabajo de campo, para cartografiar y delimitar las unidades geomorfológicas en la ciudad de Chulucanas.

2.1. Levantamiento Fotogramétrico

Se obtuvo a partir de un levantamiento fotogramétrico realizado en la ciudad de Chulucanas, que abarcó un área de 870 ha. Este trabajo se realizó con el propósito de obtener la representación digital del relieve que conforman las unidades: lecho fluvial, terraza fluvio-aluvial, colina, llanura de inundación, entre otras.

Para la ejecución del levantamiento, se utilizó un vehículo aéreo no tripulado (VANT), servicio que fue contratado por el Instituto Geofísico del Perú (IGP) a una consultora particular para realizar las mediciones de la superficie del terreno. A partir, del levantamiento fotogramétrico, se obtuvo un plano topográfico a escala 1: 12,500 que contiene curvas de nivel (líneas que unen puntos con igual altitud) con resolución espacial de 0.50 cm.

2.2. Modelo Digital del Elevación (MDE)

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

Para la elaboración del MDE de la ciudad de Chulucanas, se tomó en cuenta el uso de herramientas SIG sobre las curvas de nivel diseñadas anteriormente, obteniendo como resultado la representación digital de la superficie del terreno de la localidad, que cubre un área de 615 has aproximadamente. En base al MDE elaborado de la ciudad de Chulucanas (Figura 1), se ha reconocido que la zona urbana se encuentra entre 79 y 110 m.s.n.m; mientras que, las zonas inundables adyacentes al río Chiquito o Yapatera se encuentran a 90 m.s.n.m.

2.3. Pendientes

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

El diseño del mapa de pendientes de la ciudad de Chulucanas, fue desarrollado a partir del MDE elaborado anteriormente, haciendo uso de herramientas de geoprocésamiento (área de influencia, construcción de modelos, análisis espacial, etc) para diferenciar gráficamente los ángulos de inclinación del relieve en el área de estudio (Figura 2).

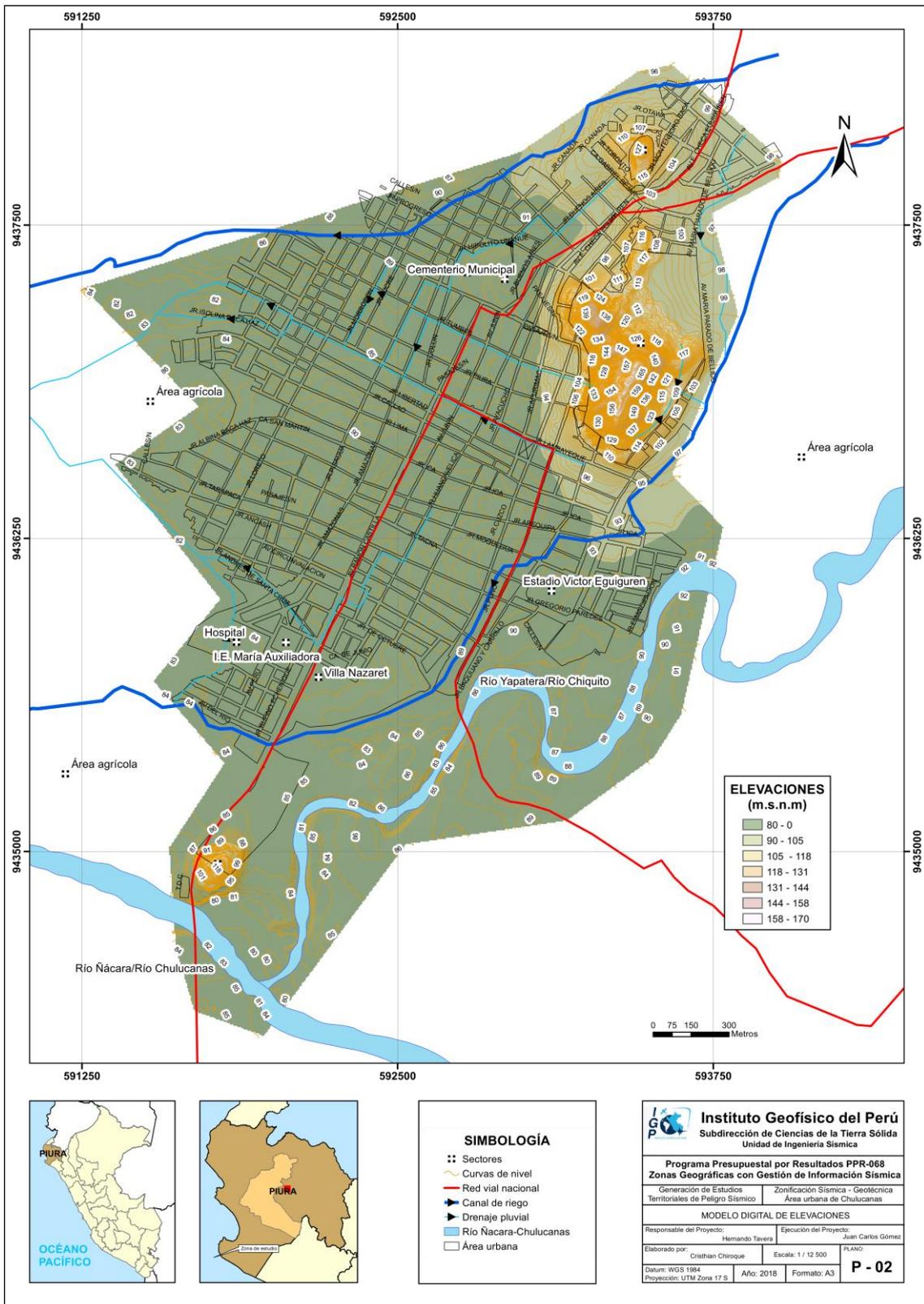


Figura 1: Mapa de modelo digital del elevación de la ciudad de Chulucanas y alrededores.

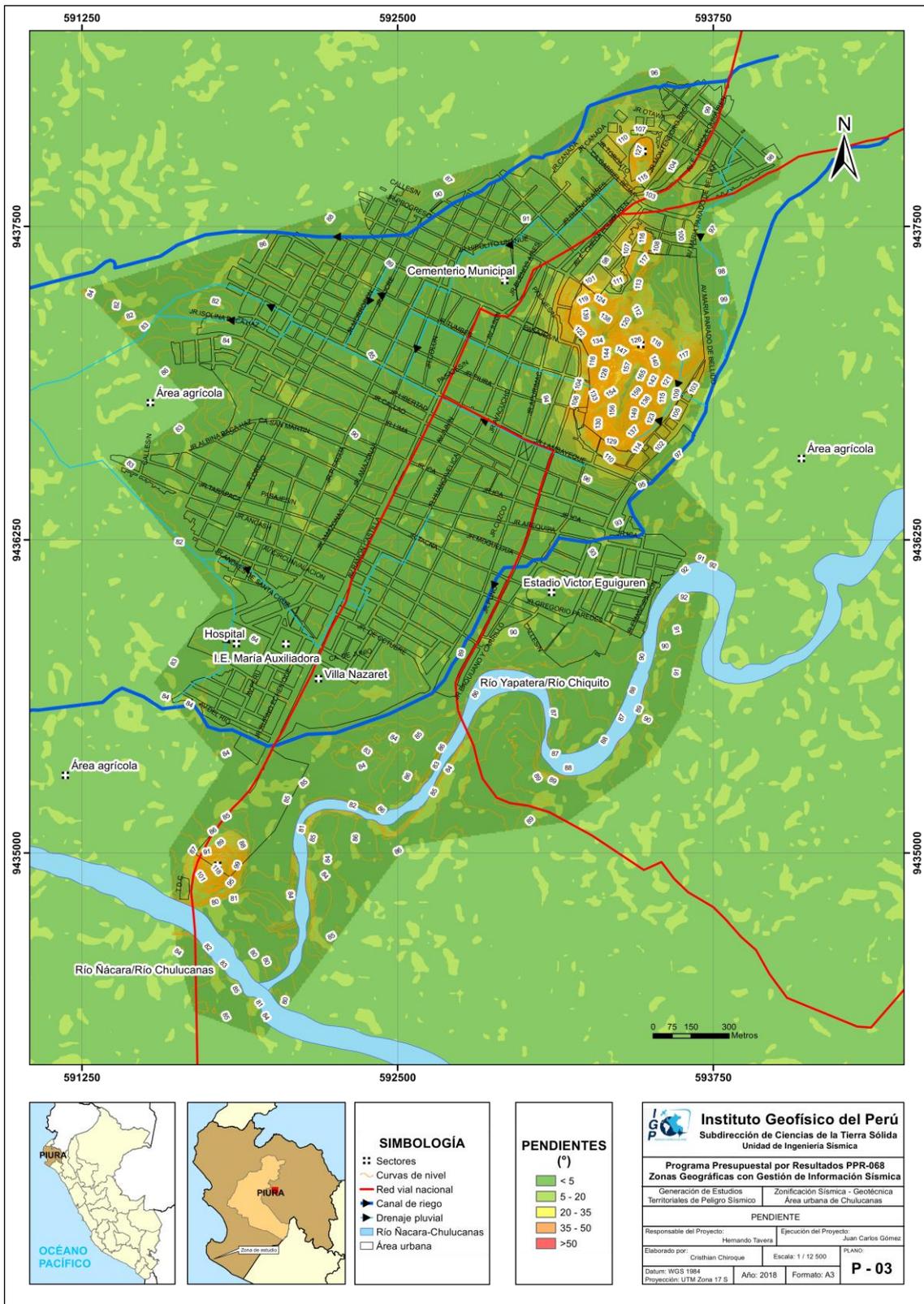


Figura 2: Mapa de pendientes del terreno de la ciudad de Chulucanas y alrededores.

2.3.1. Clasificación del grado de pendientes

Para la clasificación de los rangos de pendientes se usó como base el informe: “Estudio de riesgos geológicos del Perú” (Fidel et al. 2006), ver Tabla 1:

Tabla 1: Rangos de pendientes del terreno (Fidel et al, 2006).

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

El 75% de la ciudad de Chulucanas se encuentra asentada sobre una llanura aluvial con pendientes menores a 10°; mientras que, las superficies que conforman las laderas de montaña presentan pendientes menores a 35°.

2.4. Unidades geomorfológicas

Estas geoformas están compuestas por materiales que presentan una génesis propia que explica la dinámica de cómo se formaron, presentan características físicas que conforman un relieve tales como: forma, altura, pendientes, drenaje, tono y textura de vegetación, color, etc que las diferencian una de otras. En conclusión, las geoformas son generadas por procesos geodinámicos de tipo endógeno (procesos internos) y exógenos (procesos externos) formando relieves positivos y negativos.

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

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

En base a las características físicas de las geoformas y su origen, en la ciudad de Chulucanas, se cartografiaron seis unidades: lecho fluvial, colinas, lomas, llanura aluvial, llanura de inundación y lecho fluvial (Tabla 2 y Figura 3).

Tabla 2: Determinación de geoformas en el distrito de Chulucanas en base a las características físicas y su origen.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		PROCESO	UNIDAD GEOMORFOLÓGICA
Pendiente	20°-35°	Mixta Estructural Denudacional	Laderas de montaña
Altura	>500 m		
Geometría	Alargada		
Drenaje	Radial		
Pendiente	5°-20°	Mixta Estructural Depositacional Denudacional	Colinas
Altura	100-300 m		
Geometría	Redondeada		
Drenaje	Radial		
Pendiente	5°-20°	Mixta Depositacional Denudacional	Loma
Altura	<100 m		
Geometría	Alargada		
Drenaje	Radial		
Pendiente	<5°	Mixta Depositacional Denudacional	Llanura aluvial
Altura	<100 m		
Geometría	Alargada		
Drenaje	Dendrítico		
Pendiente	<5°	Denudacional	Llanura de inundación
Altura	<100 m		
Geometría	Alargada		
Drenaje	Paralelo		
Pendiente	<5°	Denudacional	Lecho fluvial
Altura	<100 m		
Geometría	Alargada		
Drenaje	Paralelo		

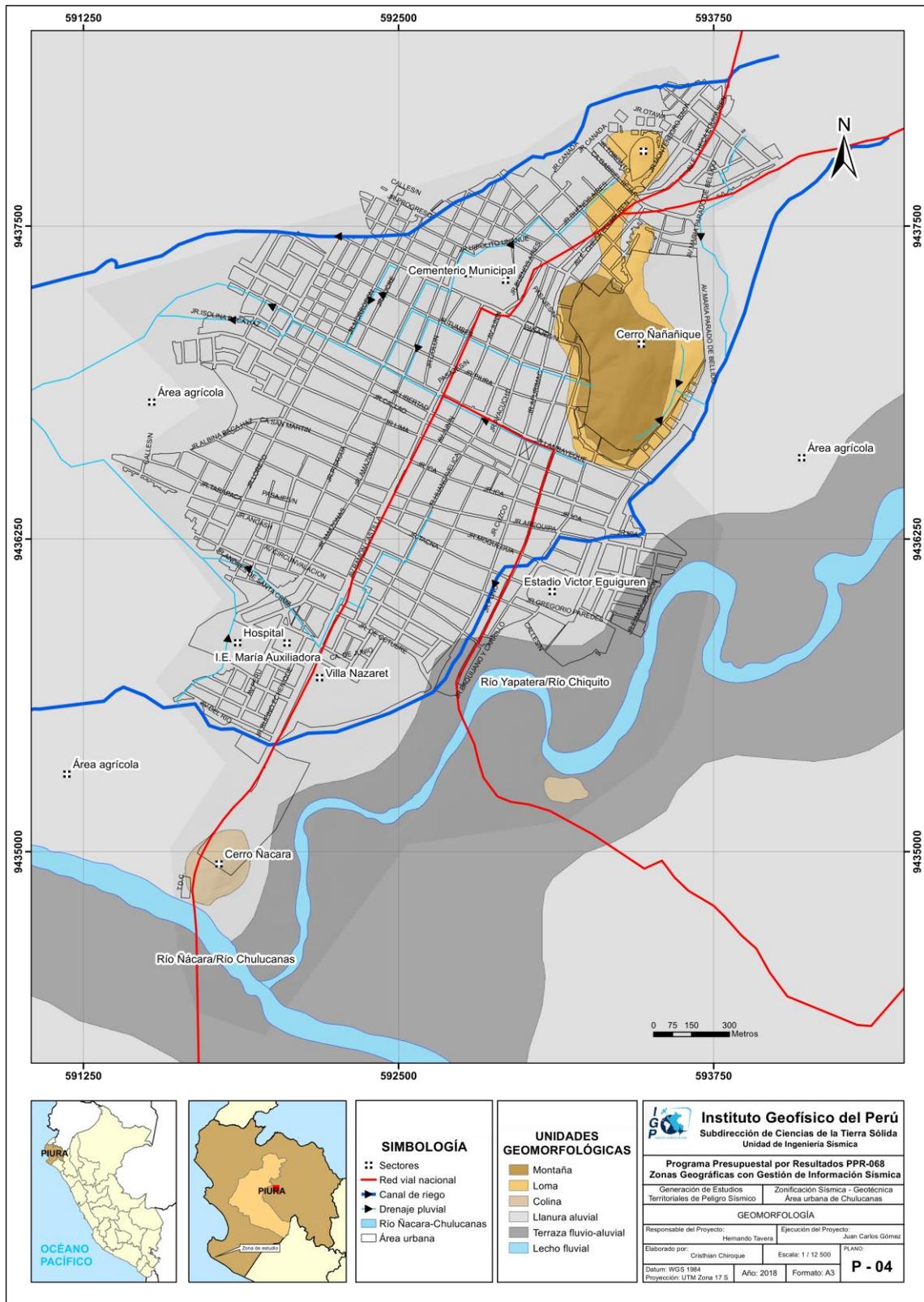


Figura 3: Mapa geomorfológico para la ciudad de Chulucanas y alrededores.

2.4.1. Montaña

Estas geoformas constituyen elevaciones que no superan los 180 m.s.n.m. con un desnivel de 70 m con respecto a la llanura aluvial y se ubican a 90 m.s.n.m. en promedio. Las elevaciones máximas se encuentran a 10 km al noroeste de Chulucanas en donde alcanzan los 700 m de altitud. Estas elevaciones están conformadas por rocas del complejo denominado Volcánico La Bocana, la forma de la base es alargada y la cima es suave y semiredondeada. Las montañas se han delimitado al noreste del centro de la ciudad constituyendo los llamados cerros Ñácara y Ñañañique que abarcan el 17% del área de estudio, sobre las laderas de la montaña se asientan las áreas urbanas de A.H. Nuevo Amanecer y Ciudad de Chulucanas sectores V y III (Figuras 4 y 5).



Figura 4: Cerro Ñañañique ubicado al noroeste del centro de la ciudad de Chulucanas.



Figura 5: Vista desde el cerro Ñácara ubicado a la entrada de la ciudad hacia el cerro Ñañañique, al fondo se observan las montañas con elevaciones de hasta 700 m.

2.4.2. Colinas

Son elevaciones topográficas de altura menor a 100 m, cuyo relieve presenta pendientes menores de 35° , se caracterizan por tener forma redondeada. Se caracterizan por tener configuración basal redondeada y vértices divergentes en todas las direcciones a partir de la cima o cumbre, por lo que el drenaje de estas geofomas es de tipo radial.

Las colinas delimitadas en la ciudad de Chulucanas abarcan el 1% de la zona de estudio que equivale a 9 has (Figuras 6 y 7).



Figura 6: Colina ubicada al norte de la ciudad en la carretera a Yapatera.



Figura 7: Colina ubicada al sur al ingreso a la ciudad de Chulucanas denominado cerro Ñácara.

2.4.3. Lomas

Son elevaciones del terreno con cimas subredondeadas a semiplanas, con desnivel de terreno menores a 50 m y pendientes menores a 20°. Se caracterizan por presentar una configuración basal alargada y dos vertientes que se inclinan en dirección opuesta (Figura 8). Esta unidad se encuentra distribuida en los sectores Ciudad de Chulucanas Sector V, A.H. Villa Canadá, A.H. Luis de LA Puente Uceda, dicha unidad abarca el 1% de la zona de estudio.

La mayor parte de esta unidad geomorfológica está cubierta por materiales detríticos producto de la erosión de rocas preexistentes que han sido depositadas en estas zonas (Figura 9).



Figura 8: Loma ubicada al norte de la ciudad conocida como Loma Leonor.



Figura 9: Esta unidad forma un cordón que divide la zona este y oeste de la ciudad de Chulucanas.

2.4.4. Llanura fluvio aluvial

La extensa llanura aluvial ha sido originada y modelada por acción directa de la red hídrica representada por los ríos Yapatera y Ñácara; y por los procesos denudativos que erosionaron, transportaron y depositaron grandes volúmenes de sedimentos de origen mayormente fluvial y aluvial. El resultado de estos procesos ha dejado extensas áreas semiplanas con pendientes menores a 5°, dichas zonas son consideradas también como llanuras de inundación ante eventos extremos de precipitaciones (Figuras 10 y 11).



Figura 10: Gran parte del área urbana se asienta sobre la llanura de inundación irrigada por los ríos Ñácara y Yapatera.



Figura 11: El relieve presenta zonas casi planas con pendientes menores a 5° configurando áreas inundables.

2.4.5. Llanura de inundación

El agua de escorrentía forma llanuras de inundación en las que se construyen las ciudades (Modificado de Morisawa, 1968). En la zona de estudio esta unidad ha sido formada por la acción del río Yapatera o también llamado río Chiquito, que erosiona, transporta y deposita sedimentos en la parte alta, media y baja de la cuenca. Esta unidad está conformada por material aluvial y fluvial, tiene una longitud promedio de 300 m, desde la margen derecha del río Yapatera hacia los sectores PJV Ñácara y Santa Rosa, sectores que son afectados por inundaciones fluviales; mientras que, el PJV Mercado Jarrín presenta inundaciones pluviales debido al desborde y acumulación de agua que viene de las acequias y canales que rodean a la zona. Esta unidad abarca un área 147 ha, que representa el 10 % del total (Figuras 12 y 13).



Figura 12: Acequia en la Av. Parado de Bellido que bordea el A.H. Mercado Jarrín.



Figura 13: Coliseo Municipal de Mercado Jarrín, configura una zona inundable.

2.4.6. Lecho fluvial

Es el canal excavado por el flujo de agua de un río y los sedimentos que este transporta durante todo su desarrollo y evolución. La morfología del lecho depende del caudal, la pendiente, el tamaño del sedimento y de lo erosionable que sea el substrato rocoso; es decir, es producto de un equilibrio dinámico entre la carga de sedimentos y su capacidad de transporte. El lecho fluvial de los ríos Yapatera y Ñácara se desplazan con dirección noroeste-sureste y este-oeste respectivamente, en el trayecto el río Yapatera hacia la ciudad de Chulucanas presenta una pendiente de 0.05%, el ancho del cauce llega a medir entre 50 m y 100 m, haciendo meandros que van originando zonas inundables las cuales son utilizadas como áreas de cultivo en épocas de estiaje. Abarca un área de 48 ha, que representa el 3% del total (Figuras 14 y 15).



Figura 14: Lecho fluvial del río Yapatera, el cual ha desbordado ocasionando inundaciones en la margen derecha.



Figura 15: Lecho fluvial del río Yapatera que bordea al sector Micaela Bastidas.

3. GEOLOGÍA

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

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

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

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

3.1. Geología regional

El marco geológico regional de una ciudad es importante para comprender los procesos y eventos geológicos que ocurrieron a gran escala. Es así que, se recopiló la información geológica regional del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET, 1998) a escala 1: 100,000. En el boletín se describen las unidades litológicas aflorantes cuyas edades se encuentran desde el Ordovícico hasta el Cuaternario Reciente

3.1.1. Geología histórica

Según Reyes (1987), describe en el Boletín N° 39, que a fines del Cretáceo se produjo el primer levantamiento correspondiente a la “Fase Peruana” del Ciclo Andino, que dio como resultado el retiro de los mares de las cuencas mesozoicas. Este movimiento fue de naturaleza epirogénica, pero localmente compresiva. En el área de estudio se encuentra la Formación Yapatera como consecuencia de esta deformación.

Es probable que los plutones andinos más antiguos ascendieran siguiendo los lineamientos estructurales del noroeste del Perú, como efecto del incremento de la deformación de la flexión de Huancabamba.

En el Eoceno superior, se desarrolló la mayor parte de la deformación compresiva de la Tectónica Andina, donde cada una de las cuencas se deformó de forma particular, controladas por la morfología de los bloques emergidos los cuales jugaron un papel importante en el tectonismo.

Hay indicios que estos movimientos tuvieron dos fases compresivas, una de dirección este-oeste y otra noroeste-sureste, con esta fase orogénica la Flexión de Huancabamba logro su mayor deformación alcanzando la morfología actual.

A fines del Eoceno y principio del Oligoceno en la cuenca Sechura se depositaron sedimentos marinos correspondientes a la Formación Verdún.

Durante el Plio-pleistoceno, el Ciclo Andino tuvo su última manifestación volcánica a lo largo de la falla Huaypirá, emplazándose conos piroclásticos de la Formación Tambogrande. En el Pleistoceno, los procesos de desglaciación en la región cordillerana erosionaron y depositaron sedimentos en zonas bajas formando amplias llanuras aluviales.

En el Cuaternario, se depositaron grandes mantos de arena eólica en las llanuras costeras; y en las llanuras aluviales y fluviales, además de la formación de terrazas adyacentes a los ríos y las zonas de inundación.

3.2. Geología local

Consistió en el reconocimiento y cartografiado de las unidades litológicas aflorantes en la ciudad de Chulucanas a escala 1:12,500, que abarcó un área de 14 km² aproximadamente. A continuación, se describen estas unidades en la Tabla 3 y Figura 16.

Tabla 3: Columna cronolitoestratigráficas de la zona de estudio.

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS	SÍMBOLO	LITOLOGÍA
Cenozoico	Neógeno	Holoceno	Depósitos fluviales recientes	Q-fl	Gravas redondeadas con arenas bien graduadas de grano medio a grueso hacia las capas más profundas
			Depósitos fluviales	Qh-fl	Arenas arcillosas con contenido de limos y gravas redondeadas con pequeños lentes arenosos que se encuentran a lo largo de los ríos
			Depósitos aluviales	Qh-al	Conglomerados no consolidados con clastos redondeados envueltos en material de arena
Mesozoico	Cretácico	Superior	Volcánico La Bocana	Ks-vbs	Piroclastos volcánicos de testura variada, gneralmente sin estratificación ocasionalmente en capas sedimentarias o piroclastos finos

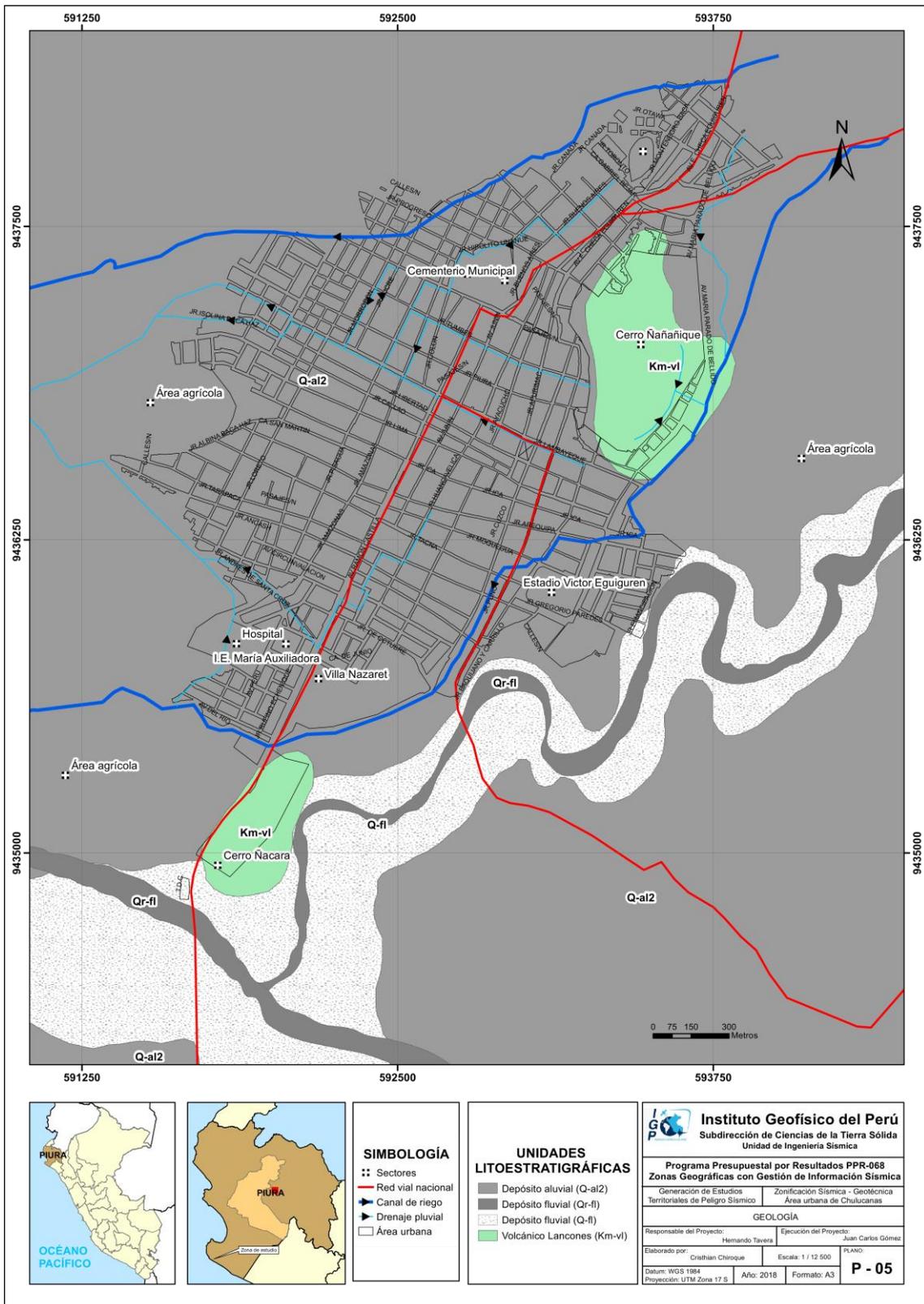


Figura 16: Mapa de geología local para la ciudad de Chulucanas y alrededores.

3.2.1. Volcánico Lancones (Km-vI)

Constituida por una secuencia de rocas de volcánicas conformadas por brechas piroclásticas andesíticas masivas cuyos bloques presentan grandes dimensiones. Los afloramientos de esta unidad se observan al ingresar a la ciudad en la carretera Piura-Chulucanas, conocido como cerro Ñácara y al noroeste como cerros Ñañañique y Loma Leonor (Figuras 17 y 18).



Figura 17: Afloramiento de andesitas con cobertura detrítica producto del fracturamiento de las rocas.



Figura 18: Bloque de andesita maciza de hasta 50 cm de diámetro en el sector denominado Loma Leonor.

3.2.2. Depósitos Cuaternarios

Suprayaciendo al sustrato rocoso conformado por rocas volcánicas, se encuentran los depósitos Cuaternarios de edad Holocena. Los depósitos que predominan en la zona de estudio son los aluviales y fluviales.

A. Depósitos aluviales (Qh-al): Es una capa compacta a semicompacta, constituida por arenas arcillosas con limos, además de lentes de arenas de grano medio, estos materiales son transportados y depositados a ambas márgenes de los ríos Yapatera o también conocido como río Chiquito, este ha modelado una extensa llanura sobre la cual se asienta la zona urbana de Chulucanas y las zonas de cultivo (Figuras 19 y 20). Estos materiales ocupan el 80% de la zona de estudio, aproximadamente 1150 has, el área urbana de la ciudad ocupa el 40%; mientras que, las zonas de cultivo se desarrollan en la mayor parte de esta.



Figura 19: Vista panorámica de la ciudad de Chulucanas y las zonas de cultivo a la periferia.

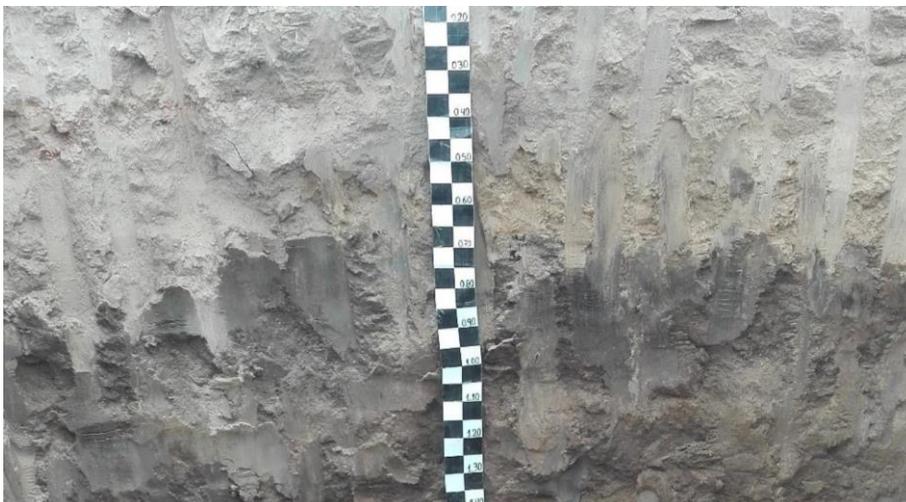


Figura 20: Capa compacta de arenas arcillosas de 1.5 m de espesor.

B. Depósitos fluviales (Qh-fl): Este tipo de depósitos conformados por bancos de arenas y gravas se distribuyen en los flancos de los ríos Yapatera y Ñácara; y han sido depositados y retrabajados por la dinámica de ambos ríos modelando zonas denominadas como llanuras de inundación. Estas zonas adyacentes a los cauces de los ríos son constantemente modeladas por la acción erosiva del agua en temporada de lluvias (Figura 21).



Figura 21: Capa de áreas gruesas saturadas de hasta 2 m de espesor.

C. Depósitos fluviales recientes (Q-fl): Los materiales de origen fluvial se encuentran en los lechos de los cauces de ríos que irrigan la ciudad de Chulucanas. La dinámica y características depositacional de los ríos Yapatera y Ñañañique se diferencian debido a la distancia que recorren hasta la zona de estudio, siendo el primero más corta; es decir, en el cauce y alrededores del río Ñañañique se han encontrado en mayor porcentaje depósitos de arenas finas y gruesas con escasa presencia de gravas, que podrían haberse depositado en secuencias más antiguas y encontrarse a mayor profundidad. Mientras que, en el curso del río Yapatera se han cartografiado gravas redondeadas con bancos de arenas de granulometría media a gruesa (Figuras 22 y 23).



Figura 22: Acumulación de gravas y arenas de grano medio a grueso en el cauce del río Yapatera.



Figura 23: Los depósitos de arenas se extienden hasta un ancho de 100 m aguas arriba.

4. GEODINÁMICA

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

Es importante recalcar que, analizar factores como la litología permite explicar el origen de los materiales que constituyen las geoformas (colinas, lomas, entre otras) y en las cuales se generan procesos como meteorización y erosión que contribuyen a la ocurrencia de eventos geodinámicos.

4.1. Procesos de geodinámica interna

Son transformaciones de la estructura interna de la Tierra en relación con los agentes (magmáticos, sísmicos y tectónicos). El territorio peruano está sometido a una constante actividad sísmica, debido a la subducción de la Placa de Nazca debajo de la Placa Sudamericana, considerada como la principal fuente sismogénica en el Perú, produciendo los eventos de mayor magnitud conocidos hasta el presente. Otra fuente, la constituye la deformación de la zona continental, que ha dado origen a la formación de fallas de diversas longitudes con la consecuente ocurrencia de magnitudes menores (Cahill & Isacks, 1992; Tavera & Buforn, 2001).

4.2. Procesos de geodinámica externa

Entre estos procesos se encuentran la meteorización (física o mecánica) y la erosión (fluvial, eólica y marina). Estos procesos aprovechan la fuerza de la gravedad; es decir, las rocas descienden algunos metros debido a desplazamientos masivos de terreno o son transportadas por medio de las corrientes fluviales hasta depositarse. En general, estos procesos, transportan materiales desde la parte alta de la cuenca hacia la parte baja de ésta.

Asimismo, estos procesos tienen como factores condicionantes: geomorfología (formas de relieve), litología (tipos de rocas y/o suelos) y estructuras geológicas (pliegues y disposición de estratos) que interactúan con los factores detonantes como sísmicos (sismicidad de la zona), climatológicos (incremento de las precipitaciones) y antrópicos (urbanismo, uso del suelo y construcción de vías de comunicación). Por otro lado, tal como se indicó anteriormente existen dos procesos descritos a continuación:

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

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

La acción por separado o en conjunto de los factores que dan origen a los procesos externos, favorecen a la ocurrencia de los eventos geodinámicos (Figura 24), los cuales se dividen según su origen en: fluvio-aluvial e hidro-gravitacional, descritos a continuación.

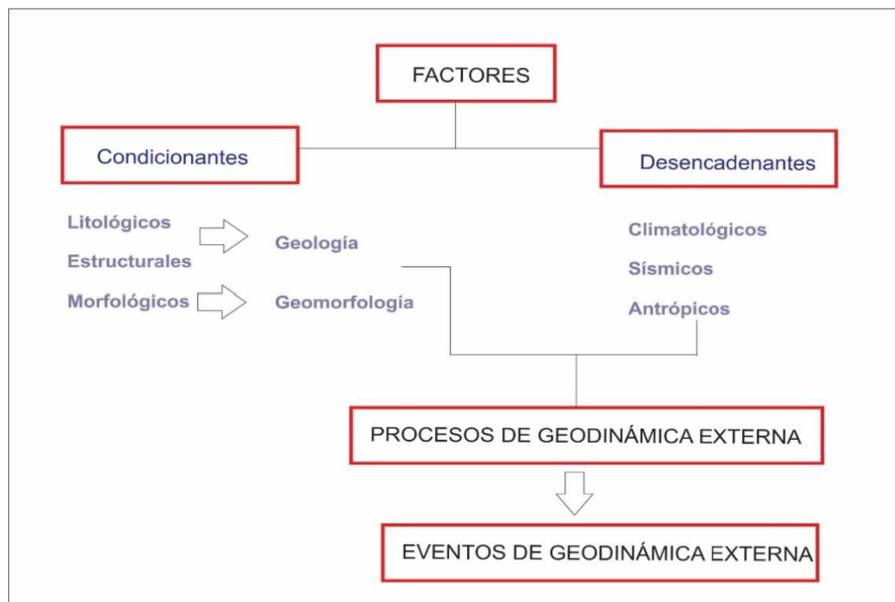


Figura 24: Factores asociados a procesos de geodinámica externa que contribuyen a la ocurrencia de eventos geodinámicos

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

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

Según su origen, los eventos geodinámicos que afectan a la ciudad de Chulucanas son: Inundaciones fluviales, pluviales y caída de rocas (Figura 25).

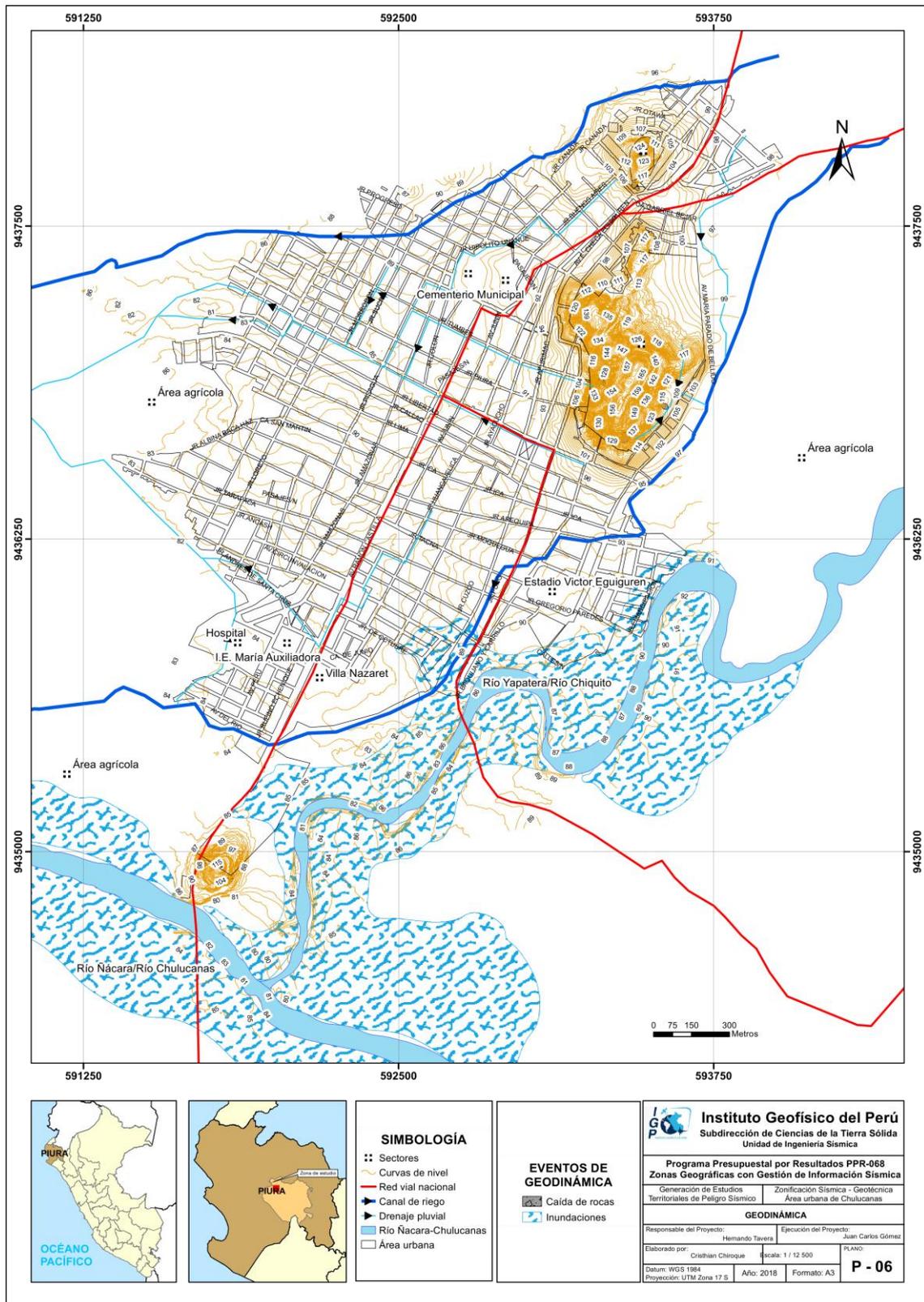


Figura 25: Mapa de eventos geodinámicos en la ciudad de Chulucanas y alrededores.

4.2.1. Inundaciones

Es un flujo relativamente alto que sobrepasa el canal natural por el cual discurre la escorrentía (Chow, 1956, 1994). Es el resultado del comportamiento de la cuenca hidrográfica en un período de incremento de precipitaciones. Es la ocupación ocasional de terreno por el agua de un río o una quebrada. Puede ocurrir en zonas litorales debido a tsunamis o la superposición de oleaje y las mareas, pero lo más frecuente son las inundaciones en el interior de los continentes, producidas por las aguas de escorrentía superficial (ríos, arroyos y torrentes); es decir, atribuida al incremento brusco del volumen de agua, denominado crecida (Adaptado de CENEPRED, 2013). Las inundaciones pueden ser consecuencia de varios factores naturales y humanos (Tarbuck, 2005).

Las inundaciones fluviales se producen en valles o llanura de inundación como el resultado del desbordamiento de las márgenes del canal o de diques artificiales, pueden intensificarse por factores asociados con la cuenca de drenaje, los canales y su red (Patton, 1988) o a la duración e intensidad de la precipitación, que por lo regular exceden a la capacidad de infiltración del terreno, por ello la escorrentía aumenta rápidamente. Las inundaciones producen la mayor parte de las pérdidas humanas y materiales (Burton et al, 1978).

Cuando las lluvias superan el promedio normal de precipitación (mayor al 50%) de una zona se le denominan lluvias extraordinarias o tormenta extrema. Estas al desarrollarse generan crecidas causando inundaciones de las áreas circundantes al río, esta anomalía es conocida como un evento hidrometeorológico, ver Figura 26.

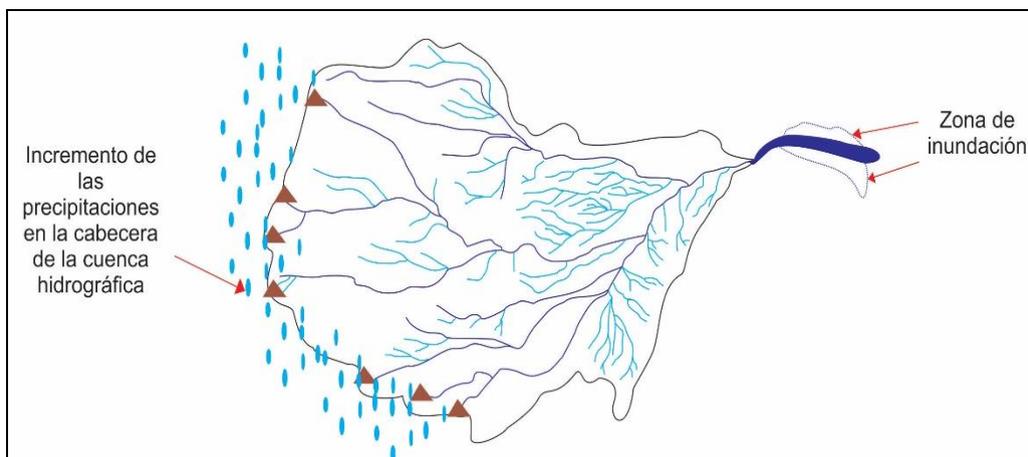


Figura 26: Inundación por incremento de las precipitaciones en la cabecera de la cuenca hidrográfica.

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

Inundación fluvial: Las inundaciones registradas en la ciudad de Chulucanas han sido debido al desborde del río Yapatera en la margen derecha y que afecta principalmente al Pueblo Joven Ñácara y al sector Santa Rosa (Figura 27).



Foto 27: Zona de inundación en el sector Santa Rosa en la margen derecha del río Yapatera.

El último evento registrado fue el 24 de febrero del 2017 durante el Niño Costero, el nivel de inundación fluvial fue de 0.30 m aproximadamente, el flujo de agua ingreso desde la calle Leoncio Prado hasta el Jr. Gregorio Paredes afectando 4 calle y más de 50 viviendas del sector Santa Rosa (Figuras 28, 29 y 30).



Foto 28: La altura que alcanzó el agua es de 25 cm e ingreso a las viviendas construidas en mayor porcentaje de quincha y caña.



Foto 29: Luego de la inundación del mes de febrero del 2017 se construyeron muros de roca y tierra de hasta 1.5 m de alto.



Foto 30: Imagen que registra la altura que alcanzó el agua en la inundación del 24 de febrero del 2017.

Inundación pluvial: Es la acumulación de agua proveniente de las precipitaciones, la escorrentía o por el desborde de las acequias y drenes que se generan en las zonas que presentan depresiones en el terreno. Los sectores que son afectados por este tipo de inundación son: el A.H. Luis de la Puente Uceda y PJV. Mercado Jarrín (Figuras 31, 32 y 33). El tirante de agua alcanzada en el evento del 24 de febrero y días posteriores fue de 0.20 cm a 0.45 cm.



Figura 31: Coliseo Municipal del A.H. Mercado Jarrín el flujo de agua que se desborda de las acequias y canales se desplaza de norte a sur.



Figura 32: Drenaje colmatado que reduce la capacidad en desborde por lluvias intensas.



Figura 33: La acequia presenta un fondo de cauce menor a 60 cm, siendo constantemente colmatado por acción principalmente antrópica.

Se debe destacar que, los sectores Mercado Jarrín y Luis de La Puente Uceda, están asentados sobre una superficie plana con pendientes muy bajas en donde se acumula el agua cuando el drenaje alcanza su capacidad límite. Asimismo, Wyllie & Norrish, (1996), indican como causas de la caída de roca: la lluvia, la fractura de la roca, el viento, la escorrentía, la infiltración, las fracturas planares, la erosión, las raíces de los árboles, fuentes de agua superficial, la descomposición del suelo, los sismos, los cortes de las vías, la explotación de materiales, el uso de explosivos, las vibraciones de la maquinaria, los vehículos y las diversas actividades antrópicas.

4.2.2. Caída de rocas

Es resultado del debilitamiento de la masa de roca, debido a la fragmentación y a la ausencia de soporte lateral, produciendo un deterioro en la estructura del talud por la acción de la meteorización. En este caso se forman prismas o pequeñas placas con dimensión mínima de 50 mm, que caen por gravedad (Figura 34).

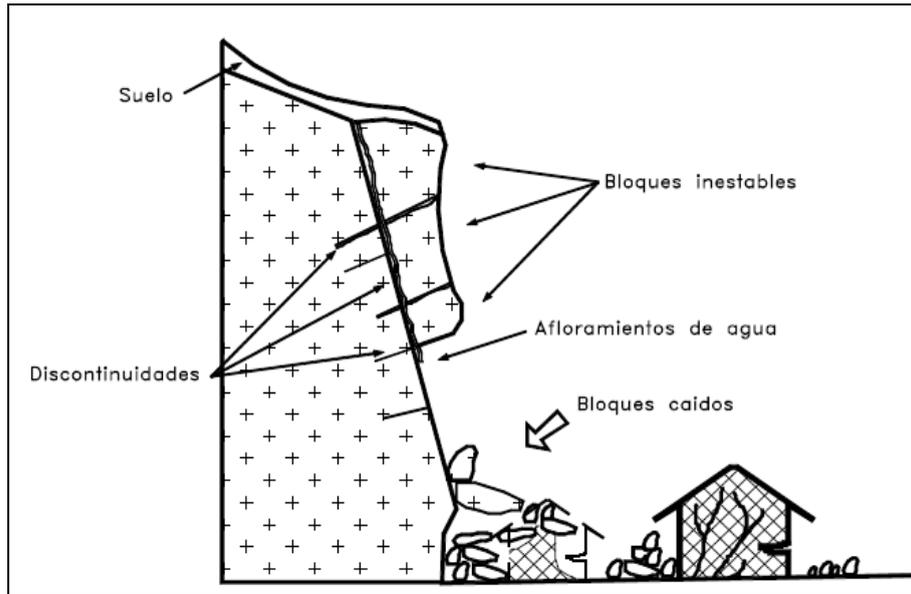


Figura 34: Proceso de caída de rocas. Fuente: Suarez, (1998).

En la ciudad de Chulucanas, la caída de rocas ocurre en las laderas de los cerros Ñácara y Ñañañique. En este tipo de evento, los clastos o fragmentos de rocas que se encuentran en estado de equilibrio límite, se desprenden de la ladera, como resultado de procesos de erosión y meteorización, ya sea de origen natural tales como sismos o factores antrópicos (construcción de vías de acceso o viviendas que desestabilizan las laderas de las lomas), ver Figura 35.

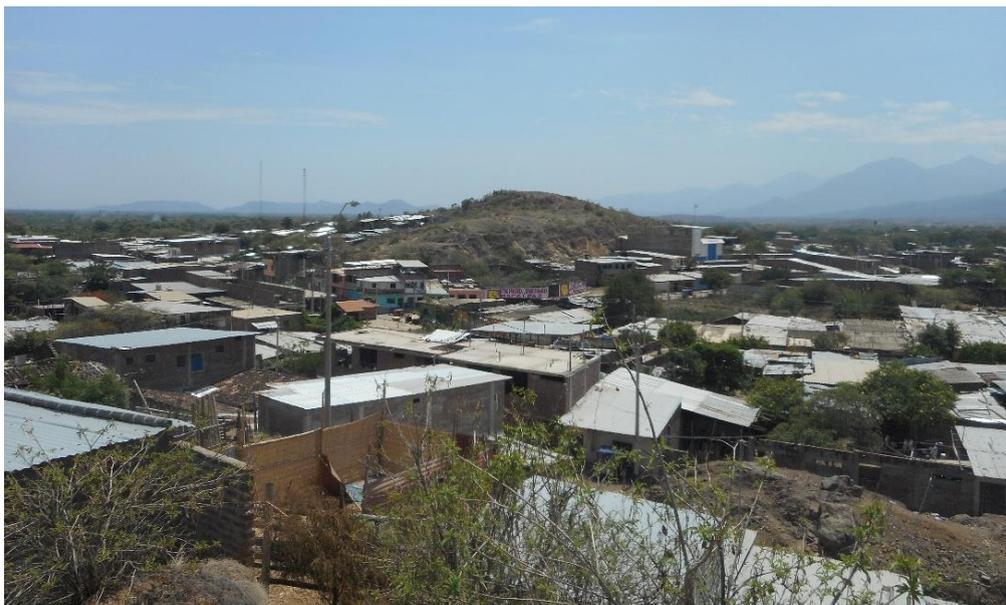


Foto 35: Sector conocido como Loma Leonor, en el A.H. Mercado Jarrín con afloramientos de rocas fracturadas que ocasionan caída de rocas.

En la zona de estudio se identificaron en las laderas de las montañas conocidas en la ciudad de Chulucanas como Cerro Ñácara, Cerro Ñañañique y Loma Leonor que rodean la zona urbana de la ciudad, ver Figuras 36 y 37.



Figura 36: Estos afloramientos de rocas han sido modificados en el tiempo con el fin de seguir construyendo viviendas.



Figura 37: Las viviendas se ubican muy cerca al talud de los cerros lo que ocasiona que sean afectadas por las caídas de clastos y bloques de rocas.

5. ASPECTOS GEOTÉCNICOS

Los suelos son materiales inconsolidados conformados por minerales, materia orgánica, agua y aire entre sus poros, que se generan a partir de la alteración de la roca madre por agentes atmosféricos, erosionándola y formando una cobertura de variado espesor de sedimentos, que posteriormente han sido transportados y redepositados en las partes bajas de las cuencas hidrográficas, sobre los cuales se asientan las áreas urbanas. En geotecnia para clasificar los tipos de suelos se hace uso del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) para determinar las características granulométricas; mientras que, la capacidad de carga admisible de los materiales (arcillas, limos, arenas, gravas y clastos) se encuentra condicionada a las características litológicas de las rocas pre-existentes y la dinámica con que fueron depositados. En el diagrama líneas abajo se indica el origen de los suelos (Figura 38).

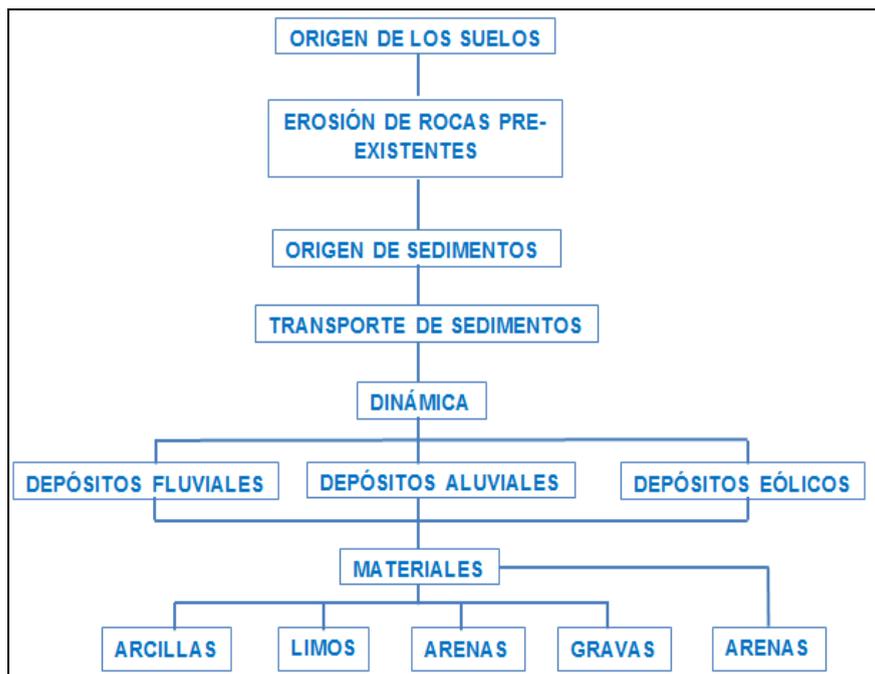


Figura 38: Diagrama del origen de los suelos.

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

En la ciudad de Chulucanas, se realizó el estudio geotécnico que consistió en la elaboración de 10 calicatas, 05 densidades de campo, 10 posteos y 10 ensayos de penetración dinámica ligera (DPL). La distribución espacial de estos estudios se muestra en la Figura 39. Asimismo, de las calicatas se extrajeron diez (10) muestras de las cuales tres (03) fueron enviadas al laboratorio de suelo y las otras siete (07) se analizaron en el IGP, con el fin de realizarles ensayos geotécnicos como: granulometría, plasticidad, corte directo y el cálculo de la capacidad portante de los suelos, a continuación se detallan los mismos:

5.1. Exploraciones a cielo abierto (calicatas, norma ASTM D 420)

Es un método de exploración directo que consiste en realizar una excavación en el terreno para la observación del suelo a cierta profundidad (aproximadamente 3.00 m.), a fin de describir los estratos que lo conforman, así como, extraer muestras para la realización de ensayos y análisis.

Las excavaciones fueron realizadas en puntos con las siguientes coordenadas UTM, ver Tabla 4 y Figura 39.

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

Calicata	UTM Norte (m)	UTM Este (m)	Elevación (m.s.n.m.)	Prof. (m)	Nivel Freático (m)	Referencia
CA-01CH	9437253	592769	88	3.00	N.P	Estadio Miguel García Esteves
CA-02CH	9437687	592408	89	3.10	N.P	AA.HH Pilar Nores
CA-03CH	9436628	591612	83	2.90	N.P	Villa Las Mercedes
CA-04CH	9437817	594229	98	3.20	3.00	Carretera a Chapica
CA-05CH	9436020	592033	84	2.90	N.P	Jr. Andrés de Sta Cruz - Jr. Amazonas
CA-06CH	9435565	591342	84	2.80	N.P	Sector Bate Manrique
CA-07CH	9436493	593290	97	2.80	N.P	Campo Ferial - I.E Isolina Baca
CA-08CH	9435843	592980	90	3.00	N.P	Fundo San Martín
CA-09CH	9436023	592320	85	3.10	3.00	AA.HH Micaela Bastidas
CA-10CH	9434443	591702	85	3.20	N.P	Carretera a Piura

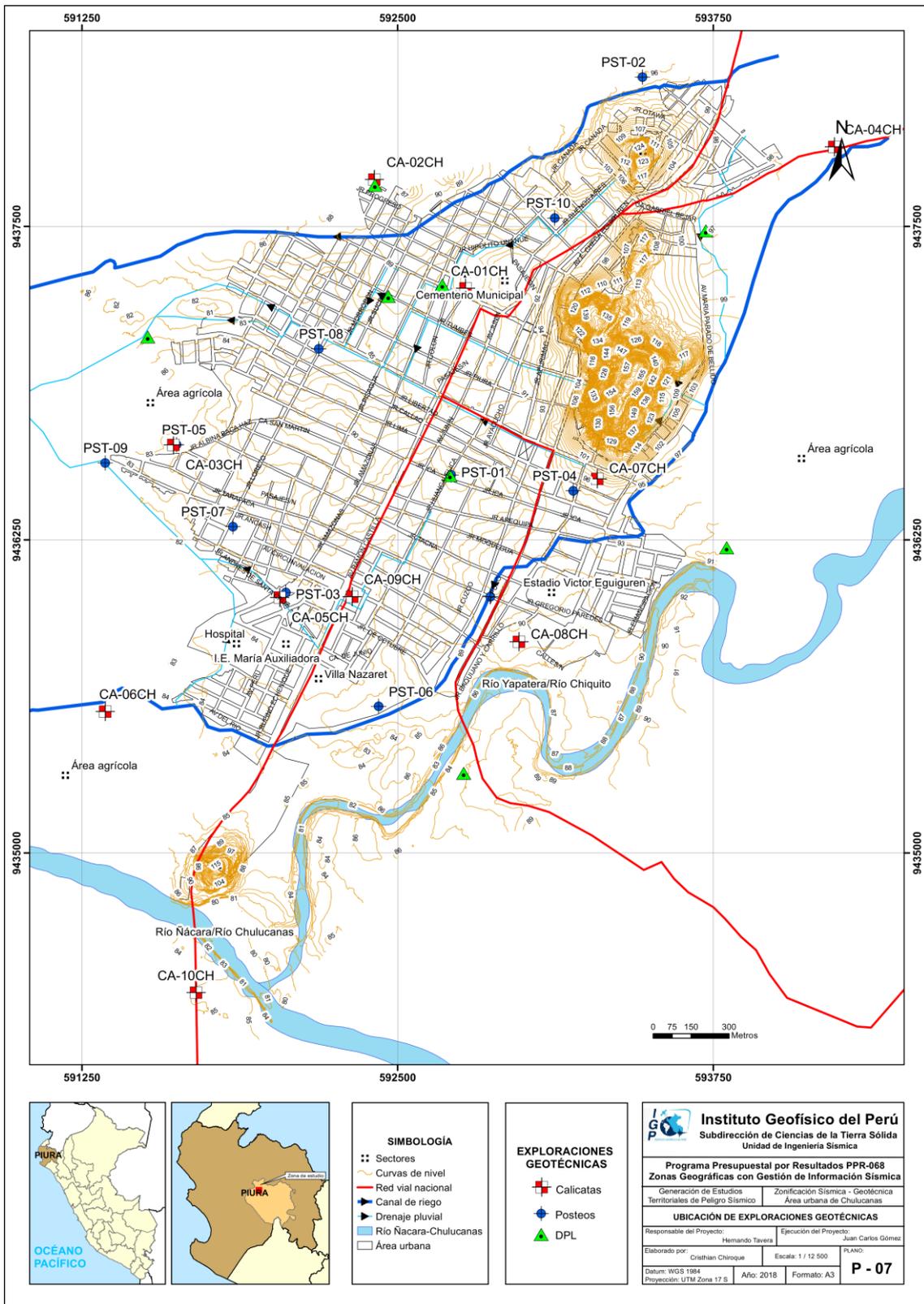


Figura 39: Mapa de distribución de calicatas, posteos y DPL en la ciudad de Chulucanas y alrededores.

Cabe mencionar que, la profundidad de investigación promedio fue de 3.00 m., debido a que los sedimentos y materiales encontrados están conformados por arenas arcillo limosas con nivel freático superficial como es el caso de las calicatas CA-04 y 09CH, de compactación media a baja.

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

Este método permite conocer la densidad o peso unitario de los suelos in situ con cierto grado de compactación natural. Consiste en extraer material del suelo, a través de un orificio de 10 cm de profundidad realizado en el interior de la calicata, a fin de obtener una relación entre la masa de éste y el volumen conocido que ocupa la arena calibrada del cono de densidad.

En cada estrato muestreado se debe llevar a cabo un ensayo de densidad de campo, haciendo uso del método del cono de arena, a fin de obtener el grado de compactación o consistencia y el contenido de humedad del suelo en condiciones naturales, en otros casos para obtener el grado de compactación. Esta información es necesaria para desarrollar los ensayos de corte directo, sin embargo, este ensayo no es aplicable en suelos que contengan cantidad excesiva de roca o materiales gruesos de diámetro mayor a 1 ½ pulgada (38 mm).

A continuación, en la Tabla 5 se presentan los resultados obtenidos para las densidades in situ (10 calicatas) a partir de la aplicación del método del cono de arena. Las fichas de densidad elaboradas se adjunta en los Anexos.

Tabla 5: Resultado de densidades in – situ.

Calicata	Muestra	Prof. (m)	Densidad Húmeda (gr/cm ³)	Densidad Seca (gr/cm ³)	Contenido de Humedad (%)
CA-01CH	DC-CH-01	3.00	1.53	1.38	3.00
CA-02CH	DC-CH-02	3.10	1.60	1.42	3.10
CA-03CH	DC-CH-03	2.90	1.29	1.12	2.90
CA-04CH	DC-CH-04	3.20	1.57	1.32	3.20
CA-05CH	DC-CH-05	2.90	1.40	1.33	2.90
CA-06CH	DC-CH-06	2.80	1.41	1.22	2.80
CA-07CH	DC-CH-07	2.80	1.70	1.42	2.80
CA-08CH	DC-CH-08	3.00	1.54	1.34	3.00
CA-09CH	DC-CH-09	3.10	1.62	1.50	3.10
CA-10CH	DC-CH-10	3.20	1.81	1.65	3.20

Según los resultados obtenidos de la densidad de campo y laboratorio, los suelos en la ciudad de Chulucanas presentan rangos de densidad entre 1.22 – 2.27 gr/cm³; es decir, los materiales identificados en las calicatas corresponden a arenas pobremente graduadas muy sueltas, para lo cual se toma como referencia los valores de la Tabla 6.

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

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

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

Se define posteadora como un barreador manual en forma de "T" que permite realizar sondeos exploratorios (perforaciones) en suelos blandos (arcillas y arenas) hasta una profundidad de 5 a 6 m, a fin de obtener muestras de suelo. Las muestras extraídas se obtienen trituradas y completamente alteradas; sin embargo, sirven para reconocer el tipo de suelo y contenido de humedad que presenta. Es importante indicar que, la posteadora presenta restricciones en suelos con presencia de gravas y gravillas (las cucharas saca muestras se entranpan con este tipo de suelos).

Estas exploraciones fueron realizadas entre los puntos de las calicatas, tratando de cubrir el área de estudio o en los lugares donde no existía información geotécnica para obtener una mejor zonificación de los suelos de la ciudad de Chulucanas.

A continuación, en la Tabla 7 se muestra los resultados obtenidos y para mayor detalle, ver las fichas que se adjunta en los Anexos.

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

POSTEO	UTM NORTE (m)	UTM ESTE (m)	ELEVACIÓN (m.s.n.m.)	PROF. (m)	TIPO DE SUELO	NIVEL FREÁTICO ENCONTRADO A (m)
POST-01	9436509	592712	88.5	2.60	SM	N.P
POST-02	9438095	593469	96.5	0.30	SM	N.P
POST-03	9436040	592057	83.5	0.80	SM	N.P
POST-04	9436445	593195	93.5	0.60	SM	N.P
POST-05	9436629	591624	83.5	0.70	SM	N.P
POST-06	9435586	592425	86.5	1.35	SP	N.P
POST-07	9436302	591848	83.5	0.60	SM	N.P
POST-08	9437011	592188	84	1.10	SP	N.P
POST-09	9436556	591342	82	1.20	SP	N.P
POST-10	9437533	593122	91.5	0.40	SM	N.P
POST-11	9436023	592867	91	0.50	SM	N.P

5.4. Ensayo de penetración dinámica ligera (DPL, norma DIN4094)

El DPL es un equipo de campo de registro continuo dónde se contabiliza y registra el “N”, que es el número de golpes dados por un martillo de 10 kg. Este martillo se deja caer por gravedad desde una altura de 0.50 m., medida en la parte superior del tambor de acero, para profundizar tramos cada 10 cm. a través de una punta cónica de 60° que se encuentra en el extremo inferior. Este ensayo permite estimar el ángulo de fricción de suelos específicos, que ayudarán a calcular mediante fórmulas empíricas la capacidad portante (resistencia al corte) de los suelos en kg/cm^2 , además, se puede tener las propiedades de compacidad de los suelos.

La ventaja del instrumento es que es un equipo muy práctico y se puede transportar fácilmente.

Se hace mención que, este ensayo es aplicable en terrenos arenosos, arenarcillosos y limo arenoso, no recomendable a utilizarse en gravas, fragmentos gruesos, conglomerados y terrenos rocosos.

En la Tabla 8, se indica las coordenadas de los puntos en donde se realizaron los ensayos de penetración dinámica ligera (DPL) dentro de la ciudad de Chulucanas. El número de golpes y el ángulo de fricción interna fueron calculados en base a los parámetros de compacidad (correlación del valor de N) establecida por Terzaghi y Peck (1973) y de densidad relativa, obtenidos según la fórmula de Meyerhof (1956).

$$\Phi = 25^\circ + 0.15 * Dr$$

Dónde:

Φ = Ángulo de fricción interna

Dr=Densidad relativa

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

DPL	UTM Este (m)	UTM Norte (m)	Elevación (m.s.n.m.)	Profundidad Total (m)	Número de golpes	Φ
DPL-01	593803	9436219	91.5	0.50	45	37.2
DPL-02	592410	9437665	87	2.87	46	37.8
DPL-03	592761	9435319	87	2.70	45	37.6
DPL-04	593720	9437482	97.5	1.06	44	37.4
DPL-05	592677	9437267	87	0.40	45	37.6
DPL-06	592463	9437221	87.5	0.40	44	37.6
DPL-07	591510	9437059	83.5	2.10	44	37.4
DPL-08	592707	9436507	88.5	2.60	45	37.6

En los ensayos de DPL se han logrado alcanzar una profundidad entre 0.50 y 2.80 m., en los DPL 01, 05 y 06 sólo se penetró 0.50 m. debido a la presencia de capas compactas y materiales granulares, conformados por gravas subangulosas.

Asimismo, la profundidad alcanzada a través de la elaboración de estos ensayos permitió inferir que los suelos ubicados en gran parte del área urbana de Chulucanas presentan consistencia media (DPL-02, 03, 04, 07 y 08).

5.5. Clasificación de suelos SUCS (Norma - ASTM D- 4827)

En base a la información geotécnica recopilada de las calicatas, posteos y DPL, realizados en la ciudad de Chulucanas, los resultados obtenidos de los ensayos granulométricos y de plasticidad realizados en el laboratorio de suelos de una empresa particular y el IGP, se ha identificado 04 tipos de suelos, los mismos que han sido agrupados haciendo uso del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

Los suelos identificados en la ciudad de Chulucanas fueron zonificados considerando un nivel de suelo a 1.00-1.20 m de profundidad, ver Tabla 9 y Figura 40.

Tabla 9: Clasificación SUCS de los suelos para la ciudad de Chulucanas.

Calicata	Profundidad (m)	Nivel Freático a (m)	Gravas % (>4.76 mm)	Arenas % (>0.074 mm, <4.76 mm)	Finos % (<0.074 mm)	Límite Líquido (%)	Límite Plástico (%)	Índice Plástico	Contenido de Humedad (%)	Clasificación SUCS	DENOMINACIÓN
CA-01CH	3.00	N.P.	0.00	80.18	19.8	N.P.	N.P.	N.P.	2.18	SM	Arena limosa
CA-02CH	3.10	N.P.	0.00	76.7	23.32	N.P.	N.P.	N.P.	1.29	SM	Arena limosa
CA-03CH	2.90	N.P.	0.00	97.30	2.69	N.P.	N.P.	N.P.	5.00	SP	Arenal mal graduada
CA-04CH	3.20	3.00	0.00	96.4	3.62	N.P.	N.P.	N.P.	20.00	SM	Arena limosa
CA-05CH	2.90	N.P.	0.00	78.0	22.04	N.P.	N.P.	N.P.	4.12	SC	Arena arcillosa
CA-06CH	2.80	N.P.	0.00	71.03	29.0	N.P.	N.P.	N.P.	6.10	SM	Arena limosa
CA-07CH	2.80	N.P.	9.5	87.42	3.1	N.P.	N.P.	N.P.	2.78	SM	Arena limosa
CA-08CH	3.00	N.P.	5.4	79.9	14.6	N.P.	N.P.	N.P.	1.20	SM	Arena limosa
CA-09CH	3.10	3.00	0.00	94.36	5.6	N.P.	N.P.	N.P.	20.00	SP	Arena mal graduada
CA-10CH	3.20	N.P.	0.00	86.44	13.6	N.P.	N.P.	N.P.	4.00	SM	Arena limosa

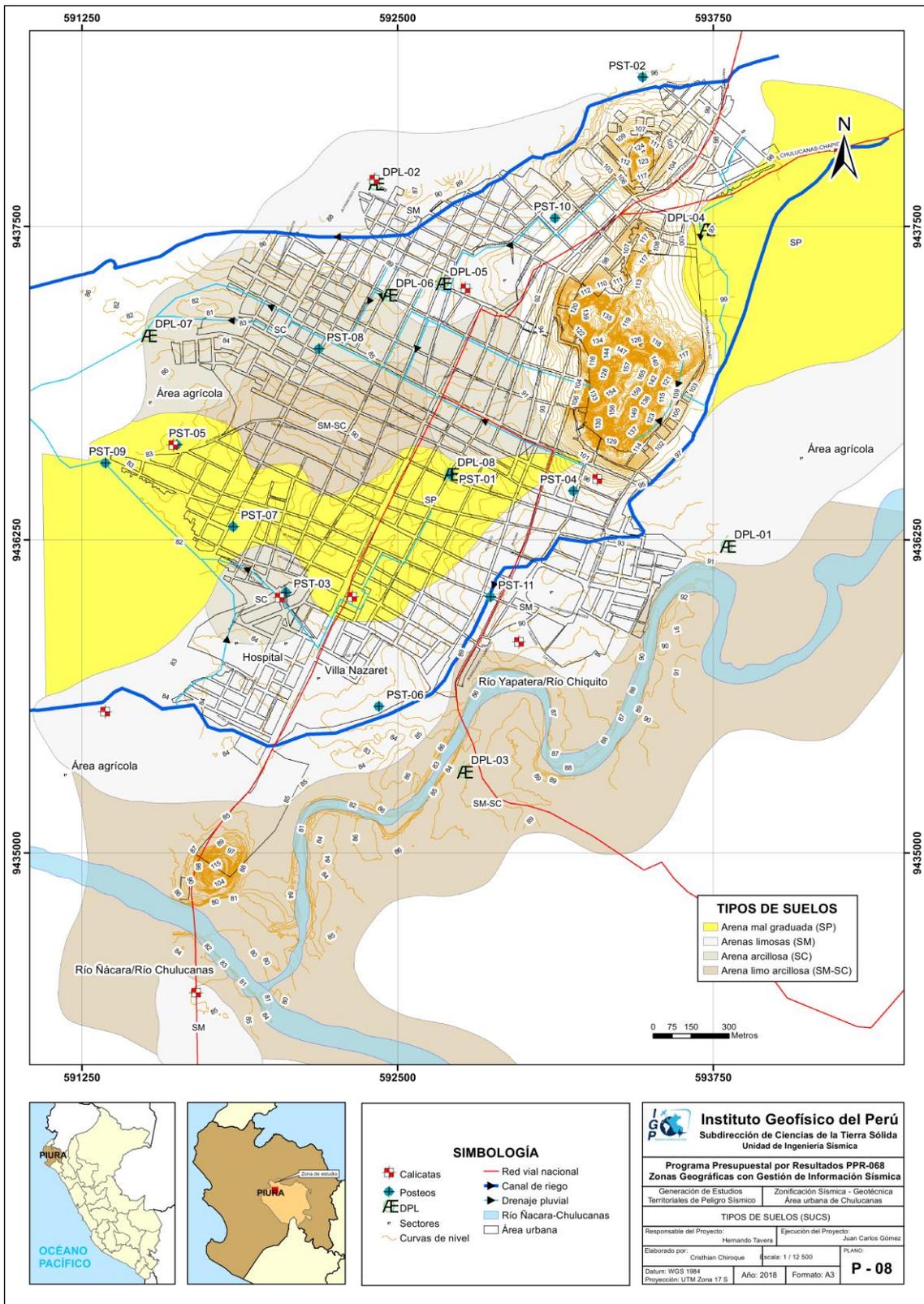


Figura 40: Mapa de clasificación SUCS para los suelos de la ciudad de Chulucanas y alrededores.

Suelo tipo SP: Arena mal graduada con gravas y gravillas con contenidos de humedad entre 10 y 15%, constituyen suelos semicompactos, no presentan plasticidad (debido a la escasa presencia de material fino). Abarcan el 25% de la zona de estudio principalmente en el Sector 4, entre las calles Tacna, Tarapacá y Av. Ramón Castilla (calicatas C-04, 03 y 09); y posteos (P-01, P-07, POST09).

Suelo tipo SM: Arena con limo con contenido de humedad menor a 5%, por lo cual se considera que su capacidad de retención (permeabilidad) es baja. Son suelos semicompactos y no presentan plasticidad. Estos suelos se reconocen en el AA.HH. Pilar Nores, Cementerio Municipal, Villa Nazaret, PJ Vate Manrique, Estadio Víctor Eguiguren y Ampliación Micaela Bastidas (calicatas C-01, C-02, C-06 y C-08; y posteos P-06, P-10 y P-11) ocupando el 30% del área de estudio.

Suelo tipo SC: Se encuentran conformados por arenas arcillosas, de color beige a blanco y plasticidad media. Presentan gravillas angulosas a subredondeadas, humedad baja, plasticidad media y compacidad relativa media. Se han identificado en el PJ. Consuelo de Velasco, Ciudad de Chulucanas Sectores 2 y 3.

Suelo tipo SM – SC: Estos suelos están conformados por arenas limo arcillosas, de color beige a marrón y plasticidad media. Presentan gravillas angulosas a subredondeadas, humedad media y compacidad relativa media. Se ha identificado entre el Ca. Arequipa con Amazonas y Jr. Lorero con Ca. Lima.

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

La finalidad de este ensayo es determinar la resistencia al esfuerzo corte de una muestra de suelo, sometida a fatigas y/o deformaciones (esfuerzos verticales y horizontales) que simulen la que existe o existiría en el terreno producto de la aplicación de una carga. Esta resistencia al corte en los suelos se debe a dos componentes: la cohesión (comportamiento plástico que presentan las partículas finas de una muestra) y el ángulo de fricción interna (rozamiento que existe en las partículas granulares).

Los valores finales de la capacidad portante de los suelos en la localidad de Chulucanas han sido basados en datos del laboratorio contratado, corroborados con datos teóricos de los parámetros de fricción y cohesión de Terzaghi e información de DPL realizados en campo, haciendo uso las fórmulas de falla general o local según el tipo de suelo.

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

Es la máxima presión ejercida por una cimentación transmitida a un suelo sin que en este se produzcan asentamientos excesivos es decir que dicha presión de la cimentación no sea mayor a la admisible, manteniendo el mismo factor de seguridad especificado en la Norma E.050 de diseño de cimentaciones. Los resultados para la capacidad portante de carga admisible para las muestras de suelos extraídos en la ciudad de Sechura, se presentan en la Tabla 10.

Tabla 10: Capacidad de carga admisible de 10 muestras de suelos extraídos en la ciudad de Chulucanas (criterio de falla general y local).

MUESTRA	Capacidad de carga última (kg/cm ²)	Capacidad de carga admisible (kg/cm ²)	Tipo de Corte	Capacidad de carga última (kg/cm ²)	Capacidad de carga admisible (kg/cm ²)	Tipo de Corte
CA-01CH	0.82	0.27	F.L	1.13	0.38	F.L
CA-02CH	0.54	0.18	F.L	0.78	0.26	F.L
CA-03CH	0.67	0.22	F.L	0.91	0.30	F.L
CA-04CH	0.56	0.19	F.L	0.80	0.27	F.L
CA-05CH	0.64	0.21	F.L	0.91	0.30	F.L
CA-06CH	0.74	0.25	F.L	1.01	0.34	F.L
CA-07CH	0.64	0.21	F.L	0.92	0.31	F.L
CA-08CH	0.81	0.27	F.L	1.15	0.38	F.L
CA-09CH	0.52	0.17	F.L	0.75	0.25	F.L
CA-10CH	0.66	0.22	F.L	0.95	0.32	F.L
DIMENSIONES DE CIMENTACIÓN	Profundidad: 1.00 m y ancho:1.00m			Profundidad: 1.50 m y ancho:1.00m		

Según los valores del ángulo de fricción corregido mediante la correlación del “N” del DPL en función al del SPT y los datos de cohesión de los suelos se determinó las capacidades portantes de los suelos investigados. Solo para los DPL que llegaron a una profundidad de cimentación de 1.00 y 1.50m y un ancho de zapata de 1.00 m (Tabla 11).

Tabla 11: Capacidad de carga admisible (criterio de falla general y local) en base al ángulo de fricción corregido del N del DPL vs SPT y cohesión obtenida del ensayo de Corte directo.

ENSAYO	Capacidad de carga última (kg/cm ²)	Capacidad de carga admisible (kg/cm ²)	Tipo de corte	Capacidad de carga última (kg/cm ²)	Capacidad de carga admisible (kg/cm ²)	Tipo de corte
DPL-02	1.28	0.43	F.L	1.71	0.57	F.L
DPL-03	1.04	0.35	F.L	1.40	0.47	F.L
DPL-04	1.09	0.36	F.L	1.48	0.49	F.L
DPL-07	1.16	0.39	F.L	1.56	0.52	F.L
DPL-08	1.26	0.42	F.L	1.71	0.57	F.L
DIMENSIONES DE CIMENTACIÓN	Profundidad: 1.00 m y ancho:1.00			Profundidad: 1.50 m y ancho:1.00		

De los resultados citados anteriormente se ha determinado que los suelos de la ciudad de Chulucanas presentan capacidades portantes muy bajas ($< 1.00 \text{ kg/cm}^2$) y bajas ($1.00\text{-}2.00 \text{ kg/cm}^2$) a 1.00-1.20 m de profundidad, clasificándolos según la Tabla 12.

Tabla 12: Rangos de capacidad de carga admisible.

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

5.6.2. Tipos de capacidad de carga admisible

En el área de estudio se han determinada los siguientes tipos de capacidades portantes admisibles (Figura 41):

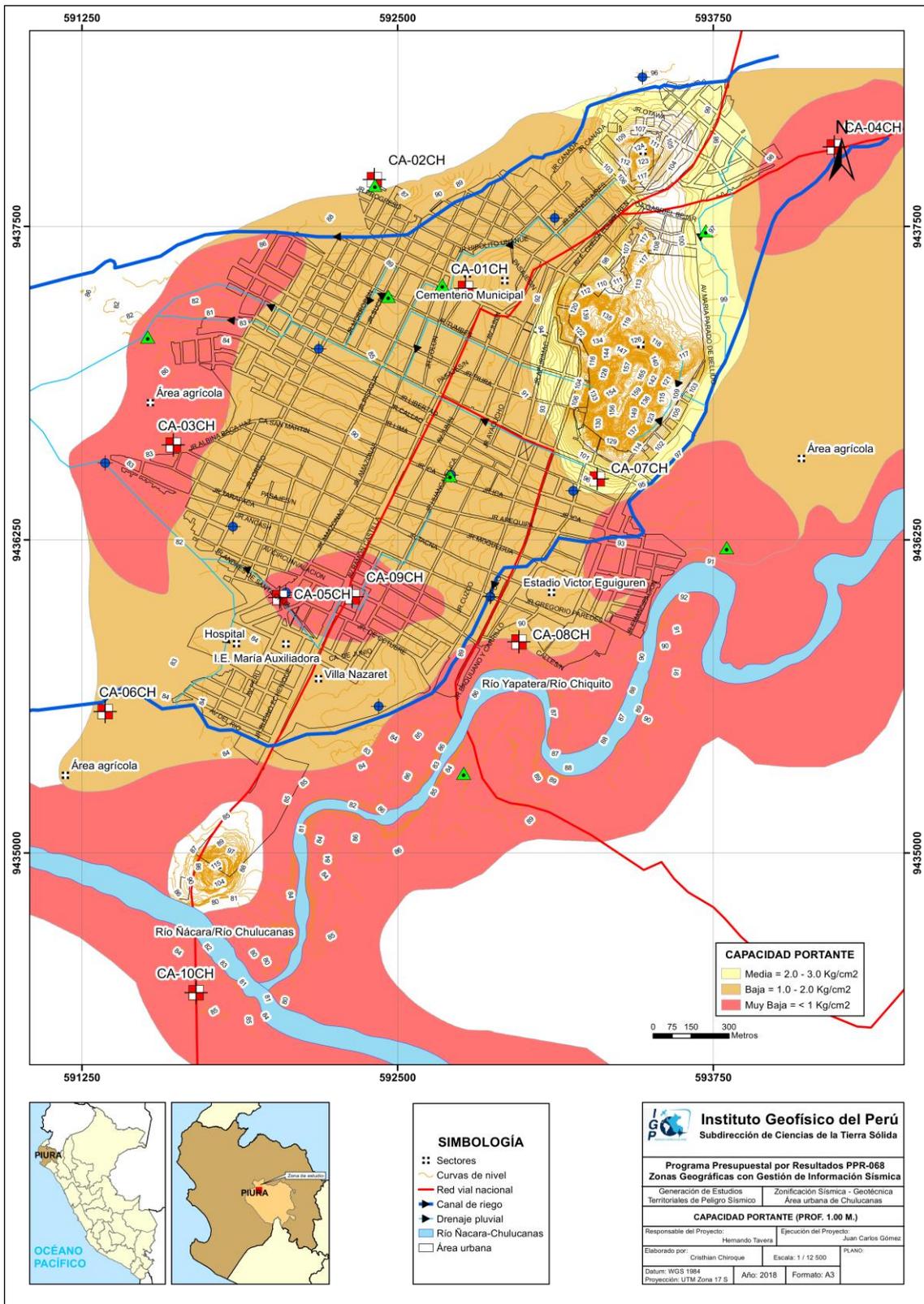


Figura 41: Mapa de capacidad de carga admisible a una profundidad de 1 metro para la ciudad de Chulucanas y alrededores.

A.- Capacidad de carga admisible muy baja: Comprende rangos de capacidad de carga admisible menores a 1.00 y corresponden al tipo de suelo arena limo arcilloso (SM-SC), arena arcillosa (SC), presente en el P.J. Mercado Jarrín salida a la carretera a Chapica, AA.HH. Luis de La Puente Uceda, P.J. Consuelo de Velasco, José Carlos Mariátegui, P.J, Micaela Bastidas con referencia a las Av. Ramón Castilla y Av. Circunvalación. Se debe resaltar que en la calicata CA-09CH se identificó que el nivel freático se encuentra 3 m de profundidad, pero los suelos húmedos están presentes por debajo de 1.5 m de profundidad.

Se ha establecido una franja de 200 a 300 m a lo largo del río Chiquito, debido a la existencia de suelos conformados por arenas saturadas con porcentajes de humedad mayor a 25%.

B.- Capacidad de carga admisible baja: Comprende rangos de capacidad de carga admisible entre 1.00 - 2.00 kg/cm², corresponde al tipo de suelo arena limoso con gravillas. Estos estratos se han identificado hasta los 1.50 m de profundidad, se presentan bien compactos.

Estos suelos abarcan gran parte de la ciudad de Chulucanas, ocupando más de 50 % del área total: sectores CP. Chulucanas Sector I, II, IV, V, y Centro. Presentan una compacidad relativa media y una capacidad portante admisible media.

C.- Capacidad de carga admisible media: Comprende rangos de capacidad de carga admisible entre 1.00 - 2.00 kg/cm², que corresponden al tipo de suelo arena limoso con gravillas y gravas. Estos estratos se han identificado hasta los 1.50 m de profundidad, se presentan bien compactos. Generalmente, estas zonas se ubican adyacentes a las montañas o elevaciones como el Cerro Ñañañique, en donde la erosión a transportado y depositado materiales medianamente gruesos.

Estos suelos abarcan el 10% de la ciudad de Chulucanas, distribuido en los sectores AA.HH. Nuevo Amanecer, CP. Chulucanas Sector III y próximos, a la ladera del cerro Ñañañique.

CONCLUSIONES

- Según el cartografiado geomorfológico local realizado en la ciudad de Chulucanas se determinó que existen 06 unidades geomorfológicas, de las cuales se corroboró en campo que el 40% de la zona urbana se asienta sobre una llanura aluvial, el 10% sobre terrazas fluvio aluviales, 15% sobre laderas de montañas, 15% colinas y 10 sobre lomas y el lecho fluvial de los ríos Ñácara y Yapatera.
- El sustrato rocoso de la ciudad de Chulucanas está conformado por piroclastos volcánicos de la Formación Lancones distribuidos al sur y norte de la ciudad, representando los cuerpos más elevados de la geomorfología en los cerros Ñañañique y Ñácara; mientras que, los depósitos del Cuaternario están conformados por materiales aluviales y fluviales, y es en donde se asienta gran parte del área urbana.
- La geodinámica en la ciudad de Chulucanas está representada por caídas de rocas que se desarrollan en las laderas de los cerros Ñácara y Ñañañique debido a dos factores principales, por el fracturamiento de las rocas aflorantes en la zona y por el factor antrópico, que interviene en las laderas y taludes
- Los ensayos geotécnicos permitieron identificar la existencia de 04 tipos de suelos en la zona urbana y alrededores: Arenas mal graduadas (SP), arenas limosas (SM), arenas arcillosas (SC) y arena limo arcillosa (SM-SC). Asimismo, se ha delimitado las zonas de capacidad de carga muy baja debido a la presencia de nivel freático y zonas con humedad media a alta, hasta 20%.
- Se ha identificado 03 zonas con capacidad de carga muy baja, la primera se ubica al noreste en el sector Mercado Jarrín salida a Chapica (nivel freático a 2.80 m). La segunda zona se ubica al oeste en el P.J. Consuelo de Velazco, José Carlos Mariátegui y AA.HH. Virgen de Las Mercedes. Finalmente, la tercera zona se encuentra entre Micaela Bastidas y CP. Chulucanas sector IV, a 200 m de Villa Nazaret por presentar suelos arenosos saturados y nivel freático alto.

**CARACTERIZACIÓN SÍSMICA - GEOFÍSICA
DE LA CIUDAD DE CHULUCANAS**

CONTENIDO

1. METODOLOGÍA

1.1. Razones espectrales (H/V)

1.1.1. Adquisición de datos

1.1.2. Procesamiento de datos

1.1.3. Análisis y resultados

1.2. Análisis multicanal de ondas superficiales (MASW)

1.2.1. Adquisición de datos

1.2.2. Procesamiento de datos

1.2.3. Análisis y resultados

1.3. Tomografía de resistividad eléctrica (ERT)

1.3.1. Adquisición de datos

1.3.2. Procesamiento de datos

1.3.3. Análisis y resultados

2. ZONIFICACIÓN SÍSMICA - GEOTÉCNICA

2.1. Integración de resultados

2.2. Mapa de Zonificación Sísmica – Geotécnica

CONCLUSIONES

1. METODOLOGÍA

Para obtener el Mapa de Zonificación Sísmica – Geotécnica para el área urbana de la ciudad de Chulucanas se ha seguido la siguiente metodología.

1.1. Razones Espectrales (H/V)

Para la aplicación de esta técnica se obtiene registros de vibración ambiental y se procede a construir las razones espectrales H/V que consiste en obtener el cociente de los espectros de Fourier de las componentes horizontales entre la vertical (Nakamura, 1989), a fin de identificar las frecuencias predominantes y amplificaciones máximas relativas que caracterizan al tipo de suelo presente en el área de estudio. Estas características son definidas por las condiciones geológicas 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.

1.1.1. Adquisición de datos

Los registros de vibración ambiental son obtenidos con equipos sísmicos compuesto por un registrador tipo CityShark y sensores de tres componentes tipo Lennartz, ver Figura 1.



Figura 1: Equipo sísmico utilizado para el registro de vibraciones ambientales en Chulucanas: sensor Lennartz (2N) y registradores CityShark II.

Para la aplicación de esta técnica se procedió, sobre el mapa catastral de la ciudad de Chulucanas, 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. Cada uno de los puntos de registro de vibración ambiental obtenidos en campo, tienen una duración de 15 minutos, lo cual permite disponer de buena cantidad de información para su posterior análisis. En el área urbana de Chulucanas, se consideró 125 registros de vibración ambiental obtenidos de manera puntual, distribuidos según la Figura 2.

En la Figura 3, 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 CC-01 presenta bajos niveles de ruido; mientras que, la señal en CC-64, presenta diversidad de pulsos de variada amplitud, que al momento de su análisis, pueden ser filtrados, para no afectar a la información a utilizarse en este estudio.

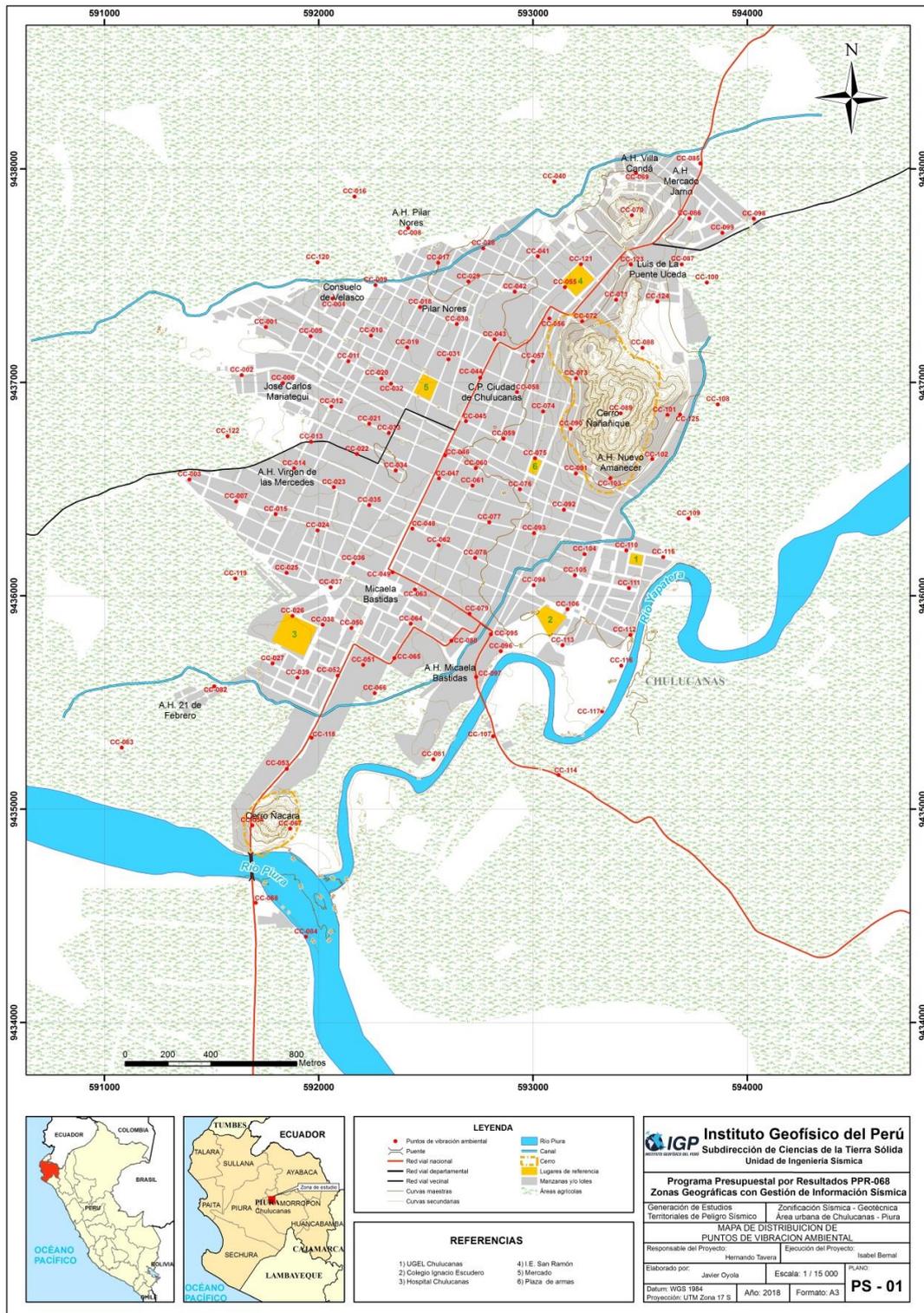


Figura 2: Mapa catastral del área urbana de Chulucanas y distribución de puntos donde se tomaron los registros de vibración ambiental.

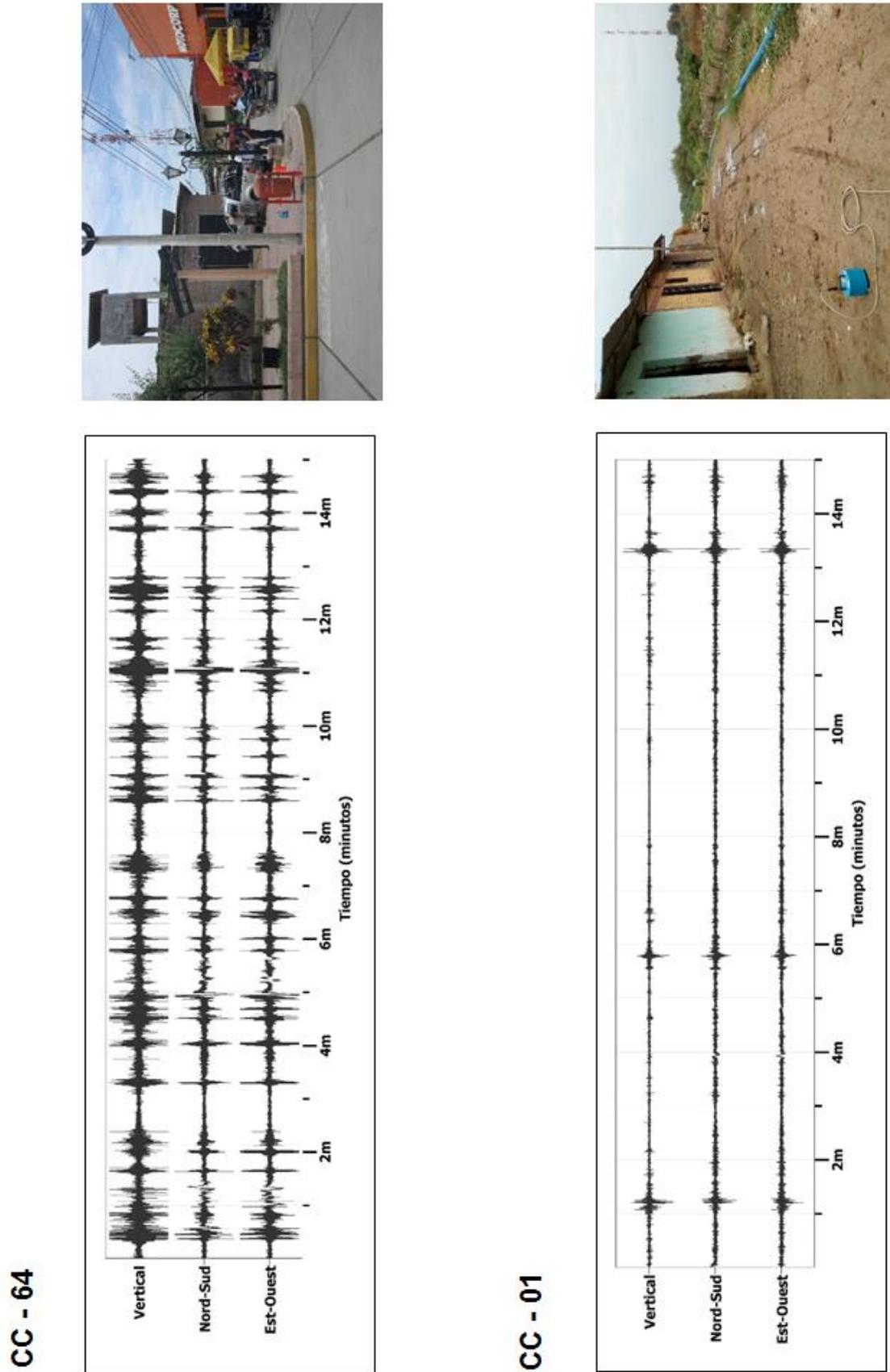


Figura 3: Ejemplos de la disposición del equipo sísmico para el registro de vibraciones ambientales. Ejemplos de registros de vibración ambiental obtenidos sobre una zona con ruido transitorio (CC-64) y otro con ruido de fondo constante (CC-01). Obsérvese las diferentes amplitudes de la señal registrada en cada punto.

1.1.2. Procesamiento de datos

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

- ✓ Los registros de vibración ambiental fueron tratados por ventanas de 20 segundos de señal no perturbada por el ruido de fondo. Para tal efecto, se selecciona de forma aleatoria diversos tramos de señal sin la presencia de ruidos transitorios.
- ✓ Se calcula la Transformada Rápida de Fourier para un número mayor a 10 ventanas de observación para cada punto.
- ✓ Los espectros horizontales de la señal se dividieron entre el espectro vertical para obtener la relación H/V y luego se promediaron estos para cada punto de observación considerando su respectiva desviación estándar.
- ✓ Se procedió a identificar la frecuencia predominante considerando, un rango de interés que fluctúa entre 0.5 a 20 Hz y picos/rangos con amplificaciones relativas de al menos 2 veces (se considera la amplitud de “1” como punto de referencia).

El procesamiento de la información se realizó con el programa computacional GEOPSY. En la Figura 4, se muestra un ejemplo del procedimiento seguido para el total de datos obtenidos en campo. El primer recuadro presenta la selección de las ventanas de procesamiento para las tres componentes de la señal registrada (Vertical, N-S y E-O), seguidamente la curva H/V, en la cual la curva continua negra es el promedio del cociente H/V; mientras que, las curvas discontinuas son la desviación estándar y las bandas grises identifican las frecuencias principales. Finalmente, para la presentación de los resultados, las frecuencias son expresadas en periodos dominantes.

Interpretación: Para la interpretación de los resultados se dispone de mapas geológicos y geomorfológicos a fin de correlacionar resultados; en el análisis de la información se considera: 1) Las frecuencias predominantes menores a 1 Hz corresponden a vibraciones generadas por el oleaje del mar, y/o cambios meteorológicos (periodos muy largos), 2) Las bajas frecuencias o periodos largos son debidas a la presencia de depósitos profundos y 3) Las frecuencias altas o periodos cortos son debidos a depósitos superficiales blandos y de poco espesor (SESAME, 2006 y Bernal, 2006).

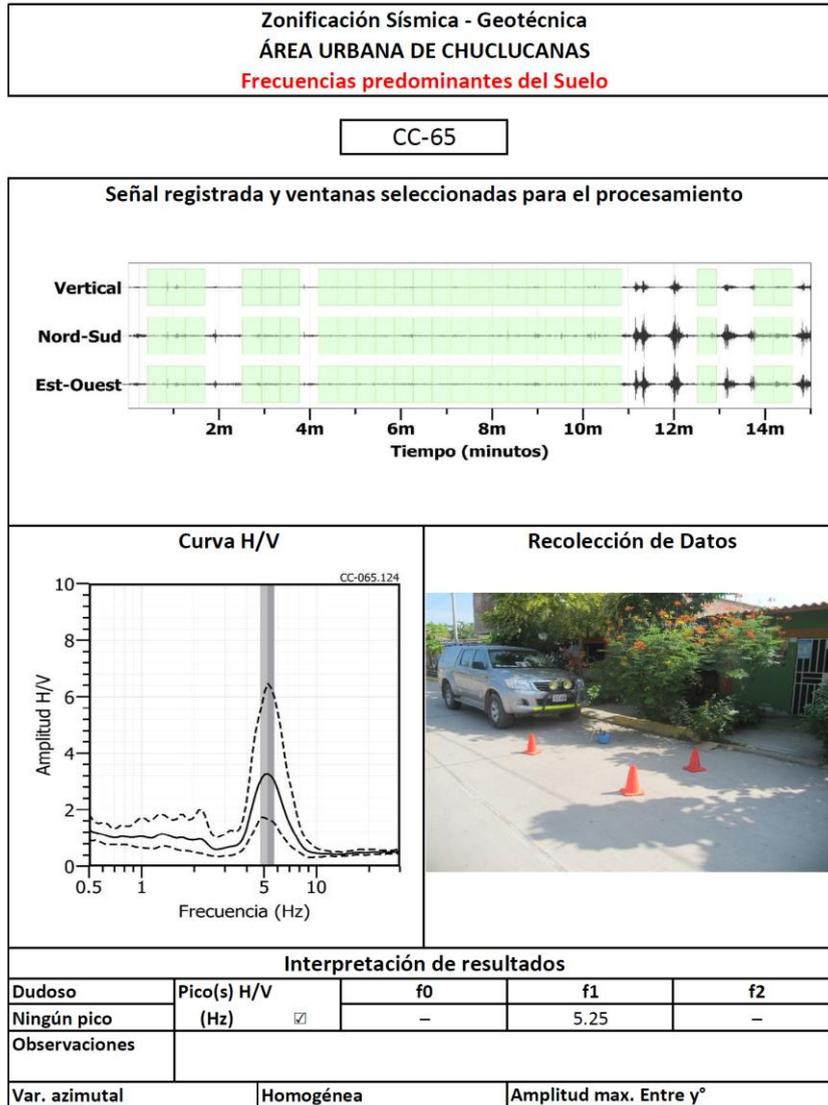


Figura 4: Ejemplo de la ficha H/V para el punto CC-65. Arriba, señal registrada; Medio; razón espectral (H/V) en línea gruesa y su desviación estándar en líneas discontinuas y abajo resultados.

1.1.3. Análisis y resultados

A partir de los valores extraídos de las razones espectrales H/V, se obtiene mapas con la distribución espacial de los valores de frecuencias predominantes. Los resultados obtenidos de las razones espectrales H/V, permitió definir que los suelos del área de estudio responden en un rango de frecuencias F1 ($F > 2.0\text{Hz}$), mostrando un pico de frecuencia bien definido. A continuación se describe y analiza la distribución espacial de las frecuencias predominantes identificadas en el área urbana de Chulucanas.

Frecuencias predominantes F1: De acuerdo a la Figura 5, en este rango predominan frecuencias entre 2.0 a 16 Hz, y están presentes de manera uniforme en toda la ciudad. En algunas zonas presentan amplificaciones mayores a 3 veces. En la Figura

6, se muestra ejemplos de los gráficos de razones espectrales que caracterizan a estos suelos.

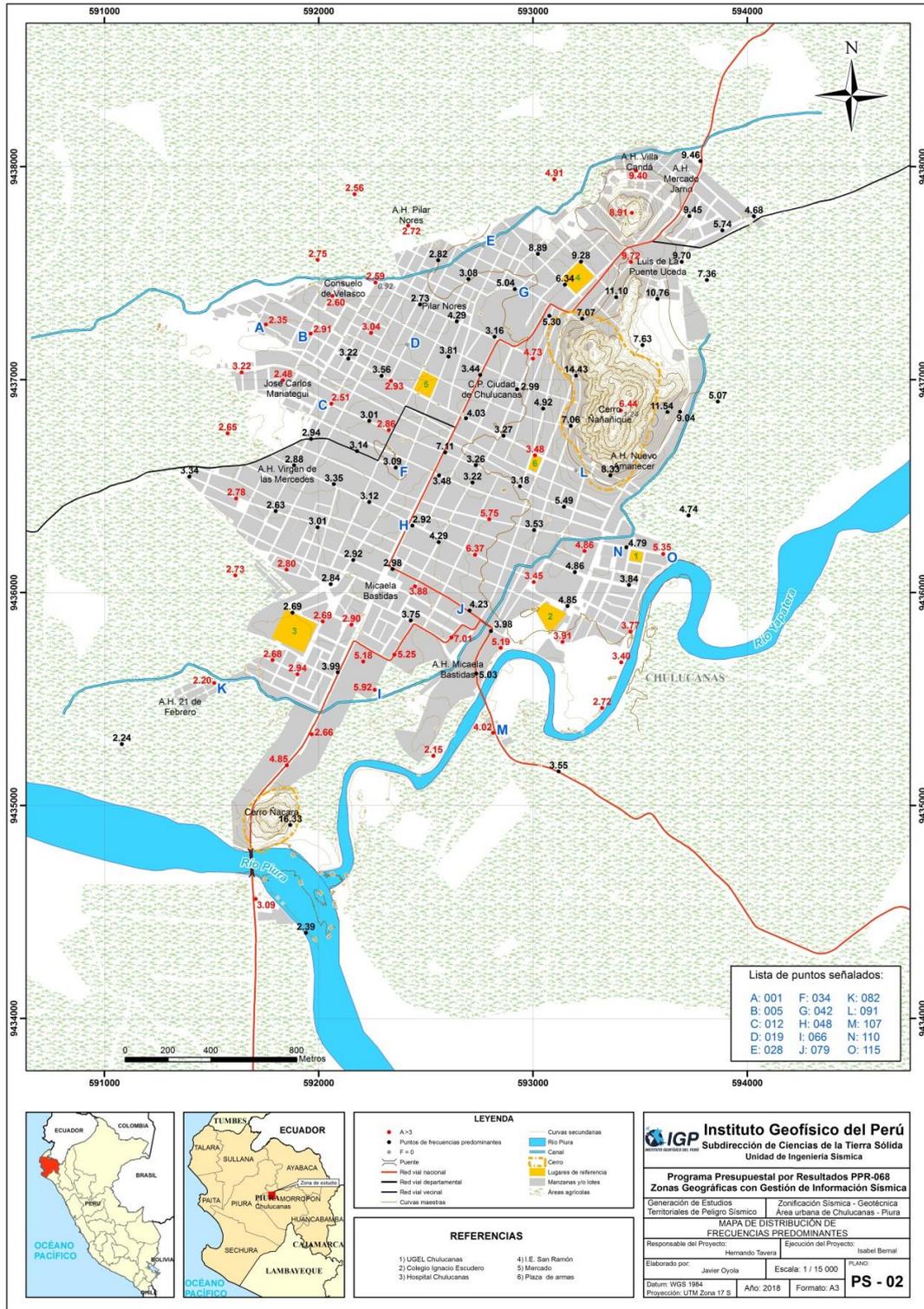
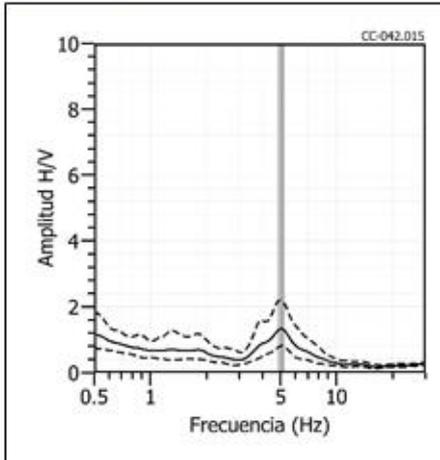
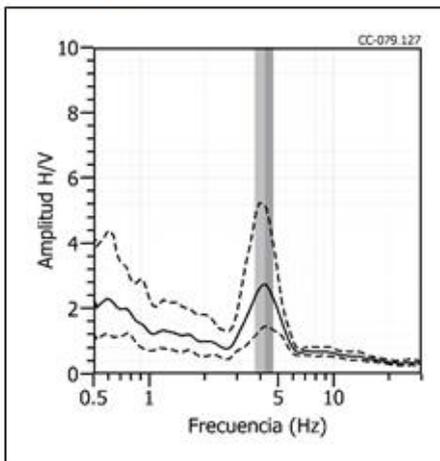


Figura 5: Mapa del área de estudio con la distribución espacial de las frecuencias predominantes F_1 ($F > 2.0\text{Hz}$) definidas en cada punto. Las letras indican la ubicación de los puntos H/V que se muestran en la Figura 6.

CC - 42



CC - 79



CC - 110

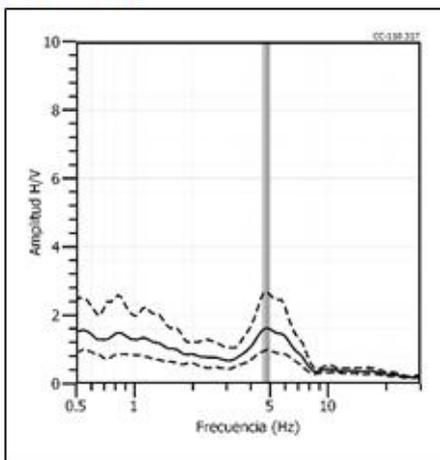
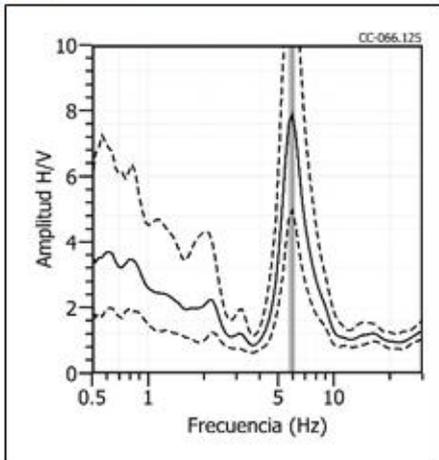
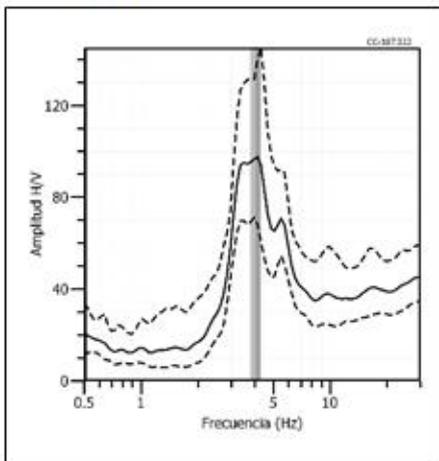


Figura 6: Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F1 ($F > 2.0\text{Hz}$): puntos CC-42(G), CC-79(J) y CC-110(N), ubicados al este por la UGE, IE Ignacio Escudero y hacia el norte por la IE San Ramón. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

CC - 66



CC - 107



CC - 115

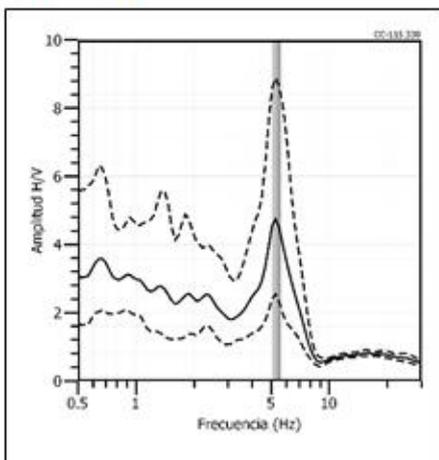
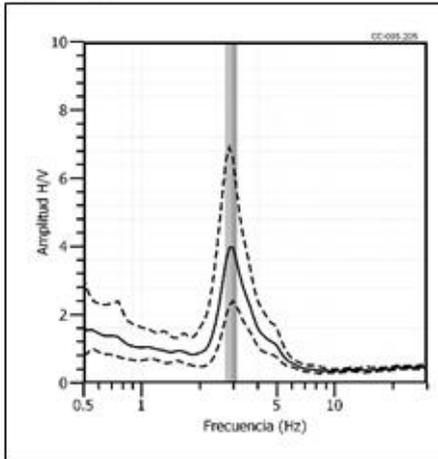
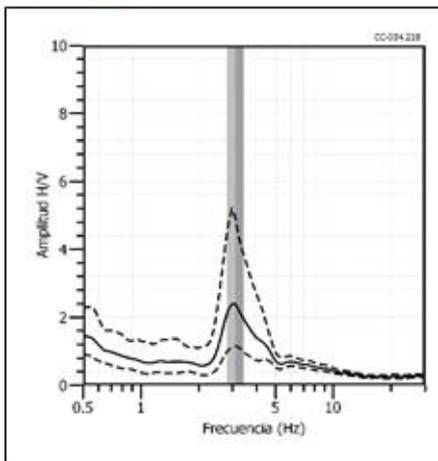


Figura 6: ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F1 ($F > 2.0\text{Hz}$): puntos CC-66(I), CC-107(M) y CC-115(O), ubicados en dirección sur cerca de la quebrada Chapica. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

CC - 05



CC - 34



CC - 48

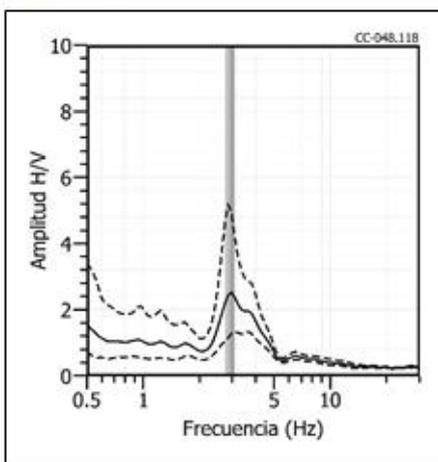
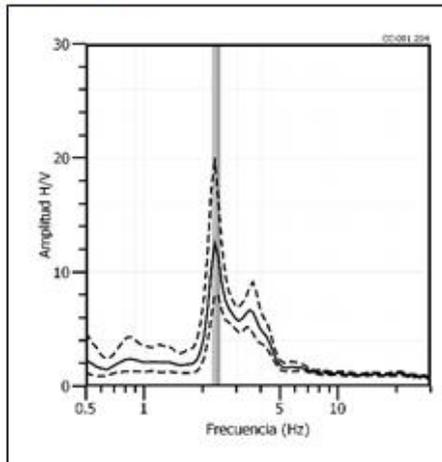
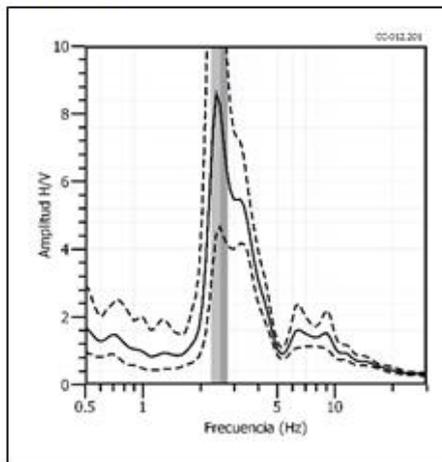


Figura 6: ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F1 ($F > 2.0\text{Hz}$): puntos CC-05(B), CC-34(F) y CC-48(H), ubicados por el centro de la ciudad y por el mercado. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

CC - 01



CC - 12



CC - 82

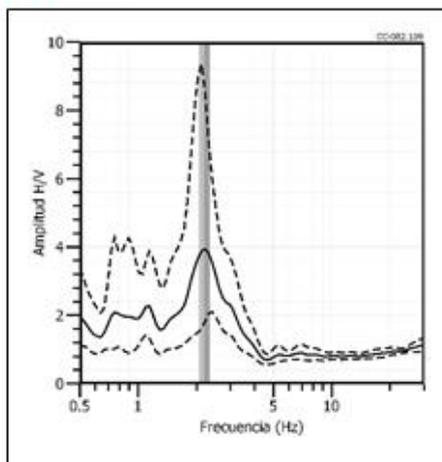
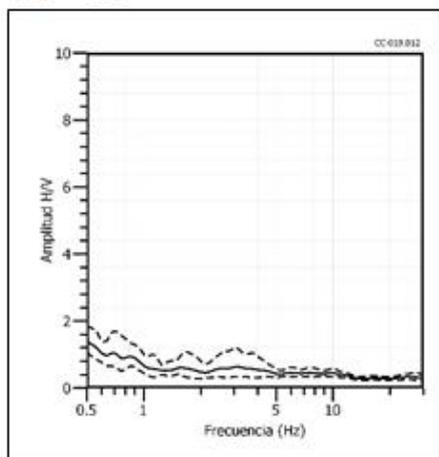
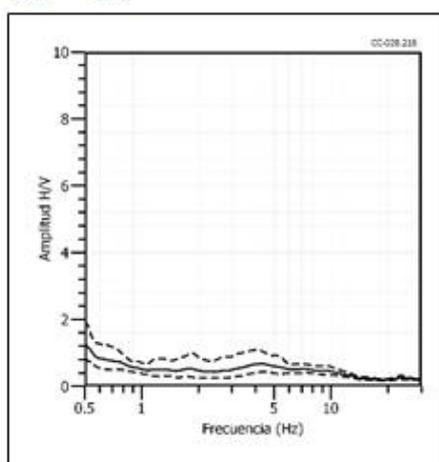


Figura 6: ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F1 ($F > 2.0\text{Hz}$): puntos CC-01(A), CC-12(C) y CC-82(K) ubicados en dirección oeste y por el hospital de Chulucanas. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

CC - 19



CC - 28



CC - 91

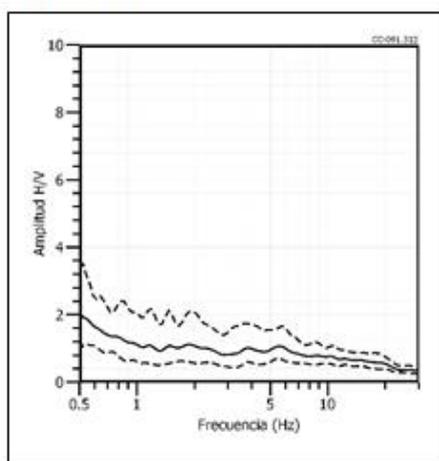


Figura 6: ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F1 ($F > 2.0\text{Hz}$): puntos CC-19(D), CC-28(E) y CC-91(L) ubicados de manera puntual por el Mercado y en dirección este de la Plaza de Armas. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

Las razones espectrales (H/V) obtenidas para los puntos CC-42(G), CC-79(J) y CC-110(N), ubicados al este de la UGEL, la IE Ignacio Escudero y hacia el norte por el IE San Ramón, presentan picos bien definidos a frecuencias de 5.04, 4.23 y 7.36 Hz; todas con amplificaciones de 1.4, 2.7 y 1.5 veces, respectivamente.

Los puntos CC-66(I), CC-107(M) y CC-115(O), ubicados al sur, cerca al río Yapatera, muestran el predominio de picos bien definidos a frecuencias de 5.92, 4.02 y 5.35 Hz, con amplificaciones relativas mayores a 4 veces. Estas amplificaciones muestran que los suelos en estas zonas, tienen un grado de compactación y/o consolidación menor que el resto del área de estudio.

Los puntos CC-05(B), CC-34(F) y CC-48(H) ubicados en el centro del área urbana, por el Mercado, responden a frecuencias de 2.91, 3.09 y 2.92 Hz, con amplificaciones de 3.9, 2.4 y 2.5 veces.

Las razones (H/V) obtenidas para los puntos CC-01(A), CC-12(C) y CC-82(K), ubicados al extremo oeste de la ciudad y por el hospital de Chulucanas, ellos presentan picos con frecuencias predominantes de 2.35, 2.51 y 2.15 Hz; y amplificaciones de 12, 8 y 3 veces. Estas áreas también evidencian que los suelos tienen un grado de compactación y/o consolidación menor.

Finalmente, los puntos CC-19(D), CC-28(E) y CC-91(L) no responden a ninguna frecuencia predominante; y están ubicados de manera puntual, al extremo norte del Mercado y al este de la Plaza de Armas. Los suelos en estas zonas se encuentran muy bien consolidados y/o compactados.

Los resultados obtenidos muestran que los suelos del área de estudio responden a frecuencias F1, con amplificaciones mayores a 3 veces en algunas zonas. Esto evidencia un comportamiento dinámico y homogéneo del suelo, aunque aumenta su espesor conforme se avanza en dirección oeste.

El análisis de razones espectrales (H/V) en el área urbana de Chulucanas ha permitido observar que el rango de frecuencias F1 (>2.0 Hz), se presenta de manera uniforme en toda el área de estudio, mayores amplificaciones en dirección sur, hacia la confluencia de los ríos Yapatera y Piura; y hacia el noroeste, lo que sugieren la presencia de suelos menos consolidados, que el resto del área de estudio.

1.2. Análisis Multicanal de ondas Superficiales (MASW)

El arreglo lineal MASW es un método indirecto y permite determinar la estratigrafía del subsuelo bajo un punto; es decir, permite conocer la velocidad de propagación de las ondas de Corte V_s en el subsuelo, a partir del análisis de la dispersión de ondas Superficiales (ondas Rayleigh), generados por una fuente de energía impulsiva y registrada por arreglos lineales de estaciones sísmicas, tal como muestra la Figura 7.

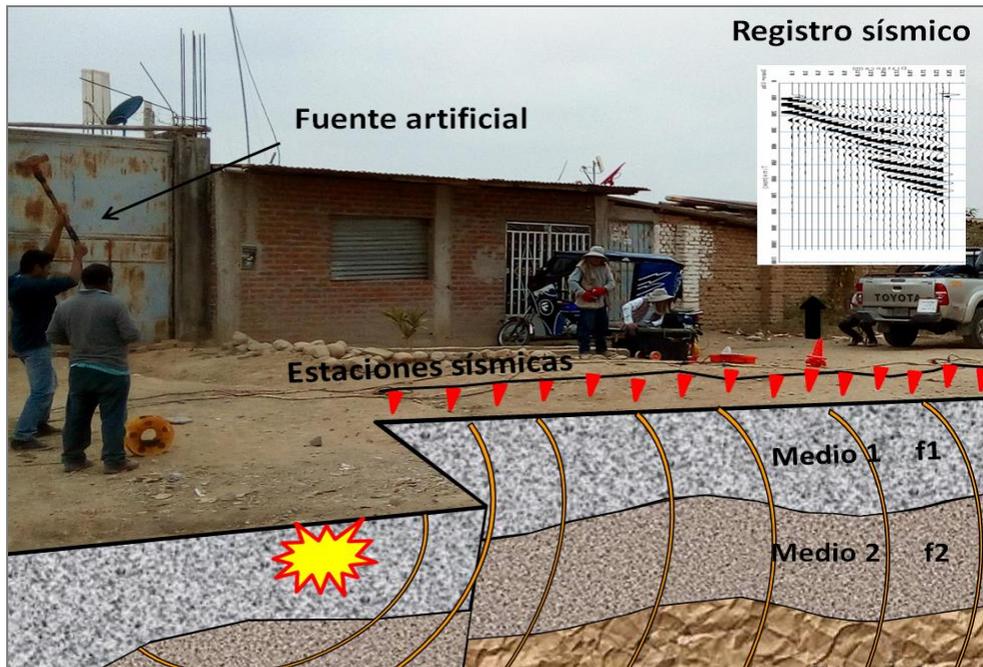


Figura 7: Generación de ondas Rayleigh con fuente artificial y su respectiva curva de dispersión.

La profundidad máxima de investigación (Z_{max}) depende de la longitud de la línea sísmica (D). Usualmente D es más grande que Z_{max} (Park, 2015), es decir: $D=nZ_{max}$, donde ($1 \leq n \leq 3$). Para fines geotécnicos la profundidad máxima de investigación suele estar en el rango de 10-30 m, pero puede variar según el tipo de suelo, la longitud de arreglo sísmico y el tipo de fuente activa utilizada (Park, 2007).

1.2.1. Adquisición de datos

Para el registro de información se ha utilizado un equipo sísmico (sismómetro) de uso multipropósito, modelo GEODE de Geometrics, 24 sensores o geófonos de baja frecuencia (4.5 Hz). Como fuente de impacto y/o energía para generar las ondas sísmicas, se utilizó un martillo de 20 lbs, ver Figura 8. Los parámetros de registro, tales

como la geometría del tendido, espaciamiento entre geófonos, fue variable ya que dependió de la geomorfología de la zona de estudio y accesibilidad. La frecuencia de muestreo fue de 4000 Hz (0.25 ms) con un pre-trigger de -0.1s y una longitud de registro de 2 segundos.



Figura 8: Equipo sísmico para la toma de datos de MASW en el centro del área urbana de Chulucanas.

En el distrito de Chulucanas se realizaron 07 arreglos lineales MASW cuyas coordenadas se muestran en la Tabla 1 y en la Figura 9, su distribución espacial codificadas como: LS01-CC, LS02-CC,...y LS07-CC.

Tabla 1: Coordenadas y características de los arreglos lineales MASW realizados en Chulucanas.

Arreglo lineal MASW	Este (m)	Norte (m)	Cota (m.s.n.m.)	Espaciamiento entre geófonos (m)	Longitud total (m)
LS01-CC	593550	9437719	116	4	92
	593607	9437791	117		
LS02-CC	593656	9436761	84	4	92
	593699	9436844	103		
LS03-CC	592666	9435745	99	3	69
	592629	9435685	99		
LS04-CC	591317	9435547	94	4	92
	591399	9435584	97		
LS05-CC	591836	9436499	95	4	92
	591874	9436579	101		
LS06-CC	592354	9437667	100	4	92
	592438	9437633	102		
LS07-CC	592886	9437096	102	3	69
	592858	9437032	103		

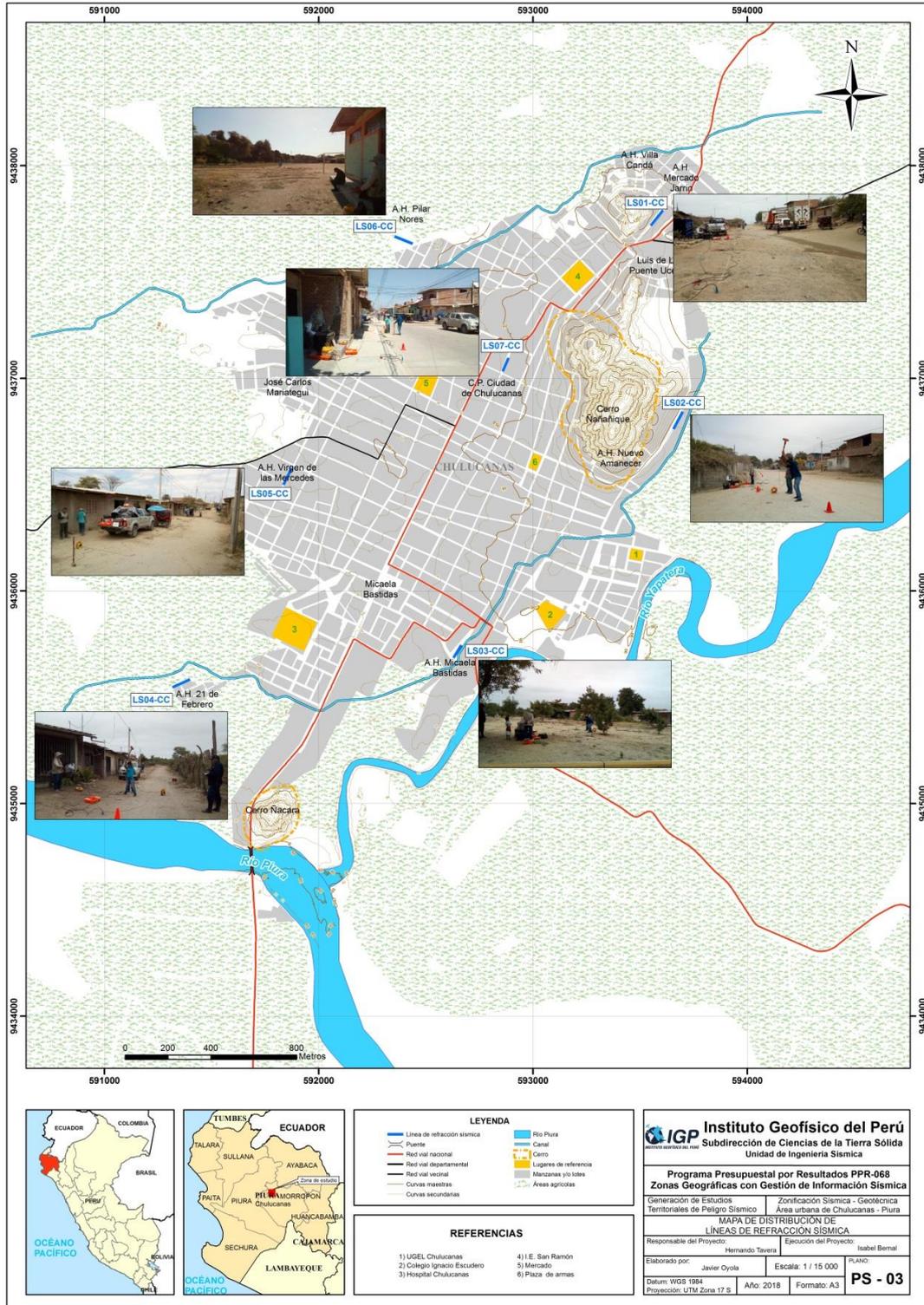


Figura 9: Mapa del área urbana del distrito de Chulucanas y distribución espacial de arreglos lineales MASW codificadas como: LS01-CC, ..., LS07-CC.

Durante la adquisición se visualiza los sismogramas, a fin de verificar su calidad de registros y de datos del nivel de ruido, tal como se observa en la Figura 10. Para mejorar la relación señal/ruido fue necesario realizar apilamientos de señales (sumatoria de registros sísmicos) considerando registros de cuatro a cinco golpes en cada punto “shot”. Finalmente, se realiza el procesamiento preliminar para determinar si la profundidad y la velocidad sísmica obtenida son coherentes con la geología local.

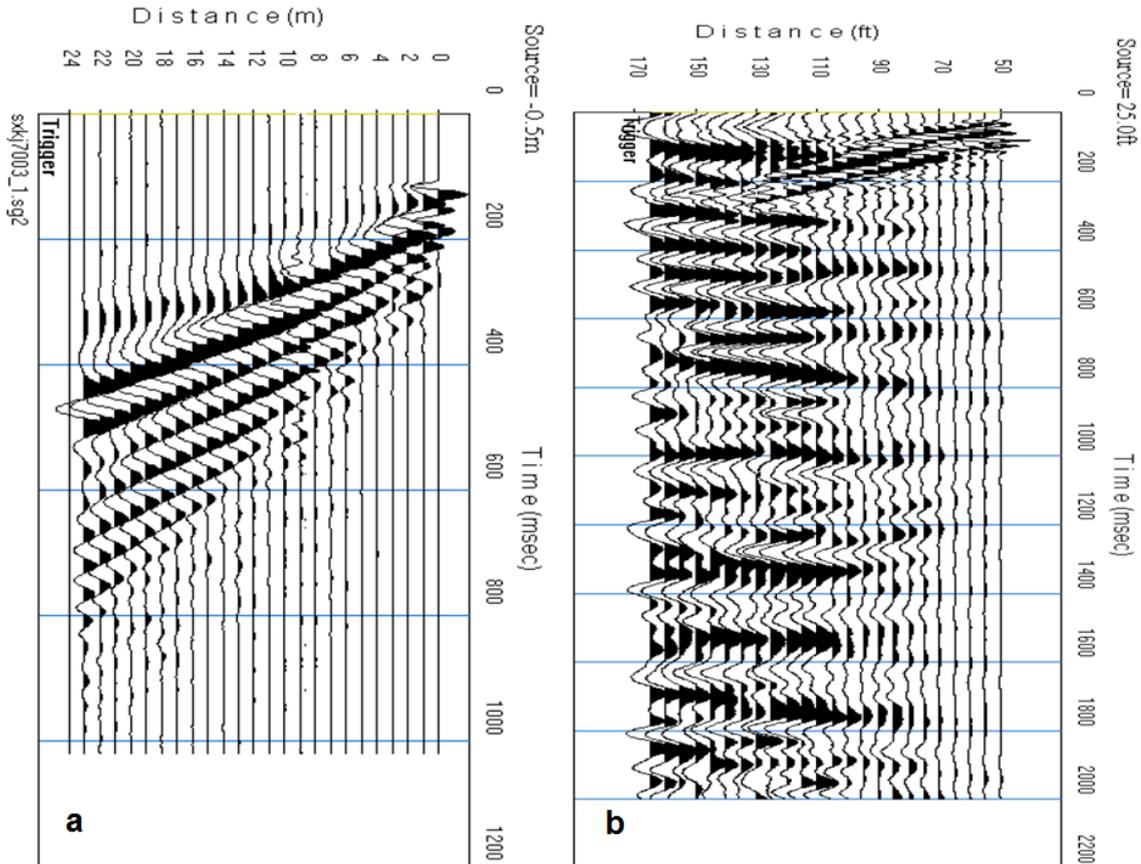


Figura 10: a) Registro sísmico con bajo contenido de ruido ambiental, es decir, alta calidad. b) Registro sísmico con alto contenido de ruido ambiental.

En la Figura 11, como ejemplo se muestra la disposición del equipo y el registro sísmico obtenido para la línea sísmica LS04-CC, realizada en el A.H. 21 de Febrero. El sismograma muestra las señales sísmicas con presencia de bajo ruido ambiental, así como el punto de disparo ubicado a una distancia de 3 metros del final de la línea sísmica.

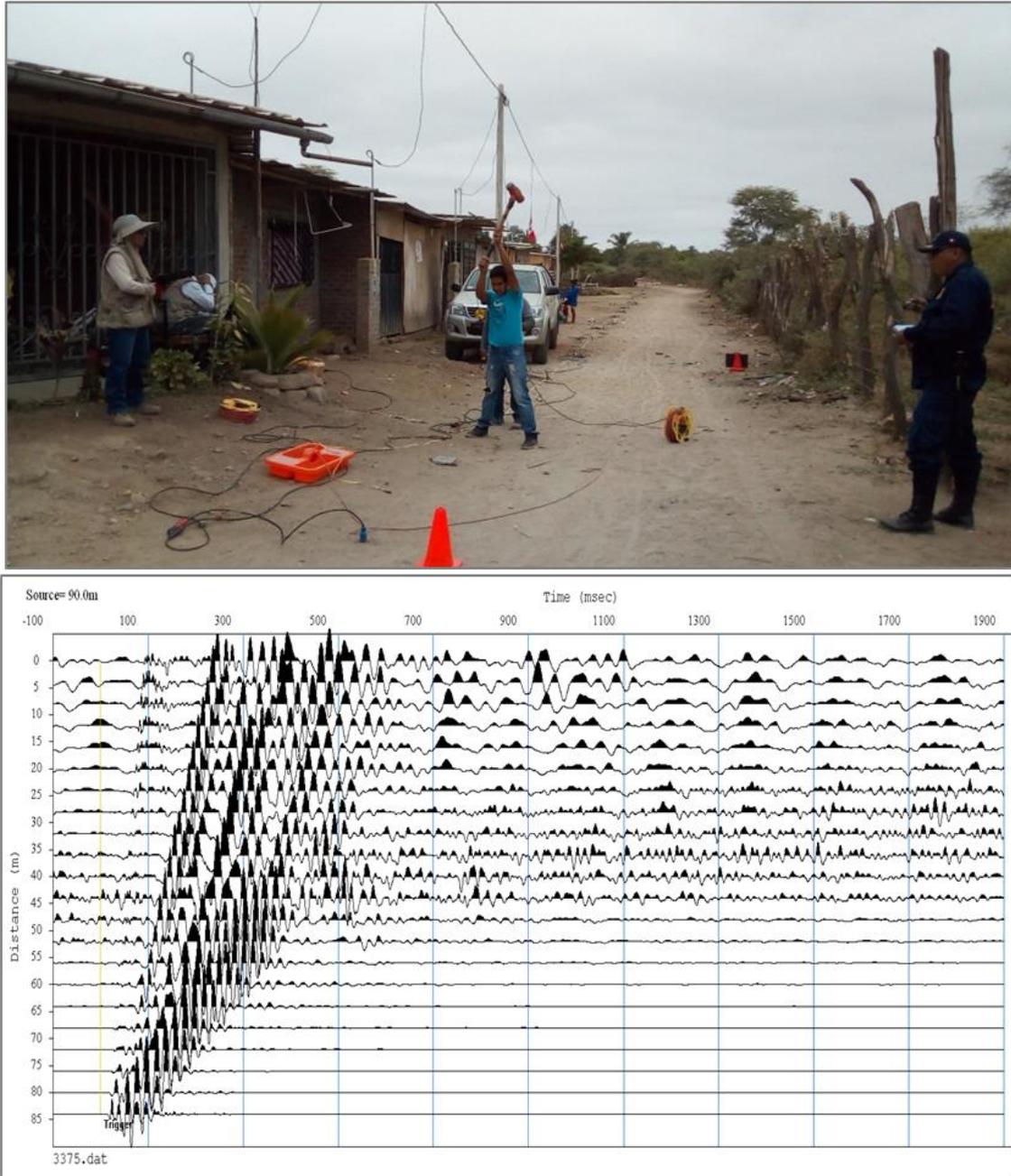


Figura 11: Disposición del equipo de adquisición por el método de MASW y registro sísmico obtenido.

1.2.2. Procesamiento de datos

Consiste en aplicar la transformada rápida de Fourier (FFT) en los registros sísmicos obtenidos para cada punto de disparo (Reynolds, 2011), lo cual permite la transformación de los datos y como resultado una imagen de dispersión que relaciona la velocidad de fase de las ondas superficiales con la frecuencia. Una vez obtenidas las curvas de dispersión pertenecientes a un mismo arreglo MASW son sometidas de forma individual a un proceso matemático de inversión con el fin de obtener los perfiles V_s en

una dimensión (1D), para ello se considera como parámetros de entrada la profundidad (30 m) y el número de capas (15 capas). Finalmente, los perfiles Vs son promediados obteniendo un perfil unidimensional final para cada línea sísmica. Todo este procedimiento permite a través de una línea sísmica obtener un perfil 1D ubicada en la parte media de dicha línea. Los resultados al ser analizados proporcionan información útil sobre las características físicas del subsuelo (Park, 2014; Roma, 2010; Socco et al., 2008). El procesamiento fue realizado en el programa de computación SeisImager.

En la Figura 12, se muestra un ejemplo de los resultados que se obtiene a partir del arreglo MASW. La imagen de la izquierda muestra la curva de dispersión obtenida y de la derecha, muestra el perfil de velocidad de ondas de corte Vs (línea verde) que considera el promedio final de los perfiles obtenidos post inversión, los círculos de color verde representa la inversión de la curva de dispersión del dominio de frecuencia a profundidad. Esta curva permite verificar el nivel de confiabilidad o la profundidad mínima y máxima de investigación (área sombreada), en este caso; el perfil presenta una capa sísmica y un semiespacio, donde, el nivel de confiabilidad es de 2 a 30 metros de profundidad.

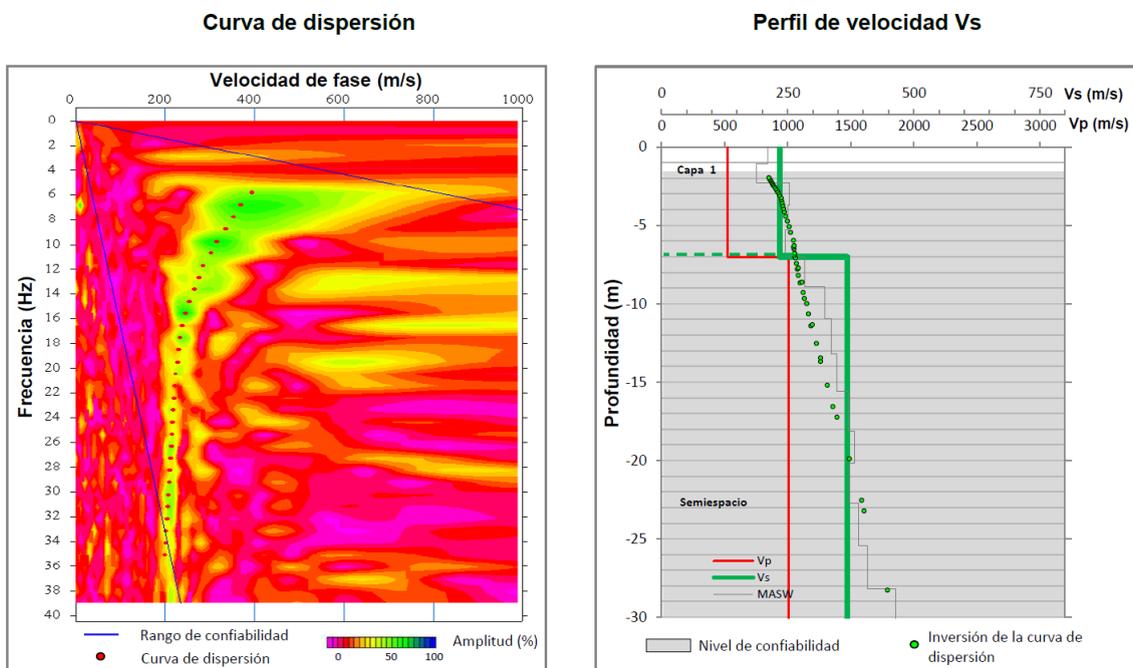


Figura 12: a) Curva de dispersión y b) perfil de velocidad obtenido a partir de la técnica de MASW.

Interpretación: Para el análisis e interpretación de los resultados obtenidos en este ítem se considera la clasificación de suelos según la Norma E.030-2018. En este caso, el rango de velocidad de los perfiles de suelo S1 y S2 se subdividen a fin de considerar dos clasificaciones adicionalmente. Asimismo, esta nueva clasificación del perfil del suelo es representado con colores, a fin de facilitar su interpretación (Tabla 2).

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

Clasificación de los perfiles de Suelo					
N°	Vs	Norma E.030		Descripción	
1	< 180 m/s	S ₃	Suelo blando	Suelo blando	
2	180 m/s a 350 m/s	S ₂	Suelo medianamente rígido	Suelo moderadamente rígido	
3	350 m/s a 500 m/s			Suelo rígido	
4	500 m/s a 800 m/s	S ₁	Roca o suelo muy rígido	Suelo muy rígido o roca blanda	
5	800 m/s a 1500 m/s			Roca moderadamente dura	
6	> 1500 m/s	S ₀	Roca dura	Roca dura	

Finalmente, se realiza la correlación de las capas sísmicas obtenidas con la geología de la zona de estudio y con el contenido de humedad o nivel freático; ya que ambos parámetros que influyen en la variación de velocidad de ondas Vs.

1.2.3. Análisis y resultados

Los modelos de velocidad de propagación (Vs) son una información muy útil en materia de riesgo sísmico y reconocimiento general de la estructura y naturaleza del subsuelo. El procesamiento de los registros sísmicos permitió llegar desde profundidades mínimas (de 2 y 3 metros) hasta los 30 metros para cada línea sísmica. A continuación se describen los resultados obtenidos, agrupados según similitud de velocidad Vs y ubicación, para cada línea sísmica.

Perfiles de velocidad de ondas de corte Vs

Línea sísmica LS02-CC: Realizada en dirección este de Chulucanas, en el A.H. Nuevo Amanecer (Figura 9). En la línea se observa la presencia de suelos conformados por dos capas: la primera de 7 metros de espesor y velocidades Vs de 293 m/s que corresponden a suelos moderadamente rígidos; la segunda, con velocidades Vs de 459 m/s y 8 metros de espesor que sugieren la existencia de suelos rígidos. El semiespacio, con velocidades de Vs > 895 m/s sugiere la presencia de rocas moderadamente duras.

Líneas sísmicas LS01-CC y LS03-CC: Distribuidas en direcciones norte y sur respectivamente: A.H. Villa Canadá (LS01) y A.H. Micaela Bastidas (LS03) Figura 9. Ellas indican la presencia de suelos conformados por dos capas: la primera, de 4 a 5 metros de espesor y velocidades V_s entre 239 a 258 m/s, lo cual sugieren la presencia de suelos moderadamente duros; la segunda capa, con velocidad V_s que varía entre 447 a 474 m/s y espesores entre 7 a 10 metros asociado a suelos rígidos. La superficie de contacto con el semiespacio, presenta velocidades $V_s > 560$ m/s, lo cual sugieren la presencia de suelos muy rígidos.

Línea sísmica LS04-CC: Realizada en dirección suroeste, en el A.H. 21 de Febrero (Figura 9). Esta indica la presencia de suelos conformados por una capa sísmica de 13 metros de espesor y velocidades V_s de 207 m/s, que junto a la superficie de contacto con el semiespacio ($V_s > 322$ m/s), sugieren la presencia de suelos moderadamente rígidos.

Líneas sísmicas LS05-CC y LS06-CC: Distribuidas hacia el oeste y noroeste respectivamente: A.H. Virgen de las Mercedes (LS05) y A.H. Pilar Nores (LS06), ver Figura 9. Ellas indican la presencia de suelos conformados por dos capas: la primera, de 2 a 4 metros de espesor y velocidades V_s entre 175 a 178 m/s sugieren la presencia de suelos blandos; la segunda capa, con velocidades V_s entre 276 a 289 m/s y espesores entre 12 a 15 metros, asociados a suelos moderadamente rígidos. La superficie de contacto con el semiespacio presenta velocidades $V_s > 398$ m/s, lo cual sugiere la presencia de suelos rígidos.

Línea sísmica LS07-CC: Realizada en el centro del área de estudio, en el C.P. Ciudad de Chulucanas (Figura 9). Esta indica la presencia de suelos conformados por una capa sísmica de 11 metros de espesor y velocidades V_s de 250 m/s que corresponden a suelos moderadamente rígidos. La superficie de contacto con el semiespacio presenta velocidades $V_s > 376$ m/s, lo cual sugiere la presencia de suelos rígidos.

En la Tabla 3, se resume los valores de velocidades de ondas de corte V_s para los distintos tipos de perfiles de suelo e interpretados según la Tabla 2. Asimismo, en la Figura 13, se presenta los resultados del arreglo sísmico LS01 y para mayor detalle ver los Anexos.

Tabla 3: Valores de espesor y Vs de los perfiles sísmicos realizados en el área urbana de Chulucanas.

Superficie → Profundidad							
Línea Sísmica	N° DE CAPA						VS30 (m/s)
	1		2		Semiespacio		
	Vs (m/s)	Esp. (m)	Vs (m/s)	Esp. (m)	Vs (m/s)	Esp. (m)	
LS01-CC	239	4	447	7	712	-	515
LS02-CC	293	7	459	8	895	-	510
LS03-CC	258	5	474	10	560	-	435
LS04-CC	207	13	322	-	-	-	257
LS05-CC	175	2	289	15	428	-	307
LS06-CC	178	4	276	12	398	-	298
LS07-CC	250	11	376	-	-	-	315

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

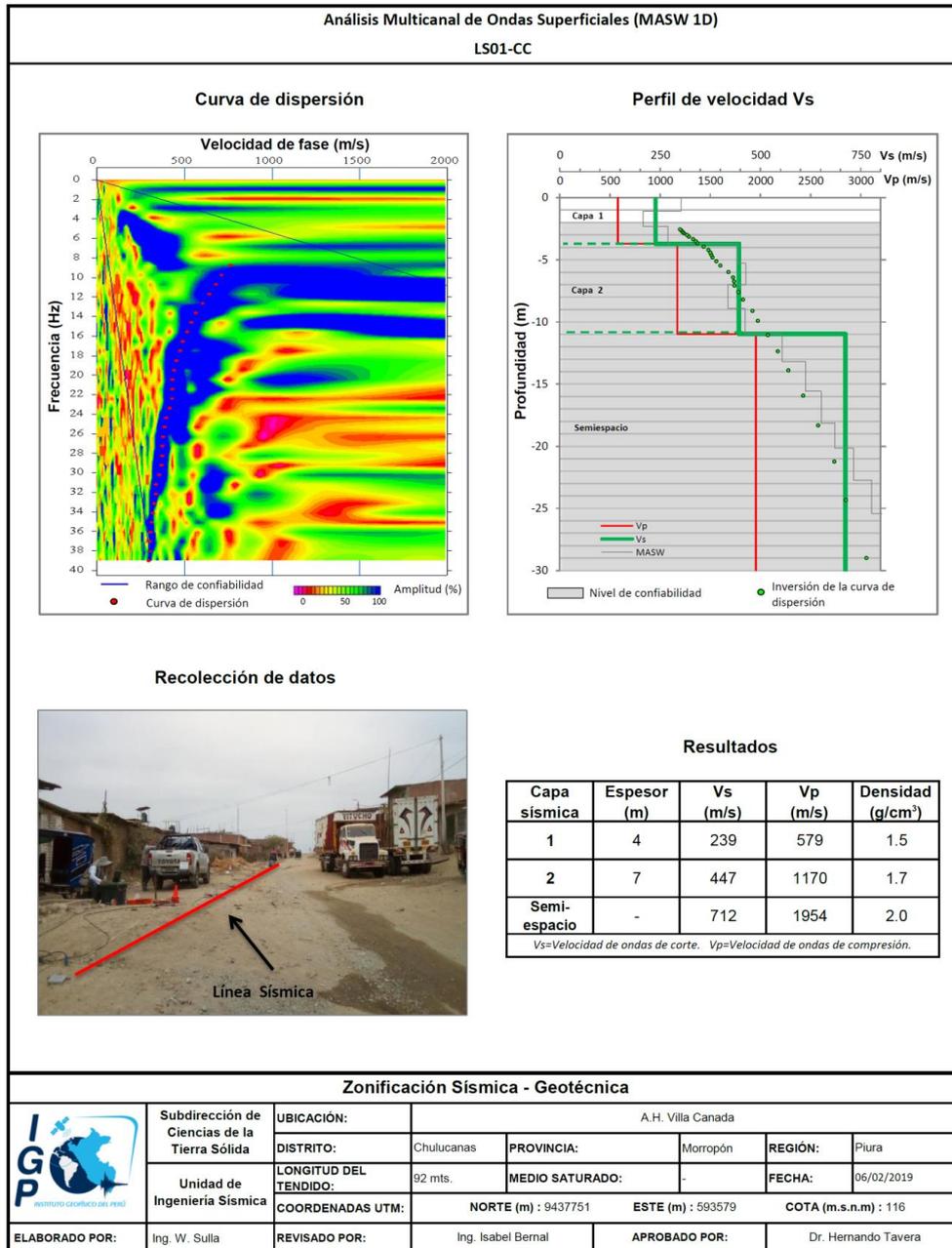


Figura 13: Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo sísmico LS01-CC.

Finalmente, los resultados obtenidos definen principalmente la existencia de 2 capas sísmicas y un semiespacio (Tabla 3). El análisis de los resultados obtenidos para cada capa sísmica y su correlación con la geológica local son descritos a continuación:

Chulucanas es uno de los distritos cuya área urbana se encuentra próxima a las estribaciones de la cordillera Andina, por lo tanto muestra una geomorfología casi llana en gran parte del su área, solo hacia el extremo noreste está rodeado por el cerro Ñañañique, ver Figura 14. Los suelos en superficie sobre el cual se encuentra Chulucanas, son de dos tipos: el primero, caracterizado como suelos blandos con

espesores que varían entre 2 a 4 metros, presentes hacia el extremo noroeste de la ciudad (A.H. Virgen de las Mercedes y A.H. Pilar Nores). El segundo tipo, conformado por suelos moderadamente rígidos y presentes en gran parte del área urbana con espesores que varían entre 5 a 11 metros y que se incrementan hacia el suroeste, hasta llegar a superar la profundidad de 30 metros (A.H. 21 de Febrero). Asimismo, estos suelos están presentes en dirección noroeste, pero por debajo de los suelos blandos (Figura 14).

Por debajo de la capa de suelo superficial, se encuentran los suelos de mayor compacidad o suelos rígidos; estos se distribuyen en todo el área de estudio con espesores que varían entre 7 a 10 metros en dirección este y conforme se avanza hacia el centro de Chulucanas, su espesor aumenta (> 19 metros) y hacia el oeste prácticamente supera la profundidad de 30 metros, ver Figura 14. Estas características sugieren que los suelos con capas de mayor espesor, se encuentran en dirección oeste y los de menor espesor hacia el este.

De acuerdo a la geología local, los suelos superficiales corresponden a material conglomerado (depósitos aluviales), que conforme incrementa su profundidad, aumenta su rigidez. Las capas de mayor espesor (>30 metros) se encuentran en dirección oeste y conforme avanza hacia el noreste, decrece el espesor debido a la presencia de materiales de mayor rigidez (roca volcánica) que finalmente aflora en superficie, formando el cerro Ñañañique, ver Figura 14.

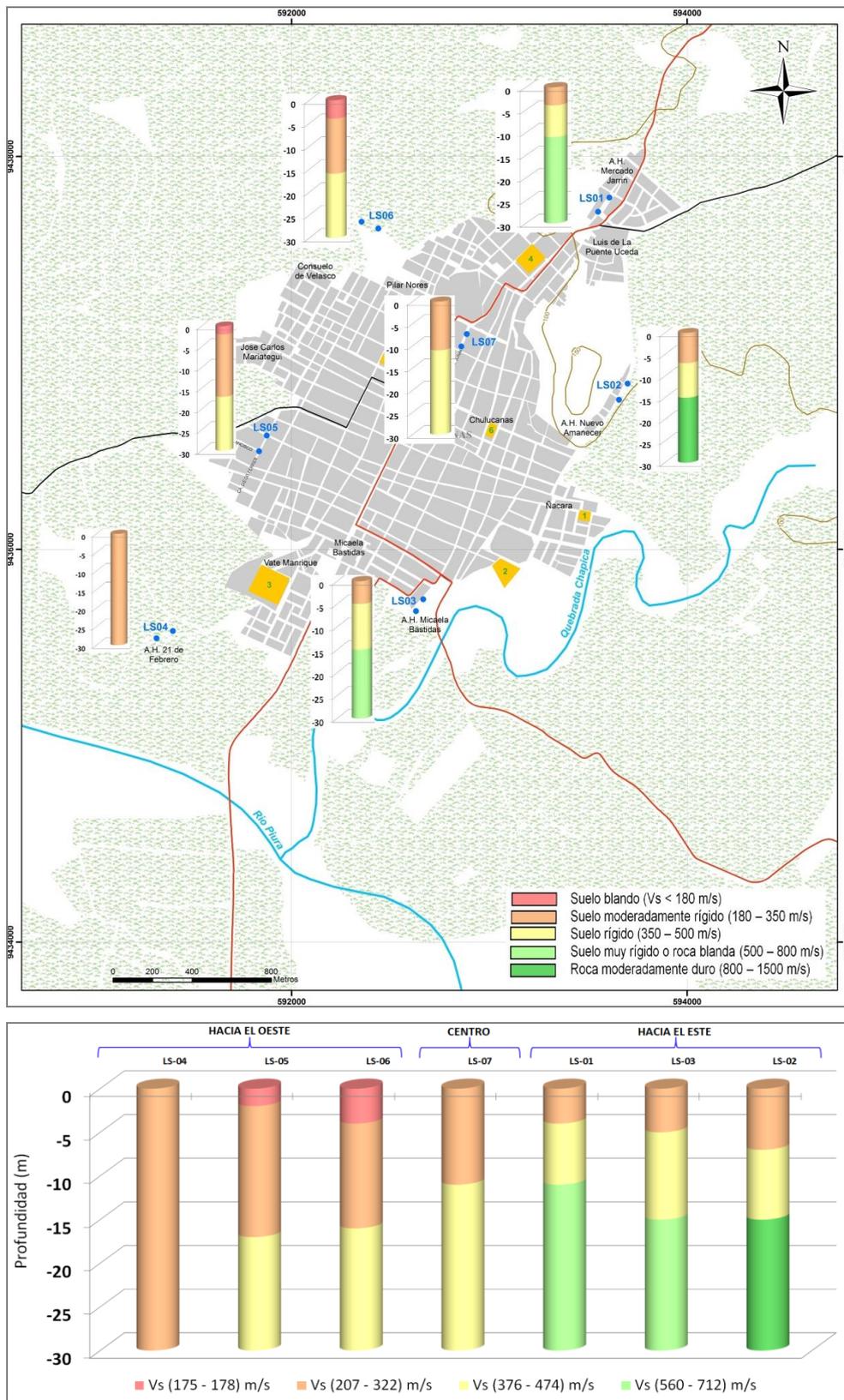


Figura 14: Variación de espesores de los suelos en el área urbana de Chulucanas.

1.3. Tomografía de Resistividad Eléctrica (ERT)

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

La tomografía eléctrica es un método convencional que se basan en introducir en el terreno, un campo eléctrico de corriente continua mediante dos electrodos de corriente (A y B) conectados a un miliamperímetro; mientras que, con los otros dos electrodos (M y N), que están conectados a un milivoltímetro, se medirá cual es la diferencia de potencial eléctrica ΔV entre esos dos puntos (Figura 15).

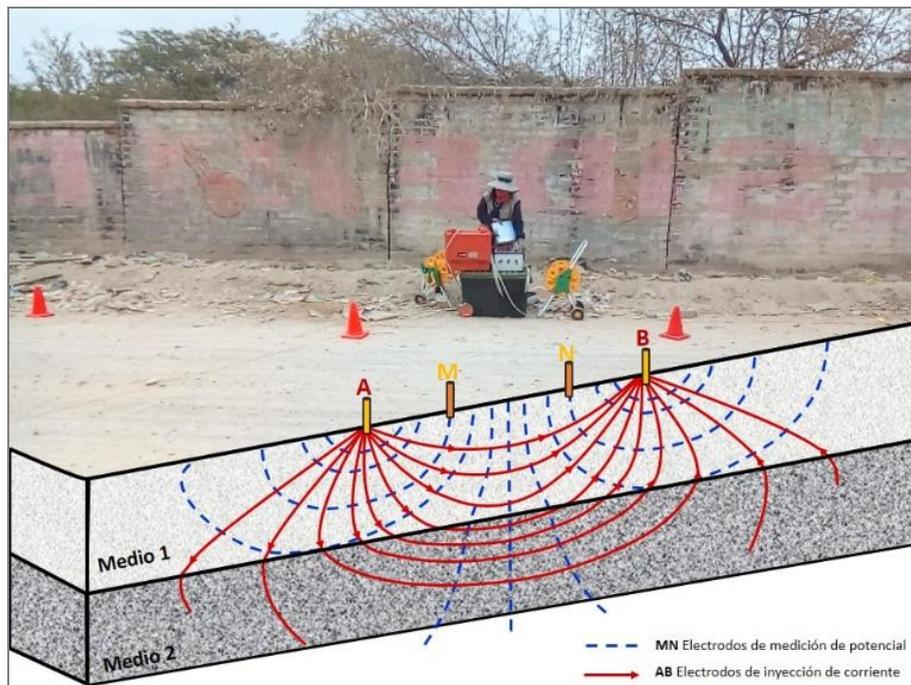


Figura 15: Principio del método de resistividad (LE02-CC).

Para la obtención de valores de resistividad aparente se han realizado líneas de tomografía eléctrica con el dispositivo polo-dipolo y cuya distribución se muestra en la Figura 16. La profundidad de investigación depende de la separación entre electrodos, para este estudio se utilizó una separación de electrodos de 10 metro, obteniéndose una profundidad máxima de 40 metros. Si se aumenta la distancia entre los electrodos aumenta la profundidad de alcance, pero disminuye la resolución.

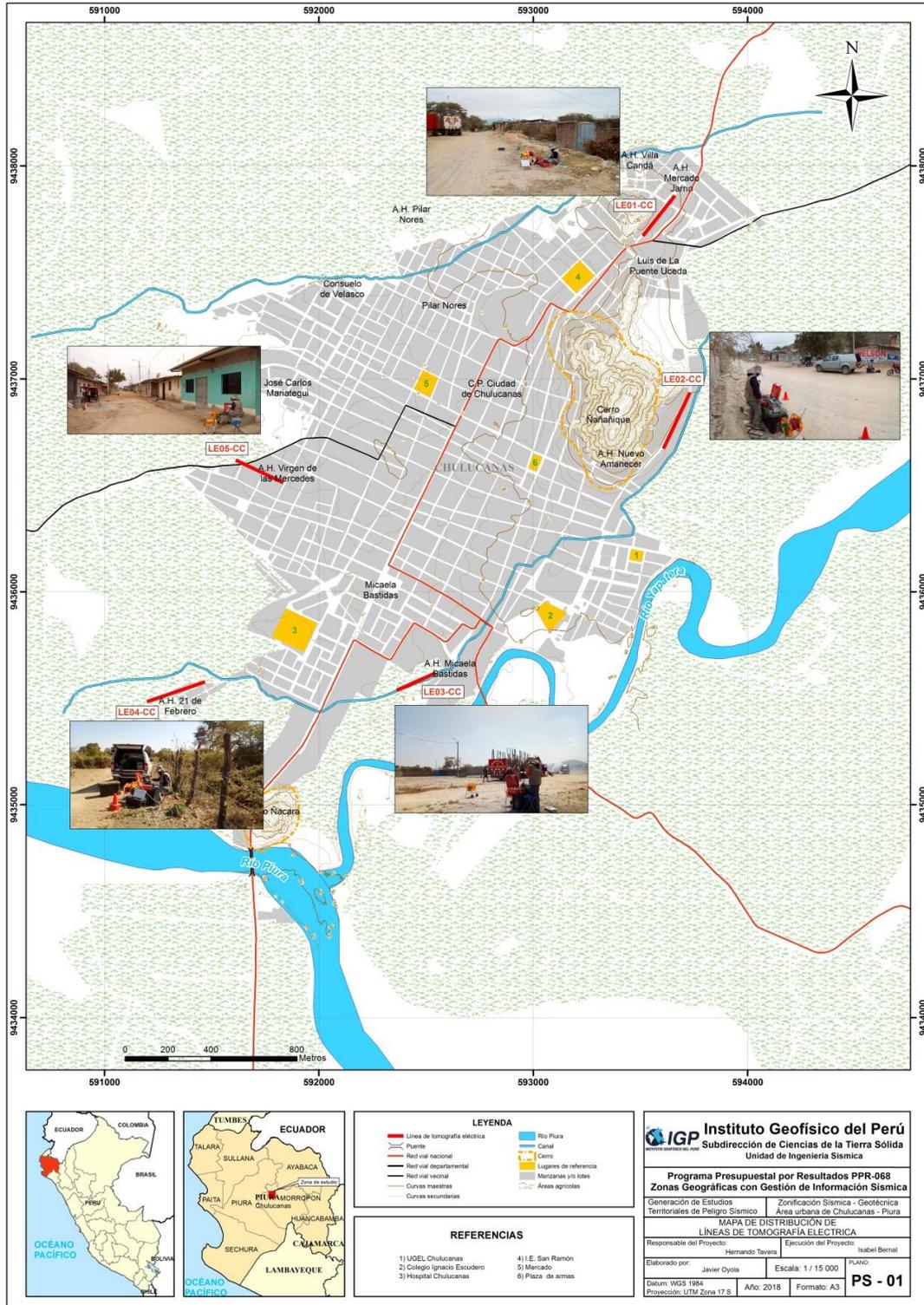


Figura 16: Mapa del área urbana de Chulucanas y la distribución espacial de las líneas de tomografía eléctrica codificadas como: LE01-CC, ... LE05-CC.

1.3.1. Adquisición de datos

Para el registro de información se utilizó un equipo de Resistividad / IP Syscal Pro de marca Iris Instruments, cables y accesorios. En el área urbana de Chulucanas se han realizado 05 líneas de tomografía eléctrica, con el dispositivo polo-dipolo y la distribución de 30 electrodos (Figura 16). Para las líneas se consideró un espaciamiento de 10 metros, entre cada electrodo lo cual permitió tener alcances en profundidad en el orden de los 40 metros, sobre un tendido longitudinal que variaba de 190, 240, 280 y 290 metros, estas longitudes varían de acuerdo a los espacios libres encontrados en el área urbana.

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

Tabla 4: Coordenadas de las Líneas eléctricas (LE) realizados en el área urbana de Chulucanas.

Línea Eléctrica	Este (m)	Norte (m)	Cota (m.s.n.m.)	Espaciamiento entre electrodos (m)	Longitud total (m)
LE01- CC	593661	9437861	105	10	240
	593511	9437672	108		
LE02- CC	593731	9436937	105	10	280
	593607	9436673	104		
LE03- CC	592544	9435619	92	10	190
	592363	9435537	91		
LE04- CC	591469	9435577	91	10	290
	591198	9435484	86		
LE05- CC	591612	9436619	85	10	240
	591834	9436513	89		

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

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

En la Figura 17, se tienen la disposición de equipo eléctrico en campo y un ejemplo del análisis preliminar del registro obtenido.

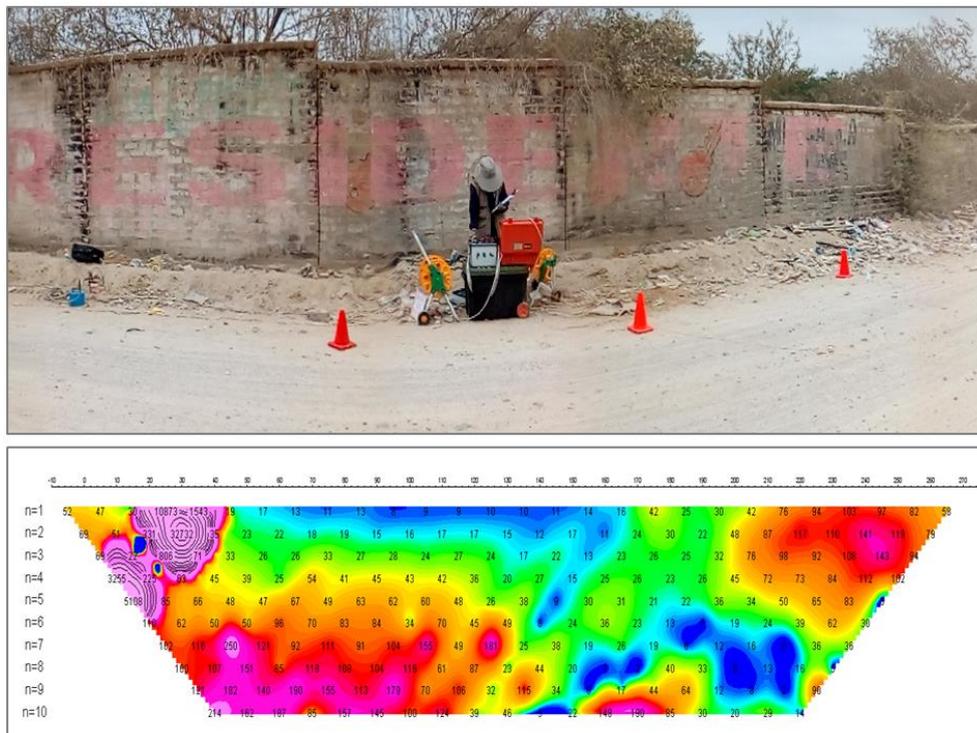


Figura 17: Adquisición de datos de la línea LE02-CC, arriba disposición del equipo de resistividad en el A.H. Nuevo Amanecer, abajo perfil obtenido.

1.3.2. Procesamiento de datos

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

Finalmente, los resultados son presentados mediante Sección de Resistividad 2D (Resistividad) que relacionan la distancia - profundidad con la distribución de la resistividad real del subsuelo y secciones de interpretación donde se detallan las posibles estructuras que conforman el subsuelo, las zonas saturadas, los cambios de litología que pudiera existir y otras estructuras que sean de utilidad para el cliente o interesado del estudio. Para el procesamiento de la información se ha hecho uso de los algoritmos de inversión DCIP2D y OASIS MONTAJ.

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

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

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

del suelo.

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

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

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

Muy Bajo Resistivo (color azul): Comprende valores menores a 20 ohm.m. y estos están referidos a suelos con presencia de agua, material orgánico, arcillas. Se debe considerar que el grado de salinidad del agua afecta los valores de resistividad, permitiendo que estos alcancen valores del orden del 0.2 ohm.m., equivalente al agua de mar. En la Tabla 5 se ha resumido el rango de resistividades para la zona de estudio.

Tabla 5: Rango de Resistividades.

Rango de resistividades	ohm.m	Tipo de suelo	
Material muy resistivo	> 1500	Suelo desértico o roca	Red
Material resistivo	500 a 1500	Suelo seco	Yellow
Material medianamente resistivo	100 a 500	Húmedo	Green
Material bajo resistivo	20 a 100	Parcialmente saturado	Light Blue
Material muy bajo resistivo	< 20	Saturado y/o presencia de sal	Dark Blue

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

1.3.3. Análisis y resultados

Los valores de resistividad del suelo son una información muy útil puesto que permite identificar aquellos suelos que presentan alto contenido de humedad y la profundidad del nivel freático. Se realizaron 05 líneas de tomografía eléctrica en el área urbana de Chulucanas, distribuida según la Figura 16. El procesamiento de la información permitió llegar desde el nivel superficial hasta una profundidad de 40 metros. En el siguiente sub ítem se describe los resultados obtenidos.

Secciones Geo-eléctricas: A continuación, se describe los resultados obtenidos de los registros de tomografía eléctrica obtenidos en el área urbana de Chulucanas:

Las líneas LE01-CC y LE02-CC, fueron realizadas en el A.H. Villa Canadá y próximo al cerro Ñañañique respectivamente (Figura 16). Estas líneas presentan valores bajo y muy bajo resistivo en superficie ($<100 \Omega.m$) debido a la presencia de depósitos aluviales y arcillas parcialmente saturadas, así como a la presencia de terrenos de cultivo (Figura 18). A partir de 10 metros de profundidad, existen valores medianamente resistivos a resistivo (100 a 812 $\Omega.m$), debido a la presencia del horizonte volcánico formado por andesitas.

Con respecto a la línea LE03-CC, realizada al sur del área urbana, muestra niveles de contenido de humedad en superficie, por estar influenciado por el canal de riego Ñacara y el río Yapatera, ver Figura 18. A partir de 20 metros de profundidad, se presentan valores medianamente resistivos.



Figura 18: Vista de la línea eléctrica LE01-CC y LE02-CC.

Las líneas eléctricas LE04-CC y LE05-CC realizadas en dirección suroeste del Hospital Chulucanas en el A.H. Valle Manrique y al oeste de la Plaza de Armas de Chulucanas, A.H. Virgen de las Mercedes (Figura 16). La línea eléctrica LE05-CC muestra el predominio de valores muy bajos a bajos resistivos ($< 100 \Omega.m$), debido a la saturación de suelos conformados por arenas, arcillas y limos: todos rodeados por los terrenos de cultivo, canales de riego, drenes pluviales y nivel freático superficial, tal como se indica en la Figura 19.

La línea eléctrica LE05-CC, muestra el predominio de valores muy bajos resistivos ($< 20 \Omega.m$), que corresponderían a suelos con arenas, arcillas y limos saturados y con un nivel freático a 3 metros de profundidad.

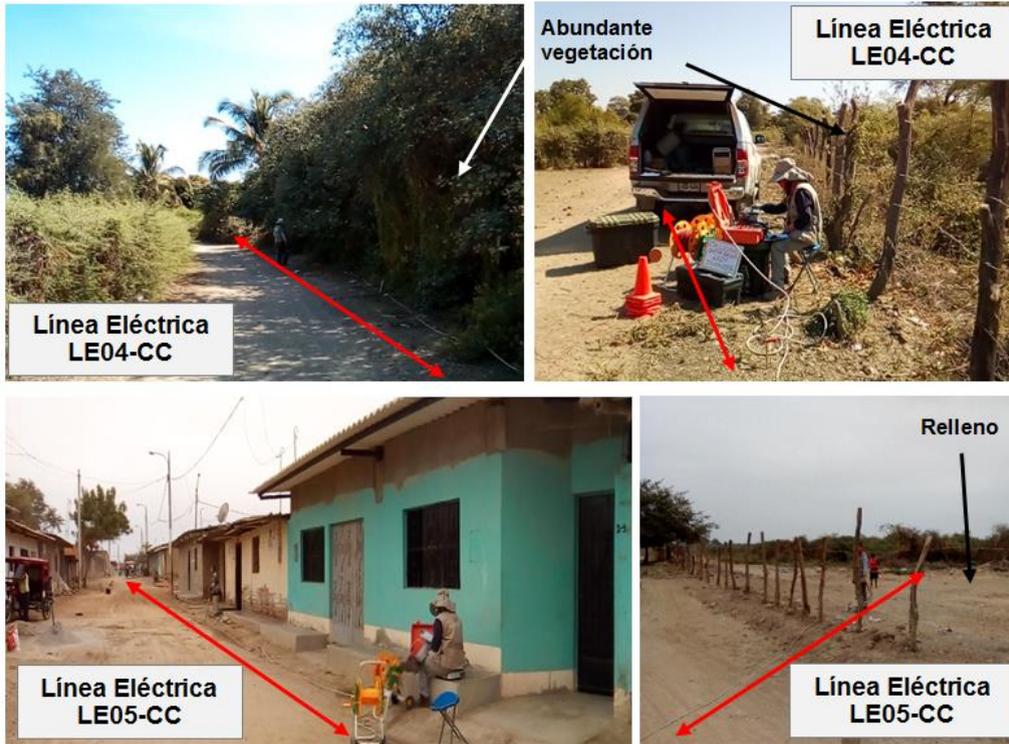


Figura 19: Vista de la línea eléctrica LE04-CC y LE05-CC.

En la Tabla 6, se muestra la profundidad de la saturación de suelos para la ciudad de Chulucanas. Asimismo, en la Figura 20, se presenta el resultado del análisis hecho para la línea LE01–SU y para los restantes, ver Anexos.

Tabla 6: Profundidad del medio saturado y material presente en el área urbana de Chulucanas.

Línea Eléctrica	Profundidad de saturación (m)	Material
LE01-CC	3	Arena, arcilla
LE02- CC	3	Arcilla arenosa
LE03- CC	3	Relleno
LE04- CC	3	Arena, limo arcilloso
LE05- CC	3	Arcilla arenosa, relleno

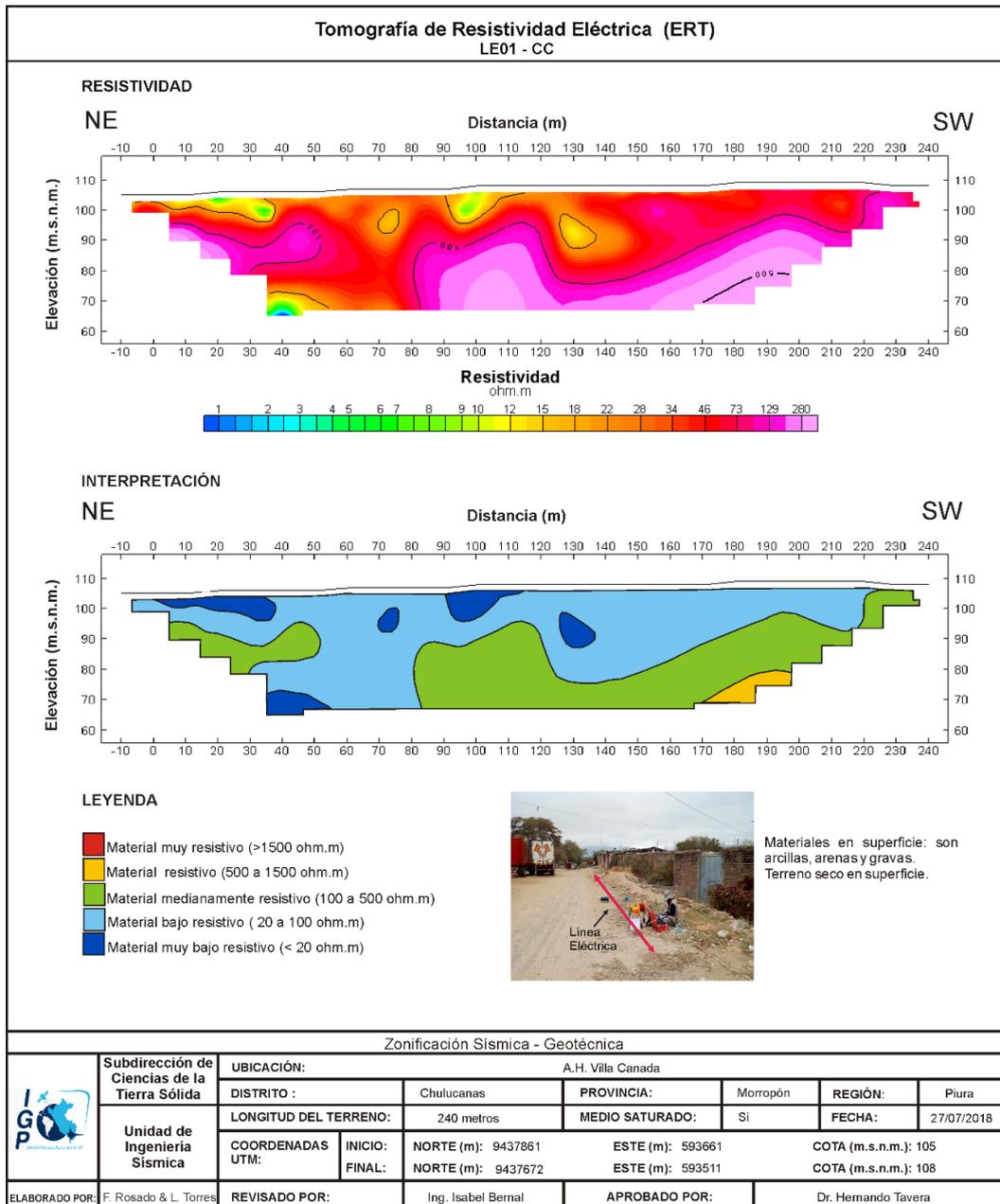


Figura 20: Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método de tomografía eléctrica para la línea LE01-CC.

De acuerdo a la información analizada, en la ciudad de Chulucanas se tiene el predominio de suelos saturados debido a la influencia de los ríos Piura y Yapatera, además de presentar zonas de rellenos sólidos por el A.H. Virgen de las Mercedes y próximo a la zona de depresiones. Además, se tiene la presencia de zonas aledañas a las riberas de las áreas que son propensas a inundaciones.

La zona de la llanura donde se ubica el área urbana más densificada de Chulucanas, presentaría especialmente niveles freáticos a 3 metros de profundidad (sectores como Pilar Nores, Micaela Bastidas, Vate Manrique, Nuevo amanecer), y

niveles freáticos más superficiales en los sectores de J. C. Mariategui, A.H. Virgen de las Mercedes y la margen derecha del río Yapatera. Estos resultados son similares a los obtenidos en PNUD e INDECI (2010).

El suelo potencialmente licuable estaría presente en el sector de la margen derecha del río Yapatera: suelos arenosos, saturados y otras en las zonas de relleno sólido.

2. ZONIFICACION SÍSMICA - GEOTÉCNICA

El mapa de Zonificación sísmica-geotécnica para el área urbana de Chulucanas, se elabora en función de la integración de los resultados obtenidos de los estudios geológicos, geotécnicos, sísmicos y geofísicos, delimitando zonas cuyos suelos presentan características de respuesta similares ante la ocurrencia de un sismo. Las características dinámicas del suelo y sus propiedades mecánicas, han permitido identificar en el área de estudio, de acuerdo a la Norma de Construcción Sismorresistente E.030, la existencia de suelos de Tipo S1, S2 y S4. Estos tipos de suelo corresponden a las Zonas I, II y IV respectivamente, donde el 50 % del área de estudio responde a rangos de periodos que varían entre 0.1 y 0.2 segundos y el 40 % a rangos de periodos que varía entre 0.3 y 0.4 segundos.

2.1. Integración de resultados

El área urbana de Chulucanas se encuentra sobre una superficie predominantemente plana y en algunos sectores son ligeramente onduladas formando elevaciones de diferentes dimensiones como lomadas que principalmente se emplazan al norte del área urbana (loma Leonor). Asimismo, muestra la presencia de dos cerros, el cerro Ñañañique ubicado al este del cementerio Municipal y el cerro Ñacara ubicado próximo a la entrada de Chulucanas en la margen derecha del río Piura, ambos cerros presentan pendientes menores a 35°. Por otro lado, el área de estudio se ubica en la margen derecha de los ríos Yapatera y Piura (Figura 21), que en temporada de lluvia crece el cauce del río Yapatera provocando el desborde del mismo y posterior inundación en el área urbana. Según INGEMMET (2017), el área urbana ha sufrido inundaciones por desborde del río Yapatera ocurridos en temporadas de lluvias y en condiciones extremas como es el caso del Fenómeno El Niño.

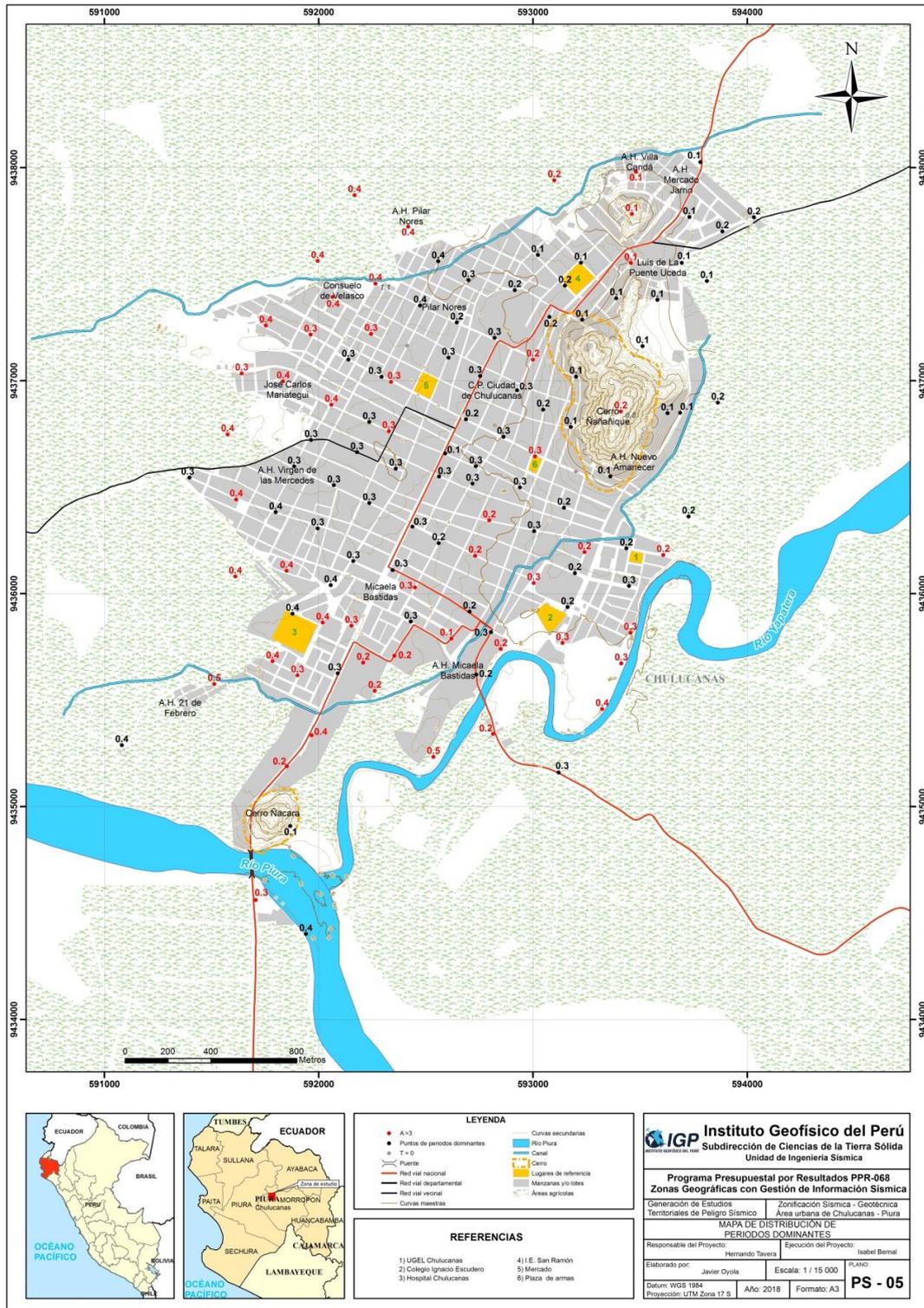


Figura 21. Mapa de la distribución espacial de los valores de periodos dominantes.

- **Periodos Dominantes:** Para presentar los resultados finales obtenidos con la técnica razones espectrales, los valores de frecuencias fueron transformados a periodos dominantes y para construir el mapa de periodos, se asignó a cada punto de medición un radio de confiabilidad de 10 metros, lo cual facilita los procedimientos seguidos para la zonificación de los suelos. En la Figura 21 se muestra la distribución espacial de los valores de periodos dominantes para el área urbana de Chulucanas, los cuales muestran en color negro para periodos menores a 0.5 segundos y los puntos que no presentan periodos solo en puntos grises.

Periodos de 0.1 y 0.2 segundos, se distribuyen de manera uniforme al noreste, este y sureste, periodos de 0.3 segundos se agrupan en menor cantidad en la zona céntrica, y los periodos de 0.4 y 0.5 segundos se presentan al noroeste y suroeste. Las mayores amplificaciones en el área de estudio se presentan por el hospital de Chulucanas, el colegio Ignacio Escudero próximo al río Yapatera.

Los periodos dominantes que caracterizan los suelos de Chulucanas, están relacionados con las condiciones físico-dinámicas a través de la relación $T_0=4H/V_s$, donde T_0 es el periodo dominante, H el espesor del estrato y V_s es la velocidad de onda de corte. Asumiendo velocidades de 300 m/s y 350 m/s para las ondas de corte (V_s) y periodos de 0.2 y 0.3 segundos, se estima una capa de 22 a 40 metros de espesor. Estos espesores han sido confirmados con los modelos de velocidad obtenidos con los arreglos sísmicos.

De lo expuesto, las características de los suelos identificados a partir de los ensayos geofísicos, muestra el predominio de dos rangos de periodos; el primero varía entre 0.1 y 0.2 segundos y se distribuyen de manera uniforme en dirección norte (A.H. Villa Canadá, I.E. San Ramón), al noreste (en la parte baja del cerro Ñañañique) y al sureste (A.H. Micaela Bastidas) del área de estudio (Figura 21). Este rango de periodos muestra consistencia con las características físicas del suelo; es decir, muestra el predominio de suelos rígidos y muy rígidos a lo largo de los perfiles sísmicos hasta la profundidad de 30 metros. Además, presenta suelos parcialmente húmedos a excepción del sector próximo al río Yapatera. Por otro lado, se identificó la existencia de una capa superficial de suelos constituidos de arenas y limos considerados como moderadamente rígidos y cuyo espesor es menor de los 7 metros.

El segundo rango de periodos varía entre 0.3 y 0.5 segundos y se distribuyen desde la zona central (Ciudad de Chulucanas) hacia la dirección oeste (Pilar Nores, A.H. Virgen de las Mercedes, A.H. 21 de Febrero, entre otros), tal como muestra la Figura 21. En cuanto a sus características físicas, muestran el predominio de suelos moderadamente rígidos a rígidos hasta la profundidad de 30 metros; pero existe una capa superficial caracterizada como suelos blandos con espesor menor a 5 metros que se encuentran saturadas.

El análisis de amplificación sísmica es de gran valor, puesto que durante la ocurrencia de un evento sísmico, es el efecto de sitio de mayor importancia. Dentro de este contexto, en la Figura 21 se muestra los periodos predominantes con amplificación mayor a 3 veces impresos de color rojo. Los resultados sugieren que los mayores sacudimientos se presentan principalmente al oeste del área urbana (A.H. 21 de Febrero, A.H. Virgen de las Mercedes, A.H. Pilar Nores, Loma Leonor) y por la margen derecha del río Yapatera. Dentro de las características que influyen en la amplificación o sacudimiento del suelo son la presencia del nivel freático y el tipo de suelo. INDECI y PNUD (2011), delimitan áreas donde se producirán las mayores amplificaciones, entre ellas se encuentran los sectores ubicados al oeste del área de estudio y en las márgenes de río Yapatera, estos resultados son coherentes con los resultados obtenidos en este estudio.

Los cerros Ñañañique y Ñacara, cuyas pendientes son menores a 35°, se encuentran constituidos por secuencias de rocas volcánicas conformadas por brechas piroclásticas andesíticas, cuyos bloques son de grandes dimensiones. Muestran suelos con mayor consistencia y lógicamente mayor su capacidad de carga admisible, a pesar de ello, existen fenómenos geodinámicos como caída de rocas, deslizamientos y otros factores que podrían afectar a las viviendas si es que estas comienzan a construirse en las laderas de los mismas.

Por otro lado, el río Yapatera arrastra consigo material sedimentario que finalmente es depositado en ambas márgenes del río (Figura 21) y por sus características en forma de meandros y la poca inclinación de la superficie, los materiales de menor diámetro (arenas y limos) son los que predominan como suelo superficial. En temporada de lluvia y en condiciones extremas como el Fenómeno El Niño, el río Yapatera incrementa su cauce generando inundaciones fluviales en las zonas urbanas que se encuentran próximas a este (A.H. Micaela Bastidas, UGEL Chulucanas, colegio Ignacio Escudero, entre otros). Según INGEMMET (2017), durante el Fenómeno de El Niño el río Yapatera acarreo caudales que sobrepasó su capacidad de carga por lo que ocasionó

inundaciones y procesos de erosión ribereña.

La importancia de conocer el nivel freático es para estimar los efectos posibles que puedan ocasionar a las estructuras al producirse el fenómeno de licuación de suelo, siempre que exista un evento sísmico de gran magnitud. Mediante los ensayos geofísicos realizados, se ha determinado que la profundidad de los suelos saturados se encuentra a partir de los 3 metros principalmente por los sectores ubicados al este del área urbana (A.H. 21 de Febrero, A.H. Virgen de las Mercedes, entre otros), ver Figura 22. Asimismo, es necesario tener presente que durante temporadas de lluvias extremas como el fenómeno de El Niño, el nivel freático ascenderá hacia la superficie. INDECI y PNUD (2011), identifican que el nivel freático en casi toda el área de estudio presenta una profundidad intermedia que varía entre 3 y 10 metros, pero en sectores que se encuentran al este del área urbana y en las márgenes de los cursos fluviales presenta niveles superficiales entre 0 y 3 metros. Otro de los factores que influye en disminuir la profundidad del nivel freático es la infiltración de agua por los canales de regadío sin revestir, asimismo, la infiltración por inundaciones causado por el desborde del agua que fluye por los canales Laguna El Coco y Ñacara.

Los procesos de licuación de suelos se originan en aquellos suelos que se encuentran caracterizados por arenas poco compactas y presentan mayor concentración de agua (estado saturado). Durante el sacudimiento originado por un evento sísmico de gran magnitud el suelo pierde su resistencia a la capacidad de carga, como consecuencia las estructuras construidas sobre este tipo de suelo sufren asentamientos importantes. A partir de los ensayos geotécnicos, en el área de estudio se ha identificado que los depósitos aluviales muestran el predominio de arenas, limos y arcillas; y de acuerdo a los ensayos geofísicos se ha identificado que los suelos con mayor concentración de humedad se encuentran distribuidos en la margen derecha del río Yapatera y al oeste del área urbana (A.H. 21 de Febrero, A.H. Micaela Bastidas, A.H. Pilar Nores, entre otros); por lo tanto, los suelos en estos sectores cumplen las condiciones necesarias para que generen el proceso de licuación de suelos ante la ocurrencia de un evento sísmico. En el estudio realizado por INDECI y PNUD (2011), sugieren la posibilidad de darse licuación se suelos en el área de estudio, pero es necesario realizar estudios de manera local y con mayor detalle.

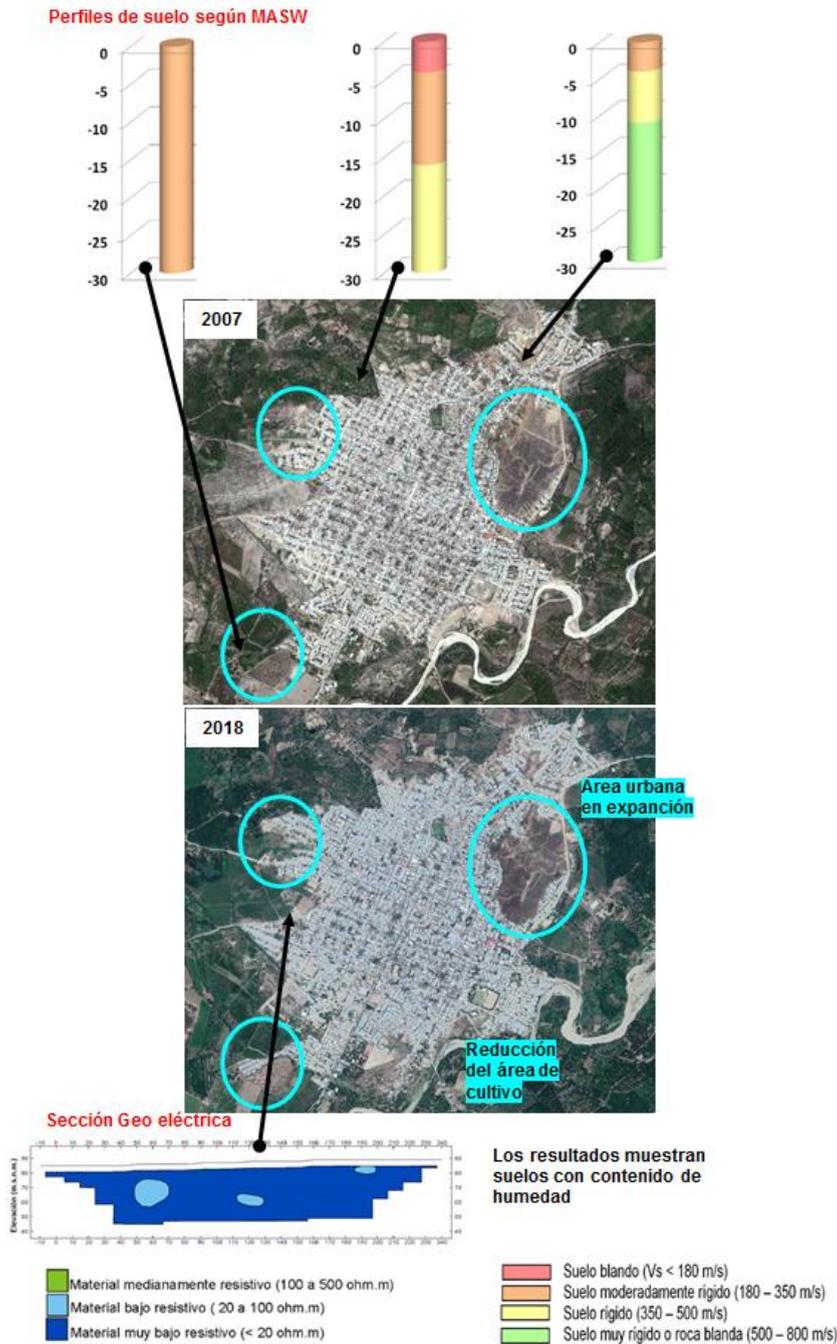


Figura 22: Interpretación de resultados obtenidos a partir de ensayos geofísicos.

Las caracterización física y dinámica del suelo permitió identificar su complejidad; es decir, al estar el suelo constituido de arenas, limos y arcillas y a la existencia del nivel freático en superficie debido a lluvias intensas y/o el Fenómeno El Niño, que sumado a la ocurrencia de un evento sísmico de gran magnitud, permitieran que la capacidad de carga admisible disminuya y aumente la probabilidad de generarse mayores amplificaciones y posibles procesos de licuación de suelos. Por lo tanto es necesaria e indispensable que la información contenido en el presente informe, sea considerada como base para nuevos proyectos de GRD y la toma de decisiones.

2.2. Mapa de Zonificación Sísmica - Geotécnica

Para la ciudad de Chulucanas se propone la siguiente Zonificación Sísmica – Geotécnica (Figura 23):

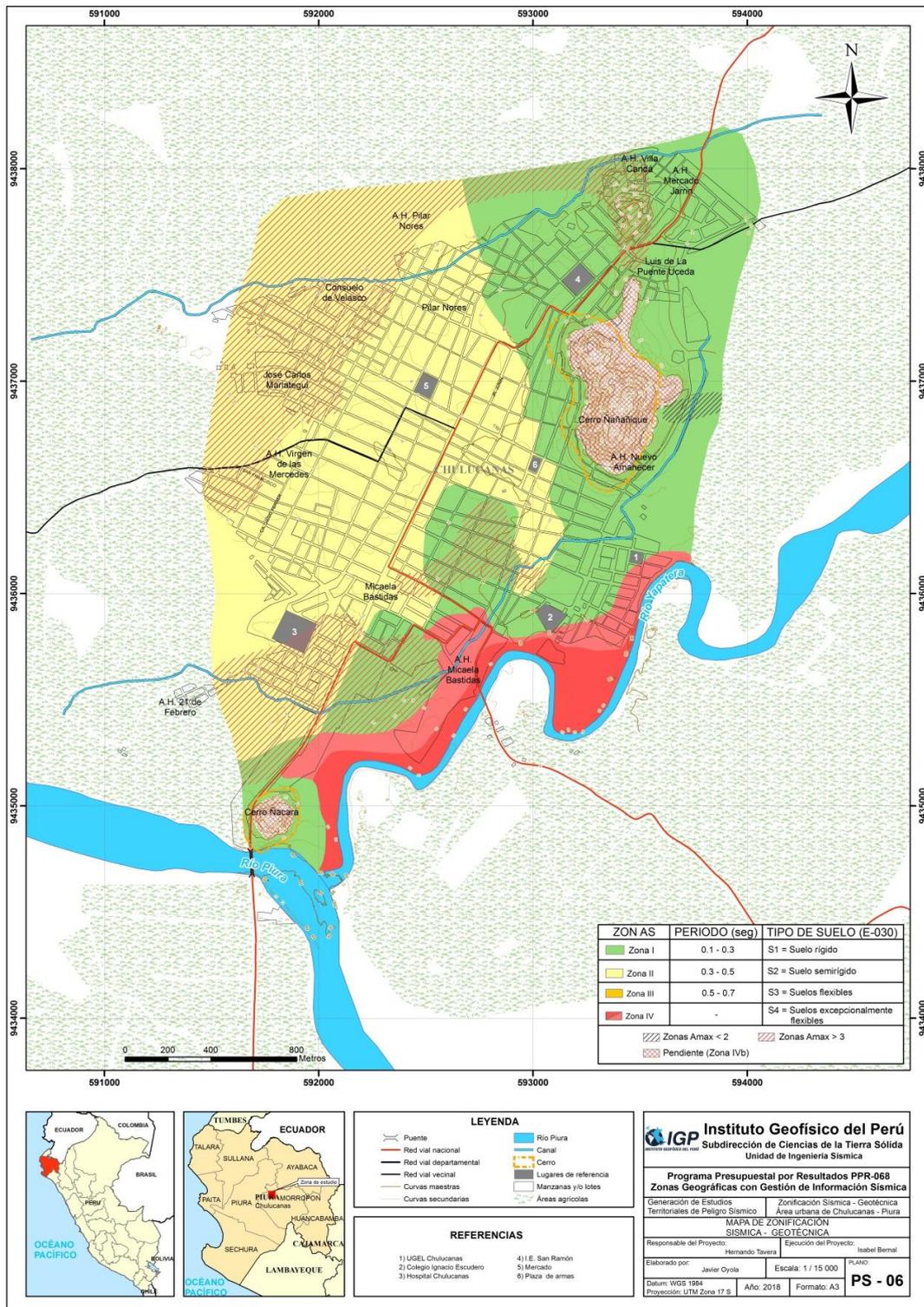


Figura 23: Mapa de Zonificación Sísmica- Geotécnica de la ciudad de Chulucanas y alrededores.

- ZONA I: Considera los suelos más consolidados presentes en el área de estudio; constituidos por depósitos aluviales, desde el nivel superficial y materiales volcánicos identificados próximo al cerro Ñañañique y por la Loma Leonor. Esta zona presenta velocidades de ondas de corte V_s de 240 m/s para la capa superficial y hasta 895 m/s a la profundidad de 30 metros. El periodo de vibración natural varía entre 0.1 y 0.2 segundos, tiene un comportamiento rígido y es considerado como suelos Tipo S1 según la norma sismoresistente peruana. Presenta suelos con capacidad de carga admisible menor a 2.0 kg/cm² hasta un metro de profundidad. Esta zona comprende el 50 % del área de estudio y se emplaza al noreste, este y sur del área de estudio (A.H. Villa Canadá, Loma Leonor, A.H. Nuevo Amanecer, A.H. Micaela Bastidas, entre otros), ver Figura 23.

-ZONA II: Considera los suelos poco consolidados del área de estudio, constituidos por depósitos aluviales conformados por arenas, limos y arcillas, desde el nivel superficial. Esta zona presenta velocidades de ondas de corte V_s de 175 m/s para la capa superficial y de hasta 428 m/s a la profundidad de 30 metros. El periodo de vibración natural varía entre 0.3 y 0.5 segundos, tiene un comportamiento medianamente rígido considerado como suelos Tipo S2 según la norma sismoresistente peruana. Presenta suelos con capacidad de carga admisible menor a 2.0 kg/cm² hasta un metro de profundidad, que conforme se dirige hacia el oeste disminuye hasta por debajo de 1 kg/cm². Esta zona comprende el 40 % del área de estudio, se emplaza desde la parte del centro del área urbana y se extiende hacia el oeste (Ciudad de Chulucanas, Pilar Nores, A.H. Virgen de las Mercedes, A.H. 21 de Febrero, entre otros), ver Figura 23.

-ZONA IV: Esta zona corresponde a suelos cuyas características físicas y dinámicas son excepcionales, por lo que su comportamiento comprende a suelos Tipo S4 de la norma sismoresistente peruana. Se subdivide en:

- Zona IVa: Constituida por depósitos fluviales y aluviales con alto contenido de humedad y en algunos sectores constituidos por limos que se encuentran emplazados próximo al río Yapatera (Figura 23). Esta zona se emplaza al sureste del área de estudio con dirección NE – SO y presenta baja capacidad de carga admisible (< 1.0 kg/cm²). Asimismo, en esta zona puede generarse procesos geodinámicos externos como inundaciones, procesos de licuación y la generación de mayores sacudimientos del suelo durante la ocurrencia de un evento sísmico.

.- Zona IVb: Corresponde a zonas de topografía irregular, susceptibles a generar derrumbes, además de flujos de detritos. Son aquellos sectores constituidos por material inconsolidado y suelto. El área de estudio está caracterizada por depósitos volcánicos que se encuentran meteorizados en superficie y que forman el cerro Ñañañique. Corresponde a zonas inestables con pendientes menores a 35° que podrían generarse caída de rocas afectando las vías de acceso y zonas urbanas, ver Figura 23.

En las zonas I y II, las líneas inclinadas en rojo delimitan áreas donde los suelos presentan amplificaciones relativas mayores a 3 veces; es decir, los mayores sacudimientos del suelo durante un evento sísmico se presentarán principalmente al oeste del área urbana (A.H. 21 de Febrero, A.H. Virgen de las Mercedes, A.H. Pilar Nores, Loma Leonor) y por los márgenes del río Yapatera.

CONCLUSIONES

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

- Los resultados obtenidos de las razones espectrales H/V, permiten mostrar un pico de frecuencia bien definido y presente en toda el área urbana: 2.0 y 16.0 Hz. Estos valores evidencian que en el área urbana de Chulucanas, existe una capa sedimentaria con un comportamiento dinámico homogéneo, que aumenta su espesor, mientras se avanza en dirección oeste.
- Por otro lado, al sur cerca del río Yapatera y en dirección noroeste, existen áreas que presentan amplificaciones relativas mayores a 3 veces, lo que evidencia la existencia de suelos menos consolidados, que el resto del área.
- De los resultados obtenidos con el método sísmico, en el área de estudio predominan en superficie dos tipos de suelos: el primero se encuentra distribuido hacia el oeste y está constituido por suelos blandos (175 a 178 m/s) con 2 a 4 metros de espesor, corresponde a suelos moderadamente rígidos. El segundo, constituido por suelos moderadamente rígidos (V_s 207 a 293 m/s) y espesores que varían entre 4 a 11 metros, tales se encuentran emplazados en gran parte del área de Chulucanas. Por debajo y en profundidad, se encuentran los suelos rígidos con espesores que superan la profundidad de 30 metros principalmente en dirección oeste; sin embargo, hacia el este, los suelos rígidos de poco espesor se encuentran sobre roca blanda a roca moderadamente rígida en profundidad.
- Los valores de velocidad promedio calculados para los primeros 30 metros de profundidad (V_{s30}), según la norma E030-2018, clasifica el área de estudio en dos tipos de suelo: el primero con rangos de velocidades $V_{s(30)}$ entre 257 a 435 m/s, lo cual sugiere la presencia de suelos medianamente rígidos que se emplazan en dirección suroeste. El segundo, con rangos de velocidades $V_{s(30)}$ entre 510 a 515 m/s, que sugieren la presencia de suelos muy rígidos y presentes en dirección noreste.
- Los suelos con periodos de 0.1 y 0.2 segundos, se distribuyen de manera uniforme en dirección noreste, este y sureste. Suelos con periodos de 0.3 se

agrupan en menor cantidad en la zona céntrica, y los de periodos entre 0.4 y 0.5 segundos, se presentan al noroeste y suroeste. Las mayores amplificaciones en el área de estudio, se presentan por el Hospital de Chulucanas y el colegio Ignacio Escudero, cerca al río Yapatera.

- Los periodos dominantes que caracterizan los suelos de Chulucanas, están relacionados con las condiciones físico-dinámicas a través de la relación $T_0=4H/V_s$, donde T_0 es el periodo dominante, H el espesor del estrato y V_s es la velocidad de onda de corte. Asumiendo velocidades de 300 m/s y 350 m/s para las ondas de corte (V_s) y periodos de 0.2 y 0.3 segundos, se estima una capa de 22 a 40 metros de espesor. Estos espesores han sido confirmados con los modelos de velocidad obtenidos con los arreglos sísmicos.
- Los sectores próximos a los cerros Ñañañique y Ñácara, presenta humedad en superficie, pero a profundidades de 20 metros aproximadamente existen medios consolidados con menor permeabilidad; sin embargo, la potencia de los depósitos aluviales que contienen a los medios saturados pueden variar a mayores espesores y en zonas de depresiones.
- Los resultados obtenidos para el área urbana de Chulucanas a partir de sus características físicas y dinámicas del suelo, han permitido identificar, de acuerdo a las consideraciones indicadas en la Norma de Construcción Sismorresistente E-030, la existencia de suelos de Tipo S1, S2 y S4.

BIBLIOGRAFIA

- Bard, P-Y y SESAME (2001) The SESAME project: an overview and main results. 13 World Conference on Earthquake Engineering Vancouver, B.C., Canada August 16, 2004 Paper No. 2207.
- Bard, P-Y. (1995) Effects of surface geology on ground motion: Recent results and remaining issues, In Proc. 10 European Conf. Earth. Eng., ed. Duma, Balkema, Rotterdam, 305-323.
- 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. (2006) Microzonificación sísmica de la ciudad de Tlaxcala, Mexico. Tesis de Maestría en Ciencias, UNAM, pag. 130.
- Braja Das, (2011) - Principles of Foundation Engineering, Seven Edition, pág. 139-140.
- Brusi, D., et al (2013) - Enseñanza de las Ciencias de la Tierra. ISSN: 1132-9157. Pág. 181-194.
- Cahill & Isacks (1992) - Seismicity and shape of the subducted Nazca Plate. Journal Geophys. Res., 97, 17503-17529.
- Caracterización de arcillas en la provincia de Morropón Chulucanas (2006).
- Chow, V., T., Maidment, D., R., & Mays, L., W., (1994) - Hidrología Aplicada Bogotá, McGrawHill, pág. 584.
- CISMID, (2016) - Densidad de campo. Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres. Laboratorio Geotécnico.
- Comité Interinstitucional, (2007) - Plan de Defensa Ribereñas y Encauzamiento de Ríos. Resumen del Diagnóstico Situacional. Autoridad Autónoma Cuenca Hidrográfica Chira – Piura.
- CONIDA, (2017) – Comisión Nacional de Investigación y Desarrollo Aeroespacial. Mapa de Estimación de Zonas Inundables.
- Crespo V., C., (2004) - Mecánica de Suelos y Cimentaciones, 5ta edición.
- Dorbath, L., Cisternas, A., Dorbath, C. (1990). Assessment of the size of large and great historical earthquakes in Peru. Bull. Seismol. Soc. Am., 80 (30), 551-576.
- ENFEN, (2017) - Comisión Multisectorial Encargada del Estudio Nacional del Fenómeno "El Niño".
- Estudio mapa de peligros, plan de usos del suelo ante desastres y medidas de mitigación de la ciudad de Chulucanas (2011).

- Flores-Estrella, H., Lomnitz, C. y Yussim S. (2004). “Estimación de velocidades de fase a partir del análisis de microtremores con el método SPAC”, *Geophysics*, Vol. 24, N° 3, 438-445.
- Gasulla, M.; Jordana, J.; Pallás, R.; Torrents, J.M. (1998). Subsurface resistivity measurements using square waveforms. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 47(1): 74-77.
- GITS-Grupo de Investigación de Transporte de Sedimentos.
- Hartzel, S. H. (1992). Site response estimation from earthquake data. *Bull. Seism. Soc. Am.* 82, 2308-2327.
- Harvey, A., M., 1987. Patterns of Quaternary aggradational and dissectional landform development in the Almeria region, southeast Spain: a dry-region tectonically-active landscape. *Die Erde* 118, 193-215.
- Heidelberg Carl Winster Universitat-Shuchhan-Lunc, p. 406.
- Hutchinson, J., N., (1968) - Mass Movement. In the *Enciclopedia of Geomorphology* (Fairbridge, R.W., ed., Reinhold Book Corp., New York). 668-696 p.
- Hutchinson, J., N., (1988) - General Report: Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology. *Proceedings, Fifth International Symposium on Landslides*, (Ed: Bonnard, C.). 1, 3-35 p. Rotterdam: Balkema.
- INDECI, (2017) – Instituto Nacional de Defensa Civil. Estado Situacional de la Emergencia.
- Instituto Nacional De Recursos Naturales (2002) - *Inventario de Fuentes de Agua Subterránea*. Plan Regional de prevención de desastres (2005).
- Lermo, J. y F.J. Chávez-García (1994a). Are microtremors useful in site response evaluation?, *Bull. Seism. Soc. Am.* 84, 1350-1364 pp.
- Lermo, J. y F.J. Chávez-García (1994b). Site effect evaluation at Mexico City. Dominant period and relative amplification from strong motion and microtremors records, *Soil. Dyn. & Earthq. Eng.* 13, 413-423 pp.
- Loke, M.H. (2004). Tutorial 2D and 3D electrical imaging surveys.
- Meyerhof, G., G., (1956) – Penetración Test and Bearing Capacity of Cohesionless Soils. *Journal of the Soils Mechanics and Foundations División, ASCE*, Vol 82 N°SM1, Proc. Paper 886, Jan. 1956, pp-19.
- Ministerio de Economía y Finanzas, (2017) - Informe de seguimiento y Gestión a la

Inversión Pública.

- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2015) - <http://renac.mtc.gob.pe/inventariovial/default2.aspx>.
- Nakamura Y. (1989). A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. *Quarterly Report Railway Tech. Res. Inst.*, 30-1, 25-30.
- Norma Técnica de edificaciones E.030. 2016. Aprobada por Decreto Supremo N° 011-2006-VIVIENDA, modificada por Decreto Supremo N° 003-2016-VIVIENDA.
- Orellana, E. (1982). *Prospección geoelectrica en corriente continua*. Madrid: Ediciones Paraninfo.
- Pachon et al. (2000) - Implicaciones de la Red de Acelerógrafos de Bogotá en el estudio de Microzonificación Sísmica. *INGEOMINAS*.
- Park, C. B., Miller, R. D. y Xia, J. (1999). Multichannel analysis of surface waves *Geophysics* 64 800-8.
- Park, C. B., Miller, R. D., Xia, J., & Ivanov, J. (2007). Multichannel analysis of surface waves (MASW)—active and passive methods. *The Leading Edge*, 26 (1), 60–64.
- Park, C.B. (2014). MASW for geotechnical site investigation. *The Leading Edge*, 32(6):656-662.
- Park, C.B. (2015). Data acquisition. Retrieved 23 June, 2015, from <http://www.masw.com/DataAcquisition.html>
- Perrone, A., Iannuzzi, A., Lapenna, V., Lorenzo, P., Piscitelli, S., Rizzo, E., and Sdao, F. (2004). Highresolution electrical imaging of the Varco d'Izzo earthflow (southern Italy), *J. Appl. Geophys.*, 5 56, 17–29, doi:10.1016/j.jappgeo.2004.03.004
- Pike, R. J., I. S. Evans, and T. Hengl. 2009. *Geomorphometry: A brief Guide*. *Dev. Soil Sci.* 33: 3-30.
- Plan Director de Chulucanas (2000) - Mapa de Peligros, Plan de Usos del Suelo y Plan de Mitigación ante Desastres de la Ciudad de Chulucanas.
- Proyecto de Mapa de Peligros de Piura – (Apoyo INDECI, 2002).
- Proyecto SEDI/AICD/AE/306/07 Programa de Reducción de Desastres para el Desarrollo Sostenible en las ciudades de Piura (Perú) y Machala (Ecuador). Estudio mapa de peligros de la ciudad de Piura (2008-2009).
- Quille, R., Bustamante, A., Trujillo, Q., Osorio, A., Casapia, E., Quiñones, M., Vidal, C. (2006). Caracterización de arcillas de la provincia de Morropón por técnicas físicas

- y químicas. Revista de Investigación de Física. Vol. 9 N° 2, 53-60.
- Reynolds, J.M. (2011). An Introduction to Applied and Environmental Geophysics. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, 2nd ed., 712 pp.
- Roma, V. (2010). Seismic geotechnical site characterization by means of MASW and ReMi methods. *FastTIMES*, 15(3):16-28.
- Roman, F., Jaimes, E., Moreno, M., Cuisano, V., Gallo, M., Yaipen, J. y Flores, M. (2017). Informe de evaluación del riesgo por desastre del río Piura e inundación pluvial en el centro poblado de Castilla, distrito de Castilla, provincia y departamento de Piura. Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres. p. 70.
- Samouëlian, A., I. Cousin, A. Tabbagh, A. Bruand y G. Richard, (2006). Electrical resistivity survey in soil science: a review. *Soil Till Res* 83, 173-193.
- Seed HB, Tokimatsu K, Harder LH & Chung R., (1984) - "The influence of SPT procedures in soil liquefaction resistance evaluations," Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, Report No. EERC 84-15.
- Sepúlveda, S.A., (2000) - Metodología de Evaluación del Peligro de Flujos de Detritos en Ambientes Montañosos. *Revista Comunicaciones*, Departamento de Geología, Universidad de Chile, No.51, p. 3-28.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), (2018). <http://www.senamhi.gob.pe/>
- SESAME European research project WP12 – Deliverable D23.12: (2004). Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations measurements, processing and interpretation.
- Sieberg, A. (1930). Los Terremotos en el Perú. Capítulo VI, *Geología del Perú* de G. Steinmann, Silgado, E. (1978). Historia de los sismos más notables ocurridos en el Perú (1513 -1974). INGEMMET. Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 3, 130 p.
- Socco, L.V., Boiero, D., Comina, C., Foti, S., y Wis_en, R. (2008). Seismic characterization of an Alpine site. *Near Surface Geophysics*, 6(4):255-267.
- Suárez, D., J., (1998) – Estabilidad de Taludes en Tropicales. Instituto de Investigación sobre erosión y deslizamientos. Colombia. Ed. Ingeniería de Suelos Ltda. 550 p.
- Tarbuck, E., D. Lutgens, F., K., (2005) - Ciencias de la Tierra. Una introducción a la Geología Física Pretince Hall. Cap16. 8a edición. 710 pp.
- Tavera, H., Agüero, C y Fernández, E. (2016). Catálogo general de isosistas para sismos peruano. Instituto Geofísico del Perú. Pag. 196.

- Terzaghi, K. Peck, B., G. & Mesri, G., (1948) – Soil mechanics in engineering practice, New York: Wiley.
- Torres, L., Cobeña, J., Castillo, P y Daga, R. (2011). Estudio Mapa de peligros, plan de usos de suelo ante desastres y medidas de mitigación de la ciudad de Chulucanas. Proyecto INDECI – PNUD PER/02/051, 143p.
- Varnes, D. J., (1978) - Slope Movement: Types and Proceses. In Scuster R. L. y Krizek, R. J., ed. Landslides analysis and control: Washington, D. C. National Academy Press, Transportation Research Board Special report 176. 9-33 p.
- Varnes, D.J., (1958) - Landslide types and processes in Eckel E.B., ed., Landslides and Engineering Practice, Highway Research Board Special Report 29, NAS-NRC Publication 544, Washington, D.C. 20-47 p.
- Vilchez, et al, (2013) - Riesgo Geológico En La Región Piura. Ingemmet.
- Vilchez, M., Sosa, N., Jaimes, F., Mamani, Y, Cerpa, L, Martínez, J. (2017). Evaluación geológica de las zonas afectadas por El Niño costero 2017 en la Región Piura. Informe técnico N° A6765 INGEMMET, 110p.
- Wyllie, D., C. & Norrish, N., I., (1996). “Stabilization of rock slopes”. Landslides investigation and mitigation. Special report 247. Transportation Research Board. National research council, pp. 474-504.
- Xia, J., Miller, R.D., and Park, C.B., 1999, Estimation of near-surface shear-wave velocity by inversion of Rayleigh wave: Geophysics, 64, 691–700.
- Zenteno, E., Ayasta, H. y Guevara, N. (2003). Inventario de fuentes de aguas subterráneas en el valle Piura (Parte Alta). Informe técnico del Ministerio del Ambiente. Instituto Nacional de Recursos Hídricos. INRENA 99p.
- Zinck, J. & Valenzuela, C., (1990) – Soil geographic database: structure and application examples. ITC Journal, 1990(3), 270-294.

ANEXOS

ANEXO

La información que se detalla está contenida en el CD que se adjunta al presente Informe Técnico. “Zonificación Sísmica – Geotécnica de la ciudad de Chulucanas”.

1. Información Geológica Geotécnica:

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

2. Información Geofísica

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

