



PERÚ

Ministerio
del Ambiente



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

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



ZONIFICACIÓN GEOFÍSICA – GEOTÉCNICA DE LA CIUDAD DE HUMAY Y BERNALES

Lima – Perú

2016

Instituto Geofísico del Perú

Presidente Ejecutivo: Hernando Tavera

Director Científico: Danny Scipion

Autores

Isabel Bernal

Caracterización Geofísica de las áreas urbanas de Humay y Bernales

Juan Carlos Gómez

Caracterización Geológica y Geotécnica de la ciudad de Humay - Bernales

Equipo de Evaluación Geológica y Geotécnica: Pilar Vivanco / Mariana Vivanco

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

Personal de apoyo: Augusto Cárdenas / Roberth Yupanqui

Personal administrativo: Marisol Enríquez

Este Informe ha sido producido por:

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

**ZONIFICACIÓN GEOFÍSICA – GEOTÉCNICA DE LAS
ÁREAS URBANAS DE HUMAY Y BERNALES**

Distrito de Humay – Provincia de Pisco – Región Ica

RESUMEN

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

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

ÍNDICE

RESÚMEN

ÍNDICE

PARTE 1: Presentación

1. Introducción

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

2. Condiciones locales de sitio

- 2.1. La Norma Técnica E.030

PARTE 2: Caracterización geológica y geotécnica del área urbana de Humay

PARTE 3: Caracterización geológica y geotécnica del área urbana de Bernales

PARTE 4: Caracterización sísmica del área urbana de Humay y Bernales

ANEXOS: La información considerada en el presente Informe Técnico esta disponible en formato digital.

1. INTRODUCCIÓN

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

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

De acuerdo a la historia sísmica del Perú, la región centro ha sido afectada en varias oportunidades por eventos sísmicos de variada magnitud que han generado altos niveles de intensidad, puesta en evidencia con los daños observados post-sismo en los departamentos de Lima e Ica (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.

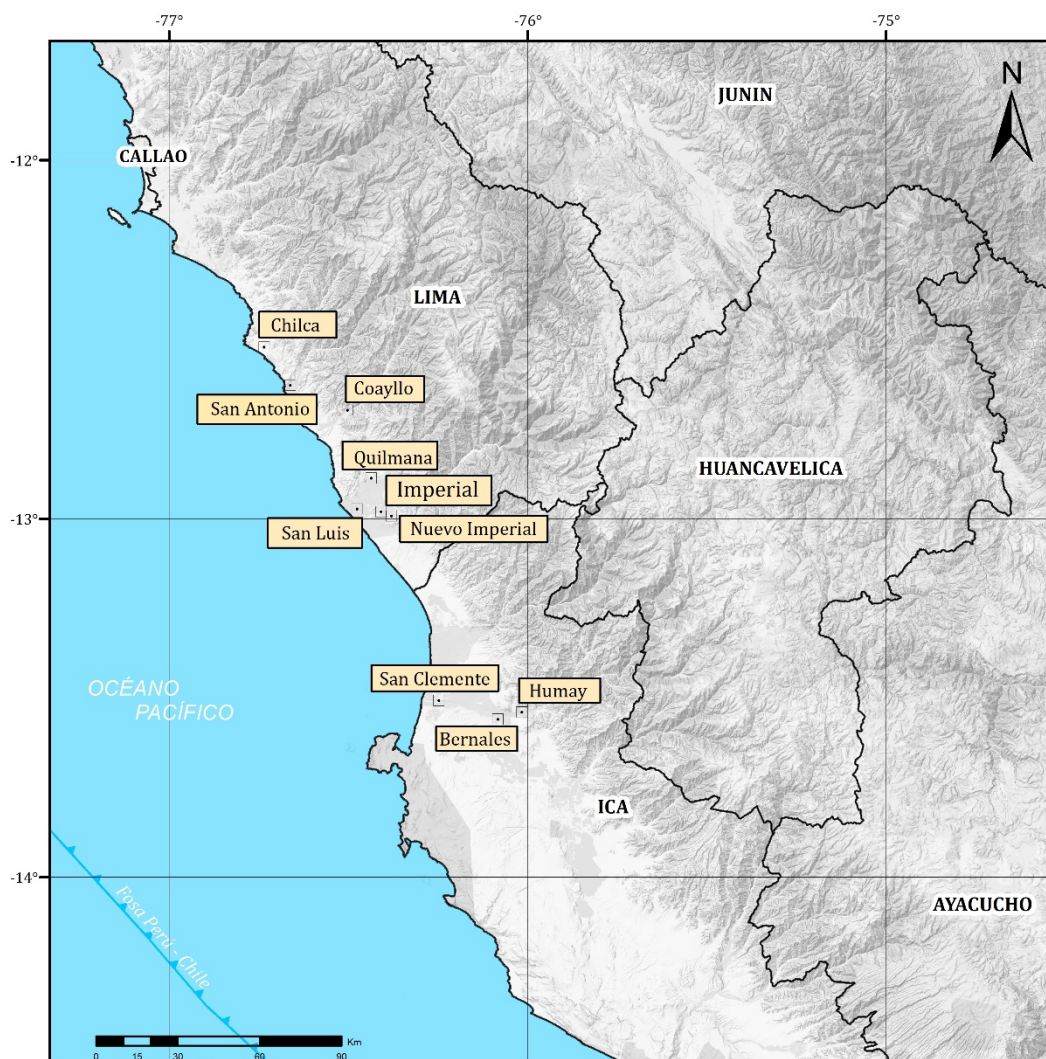


Figura 1: Distribución espacial de las ciudades para las cuales se ha realizado la Zonificación Geofísica – Geotécnica de suelos.

Los estudios de Zonificación Geofísica – Geotécnica (Comportamiento Dinámico del Suelo) permitirán tener mayor conocimiento sobre las características dinámicas del suelo sobre el cual se levantan las ciudades y/o futuras áreas de expansión. Para ello se realiza la aplicación de diferentes metodologías que consideran datos sísmicos, 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 las localidades de las áreas urbanas de Humay y BERNALES deben comprender que existen tres (3) reglas para construir una casa sismorresistente (www.acerosarequipa.com):

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

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

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

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

1.1. Objetivo

El principal objetivo a cumplir en este estudio es obtener el mapa de Zonificación Geofísica - Geotécnica para las áreas urbanas de Humay y Bernalles, provincia de Pisco y región de Ica, a partir de la integración de los resultados obtenidos con diferentes métodos sísmicos, geofísicos, geológicos y geotécnicos (Figura 2). Asimismo, es de interés del presente estudio que las autoridades dispongan de un documento técnico que les ayude en el desarrollo y ejecución de proyectos orientados a la gestión del ordenamiento territorial y desarrollo sostenible de la ciudad.

1.2. Historia

La ocupación de la cuenca del río Pisco data desde el Periodo Precerámico (12000 a.n.e), específicamente en el litoral costero, cuyos primeros hombres vivían de la pesca y la recolección de vegetales. Se pueden citar como los primeros asentamientos de éste periodo a Otuma y No 14-VI-514 localizados en la bahía de Paracas (Bastiani, 2006). Posteriormente entre el Periodo Inicial (1800 - 1200 a.n.e.) y el Horizonte Temprano (1200 - 200 a.n.e.), se inicia el desarrollo de las comunidades aldeanas

expresado en la búsqueda de la perfección del tallado de piedras y cerámica, construcción de canales de riego para una mejor agricultura y la producción textil. A este intervalo cronológico pertenecen los sitios de Disco Verde, Puerto Nuevo, Karwas, Warikayán, Cabezas Largas (quienes desarrollaron los Mantos Paracas) y el asentamiento de Chongos ubicado en la ribera sur del río Pisco (Modificado de Bastiand, 2006). A partir del Periodo Intermedio Temprano (200 a.n.e. - 600 d.n.e.), se inicia el proceso de influencia comercial de la cultura Nazca que reocuparon el sitio de Cabezas Largas. De igual manera lo hicieron los Wari durante el Horizonte Medio (600 – 900 d.n.e.), que expandieron sus dominios a lo largo del territorio peruano como en el valle de Pisco, con los sitios arqueológicos de Maymi, Pantayco, Huaya Chica, entre otros (Bastiand, 2006).



Figura 2: Plaza principal de la ciudad de Humay.

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

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

En la época de la colonia se impulsó la agricultura mediante formación de haciendas vitivinícolas y la estabilización de los lugareños en la zona de Caucato. hacia el año de 1913 se empezó a desplazar gradualmente el cultivo de la caña de azúcar por el algodón, siendo definitivo este proceso en el año 1923, razón por el cual conocidos Ex Presidentes de la República trabajaron en ella como Don Augusto B. Leguía como cajero y Don Guillermo Bilinghurt como administrador haciéndose conocido además un personaje ilustre como Don Fermín Tanguis, que logró que el algodón del Valle de Pisco se cotizara mundialmente. Entre tanto, la construcción de la vía “Los Libertadores Wari” y la carretera Panamericana Sur a mediados del siglo XX jugaron un rol importante en la relación e intercambio comercial entre las localidades establecidas en la zona baja y media del valle de Pisco, como Humay, un distrito agrícola creado el 25 de junio de 1855 bajo el mandato del presidente Ramón Castilla. Este lugar se destaca por sus platos de camarones, sembríos de uvas, creencias religiosas y su cercanía a una de las ruinas mejor conservadas del imperio incaico ya citada (Tambo Colorado). Actualmente, la población total del distrito según INEI (2007) es de 5400 habitantes, establecidos en 1400 viviendas con expansión urbana hacia el lado norte del distrito.

El distrito de Humay es uno de los ocho que conforman la provincia peruana de Pisco, ubicada en la región de Ica, bajo la administración del Gobierno Regional de Ica. Limita por el norte con los distritos de San Clemente, Independencia y El Carmen; al este con el distrito Huancano; al sur con el distrito de Salas; y por el oeste con los distritos de San Andrés y Túpac Amaru. Desde el punto de vista jerárquico de la Iglesia católica forma parte de la Diócesis de Ica (Figura 3).

Asimismo, la ciudad de Bernalles pertenece al distrito de Humay, provincia de Pisco, departamento de Ica, se ubica aproximadamente a 257 km al sur de Lima, la zona urbana se asienta en la margen izquierda del río Pisco (Figura 4). El área urbana de Bernalles está ubicada en las coordenadas UTM (Universal Transversal Mercator): 395552E y 8480612N, abarca un total de 54 has que representan el 0.015% del distrito, con una elevación promedio de 302 m.s.n.m.

1.3. Accesibilidad y Clima

El acceso a las zonas de estudio desde Lima se realiza por la carretera Panamericana Sur hasta la ciudad de San Clemente, cuyo recorrido es de 226 km aproximadamente. Luego, se toma la vía Los Libertadores con dirección Este hasta los desvíos de los kilómetros 20.7 y 30.9, para llegar a las áreas urbanas de Bernalles y

Humay, respectivamente. Se debe indicar que, este itinerario se realizó a través de vía asfaltada en buen estado de conservación.

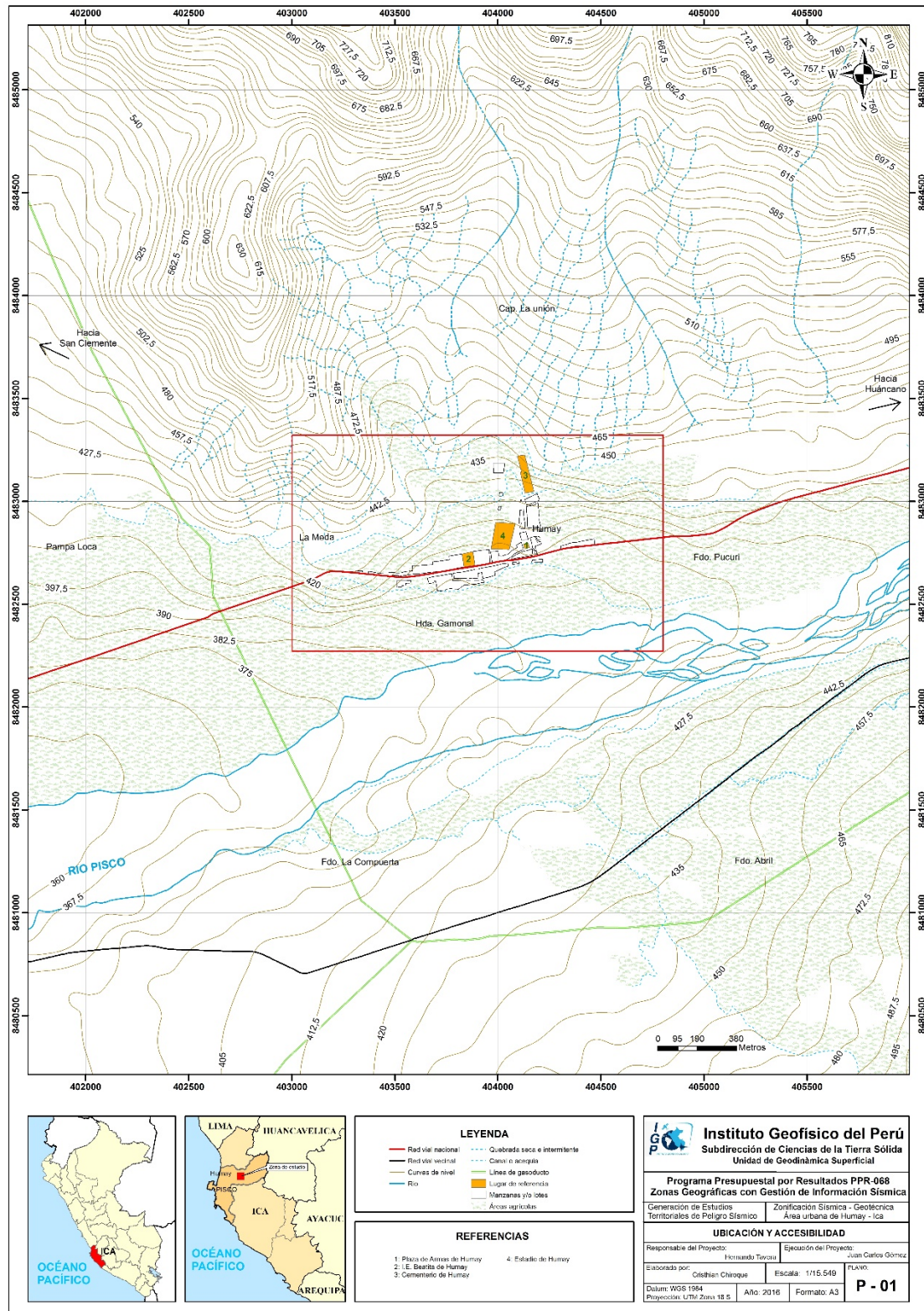


Figura 3: Mapa de ubicación geográfica del área urbana de Humay.



Figura 4: Mapa de ubicación geográfica del área urbana de Bernal.

Para entender las condiciones climáticas en el distrito de Humay, se han tomado datos referenciales de la web del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). La información obtenida se muestra en la Tabla 1 y corresponde a los datos de la estación meteorológica "Hacienda Bernalés - 000650", que se encuentra ubicada a 21 Km al sureste de la ciudad en mención, en las coordenadas geográficas: Latitud 13°44'28.3", Longitud 75°57'58.9" y en la cota 305 m.s.n.m., período 2014-2015 (Figura 5). Según esta información, el distrito de Humay presenta clima variado: cálido durante los meses de diciembre – abril; mientras que, se presenta templado en los meses de mayo - noviembre, con temperaturas máximas promedio de 25 a 30 °C y mínimas promedio de 12 a 19°C, respectivamente. Los datos pluviométricos indican que las máximas precipitaciones alcanzan en promedio 4.5 mm mensuales, durante los meses de enero a marzo.

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

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

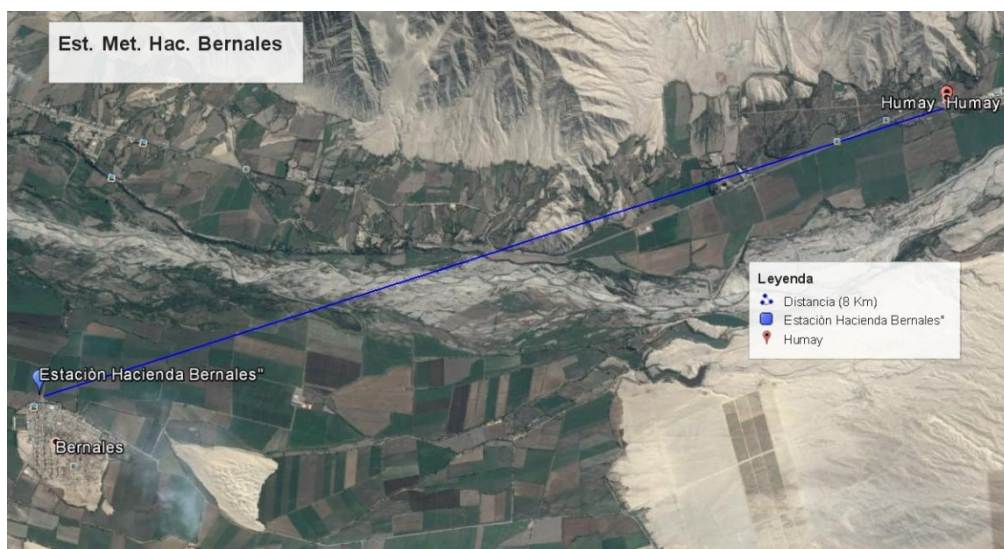


Figura 5: La estación meteorológica "Hacienda Bernal - 000650" se ubica a 21 Km al sureste del área urbana de Humay.

1.4. Estudios previos

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

- Walsh (2005) - Estudio hidrológico en la margen izquierda del valle del río Pisco-sector de las lagunas Bernal y Morón. Este estudio tuvo como objetivo determinar los posibles impactos que generaría la instalación del gasoducto sobre las lagunas ubicadas al sureste de Bernal. Para dicho objetivo, se realizaron las mediciones del nivel del agua en estado de reposo, así como muestras químicas de los pozos presentes en la zona. Se realizaron 5 sondajes eléctricos verticales (SEVs) de los cuales solo se adjunta los resultados sin la ubicación de dichos ensayos geofísicos.
- Sánchez, et al. (2011) - MicroZonificación Geofísica de la ciudad de Pisco. En este estudio se realizaron 25 calicatas de 2 y 3 metros, 17 perforaciones para ensayos de penetración estándar (SPT) y ensayos de penetración de Cono Peck. Durante los trabajos de exploración obtuvieron un total de 48 muestras disturbadas y 8 muestras inalteradas; adicional al trabajo de campo, recopilaron información de 83 calicatas, 5 ensayos SPT, 40 muestras disturbadas, 5 de corte directo y 25 ensayos de análisis químicos. Con las muestras obtenidas en las

perforaciones y excavaciones se realizaron ensayos estándar y especiales a fin de clasificar los suelos, así como estimar el peso específico de los suelos, densidad natural, granulometría y humedad natural, según la norma ASTM. Los ensayos con las muestras inalteradas, consistieron en ensayos de corte directo, ensayos de consolidación, ensayos triaxiales. Asimismo, registraron micro trepidaciones en 90 puntos distribuidos en toda la ciudad con la finalidad de conocer el periodo de vibración del suelo. Existen planos en la web, pero no cubren las áreas urbanas de San Clemente ni Humay.

- INDECI (2001) - Mapa de peligros, plan de usos del suelo y propuesta de medidas de mitigación de los efectos producidos por los desastres naturales de la ciudad de Pisco. El informe describe los peligros naturales y la extracción de muestras de suelo en la ciudad de Pisco y alrededores. Realizaron veinte (20) calicatas y diez (10) ensayos dinámicos SPL. Finalmente se realizó la identificación de sectores críticos en toda la ciudad, así como las medidas de mitigación para los efectos de los peligros naturales. Existen planos en la web, pero no consideran a las áreas urbanas de San Clemente y Humay.
- Fernández, M. (1993) - Geología de los cuadrángulos de Pisco, Guadalupe, Punta Grande, Ica y Córdova. Muestra la descripción litológica de las distintas unidades geológicas de los Cuadrángulos de Pisco (28-k) y Guadalupe (28-l) a escala 1: 100,000 donde se encuentran las áreas urbanas de San Clemente y Humay, respectivamente. Las unidades geológicas identificadas en las zonas de estudio son rocas intrusivas de la Super Unidad Linga, rocas sedimentarias de la Formación Pisco, así como depósitos Cuaternarios. Existen en la web los planos geológicos a escala 1:100,000 y 1: 50,000.
- INGEMMET (1981) - Estudio geodinámico de la cuenca del río Pisco. Estudio del comportamiento geodinámico externo e interno de la cuenca, así como las implicancias o consecuencias de éstos, sobre los centros poblados, terrenos de cultivo, vías de comunicación y otras obras de ingeniería civil. Además, de la zonificación y evaluación de las áreas de la cuenca de acuerdo a su comportamiento frente a los procesos geodinámicos, estableciéndose al mismo tiempo el plan de tratamiento o medidas correctivas para disminuir o atenuar la incidencia de estos fenómenos naturales. Finalmente, se presenta un resumen de la evaluación geodinámica y seguridad física de los centros poblados más importantes de la cuenca del río Pisco. No existen mapas en la web.

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 Geofísica - geotécnica y el resultado es considerado como una de las herramientas más importantes para minimizar los daños producidos por los sismos. La finalidad es evaluar el comportamiento dinámico de los suelos (CDS), teniendo en cuenta que la intensidad 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 6.



Figura 6: Las condiciones locales de sitio controlan la amplificación del sacudimiento del suelo, puesto en evidencia con la amplitud del registro sísmico obtenido sobre roca y sedimentos.

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

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

2.1. La Norma Técnica E.030

En el Perú, la construcción de obras civiles de cualquier envergadura debe considerar la Norma Técnica E.030 “Diseño Sismorresistente” del Reglamento Nacional de Edificaciones, modificada según Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda. Básicamente, esta norma considera los perfiles de suelos en función de sus propiedades 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 2):

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

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

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

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

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

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

Dónde:

d_i = espesor de cada uno de los estratos n.

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

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

ZONA I: Zona conformada por estratos de grava coluvial-eluvial que se encuentran a nivel superficial o cubiertos por un estrato de material fino de poco espesor. Este suelo tiene comportamiento rígido con periodos de vibración natural

determinados por las mediciones de microtrepidaciones (registros de vibración ambiental) que varían entre 0.1 y 0.3 s, con velocidad de las ondas de corte (V_s) varía entre 500 y 1500 m/s. Corresponden a suelos Tipo S1 de la norma sismorresistente peruana.

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

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

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

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

Esta zonificación condiciona el tipo de estructura que se debe construir; es decir, tipo de material, geometría y el número de pisos en las viviendas o de grandes obras de ingeniería. Se debe buscar que el periodo fundamental de respuesta de la estructura no

coincida con la del suelo a fin de evitar el fenómeno de resonancia y/o una doble amplificación sísmica.

CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA DEL ÁREA URBANA DE HUMAY

CONTENIDO

1. METODOLOGÍA

2. GEOMORFOLOGÍA

- 2.1. Base topográfica
- 2.2. Modelo digital del terreno (MDT)
- 2.3. Pendientes

- 2.4. Unidades geomorfológicas

3. GEOLOGÍA

- 3.1. Geología regional
 - 3.1.1. Geología histórica
 - 3.1.2. Geología estructural
- 3.2. Geología local
 - 3.2.1. Súper Unidad Ica (Ki-ic/mzdi)
 - 3.2.2. Grupo Casma (Ki-c)
 - 3.2.3. Depósitos Cuaternarios

4. GEODINÁMICA

- 4.1. Procesos de geodinámica interna
- 4.2. Procesos de geodinámica externa

5. ASPECTOS GEOTÉCNICOS

- 5.1. Exploraciones a cielo abierto (Norma ASTM D420)
- 5.2. Densidad del suelo in-situ (Norma ASTM D1556)
- 5.3. Exploraciones con posteadora manual (Norma ASTM D1452)
- 5.4. Ensayos de penetración dinámica ligera (DPL, Norma DIN 4094)
- 5.5. Correlación entre “N” DPL y el “N” SPT (ASTM D1586)
- 5.6. Clasificación de suelos SUCS
- 5.7. Ensayos de corte directo (Norma ASTM D-3080)
- 5.8. Capacidad de carga admisible

1. METODOLOGÍA

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

- ✓ **Gabinete I:** Las actividades realizadas incluyeron la revisión de imágenes satelitales pancromáticas no estereoscópicas (GeoEye-1 del Servidor DigitalGlobe, 2013, con resolución 0.60 m), con la finalidad de delimitar la zona de estudio, así como la recopilación de información bibliográfica de la zona a escala regional y local (boletines geológicos, informes técnicos, entre otros).
- ✓ **Campo I:** Se realizó el cartografiado de las unidades geomorfológicas y litológicas aflorantes a escala 1: 15 000. Así también, se identificó y delimito los eventos geodinámicos de la zona: flujo de detritos y caída de rocas en zonas potencialmente susceptibles a la ocurrencia de flujos. Paralelo a este trabajo se construyó la topografía de la zona a escala 1:15 000.
- ✓ **Campo II:** Recolección de datos para los siguientes de ensayos geotécnicos:
 - Elaboración de calicatas: Estas se realizaron a una profundidad promedio de 3.00 m. En Humay se realizaron 05 calicatas distribuidas equitativamente entre el casco urbano y área de expansión urbana.
 - Ensayos de Penetración Dinámica Ligera (DPL): Se realizaron con el fin de determinar la resistencia de los suelos al ser penetrados. En Humay se llevaron a cabo 05 DPL.
 - Ejecución de auscultaciones: usando una posteadora manual se realizaron auscultaciones distribuidos en zonas intermedias a la ubicación de la calicata más próxima, lo cual permitiría complementar la información. En el área de estudio se llevaron a cabo 05 posteos.
- ✓ **Laboratorio:** Se realizó el procesamiento de las muestras de suelos, a través de ensayos de laboratorio como granulometría (tipo de suelos SUCS), humedad, densidad y corte directo (capacidad portante).
- ✓ **Gabinete II:** Elaboración del informe técnico.

2. GEOMORFOLOGÍA

La geomorfología estudia las diferentes formas de relieve de la superficie terrestre (geoformas) y los procesos que las generan. El 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 área urbana de Humay, en relación a su origen.

Previamente, en base al levantamiento topográfico y mediante herramientas computacionales (SIG) se han elaborado los planos para el área urbana de Humay. el plano Modelo Digital del Terreno (MDT) y de pendientes, a fin de delimitar las características geomorfológicas del terreno y que luego fueron verificadas y validadas durante el trabajo de campo.

2.1. Base topográfica

La topografía para el área urbana de Humay y alrededores se ha elaborado a partir del levantamiento topográfico realizado en campo sobre un área de 22 hectáreas (sector urbano). Para este objetivo se utilizó una estación total tipo Nivo 3.C con resolución de 3", a partir de un punto de control, cuyas coordenadas fueron establecidas con una antena y receptor GPS/GNSS de doble frecuencia (Tabla 1).

Tabla 1: Punto de control ubicado a 400 m al Noreste de la municipalidad de Humay.

BM	Este (m)	Norte (m)	Altitud (m.s.n.m)	Descripción
BM	404262	8483180	461.933	200 m al este del cementerio municipal

Luego, desde el punto de control se estableció un polígono cerrado conformado por 7 vértices (Figura 1), así como su corrección taquimétrica para luego realizar 84 mediciones (puntos de relleno) para obtener información planimétrica (coordenadas este

y norte) y altimétrica (elevación ortométrica), proyectados en el sistema Universal Transversal Mercator (UTM). Asimismo, con la finalidad de complementar la topografía de las zonas aledañas al sector urbano, representado por 2580 ha., se utilizaron imágenes SRTM en formato GeoTiff, descargadas de Consortium for Spatial Information (CGIAR-CSI) y procesadas con los vértices citados. A partir del uso de un software de Diseño Asistido por Computador (CAD) y los datos recabados del levantamiento topográfico y del SRTM, se obtuvo un plano topográfico a escala 1:7500 que contiene curvas de nivel (líneas que unen puntos con igual altitud) con resolución espacial de 7.5 m.

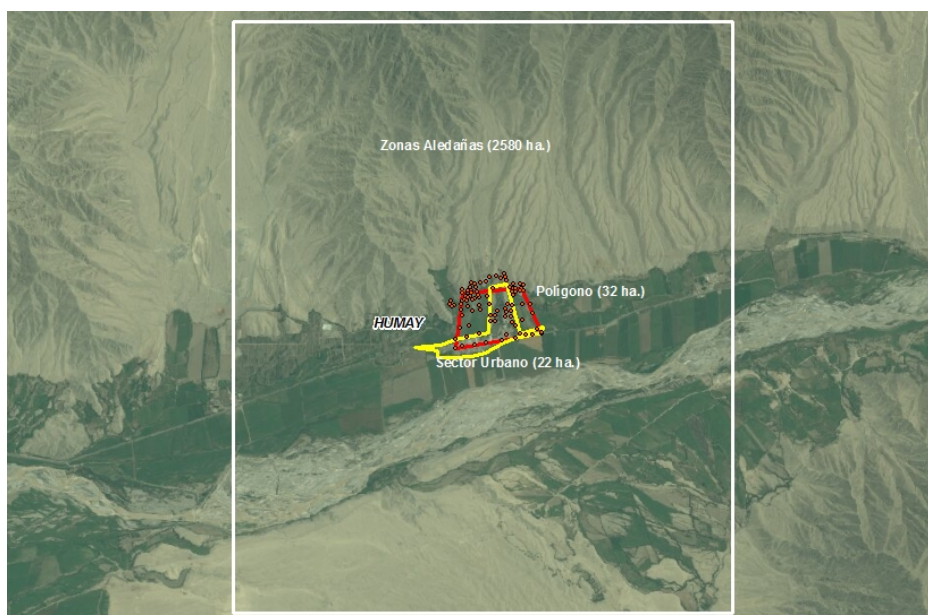


Figura 1: Se describe en línea roja el área del polígono (32 ha.), en amarillo el sector urbano (22 ha.) y en blanco las zonas aledañas (2580 ha.).

2.2. Modelo Digital del Terreno (MDT)

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

Para la elaboración del MDT del área urbana de Humay, se tomó en cuenta el uso de herramientas SIG sobre las curvas de nivel diseñadas anteriormente, obteniéndose como resultado la representación digital de la superficie del terreno sobre área de 15 km² (Figura 2). En base a este MDT, el área urbana de Humay se asienta sobre un abanico aluvial, con cotas entre 410 y 460 m.s.n.m; mientras que, las zonas de cultivos se desarrollan sobre terrazas fluvio aluviales con cotas promedio entre 410 y 360 m.s.n.m.

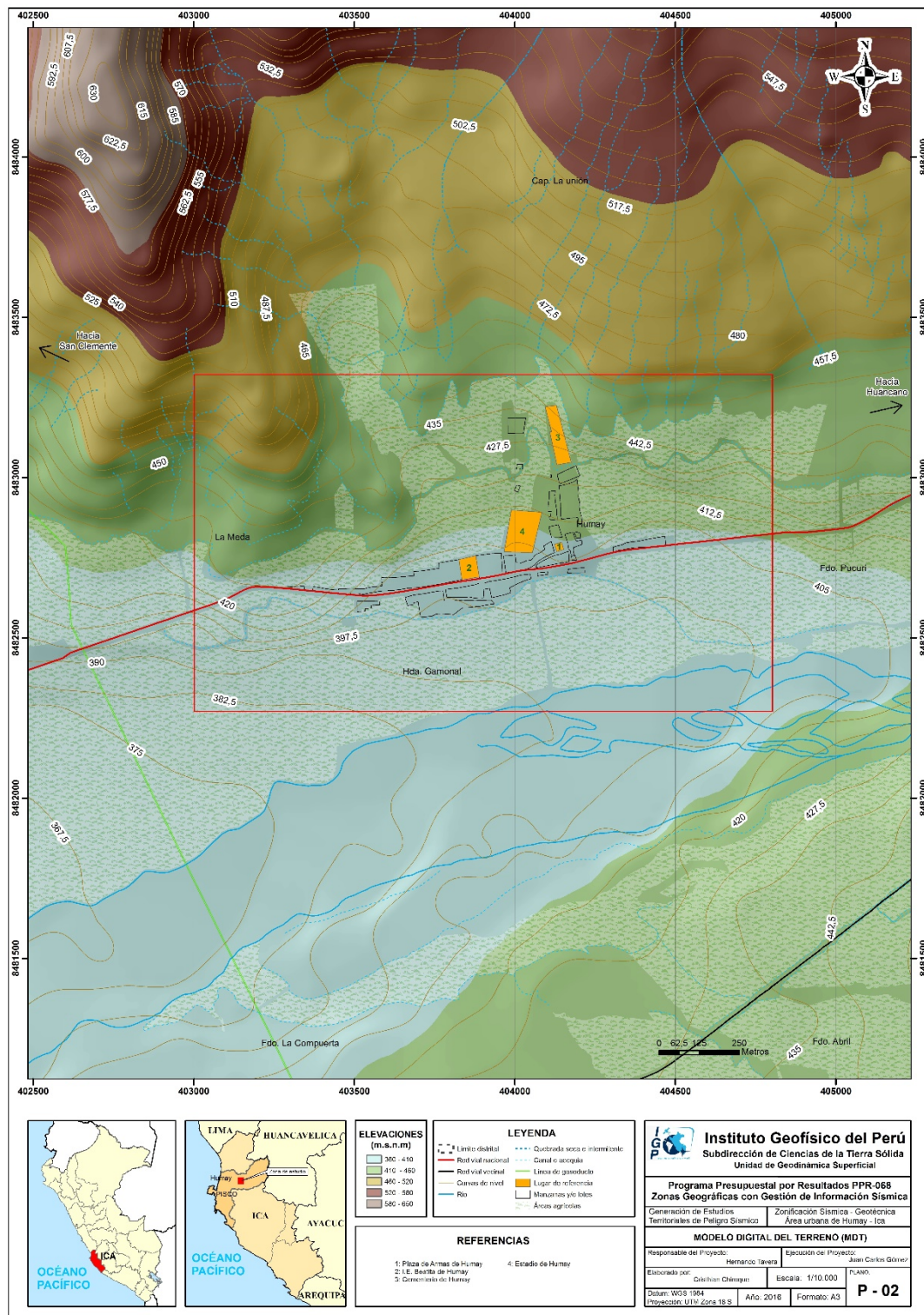


Figura 2: Mapa de modelo digital del terreno (MDT) para la área urbana de Humay y alrededores.

2.3. Pendientes

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

El mapa de pendientes para el área urbana de Humay, fue elaborada a partir del MDT, 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.

Clasificación del grado de pendientes: Para la clasificación de los rangos de pendientes se usó la hipótesis de Fidel et. al. (2006), ver Tabla 2.

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

Pendiente en grados (°)	Clasificación
<5	Muy baja
5 - 20	Baja
20 - 35	Media
35 - 50	Fuerte
>50	Muy fuerte

El 70% del área urbana de Humay se encuentra asentada sobre un abanico aluvial que presenta pendientes menores a 10° promedio, aunque en dirección norte del área de estudio se encuentran las estribaciones y montañas que superan los 30° desde donde descienden los flujos aluvionales hacia la zona urbana de Humay (Figura 3).

2.4. Unidades geomorfológicas

Definen las características físicas de los suelos generadas por procesos morfogenéticos de carácter endógeno (procesos internos) y exógenos (procesos externos) lo cual permite formar relieves positivos y negativos.

Características físicas: Las características físicas de la geoforma; es decir, su relieve, expresa una combinación de parámetros como: pendientes, alturas, geometrías y drenajes (modificado de Pike et al., 2009). Estos parámetros son

directamente accesibles a la percepción visual proximal o distal, sea humana o instrumental.

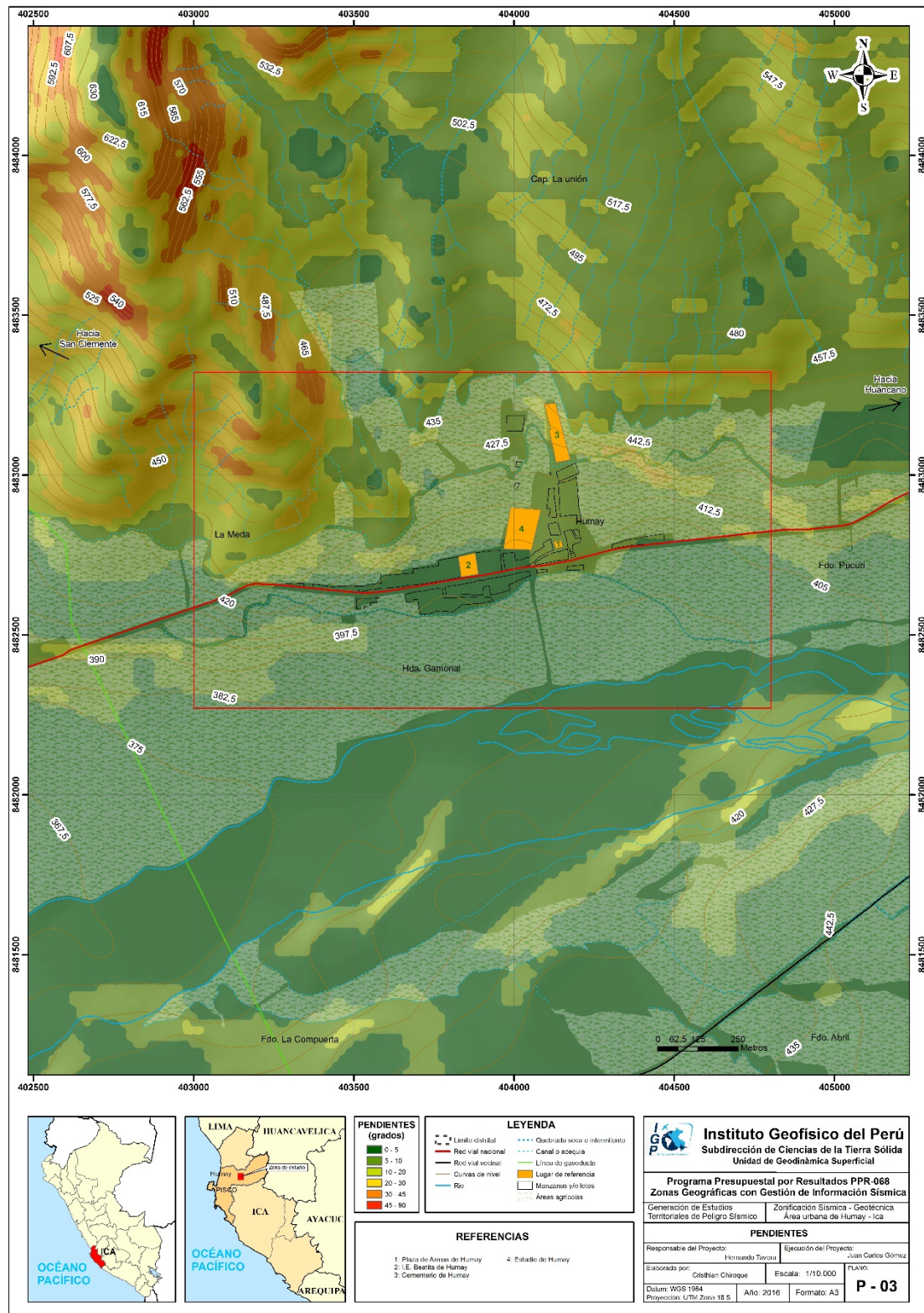


Figura 3: Mapa de pendientes del terreno de la ciudad de Humay y alrededores.

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

Finalmente, en base a las características físicas de las unidades geomorfológicas y su origen, en área urbana de Humay, se cartografiaron siete unidades: Lecho fluvial, abanicos aluviales, estribaciones y montañas, terraza aluvial 1, 2, 3 y 4, (Tabla 3 y Figura 4)

Tabla 3: Determinación de geoformas en el área urbana de Humay en base a sus características físicas y origen.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		ORIGEN	UNIDAD GEOMORFOLÓGICA
Pendiente	<5°	Denudacional	Lecho fluvial
Altura	0-100=otros		
Geometría	otros		
Drenaje	dendrítico		
Pendiente	<20°	Denudacional	Estribaciones y montañas
Altura	<100 m		
Geometría	redondeada		
Drenaje	radial		
Pendiente	5°-20°	Depositacional	Abanico aluvial
Altura	0-100=otros		
Geometría	Abanico		
Drenaje	Dendrítico		
Pendiente	5°-20°	Depositacional	Terraza aluvial 1 y 2
Altura	0-100=otros		
Geometría	alargada		
Drenaje	paralelo y dendrítico		
Pendiente	<5°	Depositacional	Terraza fluvial 1 y 2
Altura	0-100=otros		
Geometría	alargada		
Drenaje	paralelo y dendrítico		

Lecho fluvial: Es el canal excavado por el flujo de agua de un río y los sedimentos que éste 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 del río Pisco se desplaza con dirección de este a oeste, el ancho promedio del cauce llega a medir 490 m, en donde se han depositado gran cantidad de materiales de origen fluvial (gravas y arenas gruesas), ver Figura 5.

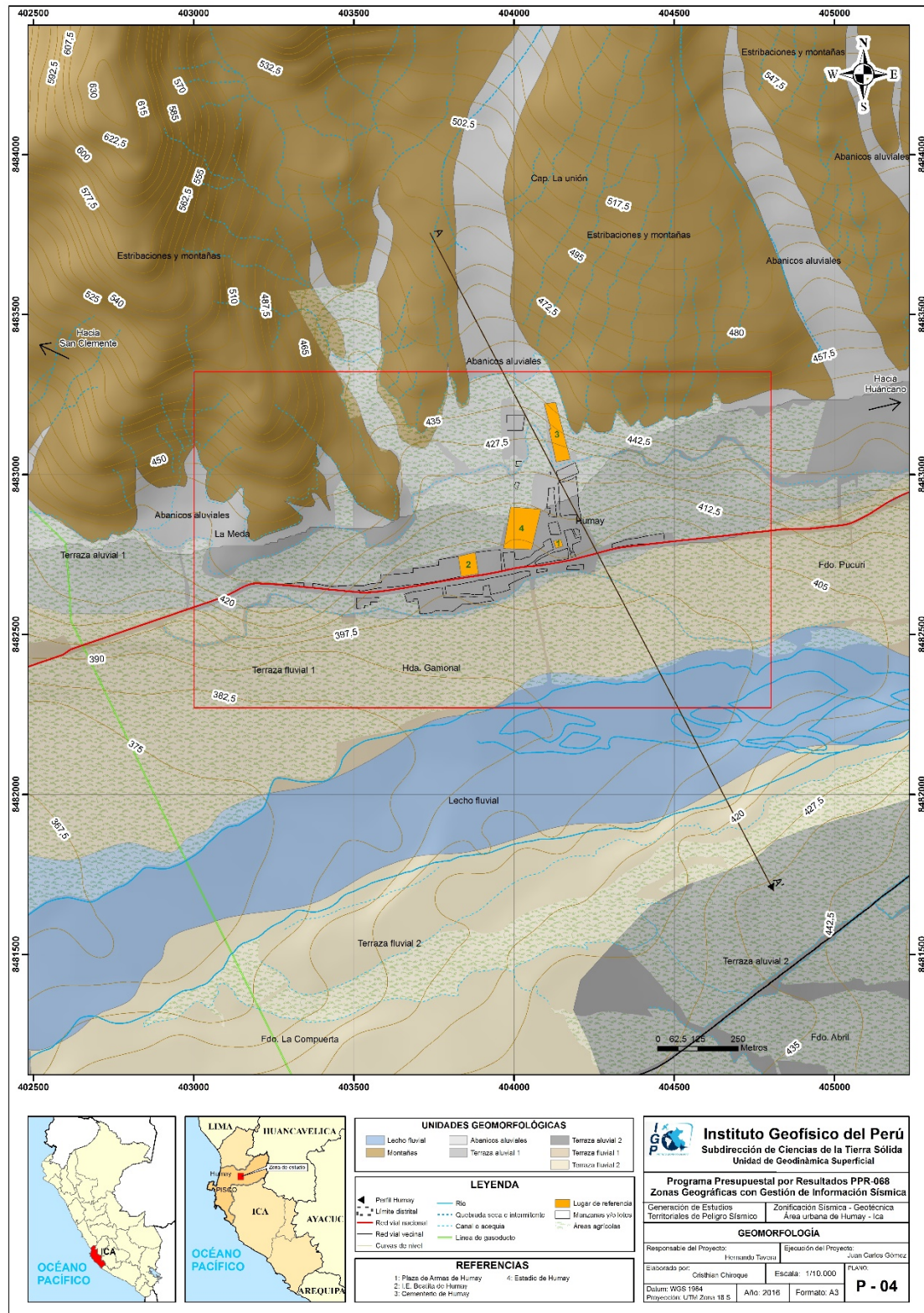


Figura 4: Mapa geomorfológico para el área urbana de Humay y alrededores.



Figura 5: El lecho fluvial del río Pisco presenta gran cantidad de gravas redondeadas con arena de grano grueso.

Montañas: Son geoformas que no superan los 650 m de altitud, se encuentran al norte de la zona urbana de la ciudad, conformando los cerros La Meda y La Unión con pendientes mayores a 30° grados. Las superficies se encuentran cubiertas por materiales detríticos conformados por clastos y gravas angulosas, así como por arenas eólicas (Figura 6).

Abanico aluvial: Ubicados a 200 m al norte del área urbana de Humay, descienden desde los cerros La Unión y La Meda acumulando sedimentos que finalmente forman un gran abanico o semicono, que se encuentran en la salida del torrente de las quebradas con dirección a Humay (Figura 7).

Terrazas aluviales 1 y 2: Superficies horizontales o ligeramente inclinadas, cuyo relieve presenta pendientes menores a 7°. Generalmente se encuentran conformadas por materiales heterogéneos (clastos angulosos a subredondeados envueltos en una matriz areno-limosa) de origen intrusivo. Se ha evidenciado la presencia de dos niveles de terrazas aluviales y cuyos límites se han reconocido por el desnivel topográfico que se presentan entre ellas, ver Figura 8.



Figura 6: Las montañas son las unidades que proporcionan los materiales detríticos a los flujos que finalmente forman los abanicos aluviales en Humay.



Figura 7: La zona urbana de Humay se encuentra asentada sobre un gran abanico aluvial.



Figura 8: Terraza aluvial ubicada en la margen izquierda del río Pisco conformada por clastos angulosos.

Terrazas fluviales 1 y 2: Las terrazas fluviales en el área urbana de Humay son superficies planas y horizontales, con pendientes menores a 5° . En gran porcentaje se encuentran conformadas por clastos y gravas redondeadas con matriz arenosa de diversos tamaños y diámetros, principalmente de origen intrusivo, transportados por la dinámica del río Pisco. En el área de estudio se han evidenciado la presencia de hasta dos niveles de terrazas fluviales y cuyos límites se han reconocido por el desnivel topográfico que se presenta entre ellas (Figura 9).



Figura 9: Las terrazas fluviales presentan una cobertura de suelos productivo para el uso de la agricultura.

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 deja 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) para estudiar las las rocas y los suelos 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 un área es importante para comprender los procesos y eventos geológicos que ocurrieron a gran escala.

Es así que para el área de estudio, se recopiló la información geológica regional del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET, 1993) a escala 1: 100,000. En ésta, se describen las unidades litológicas aflorantes cuyas edades se encuentran desde el Cretáceo Inferior (145 Ma) hasta el Cuaternario Reciente.

Geología histórica: Según Fernández Dávila (1993), hace 541 millones de años, en la zona de estudio las grandes masas de rocas estuvieron expuestas a altas temperaturas y presiones ligadas a una deformación a gran escala (metamorfismo regional), lo que originó rocas del tipo pizarras, esquistos, gneis, etc.

La Formación Chocolate, del Jurásico Inferior (201 Ma) fue depositada en un medio acuoso, siendo posible, que su ambiente haya sido continental, para luego sumergirse en un mar de aguas someras, depositándose sedimentos finos originando calizas intercaladas con volcánicos. Durante el Jurásico Medio (168 Ma) la depositación se caracterizó por una regresión, donde la sedimentación en aguas someras y tranquilas, iba teniendo más influencia continental. Los sedimentos del Grupo Yura del Cretácico Inferior (145 Ma) siguen depositándose en ambientes playeros con un ciclo de regresión marina. La presencia de cuarcitas con estratificación cruzada, indica un medio de alta energía (acción de olas y corrientes).

A finales del Cretácico Inferior (125 Ma), la actividad volcánica se reactivó en la región occidental, diferenciando una depositación de materiales volcánico sedimentario con respecto al sector oriental, caracterizado por un mayor porcentaje de sedimentos arcillosos. La aparición de cuerpos intrusivos del Batolito con una edad de 95 Ma, produjo el hundimiento de la cuenca, permitiendo la sedimentación fina y la formación de lutitas y calizas en la zona occidental.

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

depositación de las formaciones Paracas y Pisco. En el Paleógeno Medio (Mioceno 23 Ma), la cuenca de Pisco sufrió un mayor hundimiento en el lado norte y originó la depositación de diatomitas. En el lado sur, la sedimentación fue somera con materiales tufáceos (como rocas ígneas volcánicas).

A finales del Paleógeno (3.6 Ma), la zona desde Pisco hasta Ica ya tenía características de una penillanura, la actividad volcánica fue extensa en el sur, centro y probablemente en el norte, lo que originó la acumulación de una secuencia conformada por tobas volcánicas. Durante la fase final de la formación de la penillanura, ocurrió un fallamiento en bloques que se hizo más intenso a fines del Neógeno y principios del Cuaternario (2.5 Ma) y que acompañó al levantamiento de la cordillera. La zona costera fue controlada por fallas regionales que dieron origen a la fisiografía y desarrollo del litoral. A partir de entonces, la erosión modeló la superficie dando forma al relieve actual.

Geología estructural: Los eventos de deformación y metamorfismo produjeron el plegamiento de las estribaciones andinas y fallamientos en bloques evidenciados en esta parte de la costa. A continuación, se detallan las estructuras resultantes de dichos eventos geológicos:

Zona de plegamientos: La deformación asociada a esfuerzos de compresión se manifiesta en los plegamientos existentes en la Cordillera Occidental interrumpidos por cuerpos intrusivos que forman parte del Batolito de la Costa. En la zona de estudio y alrededores de Humay no se han encontrado dichas estructuras por estar ubicadas más al este.

Zona de fallas: Las fallas geológicas pueden afectar grandes extensiones de paquetes de rocas y materiales, cambiando la geomorfología de la superficie y pudiendo alterar el curso de los ríos. Un ejemplo, es el cambio del curso y dirección del río Ica ubicado a 32 y 35 km al sureste de las áreas urbanas de Humay y Bernalles, así como la presencia de los cerros ubicados al oeste de la ciudad de Ica. Estos elementos podrían ser debidos a la presencia de una probable falla paralela que cortó su trayectoria hacia el Océano Pacífico; es decir, cambiándola de NE-SO a N-S (Macharé, et al. 2008).

3.2. Geología local

Consistió en el reconocimiento y cartografiado de las unidades litológicas aflorantes en el área urbana de Humay a escala 1:15,000 y sobre un área de 15 Km² aproximadamente (Figuras 10 y 11).

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS	SIMBOLOGÍA	LITOLOGÍA
CENOZOICO	CUATERNARIO	Holoceno	Dep. Eólicos	Q-e	Arenas finas
			Dep. Fluviales 1	Q-fl1	Gravas redondeadas a angulosas con matriz limo arenosa
			Dep. Fluviales 2	Q-fl2	
			Dep. Aluvial 1	Q-al1	
			Dep. Aluvial 2	Q-al2	
		Pleistoceno			
MESOZOICO	CRETACEO	Medio Superior	Grupo Casma	Ki-c	Grauwacas y flujo de basalto andesitas
		Inferior	Súper Unidad Ica	Ki-ic/mzdi	Monzogabros, monzodiorita, monzonita y monzogranito.

Figura 10: Columna cronolitoestratigráfica para la zona de estudio.

Súper Unidad Ica (Ki-ic/mzdi): Constituye uno de los emplazamientos más antiguos del Batolito de la Costa y está constituido por rocas intrusivas que, por su origen, son llamadas magmas cuando está dentro de la corteza, (Rivera, 2011): son del tipo monzogabros, monzodiorita, monzonita y monzogranito.

Durante los trabajos de campo se identificó que estos afloramientos se encuentran intensamente diaclasados y meteorizados; además de estar cubiertos por una capa de limo arenoso. Estos materiales sueltos conforman la capa detrítica que luego formarán los flujos aluvionales que ya han ocurrido en la zona. Esta unidad aflora al noroeste de Humay formando los cerros La Meda y Canal (Figura 12).

Grupo Casma (Ki-c): El Grupo Casma constituye la envoltura occidental del batolito que en la zona de estudio consiste de grauwacas y flujo de basalto andesitas intercalados con delgados niveles de areniscas cuarzosas y pizarras, ver Figura 13.

Depósitos Cuaternarios: Suprayaciendo al substrato rocoso conformado por rocas volcánicas, se encuentran los depósitos Cuaternarios de edad Holocena, principalmente de origen como volcánico, eólico, coluvial, fluvial, aluvial, etc. Las características de estos materiales se describen a continuación:

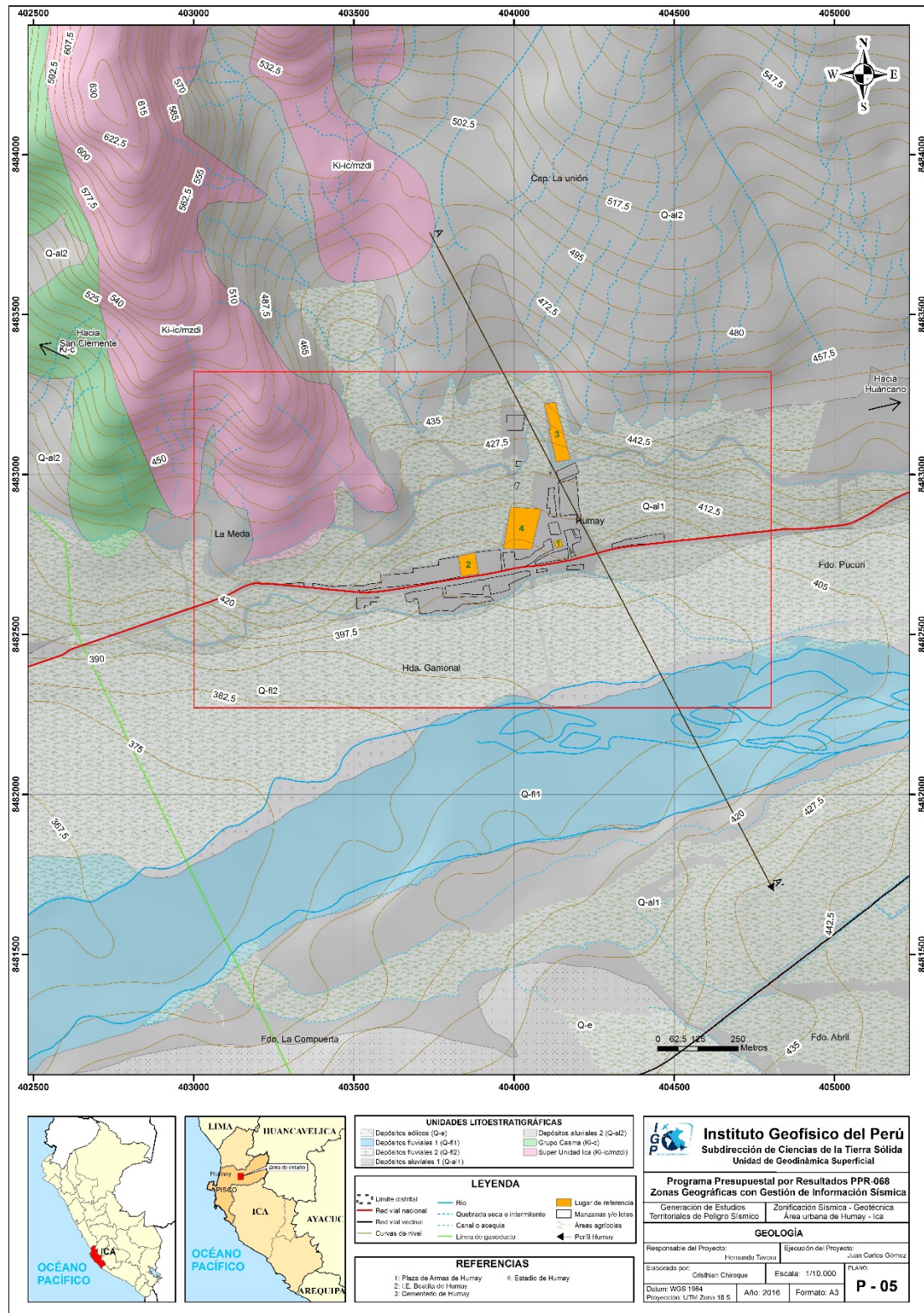


Figura 11: Mapa de geología local para el área urbana de Humay y alrededores.



Figura 12: En el sector La Punta se han cartografiado estratos de calizas rojizas intercaladas con lutitas.



Figura 13: Afloramiento de areniscas en la parte inferior y grauwas de textura rugosa.

Depósitos aluviales 2 (Q-al2): Este tipo de depósitos están conformados por gravas clastos y bloques angulosos de 10, 20 y 35 cm de diámetros con un matriz areno limosa. Estos materiales se extienden de norte a sur desde la parte alta de las montañas, sobre los aluviales se asienta la zona urbana de Humay.

Las exploraciones realizadas en estudios geotécnicos han determinado que el espesor de los depósitos aluviales sobrepasa los 10 m de profundidad, ver Figuras 14 y 15.



Figura 14: Vista panorámica del abanico aluvial que desciende desde el cerro La Meda con dirección a la zona urbana de Humay.



Figura 15: Se han realizado cortes transversales para la construcción de muros de contención, en la cual se aprecian espesores de hasta 7 m.

Depósitos aluviales 1 (Q-al1): Están conformados por gravas y clastos subredondeados que forman conglomerados bien compactos con matriz arenosa (Figura 16). Estos materiales constituyen los suelos de cimentación de la zona urbana de Humay, estando en contacto con los depósitos aluviales y fluviales 2.



Figura 16: El 70% del área urbana de Humay se asienta sobre depósitos aluviales bien compactos con matriz arenosa.

Depósitos fluviales 2 (Q-fl2): Los materiales que conforman el valle de Humay y sobre los que se desarrolla la agricultura, están conformados por gravas redondeadas y limos que han sido transportados por la dinámica y evolución del curso y cauce actual del río Pisco. Este depósito está constituido por un estrato limo arenoso de hasta 50 cm de espesor y por debajo de esta un conglomerado de gravas bien compactas en una matriz areno limosa (Figura 17).



Figura 17: Sobre este tipo de materiales fluviales está conformada por suelos aptos para la agricultura.

Depósitos fluviales 1 (Q-fl1): Este tipo de depósitos se encuentran enmarcados en el cauce del río Pisco, formando llanuras de inundación o bancos de gravas y arenas que son constantemente modeladas por la acción erosiva del río en temporada de lluvias (Figura 18). Este tipo de materiales han sido transportados por la dinámica y evolución del curso y cauce actual del río Pisco.



Figura 18: Cauce del río Pisco en la zona de estudio, donde se observan acumulaciones de gravas redondeadas de hasta 30 cm de diámetro.

Depósitos eólicos (Q-e): Son depósitos de arenas de granulometría fina, producto de los vientos que provienen desde las playas ubicadas en la línea litoral con dirección hacia el continente. Estas acumulaciones forman dunas con alturas de hasta 40 m.

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. Asimismo, analizar la litología a fin de explicar el origen de los materiales que constituyen las geoformas (colinas, lomas, entre otras) y sobre 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 Sudamericana, considerada como la principal fuente sismogénica en el Perú y causante de los eventos de mayor magnitud conocidos hasta el presente. Otra fuente, la constituye la deformación de la zona continental dando origen a la formación de fallas de diversas longitudes con la consecuente ocurrencia de sismos de magnitudes menores (Cahill & Isacks, 1992; Tavera & Bufo, 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 la 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 como resultado de la acción combinada de varios factores, como la temperatura, los gases, el agua, el viento, la gravedad y la vida vegetal y animal. 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 19), los cuales se dividen según su origen en: fluvio-aluvial e hidro-gravitacional y cuyas características se describen a continuación:

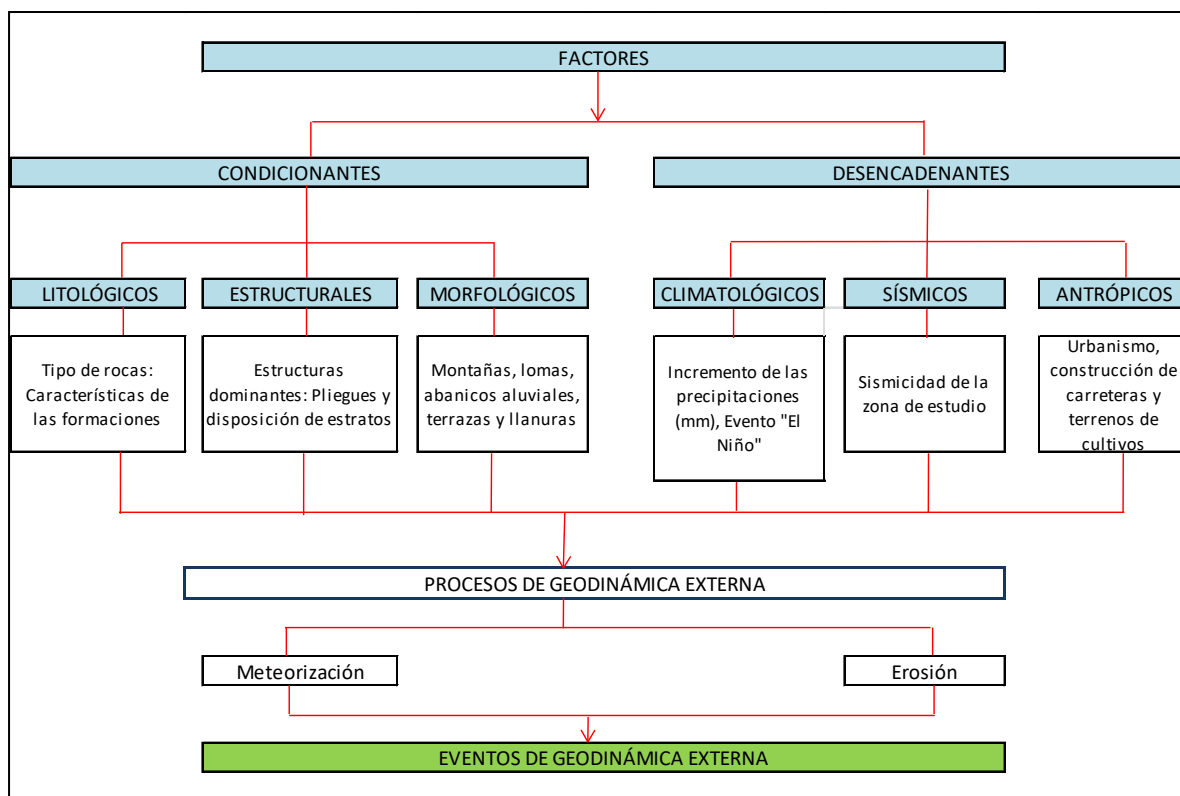


Figura 19: Factores asociados a procesos de geodinámica externa que contribuyen a la ocurrencia de eventos geodinámicos.

a) **Fluvio-aluvial:** Los procesos de erosión (carcaveo, incisión y desgaste laminar) son originados por las precipitaciones que se presentan en la cuenca fluvial generando

escorrentía superficial que provoca el arrastre progresivo de los materiales a posiciones de menor energía potencial (menor pendiente). La carga de sedimentos transportados por la quebrada o ríos incrementan la acción erosiva y son capaces de producir remoción de los materiales, (Brusi, 2013): Flujos de detritos e inundación.

Flujos de detritos (huaicos): movimiento de materiales sin cohesión (materiales sueltos) que se comportan como fluidos a causa del agua (provoca la pérdida total de resistencia de estos materiales) y se desplazan sin presentar superficies de rotura definidas. En algunos casos depositan sus materiales en forma de conos de deyección, tal como se muestra en la Figura 20.

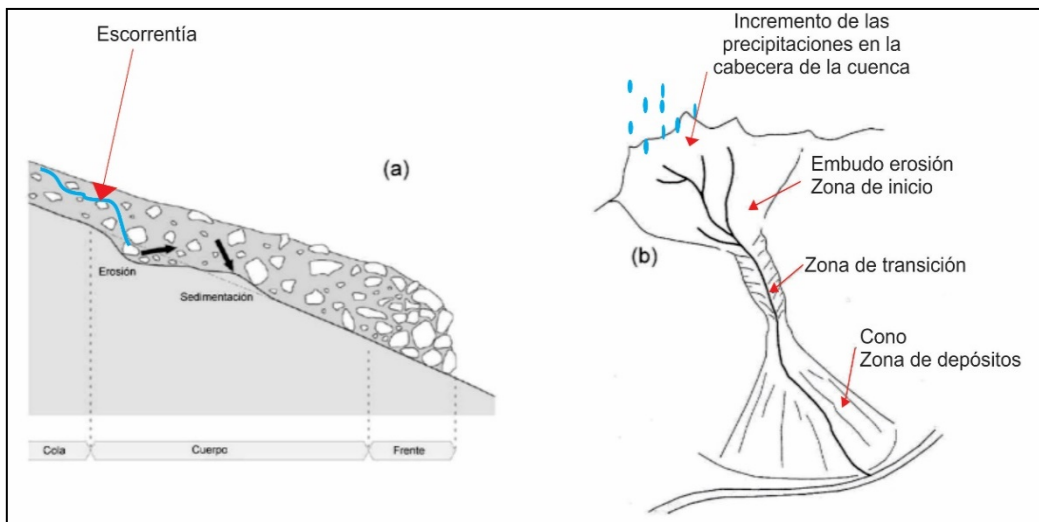


Figura 20: a) Proceso de erosión por las aguas de escorrentía y acumulación de material. b) Vista frontal de la cuenca y desarrollo del evento en cabecera de la cuenca por incremento de las precipitaciones, zona de transición (zona de almacenamiento de material y la depositación del material), modificado del GITS (Grupo de investigación de transportes de sedimentos).

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

Cuando las lluvias superan el promedio normal de precipitación (mayor al 50%) de una zona se le denominan lluvias extraordinarias o tormentas extremas. Estas al

desarrollarse generan crecidas causando inundaciones de las áreas circundantes al río, siendo conocidas como eventos hidrometeorológicos, ver Figura 21.

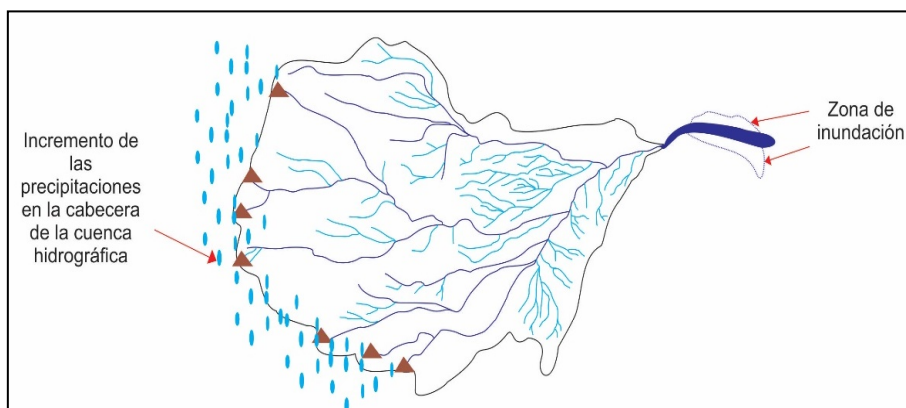


Figura 21: Inundación por incremento de las precipitaciones en la cabecera de la cuenca hidrográfica.

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); es decir, todos aquellos movimientos ladera abajo de una masa de rocas, detritos o tierras por efectos de la gravedad (Cruden, 1991). Para la descripción de los MM, se ha tomado en cuenta la clasificación de Varnes (1958, 1978) y Hutchinson (1968, 1988), la cual se basa en dos elementos: el tipo de movimiento (caída, volcamiento y deslizamiento) y el material sean rocas o suelos (divididos en detritos y tierras).

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

Caída de rocas: Es 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, ver Figura 22.

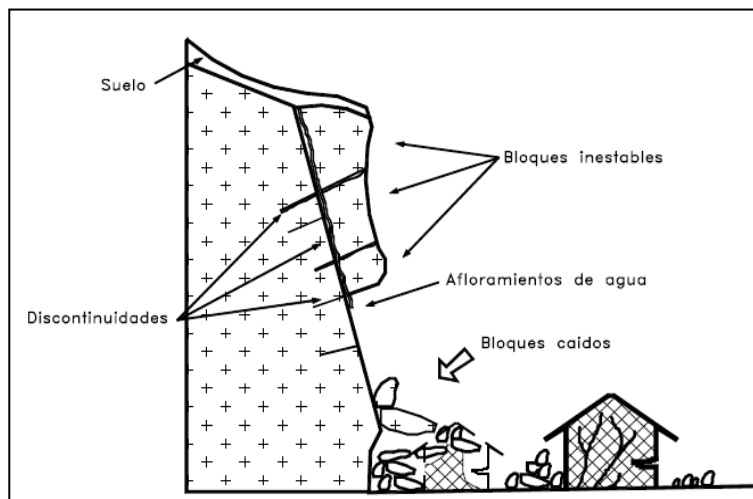


Figura 22: Proceso de caída de rocas. Fuente: Suárez (1998).

Deslizamiento: Este movimiento consiste en un desplazamiento de corte a lo largo de una o varias superficies. El movimiento puede ser progresivo; es decir, que no se inicia simultáneamente a lo largo de toda la superficie de falla (Figura 23). Estos deslizamientos se pueden clasificar en:

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

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

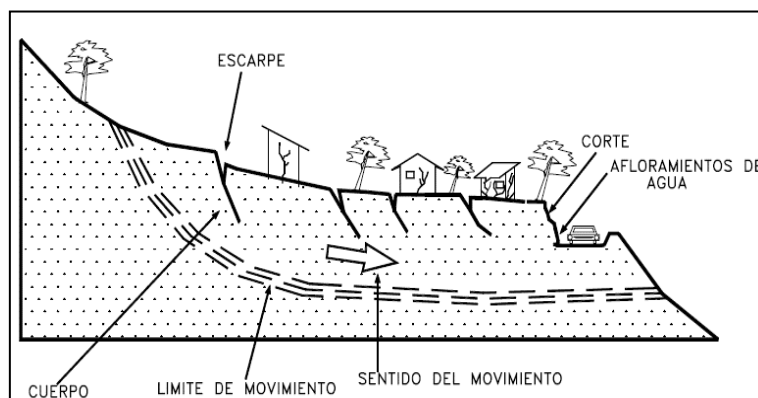


Figura 23: Deslizamiento en laderas (Suárez, 1998).

En Humay existen dos tipos de eventos geodinámicos (Figura 24) y según los procesos y factores que intervienen, se han clasificado de la siguiente manera:

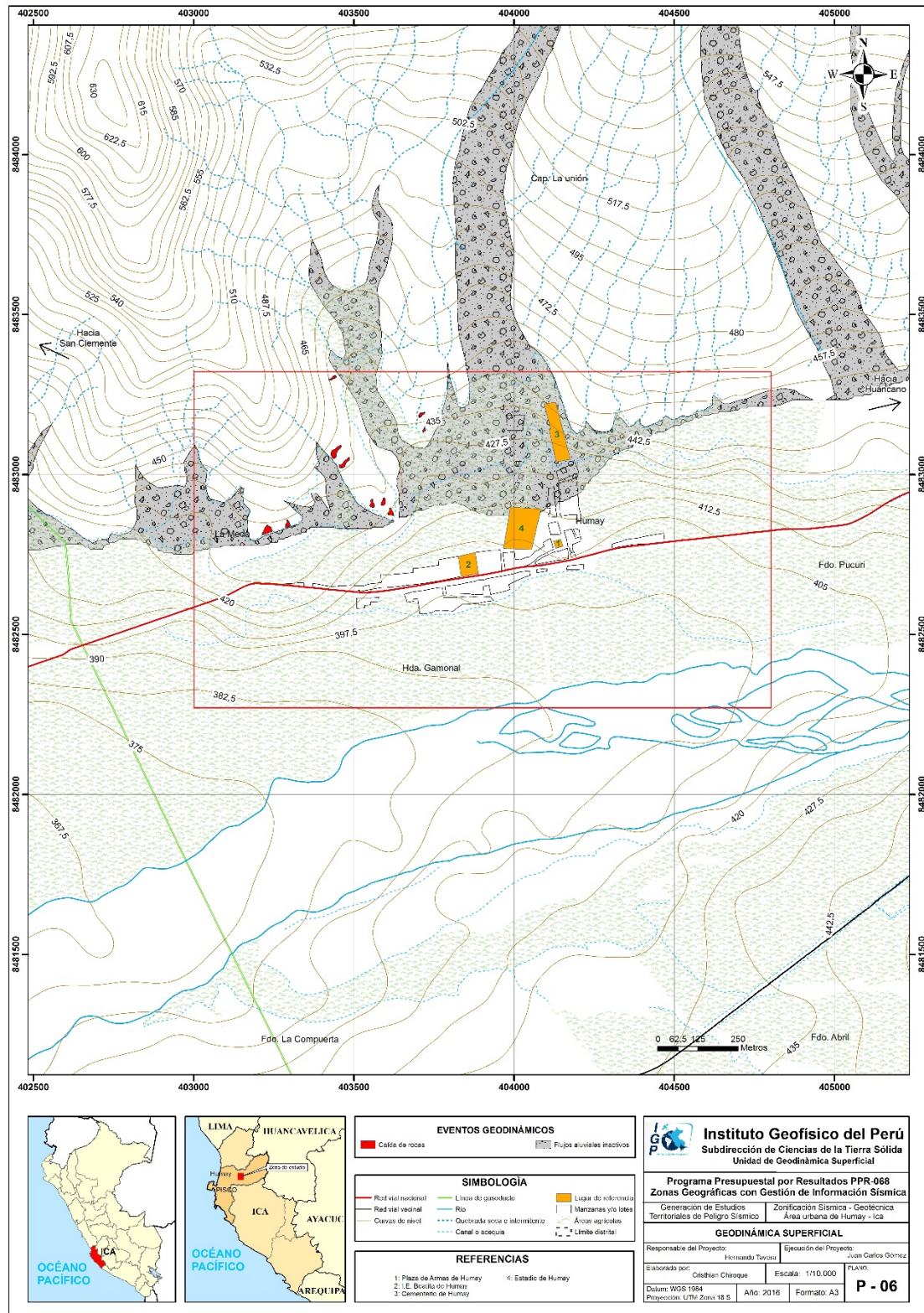


Figura 24: Mapa de eventos geodinámicos en la ciudad de Humay.

Caída de rocas: En este tipo de eventos, los clastos o fragmentos de rocas preexistentes se desprenden de una ladera, como resultado de procesos de erosión y meteorización, ya sea de origen natural o antrópico (construcción de vías de acceso, que desestabilizan las laderas). Las caídas de rocas se han identificado en el cerro la Meda y La Unión, ver Figuras 25 y 26.



Figura 25: En las inmediaciones del canal de captación la Unión se han identificado este tipo de eventos.



Figura 26: Los clastos y bloques se depositan en las quebradas secas que luego se activan en temporada de lluvias ocasionando flujos.

Flujos de detritos: Son eventos extremadamente rápidos saturados, no plásticos, que transcurren principalmente confinados a un canal o cauce con pendiente

pronunciada. Se inician como uno o varios deslizamientos superficiales de detritos en las cabeceras o por inestabilidad de segmentos del cauce en canales de pendientes fuertes. Los flujos de detritos incorporan gran cantidad de material saturado en su trayectoria al descender por el canal, finalmente los materiales se depositan en forma de abanicos, ver Figura 27.



Foto 27: Los flujos de detritos en la zona de estudio se encuentran inactivos ya que solo se activan en temporadas de lluvias intensas.

En la zona de estudio, los flujos de detritos han formado el gran abanico aluvial sobre el cual se asienta la zona urbana de Humay. El espesor de estos materiales alcanza hasta los 10 m de profundidad.

4.3. Zonas susceptibles a procesos geodinámicos

La susceptibilidad está referida a la probabilidad de que suceda un evento geodinámico durante un periodo de tiempo en un sitio dado (Hauser, 1985 y 1993; Sepúlveda, 2000). Es la mayor o menor predisposición a que un proceso geodinámico suceda u ocurra sobre determinado espacio geográfico y tiempo, lo cual depende de factores como la: litología, tectonismo, agentes geológicos y actividad humana (taludes de corte). La identificación y delimitación de zonas afectadas por procesos de geodinámica externa, ha permitido reconocer zonas probables a la ocurrencia de estos (Figura 28).



Figura 28: La quebrada la Meda es el principal canal por donde descienden los flujos de detritos.

La estimación del tipo de evento a suscitarse está en función de los factores y del proceso de origen hidro-gravitacional (caída de rocas) y fluvio-aluvial (flujos de detritos), tal como en las Tablas 4 y 5.

Tabla 4: Factores y procesos que delimitan las zonas susceptibles a eventos del tipo movimientos en masa.

FACTORES						ORIGEN DEL PROCESO GEODIAMICO EXTERNO	CAÍDA DE ROCAS
LITOLÓGICO	ESTRUCTURALES	CLIMATOLOGICOS	MORFOLOGICOS	SISMICOS	ANTROPICOS	HIDRO- GRAVITACIONALES	
Rocas intemperizadas	Presencia de plegamientos	Incremento de las precipitaciones cuyas escorrentías erosionan las rocas y/o cambios bruscos de temperaturas	Geoforma: Montañas y estribaciones	Magnitud >4	Urbanismo en zonas adyacentes a la quebrada		

Tabla 5: Factores y procesos que delimitan las zonas susceptibles a flujo de detritos.

FACTORES				ORIGEN DEL PROCESO GEODIAMICO EXTERNO	FLUJO DE DETRITOS
LITOLÓGICO	CLIMATOLOGICOS	MORFOLOGICOS	ANTROPICOS	FLUVIO-ALUVIAL	
Rocas intemperizadas	Incremento de las precipitaciones cuyas escorrentías erosionan las rocas y/o cambios bruscos de temperaturas	Geoforma: Montañas y estribaciones	Urbanismo en zonas adyacentes a la quebrada		

Las zonas susceptibles para movimientos en masa tipo caída de rocas y flujo de detritos se encuentran en el sector La Meda y canal de Captación la Unión (Figura 29).

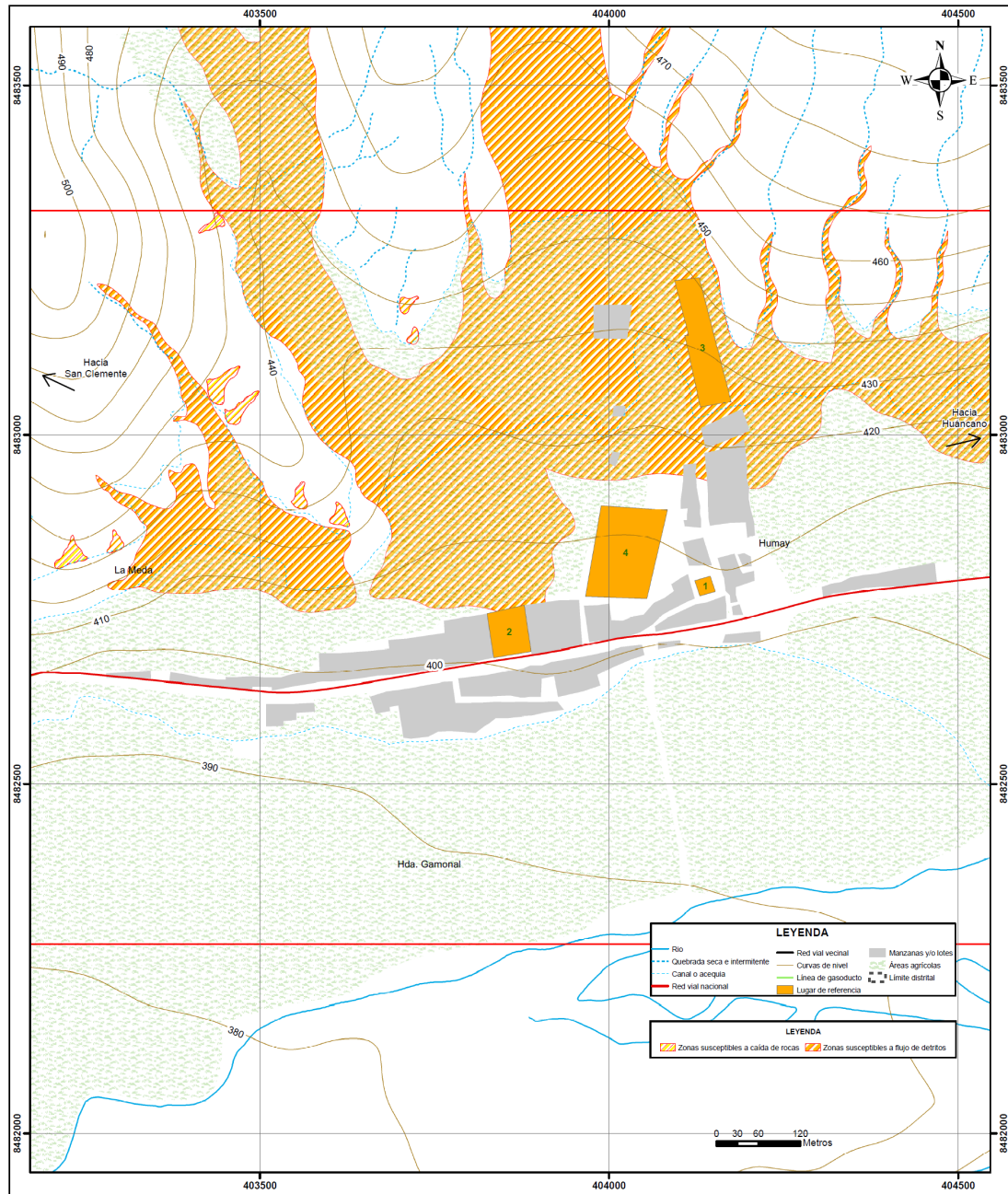


Figura 29: Zonas susceptibles a movimientos en masa tipo caída de rocas y flujos de detritos.

5. ASPECTOS GEOTÉCNICOS

Los materiales inconsolidados son el resultado de los procesos de erosión y posteriormente transportados, en gran parte desde las nacientes de las cuencas hidrográficas, hasta ser depositados a lo largo de la cuenca, principalmente en la parte baja de los suelos y en donde se asientan las áreas urbanas. La clasificación, en base al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) de estos materiales (arcillas, limos, arenas, gravas y clastos), se encuentra condicionada a las características litológicas de las rocas pre-existentes y la dinámica que presenten dichos procesos, tal como se muestra en el diagrama de la Figura 30.

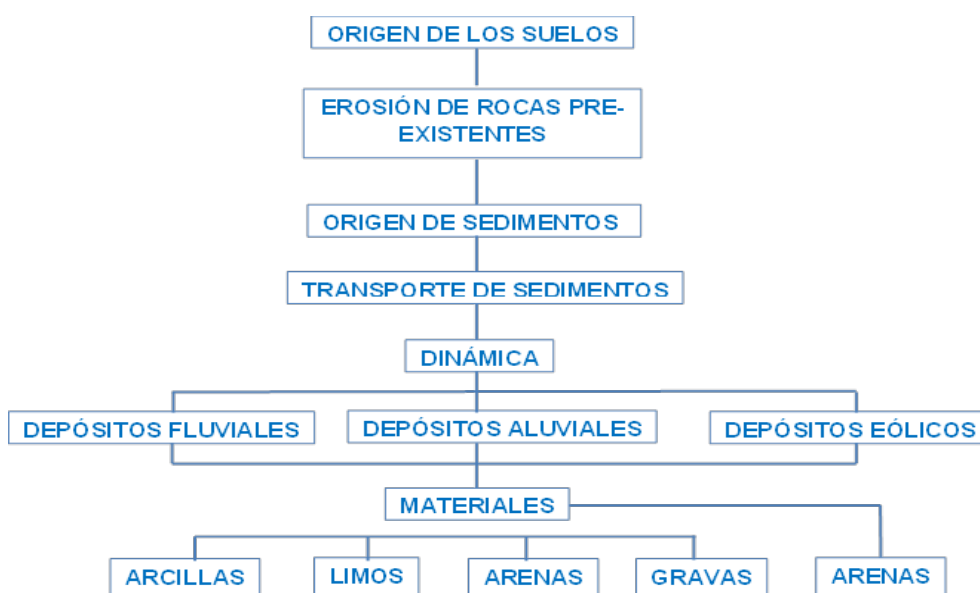


Figura 30: Diagrama del origen de los suelos.

Cabe destacar que, en algunas ciudades se presentan materiales eólicos (arenas), cuyo aporte se debe, principalmente a las corrientes de aire que proviene del Océano Pacífico. La geotecnia es la rama de la geología aplicada a la ingeniería que se encarga del estudio de las propiedades físicas, así como, el comportamiento en condiciones estáticas de los suelos y rocas, mediante la aplicación de técnicas de exploración, entre las cuales se tienen: calicatas, perforaciones y ensayos de suelos en laboratorio. Se pretende determinar las propiedades físicas de los suelos de cimentación.

En el área urbana de Humay, se realizó el estudio geotécnico que consistió en la elaboración de calicatas, densidad de campo, posteos y ensayos de penetración dinámica ligera (DPL), ver Figura 31. Asimismo, de las calicatas se extrajeron 06 muestras de suelo que fueron enviadas al laboratorio, a fin de realizarles ensayos de

mecánica de suelos como: granulometría, plasticidad, corte directo y el cálculo de la capacidad de carga admisible.

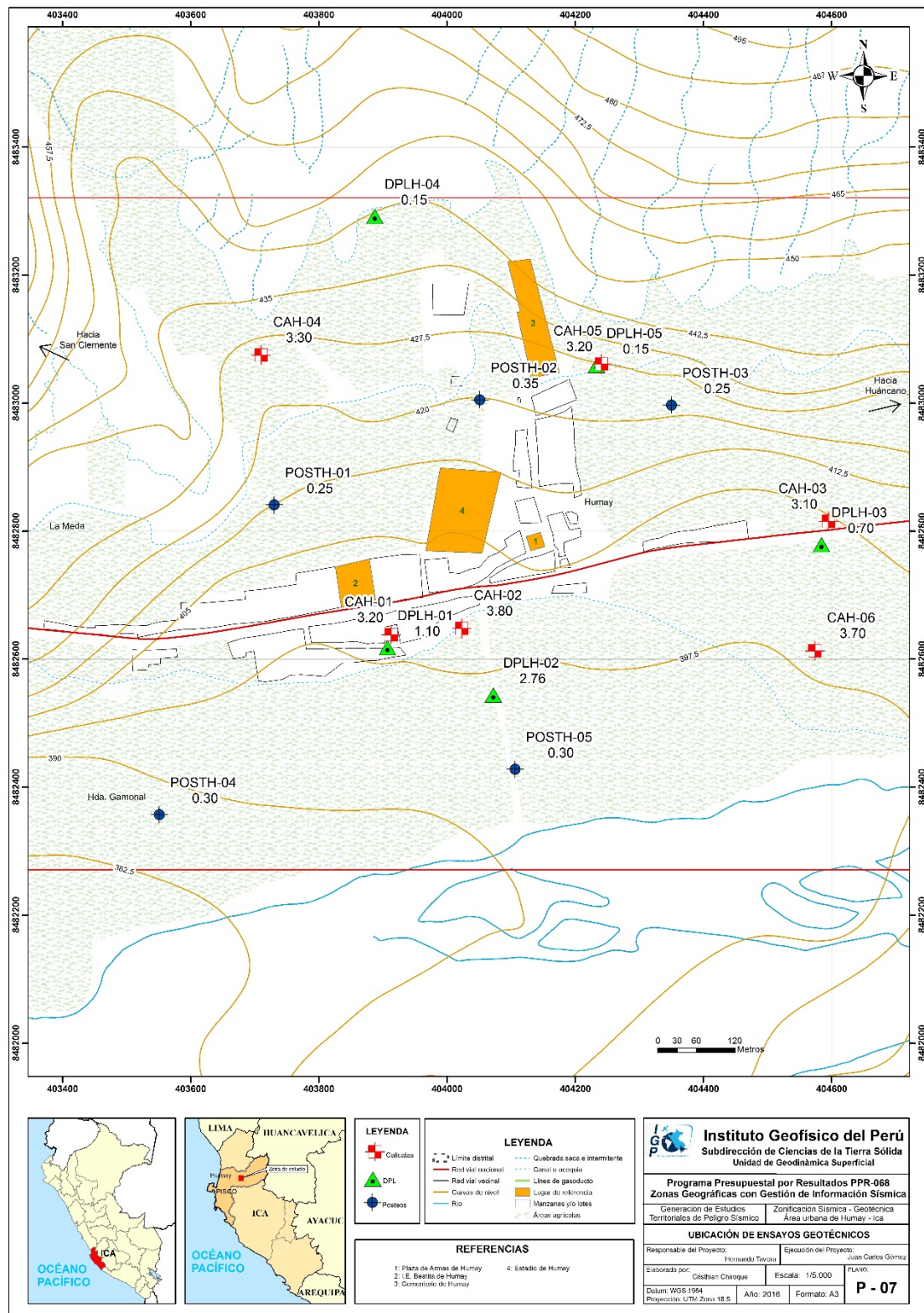


Figura 31: Mapa de distribución de calicatas, posteos y DPL en el área urbana de Humay y alrededores.

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. Estas calicatas son realizadas con maquinaria (retroexcavadora) o de forma manual.

En general, el procedimiento de campo incluyó las siguientes actividades:

Reconocimiento de la zona de estudio: Las exploraciones se ubicaron de tal manera que se distribuyan de forma geométrica uniforme en el área urbana de Humay, y para ello se consideró el análisis visual de las características del terreno, accesibilidad y lugares apropiados donde ubicarlas.

Excavaciones: Estas tuvieron las siguientes dimensiones: 1.5 x 1.5 m. y aproximadamente 3.00 m. de profundidad en promedio.

Muestreo: Proceso de extracción de dos muestras alteradas de suelo (para la identificación y la otra para determinar las propiedades de resistencia del suelo), en bolsas herméticas con capacidad de 5 Kg aproximadamente.

Descripción de calicatas: Una vez terminada la excavación de la calicata, se procede a describir el perfil estratigráfico del subsuelo y para ello se elaboró 08 fichas de descripción de calicatas (ver Anexos) cuyas coordenadas UTM se muestran en la (Tabla 6 y Figura 31)

Tabla 6: Ubicación de calicatas (NP, no presenta nivel freático).

CALICATA	UTM ESTE (m)	UTM NORTE (m)	ELEVACIÓN (m.s.n.m)	PROFUNDIDAD (m)	NIVEL FREÁTICO A (m)
CAH-01	403913	8482638	400	3.20	N.P.
CAH-02	404023	8482648	397.5	3.80	N.P.
CAH-03	404595	8482815	405	3.10	N.P.
CAH-04	403710	8483075	422.5	3.30	N.P.
CAH-05	404241	8483061	427.5	3.20	N.P.
CAH-06	404574	8482613	397	3.70	N.P.

En general, las calicatas presentan profundidades que sobrepasaron los 3.00 m, y aun así no se encontró niveles freáticos a lo largo de la columna de estratos a pesar de haberse identificado capas de arenas finas en la mayoría de calicatas.

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

Se define como la relación entre la masa del suelo (sólido y líquido) y el volumen total de un suelo o la medida del estado de empaquetamiento del suelo y para ello se debe extraer material del suelo a fin de obtener una relación entre la masa de este y el volumen que ocupa la arena del cono (arena calibrada).

En cada exploración (estratos muestreados) se debe llevar a cabo un ensayo de densidad de campo haciendo uso del método del cono, a fin de conocer la compactación y el contenido de humedad del suelo en condiciones naturales, información necesaria para desarrollar los ensayos de corte directo a las muestras de suelo (en su estado inicial). Sin embargo, este ensayo no es aplicable en suelos que contengan cantidad excesiva de roca o materiales gruesos de diámetro mayor a 1 ½ pulgada (38 mm), así como en suelos saturados; sino más bien, en suelos que presentan cierta cohesión como las arenas limosas y arenas arcillosas con contenido de gravas inferiores a 38 mm de diámetro. El procedimiento de campo incluyó las siguientes actividades:

Excavación: Proceso de diseño de agujero (profundidad de 10 a 12 cm) haciendo uso de cinces y comba. Se tiene como guía el diámetro de la placa metálica.

Extracción de muestras: Proceso mediante el cual se extrae, del agujero elaborado anteriormente, muestras de suelo que son luego pesados.

Posicionamiento del cono de arena pesado sobre la placa, se espera hasta que este deje de vaciar arena y se llene el agujero.

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

A continuación, se presentan los resultados de seis (6) calicatas, debido a que, las restantes presentan gravas y materiales en los que no se puede conocer la densidad, a

través del método del cono de arena (Tabla 7). Las fichas de densidades para las calicatas se adjuntan en los anexos.

Tabla 7: Resultado de densidades *in – situ*.

Calicata	Muestra	Profundidad (m)	Densidad Humedad (gr/cm ³)	Densidad Seca (gr/cm ³)
CAH-01	DC-CAH-01	3.20	1.74	1.36
CAH-02	DC-CAH-02	3.80	1.77	1.56
CAH-03	DC-CAH-03	3.10	2.15	1.87
CAH-04	DC-CAH-04	3.30	1.81	1.32
CAH-05	DC-CAH-05	3.20	1.75	1.82
CAH-06	DC-CAH-06	3.70	1.60	1.35

En base a los resultados de la Tabla 7 correlacionando con los valores de la Tabla 8, se concluye que los suelos del área urbana de Humay, presentan rangos de densidad entre 1.32 – 1.22 gr/cm³; es decir, presentan una densidad media, debido a que los suelos están conformados por arenas bien compactas con presencia de gravas.

Tabla 8: Valores típicos de densidad de suelos (CISMID, 2016).

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

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

Se define posteadora como un 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 sacan muestras se entranpan con este tipo de suelos).

El procedimiento seguido para la toma de muestras de suelo es como sigue: con la posteadora se penetra el subsuelo desde la superficie de tal manera que, se gira manualmente el equipo ejerciendo presión sobre el suelo, a medida que se va incrementando la profundidad, se va añadiendo varillas a fin de obtener muestras con las cucharas acopladas en el extremo. Estas exploraciones fueron distribuidas entre las calicatas; es decir, en lugares donde no existía información geotécnica, lo cual permitirá tener una mejor caracterización de los suelos de la ciudad de Humay (Figura 31). A continuación, en la Tabla 9 se muestra los resultados obtenidos y para el detalle de las fichas, ver anexos.

De acuerdo a los resultados obtenidos, los suelos del área urbana de Humay están conformados principalmente por estratos de hasta 1.00 m de espesor compuesto por gravas y clastos con matriz areno limosa, razón por la cual el equipo no ha penetrado más allá de 0.30 m de profundidad. Las fichas de posteos se presentan en los Anexos.

Tabla 9: Ubicación de posteos y clasificación de suelos SUCS (NP, no presenta datos).

POSTEO	UTM ESTE (m)	UTM NORTE (m)	ELEVACIÓN (m.s.n.m)	PROFUNDIDAD (m)	TIPOS DE SUELOS (SUCS)	NIVEL FREÁTICO A (m)
POSTH-01	403730	8482841	412	0.25	GM	N.P.
POSTH-02	404051	8483005	420	0.35	GM	N.P.
POSTH-03	404350	8482997	417.5	0.25	GM	N.P.
POSTH-04	403551	8482357	397	0.30	GM	N.P.
POSTH-05	404106	8482428	397	0.30	GM	N.P.

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

Es un equipo de campo de registro continuo (se contabiliza el número de golpes para penetrar un tramo de varillaje a lo largo de todo el ensayo), que permite estimar la resistencia del material (suelo) en kg/cm² al hincado del cono dinámico. La ventaja del instrumento es que es un equipo muy práctico y se puede transportar fácilmente.

Consiste en introducir al suelo una varilla de acero en la que se encuentra un cono metálico de penetración de 60° de punta, mediante la aplicación de golpes con un martillo de 10 kg, que se deja caer desde una altura de 0.50. Como medida de la resistencia a la penetración se registra el número "N" (número de golpes en 10 cm de penetración), para luego ser correlacionado con algunas propiedades relativas del suelo, en particular, con sus parámetros de resistencia al corte, capacidad portante, densidad relativa, etc. A través de fórmulas empíricas donde se introduce el "N" y se obtiene el ángulo de fricción interna de los distintos materiales.

Este ensayo es aplicable en terrenos arenosos, arcillosos y limos arenosos, no recomendable a utilizarse en gravas, fragmentos gruesos, conglomerados y terrenos rocosos. El procedimiento de campo incluyó las siguientes actividades:

Ubicación de ensayos: Se distribuyeron generalmente al costado y en puntos intermedios a algunas de las calicatas, con el objetivo de obtener mayor información de la resistencia del suelo en el área estudiada.

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

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

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

Los ensayos de DPL han alcanzado una profundidad máxima de 2.76 m y mínima de 0.15 m, ya que los suelos están conformados por gravas que presentan ángulos de fricción entre 36 y 40° en promedio, característico de suelos granulares de consistencia

alta. Los datos obtenidos de los ensayos se presentan en fichas de DPL, las mismas que se adjuntan en los Anexos.

Tabla 10: 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.n.s.m)	PROFUNDIDAD (m)	NÚMERO DE GOLPES	Φ
DPLH-01	403907	8482618	400	1.10	40	38.5
DPLH-02	404072	8482544	397	2.76	23	34.1
DPLH-03	404584	8482779	402.5	0.70	38	38.0
DPLH-04	403887	8483292	437.5	0.30	35	37.3
DPLH-05	404233	8483059	427.5	0.15	40	38.5

Correlación entre el “N” DPL y el “N” SPT (ASTM D1586): El ensayo DPL no cuenta con correcciones normadas para la obtención del ángulo de fricción interna, es por ello que, los valores obtenidos del número de golpes del ensayo DPL (NDPL) fueron correlacionados con el número de golpes del ensayo de penetración estándar (NSPT), a fin de determinar el ángulo de fricción interna corregido y posteriormente, calcular la capacidad de carga admisible.

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

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

Dónde:

N_1 = Número de golpes equivalente en SPT

N_2 = Número de golpes obtenidos en DPL

W_1 = Peso del martillo del DPL

W_2 = Peso del martillo SPT

H_1 = Altura de caída de DPL

H_2 = Altura de caída del SPT

A_1 = Área de la punta cónica del DPL

A_2 = Área de la punta cónica del SPT

e_1 = Espesor de la hinca del DPL

e_2 = Espesor de la hinca del SPT

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

Cálculo del ángulo de fricción interna: Para determinar el ángulo de fricción interna de los suelos de cimentación, existen diversas fórmulas empíricas propuestas por diversos autores, por mencionar algunos autores tenemos: Osaki (1959), Muromachi (1974), Peck (1974), Das (1995) y Katanaka - Uchida (1996). Para el caso del área urbana de Humay, se empleó la relación experimental propuesta por Osaki (1959), debido a que, es la más usada internacionalmente y sus resultados son conservadores, respecto a los otros autores antes mencionados (Tabla 11).

Tabla 11: Cálculo del ángulo de fricción interno, usando valores del SPT.

ENSAYO	N_{SPT} CORREGIDO	ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA (ϕ'_{NSPT})	N_{SPT} CORREGIDO	ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA (ϕ'_{NSPT})
DPL-01	15.97	32.90	-	-
DPL 02	2.18	21.6	2.18	21.6
DPL -03	-	-	-	-
DPL -04	-	-	-	-
DPL -05	-	-	-	-
PROFUNDIDAD DEL ENSAYO	1.00 – 1.20 m		1.30 - 1.50 m	

De acuerdo a las Tablas 11 y 12, los suelos de Humay están compuestos por gravas con contenido de limos cuyo ángulo de fricción está entre el rango de 21° a 32° entre 1.00 m. y 1.20 m de profundidad; por tanto, los suelos son compactos. A profundidades de 1.30 m - 1.50 m., el ángulo de fricción es de e encuentra a 21.6° , y su compacidad relativa es de media a compacta.

Tabla 12: Compacidad relativa de los suelos y ángulo de fricción interna en base al NSPT (Juarez y Rico, 1973).

ARCILLAS			ARENAS GRANO MEDIO A GRUESO			ARENAS GRANO FINO A LIMOSAS		
Número de golpes SPT (N_{SPT})	Ángulo de fricción interna (Φ)	Compacidad	Número de golpes SPT (N_{SPT})	Ángulo de fricción interna (Φ)	Compacidad	Número de golpes SPT (N_{SPT})	Ángulo de fricción interna (Φ)	Compacidad
< 2	0°	Muy Blanda	0 - 5	27°	Muy suelta	0 - 5	27°	Muy suelta
2 - 4	0 - 2	Blanda	6 - 12	28.00° - 30.50°	Suelta	6 - 12	28.00° - 29.50°	Suelta
4 - 8	2 - 4	Media	13 - 32	31.50° - 36.30°	Media	13 - 45	31.00° - 35.80°	Media
8 - 15	4 - 6	Compacta	33 - 52	37.00° - 41.20°	Compacta	46 - 60	36.00° - 37.80°	Compacta
15 - 30	6 - 12	Muy Compacta	53 - 60	42°.00 - 42.60°	Muy Compacta			
> 30	> 14	Dura						

Finalmente, en los Anexos se adjuntan las fichas de cada ensayo realizado en campo y sus respectivos valores de ángulos de fricción interna (Figura 32).

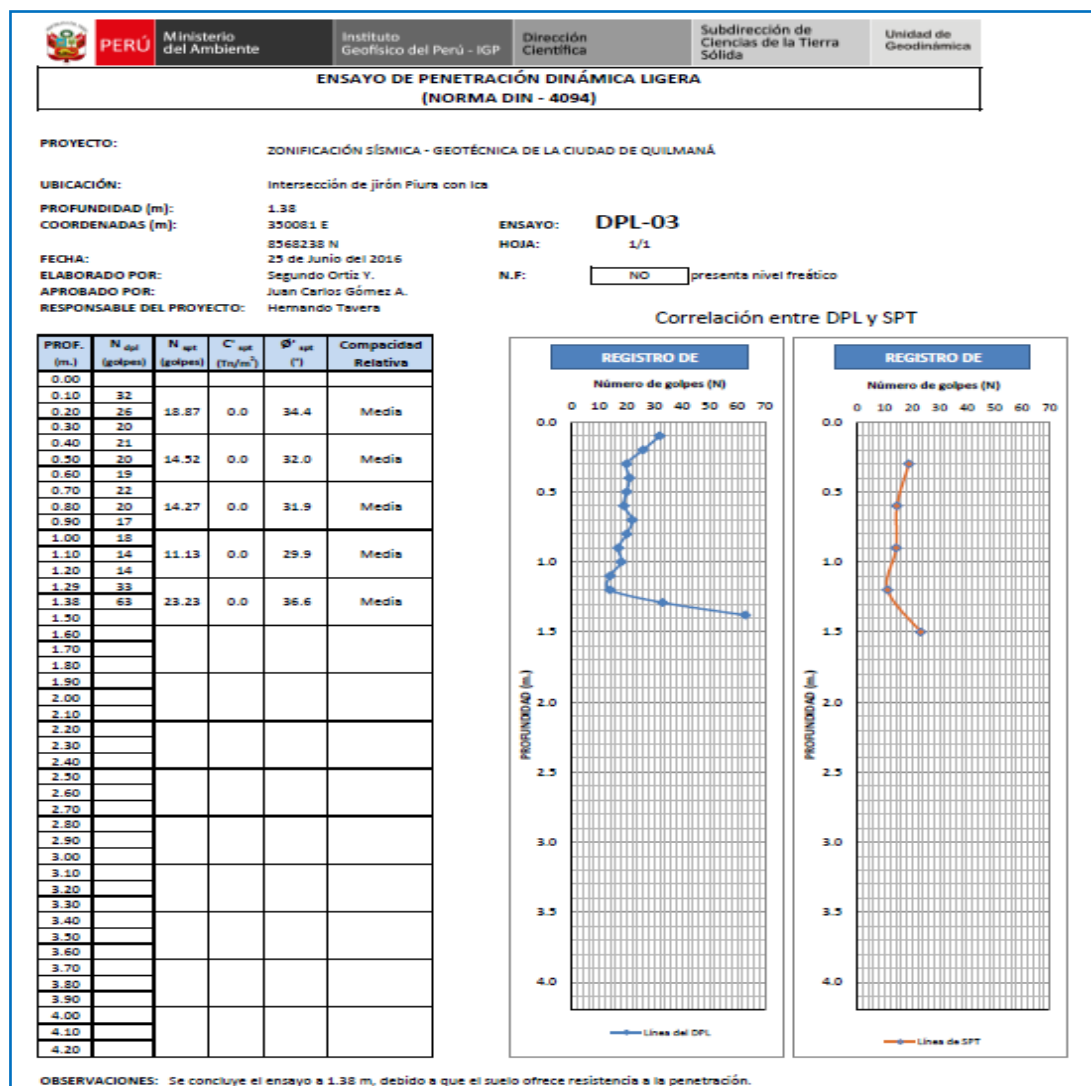


Figura 32: Diagrama de correlación entre el número de golpes del DPL y el número de golpes del SPT, y cálculo del ángulo de fricción interna corregido.

5.5. Clasificación de suelos SUCS

En base a los datos geotécnicos recopilados de las calicatas, posteos, DPL e inspección visual del terreno, se realizaron los ensayos granulométricos y de plasticidad para identificar 4 tipos de suelos agrupados según el Sistema Unificado de Clasificación de suelos (SUCS), Tabla 13 y Figura 33. Estos suelos son:

Suelos tipo SP: Están conformados por arenas mal graduadas, con contenido de humedad menor a 1.00%, constituyen suelos con grado de compactación bajo a alto y no presentan plasticidad. Estos suelos representan el 10 % del área de estudio y han sido identificados en las calicatas (CAH-01, CAH-02 y CAH-06), ubicadas en los sectores El Rompe, Los Ángeles, Ca. Callo y el Parque Infantil.

Suelos tipo GP: Están conformados por gravas mal graduadas, con contenido de humedad menor al 10 %, constituyen suelos con grado de compactación bajo a medio y no presenta plasticidad (debido a la escasa presencia de material fino). Los suelos que pertenecen a este tipo ocupan el 65% del área de estudio y han sido identificados en la calicata CAH-03, ubicada en el sector Montesierpe.

Suelos tipo GP-GM: Estos suelos están conformados por gravas mal graduadas con arenas y limos con contenido de humedad menor al 7%, su permeabilidad es media, son suelos compactos, no presentan plasticidad y su capacidad de carga admisible fluctúa entre 1.52 y 1.83 Kg/cm². Los materiales granulares sobrepasan el 50% en promedio; mientras que, los finos no superan el 40%.

Suelos tipo SP-SM: Estos suelos están conformados por arenas mal graduadas con contenidos de gravas y limos, con contenido de humedad menor a 10%, constituyen suelos con grado de compactación medio y no presentan plasticidad. Cabe resaltar que, estos suelos representan el 15 % de la zona de estudio y se han identificado en el sector denominado Cangana Alta.

Tabla 13: Clasificación de Suelos de las seis (06) calicatas elaboradas en Humay, según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

CALICATA	PROFUNDIDAD (m)	NIVEL FREÁTICO (m)	GRAVAS % (>4.76 mm)	ARENAS % (>0.074 mm, <4.76 mm)	FINOS % (<0.074 mm)	LÍMITE LÍQUIDO (%)	LÍMITE PLÁSTICO (%)	ÍNDICE PLÁSTICO	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	CLASIFICACIÓN SUCS	DENOMINACIÓN
CAH - 01	3.20	N.P.	35	63	2	N.P.	N.P.	N.P.	1.44	SP	Arena mal graduada con gravas
CAH - 02	3.80	N.P.	0	99	1	N.P.	N.P.	N.P.	27.72	SP	Arena mal graduada con gravas
CAH - 03	3.10	N.P.	43	51	6	N.P.	N.P.	N.P.	1.81	GP	Grava pobremente graduada
CAH - 04	3.30	N.P.	50	42	8	N.P.	N.P.	N.P.	0.42	GP-GM	Grava pobremente graduada con limos y arenas
CAH - 05	3.20	N.P.	32	62	6	N.P.	N.P.	N.P.	10.22	SP-SM	Arena mal graduada con gravas y limos
CAH - 06	3.70	N.P.	14	79	7	N.P.	N.P.	N.P.	2.22	SP	Arena mal graduada con gravas

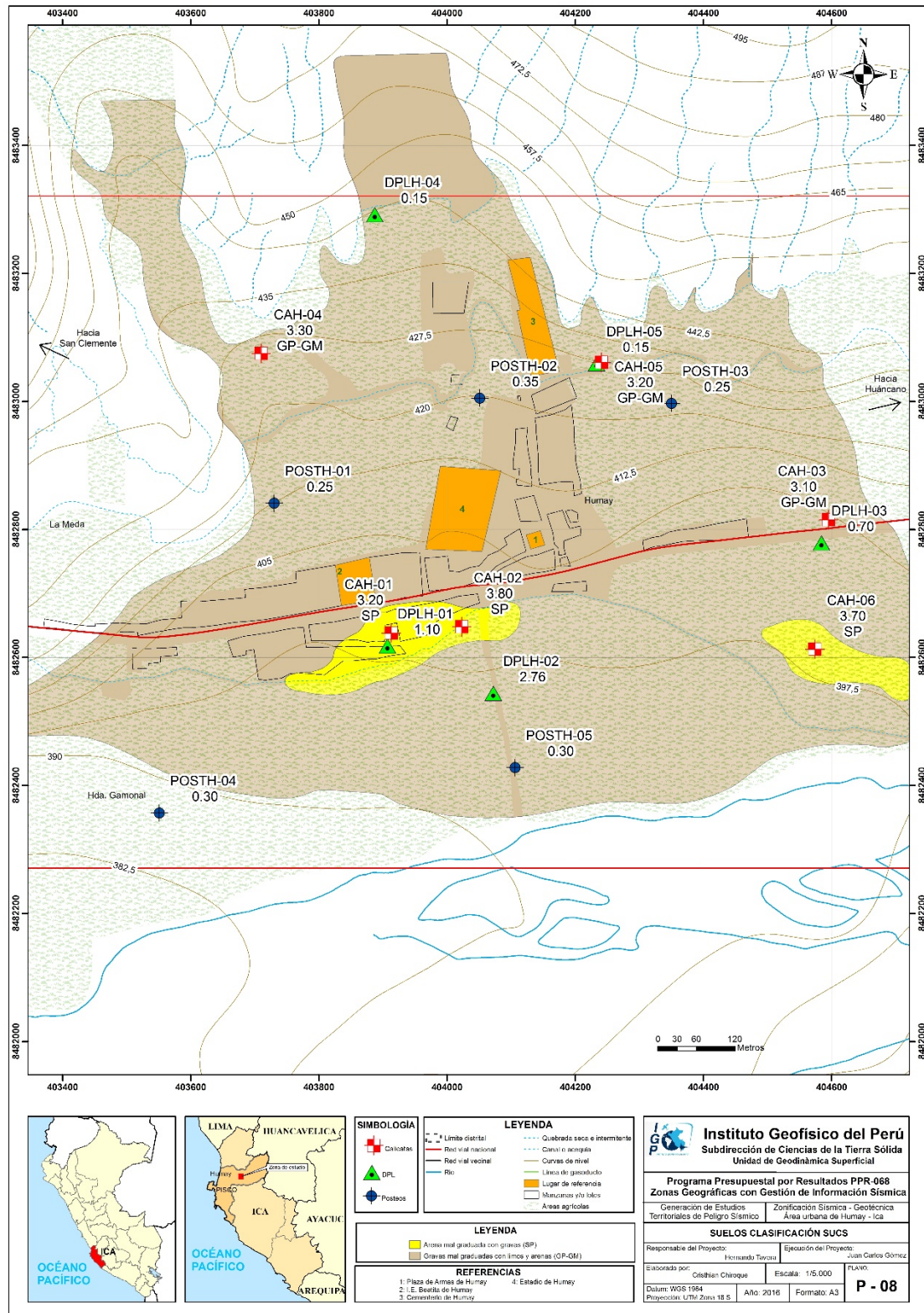


Figura 33: Mapa de clasificación SUCS para los suelos en el área urbana de Humay y alrededores.

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

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

Para conocer la resistencia al corte en laboratorio se usa el equipo de corte directo, siendo el más usado una caja de sección cuadrada o circular dividida horizontalmente en dos mitades. Dentro de ella se coloca la muestra de suelo con dos placas de piedra porosa en ambos extremos, se aplica una carga vertical de confinamiento (P_v) y luego una carga horizontal (P_h) creciente que origina el desplazamiento de la mitad móvil de la caja originando el corte de la muestra. Los resultados obtenidos del ensayo de corte directo se muestran en la Tabla 14.

Tabla 14: Valores obtenidos del ensayo de corte directo (NP, no presenta datos).

MUESTRA	Ángulo de fricción interna del suelo (ϕ)	Cohesión aparente del suelo (Tn/m^2)	Densidad natural (Tn/m^3)
CAH-01	34.34	0.00	1.97
CAH-02	34.72	0.00	1.98
CAH-03	28.80	0.10	N.P
CAH-04	28.70	0.08	N.P
CAH-05	36.00	0.00	N.P
CAH-06	29.60	0.20	N.P

De acuerdo a estos resultados, la mayoría de los suelos en Humay no presentan cohesión y los valores del ángulo de fricción interna son menores a 35° , característico de suelos granulares como arenas y gravas.

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

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

Carga última (q_u): Es la presión última por unidad de área de la cimentación soportada por el suelo, en exceso de la presión causada por el suelo alrededor al nivel de la cimentación. Para determinar la carga última se usaron los resultados de los ensayos de corte directo y en base al N_{SPT} (ángulo de fricción y la cohesión), datos que se usaran con la fórmula general de Terzaghi (1943), a través de la siguiente expresión (Tabla 15):

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

Donde:

C: cohesión

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

N_c, N_q, N_γ : Factores de carga, Tabla 04.

Tabla 15: Tabla de factores de carga, modificado por Terzaghi (Braja, 2007).

Φ'	N' _c	N' _q	N' _γ	Φ'	N' _c	N' _q	N' _γ
0	5.70	1.00	0.00	26	15.53	6.05	2.59
1	5.90	1.07	0.01	27	16.30	6.54	2.88
2	6.10	1.14	0.02	28	17.13	7.07	3.29
3	6.30	1.22	0.04	29	18.03	7.66	3.76
4	6.51	1.30	0.06	30	18.99	8.31	4.39
5	6.74	1.39	0.07	31	20.03	9.03	4.83
6	6.97	1.49	0.10	32	21.16	9.82	5.51
7	7.22	1.59	0.13	33	22.39	10.69	6.32
8	7.47	1.70	0.16	34	23.72	11.67	7.22
9	7.74	1.82	0.20	35	25.18	12.75	8.35
10	8.02	1.94	0.24	36	26.77	13.97	9.41
11	8.32	2.08	0.30	37	28.51	15.32	10.90
12	8.63	2.22	0.35	38	30.43	16.85	12.75
13	8.96	2.38	0.42	39	32.53	18.56	14.71
14	9.31	2.55	0.48	40	34.87	20.50	17.22
15	9.67	2.73	0.57	41	37.45	22.70	19.75
16	10.06	2.92	0.67	42	40.33	25.21	22.50
17	10.47	3.13	0.76	43	43.54	28.06	26.25
18	10.90	3.36	0.88	44	47.13	31.34	30.40
19	11.36	3.61	1.03	45	51.17	35.11	36.00
20	11.85	3.88	1.12	46	55.73	39.48	41.70
21	12.37	4.17	1.35	47	60.91	44.45	49.30
22	12.92	4.48	1.55	48	66.80	50.46	59.25
23	13.51	4.82	1.74	49	73.55	57.41	71.45
24	14.14	5.20	1.97	50	81.31	65.60	85.75
25	14.80	5.60	2.25				

Luego, en base a los resultados de la carga última (q_u) se calculó la capacidad admisible de los suelos para una profundidad de cimentación de 1.00 m y ancho de zapata de 1.00 m, así como también para una profundidad de cimentación de 1.50 m y

ancho de zapata de 1.00 m. Los resultados de capacidad de carga admisible para los 02 tipos de suelos analizados se presentan en la Figura 34 y en las Tablas 16 y 17.

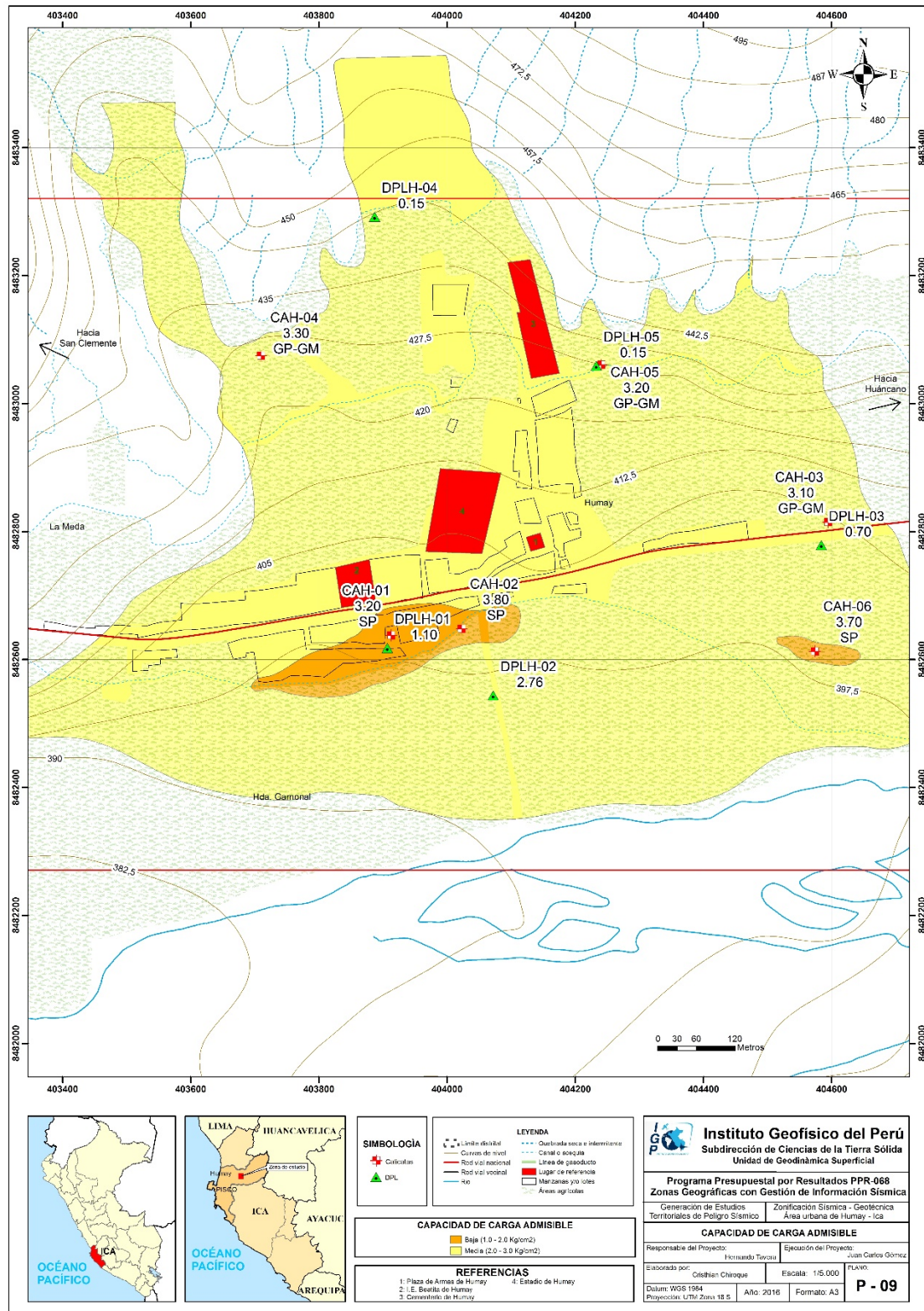


Figura 34: Mapa de capacidad de carga admisible a una profundidad de 1 metro para el área urbana de Humay y alrededores.

Tabla 16: Capacidad de carga admisible de siete (06) muestras extraídas en el área urbana de Humay.

MUESTRA	Capacidad de carga última (Tn/m ²)	Capacidad de carga admisible (Kg/cm ²)	Capacidad de carga última (Tn/m ²)	Capacidad de carga admisible (Kg/cm ²)
CAH-01	31.8	1.06	43.7	1.46
CAH-02	30.2	1.01	41.6	1.36
CAH-03	63.10	2.10	85.6	2.85
CAH-04	60.2	2.01	81.7	2.72
CAH-05	61.9	2.06	83.4	2.78
CAH-06	32.4	1.08	44.6	1.49
DIMENSIONES DE CIMENTACIÓN	Profundidad: 1.00 m y ancho:1.00		Profundidad: 1.50 m y ancho:1.00	

Tabla 17: Capacidad de carga admisible en base a los ensayos de DPL en el área de Humay.

ENSAYO	Capacidad de carga última (kg/cm ²)	Capacidad de carga admisible (Kg/cm ²)	Capacidad de carga última (kg/cm ²)	Capacidad de carga admisible (Kg/cm ²)
DPL – 01	4.31	1.49		
DPL – 03	3.77	1.27		
DIMENSIONES DE CIMENTACIÓN	Profundidad: 1.00 m y ancho:1.00		Profundidad: 1.50 m y ancho:1.00	

De acuerdo a los resultados obtenidos y tomando en cuenta los valores de la Tabla 18, se ha determinado que, la zona urbana de Humay presenta suelos con la siguiente capacidad de carga admisible:

Tabla 18: Rango de capacidad de carga admisible.

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

Capacidad de carga admisible baja: Comprende rangos de capacidad de carga admisible entre 1.00 - 2.00 kg/cm², corresponde al tipo de suelo conformado por arenas mal graduadas con gravas (SP), cuyo grado de compactación es bajo a medio. Abarca menos del 5% del área de estudio y se encuentra en el parque infantil y el sector denominado “El Rompe”. Es probable que estas acumulaciones

de arenas hayan formado parte de facies deltaicas del río Pisco o de antiguas acumulaciones de arenas.

Capacidad de carga admisible media: Comprende rangos de capacidad de carga admisible entre 2.00 - 3.00 kg/cm² y corresponde a tipos de suelos como gravas mal graduadas (GP), gravas arenosas (GM), con grado de compactación es de medio a alto. Abarca el 95% del área de estudio y se encuentra distribuido en gran parte de la zona urbana de Humay. Este tipo de suelo conforman los grandes abanicos aluviales que formaron suelos bien compactos.

CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA DEL ÁREA URBANA DE BERNALES

CONTENIDO

1. METODOLOGÍA

2. GEOMORFOLOGÍA

- 2.1. Base topográfica
- 2.2. Modelo digital del terreno (MDT)
- 2.3. Pendientes

- 2.4. Unidades geomorfológicas

3. GEOLOGÍA

- 3.1. Geología regional
- 3.2. Geología local

4. ASPECTOS GEOTÉCNICOS

- 4.1. Exploraciones a cielo abierto (Norma ASTM D420)
- 4.2. Densidad del suelo in-situ (Norma ASTM D1556)
- 4.3. Exploraciones con posteadora manual (Norma ASTM D1452)
- 4.4. Ensayos de penetración dinámica ligera (DPL, Norma DIN 4094)
- 4.5. Correlación entre “N” DPL y el “N” SPT (ASTM D1586)
- 4.6. Clasificación de suelos SUCS
- 4.7. Ensayos de corte directo (Norma ASTM D-3080)
- 4.8. Capacidad de carga admisible
- 4.9. Problemas Geotécnicos

1. METODOLOGÍA

Para realizar la caracterización geológica y geotécnica de los suelos en el área urbana de Humay se ha seguido la siguiente metodología:

- ✓ **Gabinete I:** Las actividades realizadas incluyeron la revisión de imágenes satelitales pancromáticas no estereoscópicas (GeoEye-1 del Servidor DigitalGlobe, 2013, con resolución 0.60 m), con la finalidad de delimitar la zona de estudio. Asimismo, realizar la recopilación de información bibliográfica de la zona a escala regional y local (boletines geológicos, informes técnicos, entre otros).
- ✓ **Campo I:** Se realizó el cartografiado de las unidades geomorfológicas y litológicas aflorantes a escala 1: 15 000. Paralelo a este trabajo se realizó la topografía de la zona a escala 1:15 000.
- ✓ **Campo II:** Elaboración de ensayos geotécnicos como:
 - ✓
***Elaboración de calicatas:** Estas se realizaron a una profundidad promedio de 3.00 m. En Bernales se realizaron 05 calicatas distribuidas equitativamente entre el casco urbano y área de expansión urbana.*
 - Ensayos de Penetración Dinámica Ligera (DPL):** Se realizaron con el fin de determinar la resistencia de los suelos al ser penetrados. En Bernales se realizaron 05 DPL.*
 - Ejecución de auscultaciones** haciendo uso de una posteadora manual, que se distribuyeron en zonas intermedias a la ubicación de las calicatas más próximas, a fin de complementar la información. En el área de estudio se llevaron a cabo 09 posteos.*
- ✓ **Laboratorio:** Procesamiento de las muestras de suelos realizando ensayos de laboratorio como granulometría (tipo de suelos SUCS), humedad, densidad y corte directo (capacidad portante).
- ✓ **Gabinete II:** Elaboración del informe técnico.

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 son llamados procesos de geodinámica externa y se agrupan en la cadena de meteorización-erosión, transporte y sedimentación (Gutierrez, 2008). El estudio de la geodinámica externa se efectúa en un sistema proceso-respuesta, siendo el primero el agente creador (origen) y el segundo la geoforma resultante. El término geoforma es un concepto genérico que designa todos los tipos de formas de relieve independientemente de su origen y dimensión (Zinck, 1988; Zinck & Valenzuela, 1990). En este capítulo se describen las características físicas de las geoformas existentes en el área urbana de Bernal, en relación a su origen.

Previamente, en base al levantamiento topográfico y mediante herramientas computacionales (SIG) se ha elaborado los planos de Modelo Digital del Terreno (MDT) y de pendientes, los cuales permitirán delimitar las características geomorfológicas del terreno, para luego ser verificadas y validadas durante el trabajo de campo. Esto permitió cartografiar y delimitar las unidades geomorfológicas para el área urbana de Bernal.

2.1. Base topográfica

Se obtuvo a partir de un levantamiento topográfico realizado en el área urbana de Bernal, sobre un área de 54 hectáreas (sector urbano) y para su levantamiento se utilizó una estación total (marca Nivo 3.C con resolución de 3") y un punto de control, cuyas coordenadas fueron establecidas con una antena y receptor GPS/GNSS de doble frecuencia descrito (Tabla 1).

Tabla 1: Punto de control ubicado en la estación de serenazgo.

Luego, desde el punto de control antes mencionado se estableció un polígono cerrado conformado por 7 vértices (Figura 1), sobre el cual se tomaron 178 mediciones (puntos de relleno) que contienen información planimétrica (coordenadas este y norte) y

altimétrica (elevación ortométrica), proyectados en el sistema Universal Transversal Mercator (UTM). Asimismo, con la finalidad de complementar la topografía de las zonas aledañas al sector urbano, representado por 2050 ha., se utilizaron imágenes SRTM en formato GeoTiff, descargadas de Consortium for Spatial Information (CGIAR-CSI) y procesadas con los vértices de la Figura 1. A partir del uso de un software de Diseño Asistido por Computador (CAD) y los datos recabados del levantamiento topográfico y del SRTM, se obtuvo un plano topográfico a escala 1:10 000 que contiene curvas de nivel (líneas que unen puntos con igual altitud) con resolución espacial de 5 m.

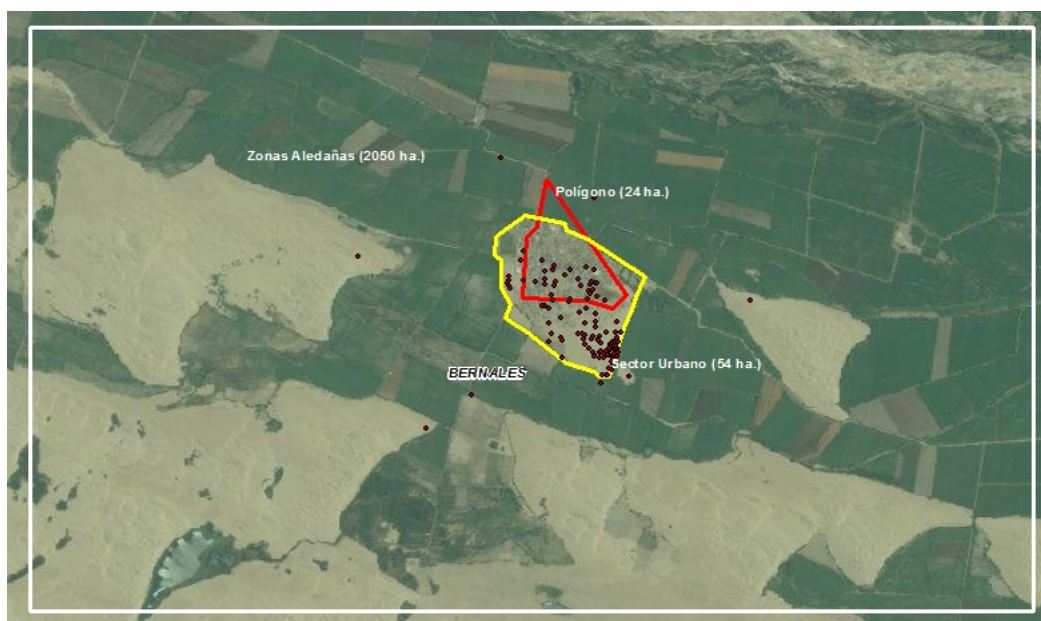


Figura 1: Se describe en línea roja el área del polígono (32 ha.), en amarillo el sector urbano (22 ha.) y en blanco las zonas aledañas (2580 ha.).

2.2. Modelo Digital del Terreno (MDT)

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

Para la elaboración del MDT para el área de BERNALES, se tomó en cuenta el uso de herramientas SIG sobre las curvas de nivel diseñadas anteriormente, obteniéndose como resultado la representación digital de la superficie del terreno sobre un área de 15 km² (Figura 2).

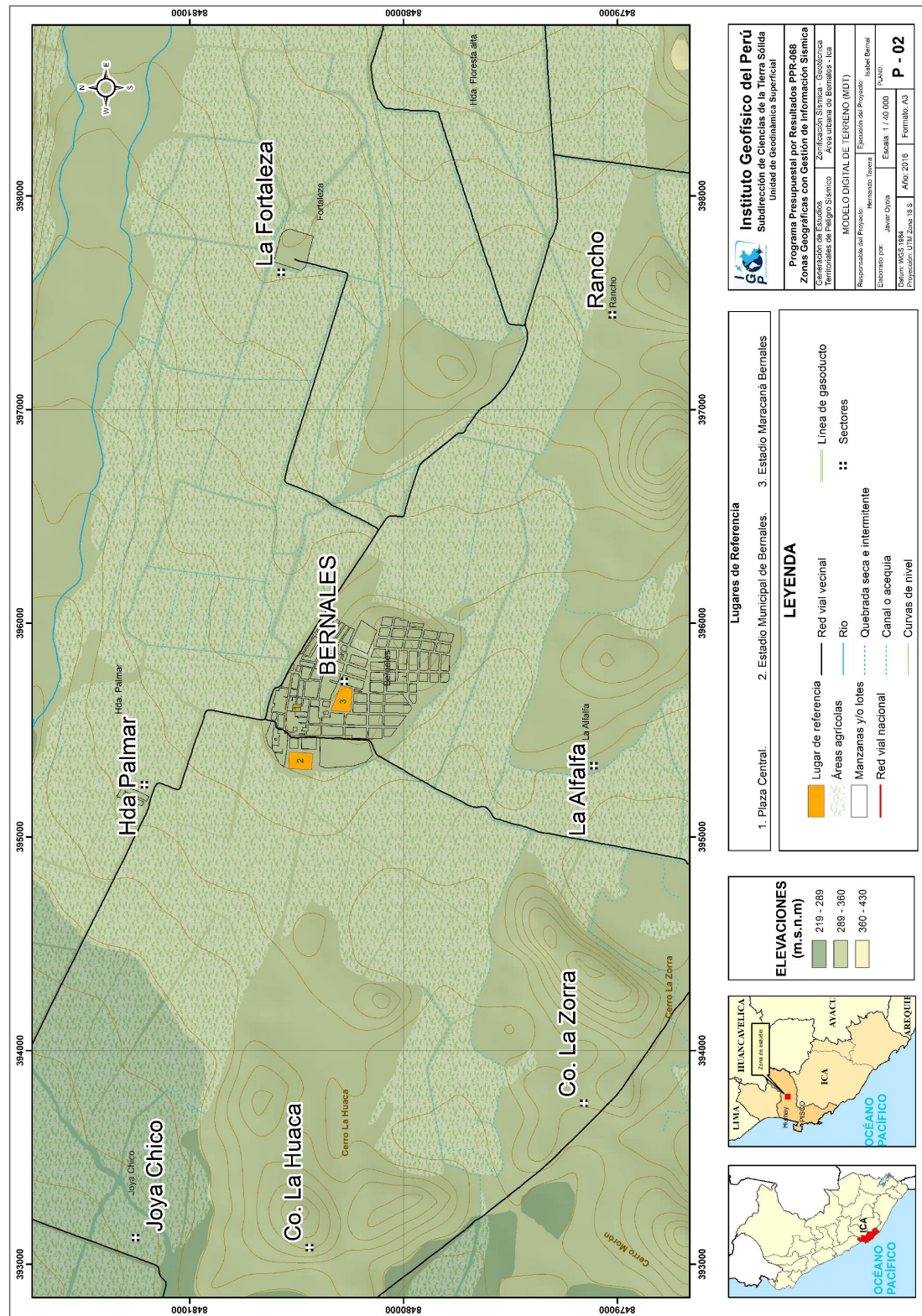


Figura 2: Mapa de modelo digital del terreno (MDT) en el área urbana de Bernales y alrededores.

En base al MDT el área urbana de Bernaldes se asienta sobre una antigua duna con cotas entre 289 y 360 m.s.n.m; mientras que, las zonas de cultivos se desarrollan en una llanura aluvial con cotas promedio entre 219 y 289 m.s.n.m.

2.3. Pendientes

Es el ángulo que se expresa en grados o porcentajes y como 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 mapa de pendientes para el área urbana de Bernaldes fue elaborado a partir del MDT, haciendo uso de herramientas de geoprocesamiento (área de influencia, construcción de modelos, análisis espacial, etc) para diferenciar gráficamente los ángulos de inclinación del relieve en el área de estudio.

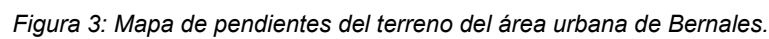
Clasificación del grado de pendientes: Para la clasificación de los rangos de pendientes se usó la hipótesis de Fidel et. al. (2006), ver Tabla 2. De acuerdo a estos resultados, cerca del 80% Bernaldes se encuentra asentada sobre una antigua duna que se emplazó sobre una llanura aluvial que presenta pendientes menores a 10° en promedio sobre las dunas que rodean a la zona urbana que presentan pendiente de hasta 20° (Figura 3).

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

Pendiente en grados (°)	Clasificación
<5	Muy baja
5 - 20	Baja
20 - 35	Media
35 - 50	Fuerte
>50	Muy fuerte

2.4. Unidades geomorfológicas

Estas unidades con ciertas características físicas son generadas por procesos morfogenéticos de carácter 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 su 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 como intemperismo, meteorización, erosión, transporte y deposición generando diferentes geoformas, que pueden clasificarse de acuerdo a su origen en depositacional, denudacional (erosional). Otros procesos internos como el magmatismo y tectonismo, generan geoformas de origen estructural.

Finalmente, en base a las características físicas de las unidades geomorfológicas y su origen, en Bernaldes, se cartografiaron cinco unidades: lecho fluvial, dunas, llanura aluvial, llanura de inundación y terraza aluvial, ver Tabla 3 y Figura 4.

Tabla 3: Determinación de geoformas en Bernaldes y alrededores en base a las características físicas y su origen.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		ORIGEN	UNIDAD GEOMORFOLÓGICA
Pendiente	<5°	Denudacional	Lecho fluvial
Altura	0-100=otros		
Geometría	otros		
Drenaje	dendrítico		
Pendiente	<20°	Denudacional	Estribaciones y montañas
Altura	<100 m		
Geometría	redondeada		
Drenaje	radial		
Pendiente	5°-20°	Depositacional	Abanico aluvial
Altura	0-100=otros		
Geometría	Abanico		
Drenaje	Dendrítico		
Pendiente	5°-20°	Depositacional	Terraza aluvial 1 y 2
Altura	0-100=otros		
Geometría	alargada		
Drenaje	paralelo y dendrítico		
Pendiente	<5°	Depositacional	Terraza fluvial 1 y 2
Altura	0-100=otros		
Geometría	alargada		
Drenaje	paralelo y dendrítico		

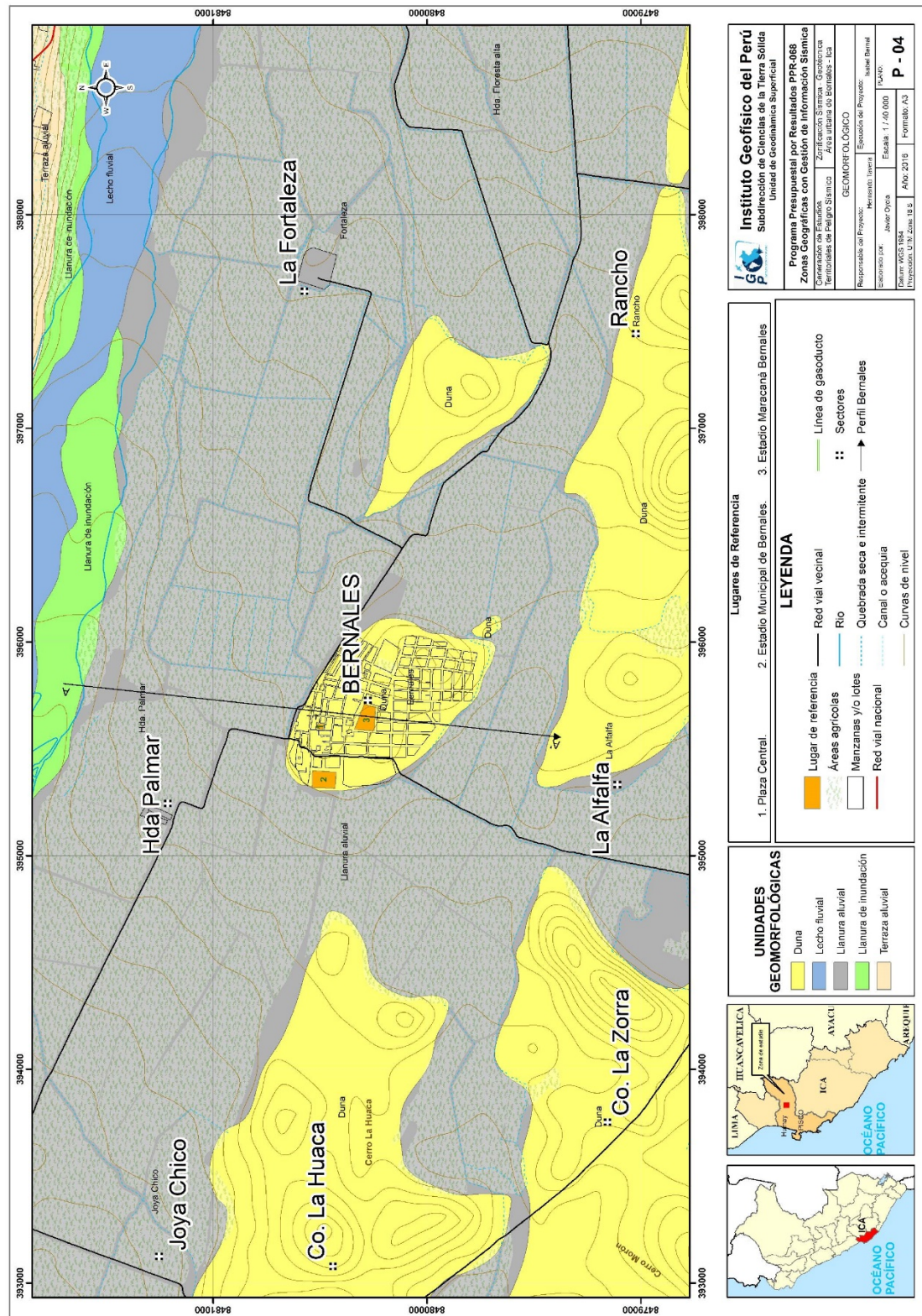


Figura 4: Mapa geomorfológico para el área urbana de Bernales y alrededores.

Lecho fluvial: Es el canal excavado por el flujo de agua de un río y los sedimentos que éste 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 sustrato rocoso; es decir, es producto de un equilibrio dinámico entre la carga de sedimentos y su capacidad de transporte.

El lecho fluvial del río Pisco se desplaza con dirección de este a oeste, el ancho promedio del cauce llega a medir 380 m, en donde se han depositado gran cantidad de materiales de origen fluvial (gravas y arenas gruesas), ver Figura 5.



Figura 5: El lecho fluvial del río Pisco presenta gran cantidad de gravas redondeadas con arena de grano grueso.

Dunas: Son acumulaciones arenas y partículas finas de origen marino que son transportadas por el viento desde las playas hacia la costa con dirección NO-SE o EO hasta depositarse en la zona de estudio. En Bernalés existen dunas que se han depositado sobre la llanura aluvial hasta alcanzar alturas 70 m de altura. La zona urbana de Bernalés se asienta sobre una antigua duna, que por la acción antrópica ha ido disminuyendo su dinámica eólica (duna inactiva).

En la zona de estudio existe un gran número de dunas tipo barcanas, en donde la cresta es perpendicular a la dirección del flujo de arena y los cuernos apuntan en el sentido de la dirección del viento. Las laderas de barlovento son convexas y de menor pendiente que las de sotavento, tal como se muestra en la Figuras 6 y 7.



Figura 6: Las montañas son las unidades que proporcionan los materiales detríticos a los flujos que finalmente forman los abanicos aluviales en Bernales.



Figura 7: Dirección del viento predominante en la zona de estudio de NO-SE o O-E.

Para la zona de estudio, la fenomenología del transporte de las arenas que forman las dunas presentes en Bernales, Ica, Paracas, Pisco, Nazca, entre otros, ha sido ampliamente estudiada en artículos científicos y tesis de pregrado, denominando a este evento como los “Vientos Paracas”.

Llanura aluvial: Es la geoforma más amplia abarca el 60% del área de estudio. Estos eventos son de origen depositacional y se extienden en los sectores La Fortaleza, Hacienda Palmar, Joya Chico, La Zorra, La Alfalfa, el Rancho y la zona urbana de Bernales (Figura 8). Estos eventos han sido modelados por el río Pisco y conformada por depósitos principalmente aluviales y fluviales que fueron

transportados de la parte alta de la cuenca, con cotas promedio de 219 m.s.n.m, y pendientes menores a 10° a lo largo de toda la llanura.



Figura 8: La zona urbana de Humay se encuentra asentada sobre un gran abanico aluvial.

Llanura de inundación: Son superficies horizontales o ligeramente inclinadas adyacentes al cauce de un río y cuyo relieve presenta pendientes menores a 5° . Generalmente, han constituido antiguos cauces que fueron migrando con el tiempo, estas zonas son inundadas en tiempo de lluvias intensas donde el caudal del río aumenta (Figura 9).



Figura 9: La llanura de inundación en Bernalles se encuentra a menos de 1.5 m de desnivel con respecto al cauce del río Pisco.

Terraza aluvial: Las terrazas aluviales presentes en Bernaldes son superficies planas. Con pendientes menores a 5° y en gran porcentaje se encuentran conformadas por clastos y gravas redondeadas de diversos tamaños y diámetros con matriz arenosa y que han sido transportadas por la dinámica del río Pisco.

La terraza aluvial de Bernaldes se ubica en la margen derecha del río Pisco y sus límites han sido determinados en base al desnivel topográfico con respecto al cauce del río, la llanura de inundación y la llanura aluvial, ver Figura 10.



Figura 10: La terraza aluvial tiene un espesor en superficie que supera los 8 m en donde, limitando con el lecho fluvial y la llanura de inundación.

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 deja 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) y para ello se estudian las rocas y los suelos analizando las propiedades asociadas al comportamiento mecánico. La geología comprende varias disciplinas como la geología regional, histórica y estructural que en conjunto 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.

Para Bernalles, se recopiló la información geológica regional del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET, 1993) a escala 1: 100,000 y en ella, se describen las unidades litológicas aflorantes cuyas edades se encuentran desde el Cretáceo Inferior (145 Ma) hasta el Cuaternario Reciente.

Geología histórica: Según Fernández Dávila (1993), hace 541 millones de años, en la zona de estudio las grandes masas de rocas estuvieron expuestas a altas temperaturas y presión ligada a una deformación a gran escala (metamorfismo regional), lo que originó rocas tales como pizarras, esquistos, gneis, etc. La Formación Chocolate, del Jurásico Inferior (201 Ma) fue depositada en un medio acuoso, siendo posible, que su ambiente haya sido continental, para luego sumergirse en un mar de aguas someras, depositándose sedimentos finos originando calizas intercaladas con volcánicos.

Durante el Jurásico Medio (168 Ma), la depositación se caracterizó por una regresión, donde la sedimentación en aguas someras y tranquilas, iba teniendo más influencia continental. Los sedimentos del Grupo Yura del Cretácico Inferior (145 Ma) siguen depositándose en ambientes playeros con un ciclo de regresión marina. La presencia de cuarcitas con estratificación cruzada, indica un medio de alta energía (acción de olas y corrientes).

A finales del Cretácico Inferior (125 Ma), la actividad volcánica se reactivó en la región occidental, diferenciando una depositación de materiales volcánico sedimentario con respecto al sector oriental, caracterizado por un mayor porcentaje de sedimentos arcillosos. La aparición de cuerpos intrusivos del Batolito con una edad de 95 Ma, produjo el hundimiento de la cuenca, permitiendo la sedimentación fina formando lutitas y calizas en la zona occidental.

La actividad volcánica continuó hasta el Paleógeno (66 Ma), plegando y fallando toda la secuencia para luego ser afectada por el emplazamiento del Batolito Andino, esto inició un período de erosión interrumpido por fallamiento normal que hizo

descender la zona occidental y dar lugar a partir del Paleógeno Medio (41 Ma) a la depositación de las formaciones Paracas y Pisco.

En el Paleógeno Medio (Mioceno 23 Ma), la cuenca de Pisco sufrió un mayor hundimiento en el lado norte, originando la depositación de diatomitas, por el contrario, en el sur la sedimentación fue somera con materiales tufáceos (roca ígnea volcánica). A finales del Paleógeno (3.6 Ma), la zona desde Pisco hasta Ica ya tenía características de una penillanura, la actividad volcánica fue extensa en el sur, centro y probablemente en el norte, lo que originó la acumulación de una secuencia conformada por tobas volcánicas.

Durante la fase final de la formación de la penillanura, ocurrió un fallamiento en bloques que se hizo más intenso a fines del Neógeno y principios del Cuaternario (2.5 Ma), que acompañó al levantamiento de la cordillera. La zona costera fue controlada por fallas regionales que dieron origen a la fisiografía y desarrollo del litoral, ya partir de entonces, la erosión modeló la superficie dando forma al relieve actual.

Geología estructural: Los eventos de deformación y metamorfismo produjeron el plegamiento de las estribaciones andinas y fallamientos en bloques evidenciados en esta parte de la costa. A continuación, se detallan las estructuras resultantes de dichos eventos geológicos:

Zona de plegamientos: la deformación asociada a esfuerzos de compresión se manifestó en los plegamientos existentes en la Cordillera Occidental interrumpidos por cuerpos intrusivos que forman parte del Batolito de la Costa. En la zona de estudio y alrededores de Bernaldes no se han encontrado dichas estructuras por estar ubicadas más al este.

Zona de fallas: las fallas geológicas pueden afectar grandes extensiones de paquetes de rocas y materiales, cambiando la geomorfología de la superficie pudiendo alterar el curso de los ríos. Un ejemplo, es el cambio del curso y dirección del río Ica ubicado a 32 y 35 km al sureste de las ciudades de las áreas urbanas de Humay y Bernaldes respectivamente. Asimismo, la orientación y la presencia de los cerros ubicados al oeste de la ciudad de Ica, indican la presencia de una probable falla paralela que ha cortado su trayectoria hacia el Océano Pacífico y cambiando su orientación de NE-SO a N-S (Macharé, et al. 2008).

3.2. Geología local

Consistió en el reconocimiento y cartografiado de las unidades litológicas aflorantes en el área urbana de Bernalles a escala 1:15,000, sobre un área de 15 Km² aproximadamente. (Figuras 11 y 12).

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS	SIMBOLOGÍA	LITOLOGÍA
CENOZOICO	CUATERNARIO	Holoceno	Dep. Eólicos	Q-e	Arenas finas
			Dep. Fluviales	Q-fl	Gravas redondeadas a angulosas con matriz limo arenosa
			Dep. Aluvial	Q-al	

Figura 11: Columna cronolitoestratigráfica de la zona de estudio.

Depósitos Cuaternarios: Suprayaciendo al substrato rocoso conformado por rocas volcánicas que afloran a 4.5 km de la zona de estudio, se encuentran los depósitos Cuaternarios de edad Holocena, principalmente de origen eólico, fluvial y aluvial. Las características de estos materiales se describen a continuación:

Depósitos aluviales (Q-al): Este tipo de depósitos están conformados por estratos de gravas clastos y bloques angulosos de 5, 10 y 25 cm de diámetros con una matriz areno limosa. Estos materiales han sido transportados por la dinámica fluvial del río Pisco de este a oeste, desde la parte alta de la cuenca. Sobre los aluviales se encuentran extensos mantos de arenas formando dunas de hasta 70 m de altura.

Las exploraciones realizadas en estudios geotécnicos han determinado que el espesor de los depósitos aluviales sobrepasa los 15 m de profundidad, tal como se muestra en las Figuras 13 y 14.

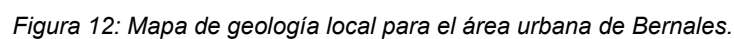




Figura 13: Foto 08: Los depósitos aluviales forman extensas llanuras con condiciones óptimas para la agricultura en la zona.



Figura 14: Los materiales observados hasta 3 m de profundidad muestran capas bien compactas de gravas con matriz arenosa.

Depósitos fluviales (Q-fl): Este tipo de depósitos se encuentran enmarcados en el cauce del río Pisco y en quebradas afluentes a éste. Los depósitos fluviales están conformados por gravas redondeadas con acumulaciones de arenas de grano grueso a medio con escaso contenido de limos y/o arcillas, ver Figura 15.



Figura 15: El cauce del río Pisco tiene gran cantidad de gravas redondeadas de hasta 30 cm de diámetros transportas a grandes distancias debido a las crecidas.

4. ASPECTOS GEOTÉCNICOS

Los materiales inconsolidados que han sido el resultado de los procesos de erosión y que posteriormente fueron transportados, en gran parte desde las nacientes de las cuencas hidrográficas hasta ser depositados a lo largo de la cuenca, principalmente en la parte baja. Sobre estos suelos se asientan las áreas urbanas. La clasificación de los suelos, en base al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) se encuentra condicionada a las características litológicas de las rocas pre-existentes y a la dinámica que presenten dichos procesos. En el diagrama de la Figura 16 se indica el origen de los suelos. Asimismo, en algunas ciudades se presentan materiales eólicos (arenas) cuyo aporte se debe, principalmente a las corrientes de aire que proviene del Océano Pacífico.



Figura 16: 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, su comportamiento en condiciones estáticas de los suelos y rocas. Para los estudios geotécnicos se aplican técnicas de exploración como las calicatas, perforaciones y ensayos de suelos en laboratorio; y que en conjunto permiten determinar las propiedades físicas de los suelos de cimentación.

En el área urbana de Bernaldes, se elaboraron calicatas, densidad de campo, posteos y ensayos de penetración dinámica ligera (DPL), ver Figura 17. Asimismo, de las calicatas se extrajeron 05 muestras que fueron enviadas al laboratorio, para realizar ensayos de mecánica de suelos como: granulometría, plasticidad, corte directo y el cálculo de la capacidad de carga admisible.

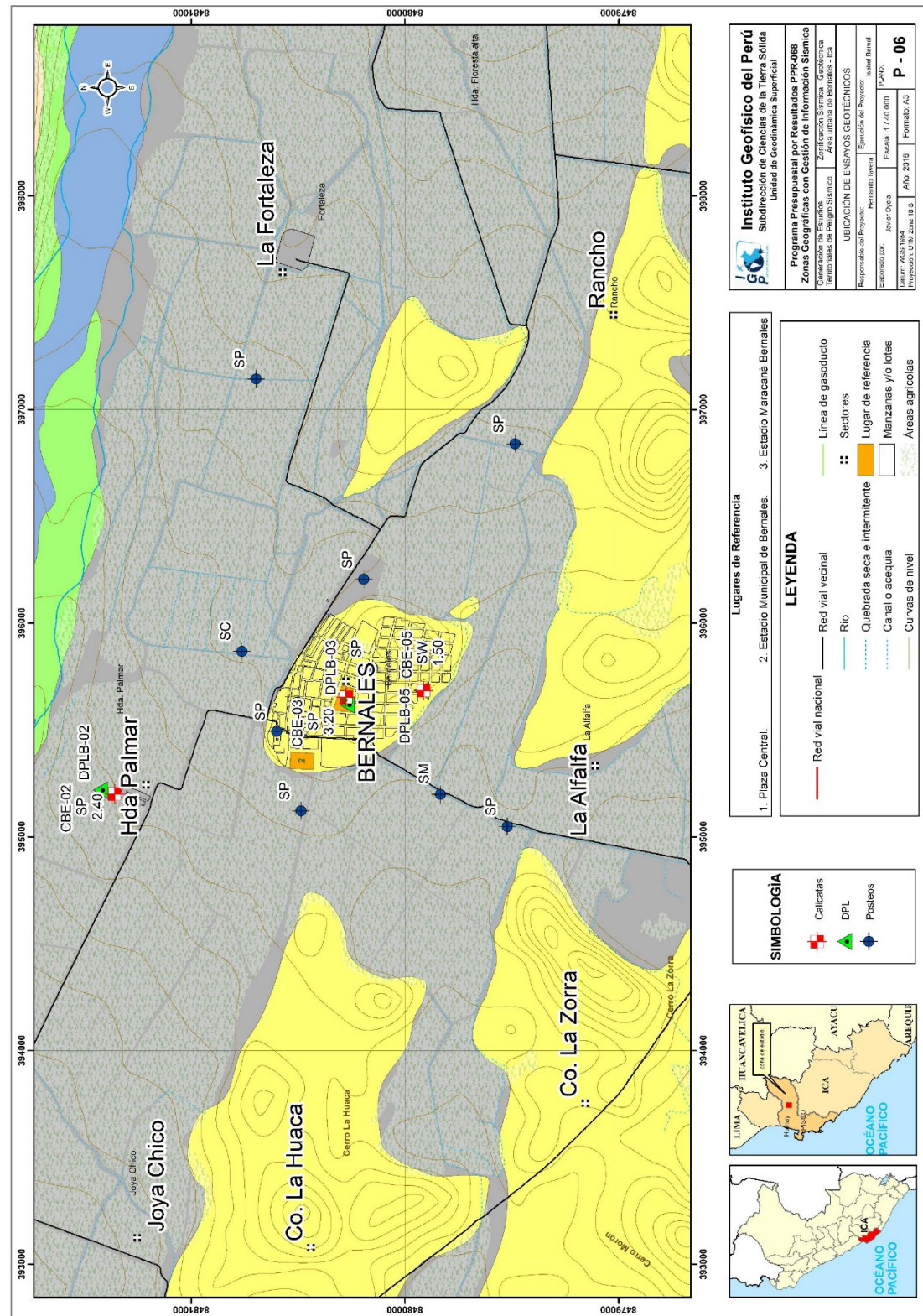


Figura 17: Mapa de distribución de calcatas, postes y DPL en el área urbana de Bernalés y alrededores.

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

Es un método de exploración directa que consiste en realizar una excavación en el terreno para la observación del suelo a cierta profundidad (aproximadamente 3 m), a fin de describir los estratos que lo conforman, así como, extraer muestras para la realización de ensayos y análisis. Estas calicatas son realizadas con maquinaria (retroexcavadora) o de forma manual.

En general, el procedimiento de campo incluyó las siguientes actividades:

Reconocimiento de la zona de estudio: Las exploraciones se realizaron de manera uniforme en el área urbana de Bernalles y considerando las características del terreno y accesibilidad.

Excavaciones: Estas tuvieron las siguientes dimensiones: 1.5 x 1.5 m con 3.00 m. de profundidad en promedio.

Muestreo: Proceso de extracción de dos muestras alteradas de suelo (para la identificación y la otra para determinar las propiedades de resistencia del suelo), en bolsas herméticas con capacidad de 5 Kg, aproximadamente.

Descripción de calicatas: Una vez terminada la excavación de la calicata, se procede a describir el perfil estratigráfico del subsuelo, en fichas que se adjuntan en los Anexos de Geotecnia. Las excavaciones fueron realizadas en las siguientes coordenadas UTM (Tabla 4 y Figura 17)

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

CALICATA	UTM ESTE (m)	UTM NORTE (m)	ELEVACIÓN (m.s.n.m)	PROFUNDIDAD (m)	NIVEL FREÁTICO A (m)
CAH-01	400672	8481536	363	3.40	N.P.
CAH-02	395209	8481383	285	2.40	N.P.
CAH-03	395642	8480271	300	3.20	N.P.
CAH-04	400412	8479906	366	3.30	N.P.
CAH-05	395685	8479913	300	1.50	N.P.

En general, las profundidades promedio sobrepasaron los 3.00 m, a excepción de la calicata CBE-05 que solo se llegó a 1.5 de profundidad debido a que estaba conformada por arenas sueltas. No se encontró nivel freático en ninguna de las calicatas ejecutadas en el área urbana de Bernalles.

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

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

En cada exploración (estratos muestreados) se debe llevar a cabo un ensayo de densidad de campo, haciendo uso del método del cono, a fin de conocer la compactación y el contenido de humedad del suelo en condiciones naturales, información necesaria para desarrollar los ensayos de corte directo a las muestras de suelo (en su estado inicial). Sin embargo, este ensayo no es aplicable en suelos que contengan cantidad excesiva de roca o materiales gruesos de diámetro mayor a 1 ½ pulgada (38 mm), así como en suelos saturados; sino más bien, en suelos que presentan cierta cohesión, tales como arenas limosas y arenas arcillosas con contenido de gravas inferiores a 38 mm de diámetro. El procedimiento de campo incluyó las siguientes actividades:

Excavación: Proceso de diseño del agujero (profundidad de 10 a 12 cm) se realizó usando cinces y comba. Se tiene como guía el diámetro de la placa metálica.

Extracción de muestras: Proceso mediante el cual se extrae, del agujero elaborado anteriormente, muestras de suelo que es luego pesado.

Posicionamiento del cono de arena pesado sobre la placa, se espera hasta que este deje de vaciar arena y se llene el agujero.

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

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para la calicata CBE-02. Para las otras calicatas, no se ejecutaron pruebas de densidad debido a que presentan gravas y materiales en los que no se puede conocer la densidad a través del método del cono de arena; sin embargo, se asumen densidades propias de materiales típicos según la Tabla 5. Las fichas de densidades se adjuntan en los anexos.

Tabla 5: Resultado de densidades in – situ.

CALICATA	MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	DENSIDAD HUMEDA (gr/cm ³)	DENSIDAD SECA (gr/cm ³)
CBE-01	DC-CBE-01	3.20	2.22	2.18
CBE-02*	DC-CBE-02	3.80	2.28	1.78
CBE-03	DC-CBE-03	3.10	1.77	1.36
CBE-04	DC-CBE-04	3.30	1.81	1.32
CBE-05	DC-CBE-05	3.20	2.30	2.18

En base a los valores de la Tabla 6, los suelos del área urbana de Bernales, presentan rangos de densidad entre 1.32 – 1.70 gr/cm³; es decir, presentan una densidad media, debido a que están conformados por arenas sueltas y en algunas calicatas, gravas bien compactas.

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 (SP)	1.70 – 1.90	1.30 – 1.50
	BIEN GRADUADA (SW)	1.80 – 2.30	1.40 – 2.20
	MEZCLA DE ARENA (SW Y SP)	1.90 – 2.30	1.50 – 2.20
ARCILLA	LODO NO CONSOLIDADO	1.60 – 1.70	0.90 – 1.10
	BLANDA, AGRIETADA	1.70 – 1.90	1.10 – 1.40
	TÍPICA (CONS. NORMAL)	1.80 – 2.20	1.30 – 1.90
	MORRENA (SOBREC.)	2.00 – 2.40	1.70 – 2.20
SUELOS ROJOS TROPICALES		1.70 – 2.10	1.30 – 1.80

4.3. 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, para 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 sacan muestras se entrapan con este tipo de suelos).

El procedimiento seguido para la toma de muestras de suelo es como sigue: con la posteadora se penetra el subsuelo girando manualmente el equipo y ejerciendo presión sobre el suelo, a medida que va incrementando la profundidad, se van conectando y añadiendo las varillas de 1 metro de extensión para la obtención de muestras con las cucharas acopladas en el extremo. Estas exploraciones fueron distribuidas entre las calicatas; es decir, en lugares donde no existía información geotécnica, lo cual permitirá tener una mejor caracterización de los suelos en el área urbana de Bernales. A continuación, en la Tabla 7 se muestra los resultados obtenidos y para el detalle de las fichas, ver anexos.

Los resultados indican que los suelos de Bernales están conformados principalmente por estratos de hasta 1.00 m de espesor compuestos por gravas y clastos con matriz areno limosa; razón por la cual, el equipo no ha penetrado más de 0.30m de profundidad. Del reconocimiento de suelo, en los Anexos se adjuntan las fichas de los posteos.

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

POSTEO	UTM ESTE (m)	UTM NORTE (m)	ELEVACIÓN (m.s.n.m)	PROFUNDIDAD (m)	TIPOS DE SUELOS (SUCS)	NIVEL FREÁTICO A (m)
POSTB-01	395199	8479835	289	0.70	SM	N.P.
POSTB-02	397143	8480697	303	1.95	SP	N.P.
POSTB-03	396840	8479486	309	0.75	SP	N.P.
POSTB-04	395048	8479522	287	1.00	SP	N.P.
POSTB-05	395122	8480487	305	3.80	SP	N.P.
POSTB-06	395868	8480764	310	4.10	SC	4.10
POSTB-07	396206	8480194	315	4.10	SP	4.10
POSTB-08	395789	8480151	324	0.60	SP	N.P.
POSTB-09	395494	8480601	313	3.00	SP	N.P.

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

Es un equipo de campo de registro continuo (se contabiliza el número de golpes para penetrar un tramo de varillaje a lo largo de todo el ensayo), que permite estimar la

resistencia del material (suelo) en kg/cm^2 al hincado del cono dinámico. La ventaja del instrumento es que es un equipo muy práctico y se puede transportar fácilmente.

Consiste en introducir al suelo una varilla de acero en la que se encuentra un cono metálico de penetración de 60° de punta mediante la aplicación de golpes con un martillo de 10 kg, que se deja caer desde una altura de 0.50. Como medida de la resistencia a la penetración se registra el número "N" (número de golpes en 10 cm de penetración), para luego ser correlacionado con algunas propiedades relativas del suelo, en particular, con sus parámetros de resistencia al corte, capacidad portante, densidad relativa, etc. A través de fórmulas empíricas, donde se introduce el "N" se obtiene el ángulo de fricción interna de los distintos materiales.

Se debe mencionar que, este ensayo es aplicable en terrenos arenosos, arcillosos y limos arenosos, no recomendable a utilizarse en gravas, fragmentos gruesos, conglomerados y terrenos rocosos. El procedimiento de campo incluyó las siguientes actividades:

Ubicación de ensayos: Se distribuyeron generalmente al costado y en puntos intermedios a algunas de las calicatas con el fin de obtener mayor información de la resistencia del suelo en el área estudiada.

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

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

En el Tabla 8, se indica la ubicación de los 09 ensayos de penetración dinámica ligera (DPL) realizados en las inmediaciones del área urbana de Bernales, la profundidad total alcanzada y los datos obtenidos del ensayo (número de golpes y ángulo de fricción) para una profundidad comprendida entre 0.90 y 1.20 m. A este nivel se calculará los parámetros geotécnicos (ángulo de fricción y cohesión) para el cálculo de la capacidad portante. Las fichas de los ensayos se adjuntan en los anexos.

Tabla 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.n.s.m)	PROFUNDIDAD (m)	NÚMERO DE GOLPES	Φ
DPLB-01	400676	8481417	359	3.15	30	36.00
DPLB-02	395219	8481425	286	3.60	38	38.00
DPLB-03	395618	8480270	300	3.20	40	38.50
DPLB-04	400406	8479905	365	0.30	27	35.20
DPLB-05	395685	8479924	300	2.70	41	38.70

Los ensayos de DPL han alcanzado una profundidad máxima de 3.60 m y mínima de 0.30 m, ya que los suelos están conformados en gran porcentaje por arenas finas deleznales y poco compactas. Los datos obtenidos de los ensayos se presentan en fichas de DPL, las mismas que se adjuntan en los anexos.

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

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

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

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

Dónde:

N_1 = Número de golpes equivalente en SPT

N_2 = Número de golpes obtenidos en DPL

W_1 = Peso del martillo del DPL

W_2 = Peso del martillo SPT

H_1 = Altura de caída de DPL

H_2 = Altura de caída del SPT

A_1 = Área de la punta cónica del DPL

A_2 = Área de la punta cónica del SPT

e_1 = Espesor de la hincia del DPL

e_2 = Espesor de la hincia del SPT

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

Cálculo del ángulo de fricción interna: Para determinar el ángulo de fricción interna de los suelos de cimentación, existen diversas fórmulas empíricas propuestas por varios autores como Osaki (1959), Muromachi (1974), Peck (1974), Das (1995) y Katanaka - Uchida (1996). Para el caso del área urbana de Bernalles, se empleó la relación experimental propuesta por Osaki (1959), debido a que, es la más usada internacionalmente y sus resultados son conservadores, respecto a los otros autores mencionados anteriormente. En la Figura 18 se adjunta uno de los ensayos realizado en campo y sus respectivos valores de ángulos de fricción interna.

4.6. Clasificación de suelos SUCS

En base a la información geotécnica recopilada de las calicatas, posteos, DPL y la inspección visual del terreno en Bernalles: así como los resultados obtenidos de los ensayos granulométricos y de plasticidad, se ha identificado 04 tipos de suelos, en base al sistema Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), Tabla 9 y Figura 19.

Suelo tipo GP: Están conformados por gravas mal graduadas con contenido de humedad menor al 1%, constituyen suelos con grado de compactación bajo a medio, no presenta plasticidad (debido a la escasa presencia de material fino). Estos suelos ocupan el 10 % del área de estudio y han sido identificados en la calicata CBE-01, en el sector Montesierpe.

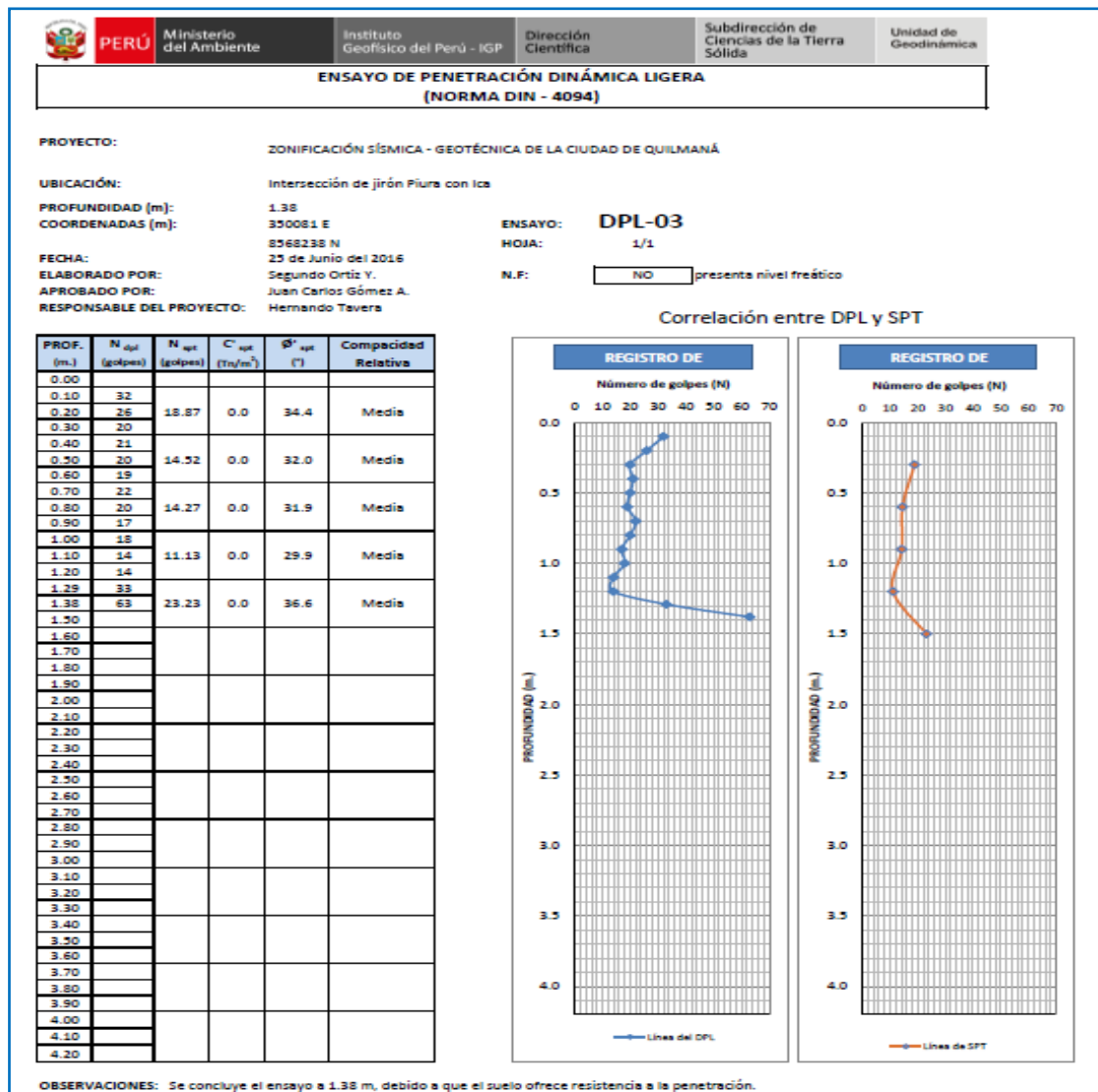


Figura 18: Diagrama de correlación entre el número de golpes del DPL y el número de golpes del SPT, y cálculo del ángulo de fricción interna corregido.

Suelos tipo SP: Están conformados por arenas mal graduadas, el contenido de humedad es menor a 3%, constituyen suelos con grado de compactación bajo, no presentan plasticidad. Cabe resaltar que estos suelos representan el 25 % del área de estudio y han sido identificados en las calicatas (CBE-02 y CAH-03), de los sectores Hacienda El Palmar y zona urbana de Bernales.

Suelos tipo GW: Conformado por grava bien graduada y con poco contenido de material fino (0.04 %) y humedad es de 3%, constituyen suelos con grado de compactación medio y no presenta plasticidad (debido al poco contenido de material fino). Estos suelos ocupan el 15 % del área de estudio y se han identificado en la calicata 04 (CBE-04), de la Hacienda Santa Aide.

Tabla 9: Clasificación de Suelos de las seis (06) calicatas elaboradas en el área urbana de Bernales, según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

Calicata	Profundidad (M)	Nivel Freático (M)	Gravas % (>4.76 Mm)	Arenas % (>0.074 Mm, <4.76 Mm)	Finos % (<0.074 Mm)	Límite Líquido (%)	Límite Plástico (%)	Índice Plástico	Contenido De Humedad (%)	Clasificación SUCS	Denominación
CAH -01	3.40	N.P.	63	36	1	N.P.	N.P.	N.P.	1.44	GP	Grava pobremente graduada con arena
CAH -02	2.40	N.P.	1	91	8	N.P.	N.P.	N.P.		SP	Arena mal graduada
CAH -03	3.20	N.P.	1	99	0	N.P.	N.P.	N.P.		SP	Arena mal graduada
CAH -04	3.30	N.P.	72	27	1	N.P.	N.P.	N.P.		GW	Grava bien graduada con arenas
CAH -05	1.50	N.P.	0	99	1	N.P.	N.P.	N.P.		SW	Arena bien graduada

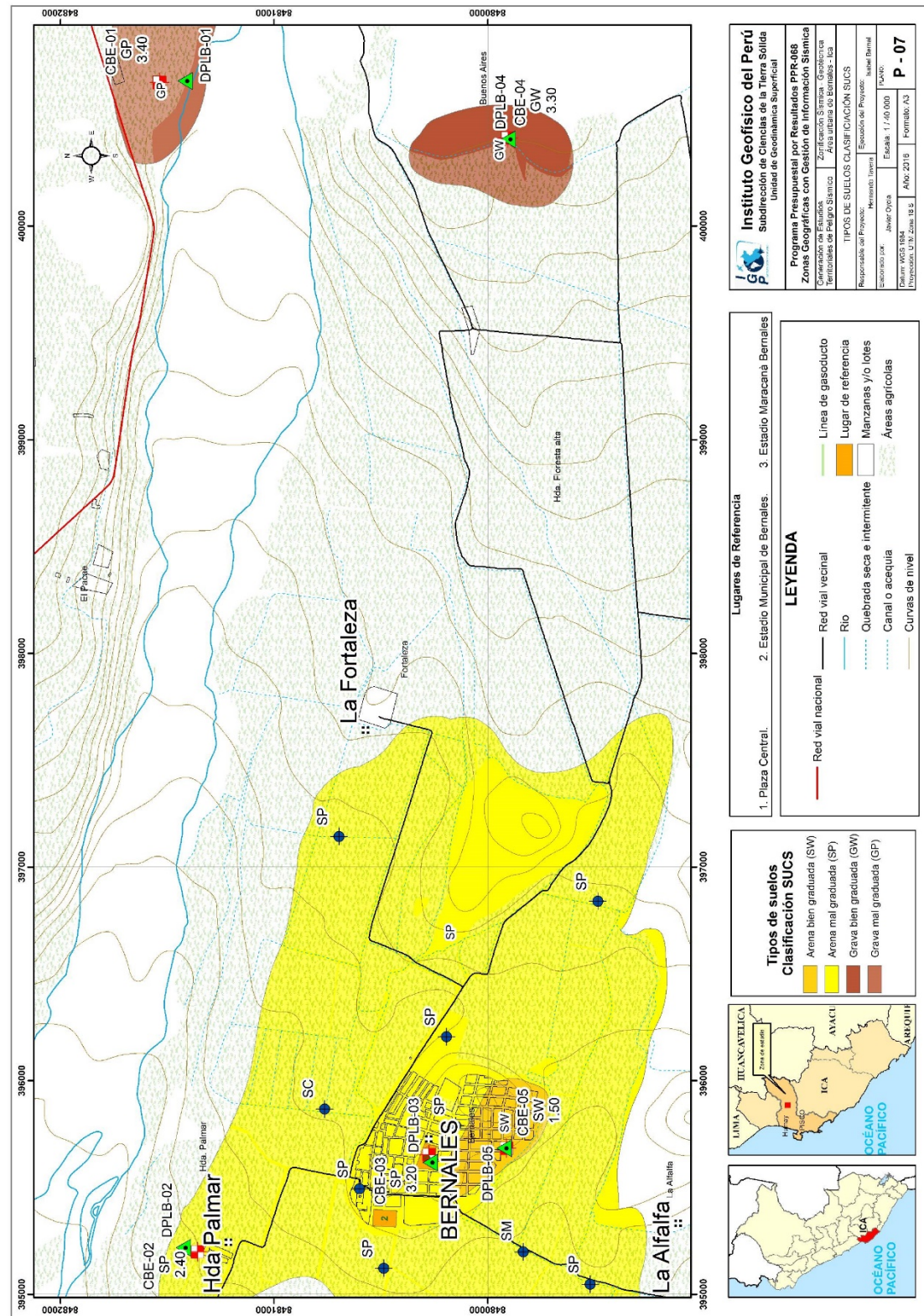


Figura 19: Mapa de clasificación SUCS para los suelos del área urbana de Bernales y alrededores.

Suelos tipo SW: Conformado por arena bien graduada con poco contenido de material fino (0.01%), el contenido de humedad es 1%, constituyen suelos con grado de compactación bajo, y no presenta plasticidad (debido al poco contenido de material fino). Estos suelos ocupan el 25 % del área de estudio y se han identificado en la calicata 05 (CBE-05) de la zona urbana de Bernales.

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

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

Para conocer la resistencia al corte en laboratorio se usa el equipo de corte directo, siendo el más usado una caja de sección cuadrada o circular dividida horizontalmente en dos mitades. Dentro de ella se coloca la muestra de suelo con dos placas de piedra porosa en ambos extremos, luego se aplica una carga vertical de confinamiento (P_v) y una carga horizontal (P_h) creciente que origina el desplazamiento de la mitad móvil de la caja originando el corte de la muestra. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 10.

Tabla 10: Valores obtenidos del ensayo de corte directo (NP, no presenta datos).

MUESTRA	Ángulo de fricción interna del suelo (ϕ)	Cohesión aparente del suelo (T_n/m^2)	Densidad natural (T_n/m^3)
CAH-01	34.34	0.00	1.97
CAH-02	34.72	0.00	1.98
CAH-03	28.80	0.10	N.P
CAH-04	28.70	0.08	N.P
CAH-05	36.00	0.00	N.P
CAH-06	29.60	0.20	N.P

De acuerdo a los resultados obtenidos, se evidencia que, la mayoría de los suelos no presentan cohesión y los valores del ángulo de fricción interna son menores a 35° , característicos de suelos granulares como las arenas y gravas.

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

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

Carga última (q_u): Es la presión última por unidad de área de la cimentación soportada por el suelo, en exceso de la presión causada por el suelo alrededor al nivel de la cimentación (Amézquita, et al). Para determinar la carga última se usaron los resultados de los ensayos de corte directo y en base al N_{SPT} (ángulo de fricción y la cohesión), datos que se usaran con la fórmula general de Terzaghi (1943), a través de la siguiente expresión (Tabla 11):

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

Donde:

C: cohesión

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

N_c, N_q, N_γ : Factores de carga, Tabla 04.

Tabla 11: Tabla de factores de carga, modificado por Terzaghi (Braja, 2007).

Φ'	N'_c	N'_q	N'_γ	Φ'	N'_c	N'_q	N'_γ
0	5.70	1.00	0.00	26	15.53	6.05	2.59
1	5.90	1.07	0.01	27	16.30	6.54	2.88
2	6.10	1.14	0.02	28	17.13	7.07	3.29
3	6.30	1.22	0.04	29	18.03	7.66	3.76
4	6.51	1.30	0.06	30	18.99	8.31	4.39
5	6.74	1.39	0.07	31	20.03	9.03	4.83
6	6.97	1.49	0.10	32	21.16	9.82	5.51
7	7.22	1.59	0.13	33	22.39	10.69	6.32
8	7.47	1.70	0.16	34	23.72	11.67	7.22
9	7.74	1.82	0.20	35	25.18	12.75	8.35
10	8.02	1.94	0.24	36	26.77	13.97	9.41
11	8.32	2.08	0.30	37	28.51	15.32	10.90
12	8.63	2.22	0.35	38	30.43	16.85	12.75
13	8.96	2.38	0.42	39	32.53	18.56	14.71
14	9.31	2.55	0.48	40	34.87	20.50	17.22
15	9.67	2.73	0.57	41	37.45	22.70	19.75
16	10.06	2.92	0.67	42	40.33	25.21	22.50
17	10.47	3.13	0.76	43	43.54	28.06	26.25
18	10.90	3.36	0.88	44	47.13	31.34	30.40
19	11.36	3.61	1.03	45	51.17	35.11	36.00
20	11.85	3.88	1.12	46	55.73	39.48	41.70
21	12.37	4.17	1.35	47	60.91	44.45	49.30
22	12.92	4.48	1.55	48	66.80	50.46	59.25
23	13.51	4.82	1.74	49	73.55	57.41	71.45
24	14.14	5.20	1.97	50	81.31	65.60	85.75
25	14.80	5.60	2.25				

Luego, en base a los resultados de la carga última (q_u) se calculó la capacidad admisible de los suelos para una profundidad de cimentación de 1.00 m y ancho de zapata de 1.00 m, así como también para una profundidad de cimentación de 1.50 m y ancho de zapata de 1.00 m. Los resultados de capacidad de carga admisible para los 02 tipos de suelos analizados se presentan en las Tablas 12 y 13.

Tabla 12: Capacidad de carga admisible de cinco (05) muestras extraídas del área urbana de Bernales.

MUESTRA	Capacidad de carga última (Tn/m ²)	Capacidad de carga admisible (Kg/cm ²)	Capacidad de carga última (Tn/m ²)	Capacidad de carga admisible (Kg/cm ²)
CBE-01	55.4	1.85	74.1	2.47
CBE-02	32.6	1.19	44.6	1.49
CBE-03	33.4	1.11	41.7	1.39
CBE-04	51.7	1.72	68.6	2.29
CBE-05	33.5	1.12	45.2	1.51
Dimensiones de Cimentación	Profundidad: 1.00 m y ancho:1.00		Profundidad: 1.50 m y ancho:1.00	

Tabla 13: Capacidad de carga admisible en base a los ensayos de DPL del área urbana Bernales.

ENSAYO	Capacidad de carga última (kg/cm ²)	Capacidad de carga admisible (Kg/cm ²)	Capacidad de carga última (kg/cm ²)	Capacidad de carga admisible (Kg/cm ²)
DPL – 01	54.7	1.80	60.7	1.96
DPL – 02	31.2	1.14	70.4	1.87
DPL – 03	30.9	1.10	35.8	1.96
DPL – 05	33.8	1.52	39.7	2.11
Dimensiones de Cimentación	Profundidad: 1.00 m y ancho:1.00		Profundidad: 1.50 m y ancho:1.00	

De los resultados citados anteriormente y tomando en cuenta los valores de la Tabla 14, se ha determinado que, la zona urbana de Bernales presenta suelos con la siguiente capacidad de carga admisible (Figura 20):

Tabla 14: Rango de capacidad de carga admisible.

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

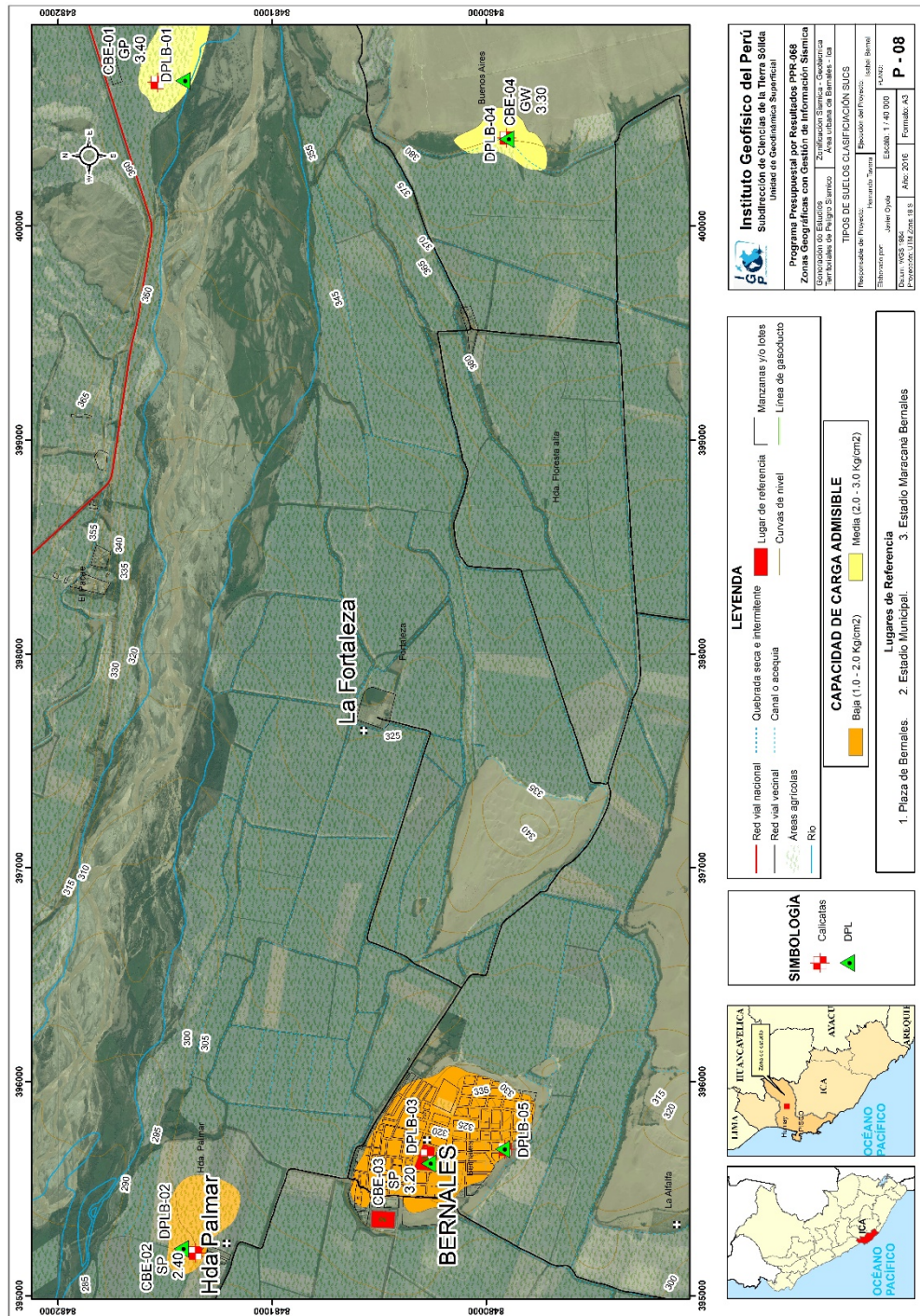


Figura 20: Mapa de capacidad de carga admisible a una profundidad de 1 metros para el área urbana de Bernales y alrededores.

Capacidad de carga admisible baja: Comprende rangos de capacidad de carga admisible entre 1.00 - 2.00 kg/cm², corresponden a suelos conformados por arenas mal graduadas con gravas (SP), cuyo grado de compactación es bajo a medio. Abarca menos del 30% del área de estudio y se encuentra en la Hacienda Palmar y el Asentamiento urbano. Representado por extensos mantos eólico que movilizan gran cantidad de partículas finas y arenas.

Capacidad de carga admisible media: Comprende rangos de capacidad de carga admisible entre 2.00 - 3.00 kg/cm², corresponden a suelos conformados por grava mal graduadas (GP), gravas arenosas (GM), cuyo grado de compactación es de medio a alto. Abarca el 75% del área de estudio y se encuentran distribuidos en gran parte de la zona urbana de Bernales.

4.9. Problemas geotécnicos

Entre los problemas de suelos que se presentan con mayor frecuencia, se tiene la licuación de suelos asociado a la ocurrencia de eventos sísmicos. A continuación, se detalla su dinámica y el procedimiento para su determinación:

Licuación de suelos: Se define como la pérdida rápida de la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos saturados debido al incremento súbito en las presiones de poros, bajo condiciones no drenadas y cargas cíclicas principalmente (Pachon et al, 2000)

Análisis del potencial de licuación de suelos: para determinar el potencial de licuación de suelos se debe definir la relación entre la resistencia cíclica (CRR) y el esfuerzo cíclico (CSR), el primero como la oposición que presenta un suelo ante la licuación y el segundo como la excitación o demanda sísmica de un determinado estrato de suelo.

Para el cálculo del esfuerzo cíclico se aplica la fórmula de Seed e Idris (1971):

$$CSR = \left(\frac{\tau_{sv}}{\sigma'_{v0}} \right) = 0.65 \left(\frac{a_{max}}{g} \right) \left(\frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} \right) r_d$$

Dónde:

a_{max} = Aceleración máxima para un sismo de diseño

g = Aceleración de la gravedad

σ_{vo} = Esfuerzo normal vertical respecto al suelo

σ'_{vo} = Esfuerzo normal vertical efectivo respecto al suelo

r_d = Coeficiente de reducción de esfuerzo, tomando en cuenta la deformabilidad del perfil del suelo

De acuerdo a Idriss (1991), r_d está dado por:

$$r_d = e^{[\alpha(z) + \beta(z) * M_W]}$$

Dónde:

$$\alpha(z) = -1.01 - 1.06 \sin\left[\frac{z}{11.73}\right] + 5.133$$

$$\beta(z) = 0.106 + 0.118 \sin\left[\frac{z}{11.28}\right] + 5.142$$

Mientras que, la resistencia del suelo se determinó en base a número de golpes del SPT (N_{SPT}) que fue correlacionado en el presente informe con los datos de campo tomados a partir del ensayo DPL a más de 1.00 m de profundidad. Para ello se considera la siguiente formula:

$$CRR = \frac{1}{34 - N} + \frac{N}{135} + \frac{50}{(10N + 45)^2} - \frac{1}{200}$$

Dónde:

N = N corregido (N_1)₆₀

Finalmente, la relación entre la resistencia del suelo (CRR) y el esfuerzo cíclico (CSR) brinda un factor de seguridad (FS), si este es menor a 1 ocurrirá licuación, en caso contrario no se presentará, según la siguiente relación:

$$FS = \left(\frac{CRR}{CSR}\right) MSF^*$$

MSF^* : Factor de Escala de Magnitud, para un sismo de 7.5 Mw este valor es igual a 1.

La zona a evaluar es el sector Las Salinas - Barrio Agüita de Coco, zona de expansión urbana, cuyo suelo está constituido por arenas y nivel freático superficial a 1.50 m. de profundidad (Tabla 13). Además, el análisis de potencial de licuación de suelos se efectuó para un sismo de $M_w=7.5$

Tabla 13: Resumen de datos para el cálculo de potencial licuación de suelos.

Calicatas	σ_v' (kg/cm ²)	σ_h' (kg/cm ²)	rd	CRR	Número De Golpes Corregido	$CSR = \left(\frac{\tau_{av}}{\sigma_v'} \right)$ M=7.5
C-06	0.396	0.246	7.149	1.76	22.74	0.00381

Entonces:

$$FS = \frac{0.25}{0.39} = 0.65$$

El valor obtenido es de 0.46; es decir, un factor de seguridad menor a 1 y según Seed e Idris (1999) indica que los suelos del Barrio Agüita de Coco presenta potencial de licuación de suelos.

CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA DE LAS ÁREAS URBANAS DE HUMAY Y BERNALES

CONTENIDO

1. METODOLOGÍA

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

2. RECOLECCION DE DATOS

3. ANALISIS E INTERPRETACIÓN

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

4. ZONIFICACION SÍSMICA - GEOTÉCNICA

- 4.1. Mapa de Zonificación Geofísica – Geotécnica

CONCLUSIONES

1. METODOLOGÍA

Para obtener el Mapa de Zonificación Geofísica – Geotécnica para el área urbana de Humay 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; es decir, obtener el cociente de los espectros de Fourier de las componentes horizontales entre la vertical (Nakamura, 1989), a fin de identificar las frecuencias predominantes y amplificaciones máximas relativas que caracterizan al tipo de suelo presente en el área de estudio. Estas características son definidas por las condiciones geológicas y geomorfológicas de las primeras decenas de metros por debajo de la superficie. Debe entenderse que la variación de las propiedades físicas de cada capa estratigráfica superficial de diferente espesor, geometría y composición litológica, causaran o no, la amplificación de las ondas sísmicas incidentes, propiedad que es utilizada para conocer las características físicas del suelo.

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

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

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

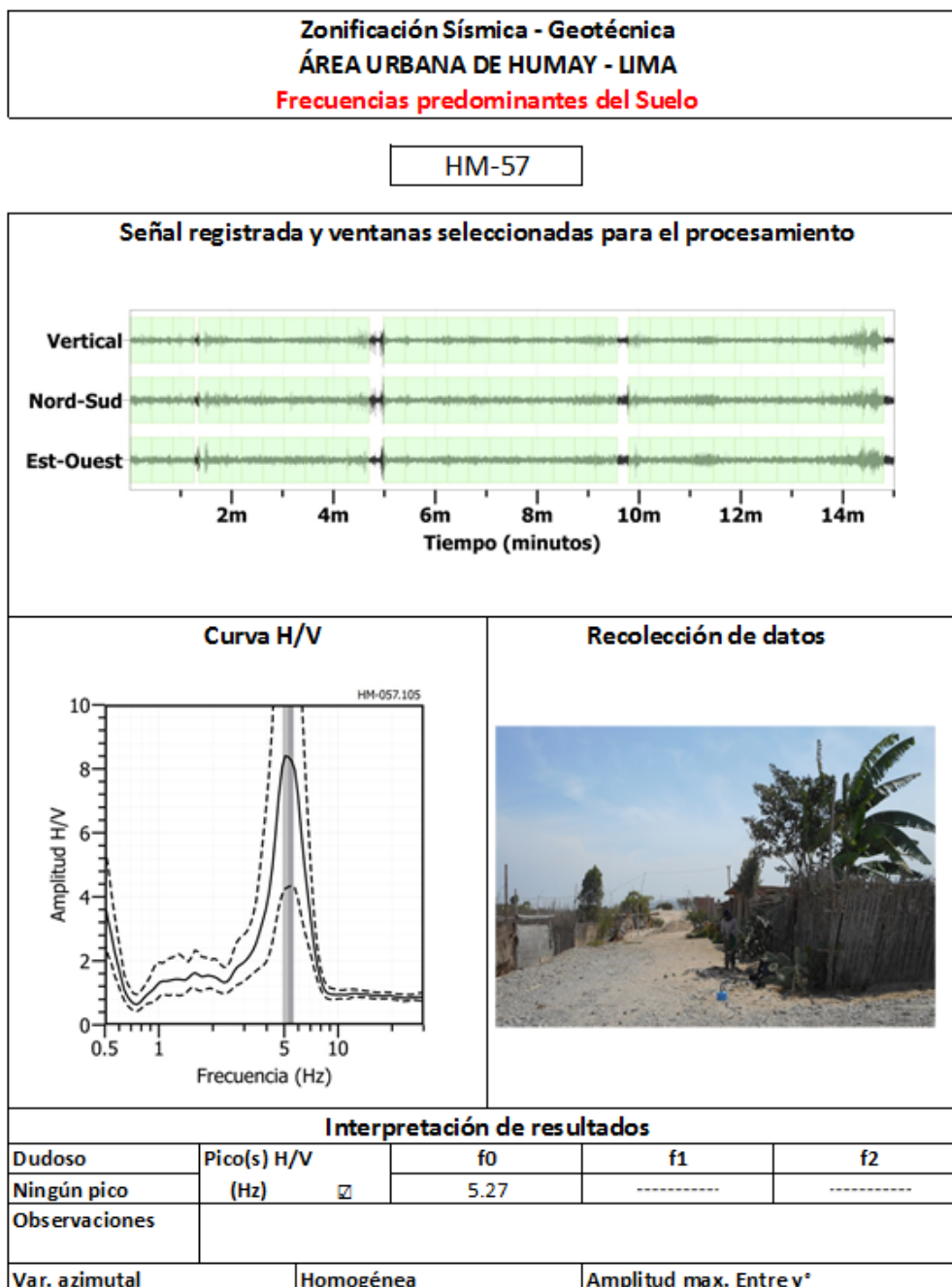


Figura 1: Ejemplo de la ficha H/V para el punto CL-14 en la cual se recopila la información registrada y analizada. Arriba, señal registrada; Medio; razón espectral (H/V) en línea gruesa y su desviación estándar en línea discontinua y Abajo; resultados.

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

1.2. Análisis Multicanal de ondas Superficiales (MASW)

La técnica MASW es un método indirecto y permite determinar la estratigrafía del subsuelo bajo un punto; es decir, obtener la velocidad de propagación de las ondas de corte (V_s) en el subsuelo, a partir del análisis de la dispersión de ondas superficiales (ondas Rayleigh), generadas por una fuente de energía impulsiva y registrada por arreglos lineales de estaciones sísmicas, tal como se muestra la Figura 2.

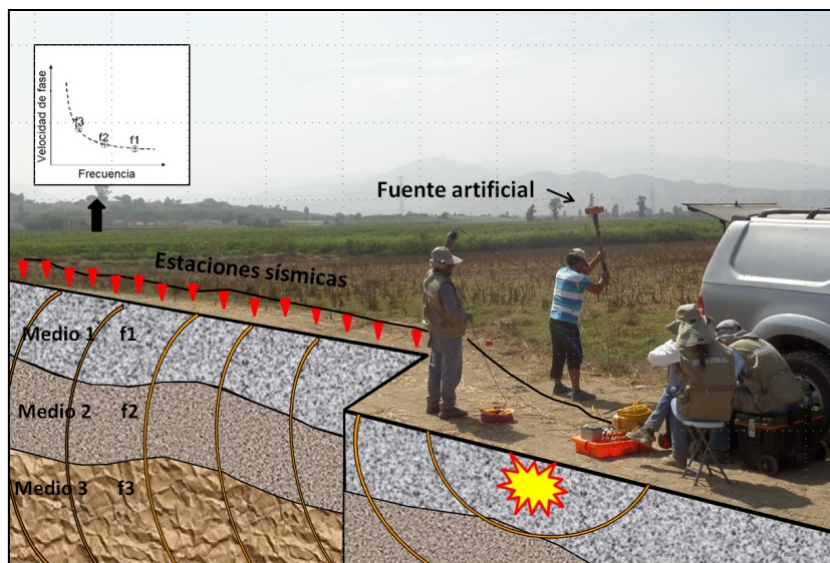


Figura 2: Generación de ondas Rayleigh con fuente artificial y su respectiva curva de dispersión.

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

individual a un proceso matemático de inversión con el fin de obtener los perfiles Vs en una dimensión (1D) (Park, 2014; Roma, 2010; Socco et al., 2008).

En la Figura 3, se muestra un ejemplo de los resultados obtenidos del ensayo ubicado próximo a la Hacienda Palmar. La imagen de la izquierda muestra la curva de dispersión obtenida y la de la derecha, muestra el perfil de velocidad de ondas de corte Vs (línea verde) que considera el promedio final de los perfiles obtenidos post inversión, los círculos de color verde 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 nivel de confiabilidad es de 2 a 30 metros de profundidad.

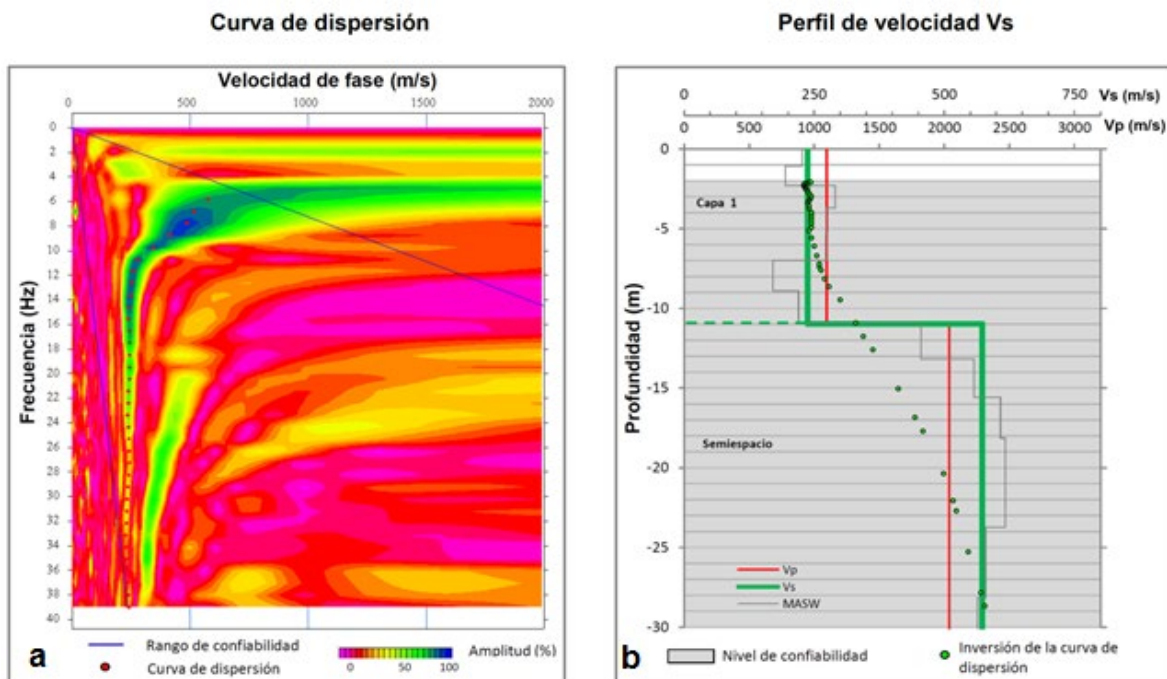


Figura 3: a) Curva de dispersión y b) perfil de velocidad obtenido a partir del ensayo realizado en la Hacienda Palmar (Bernales).

Para el análisis e interpretación de los resultados obtenidos se considera la clasificación de suelos propuestos en la Norma E.030 y que considera la velocidad promedio de propagación de las ondas de corte para los 30 metros (V_{s30}). En este caso, las velocidades de los perfiles de suelo S1 y S2 se subdividen según la Tabla 1, a fin de lograr mayor detalle para la distribución de este parámetro. Asimismo, cada perfil de velocidad es representado con colores de acuerdo a la Tabla 1.

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

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

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

1.3. Tomografía de Resistividad Eléctrica (ERT)

La tomografía eléctrica permite obtener información sobre las propiedades físicas del subsuelo mediante la evaluación del parámetro de resistividad al paso de la corriente eléctrica. Esta propiedad permite conocer la resistividad del subsuelo asociado a la presencia de capas y superficies con mayor o menor contenido de agua, o de sales disueltas presentes en las fracturas de las rocas o 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 4). Para este estudio se realizó el dispositivo polo-dipolo.

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

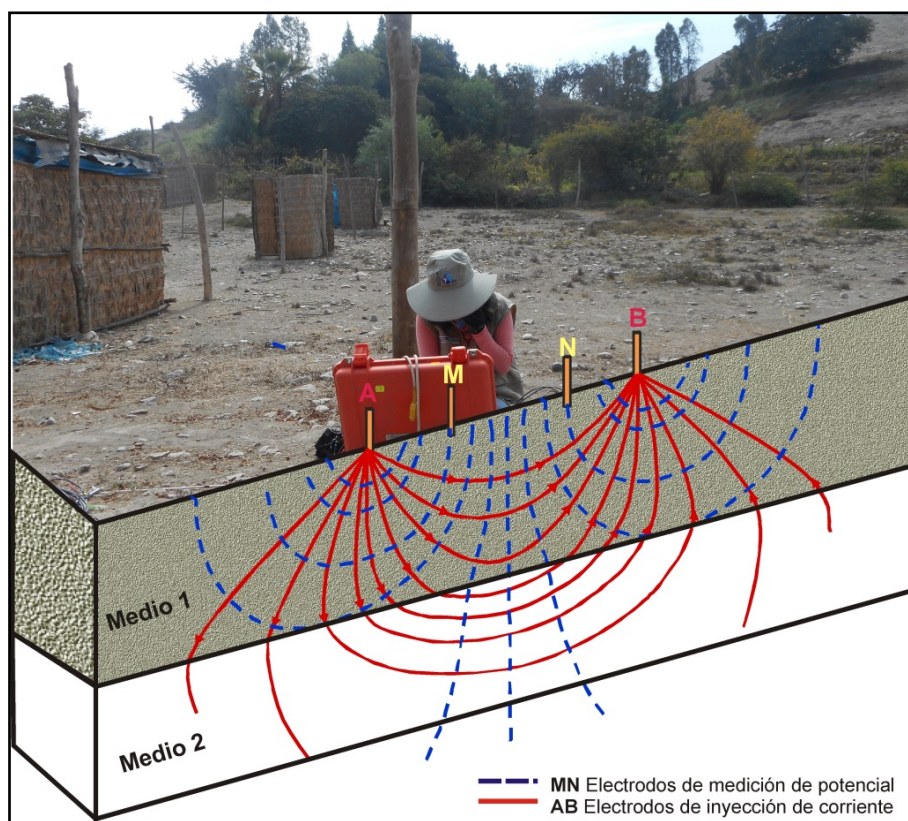


Figura 4: Principio del método de resistividad (LE05-CL), modificado de Orellana, E. (1982).

Finalmente, los resultados son presentados mediante secciones 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 los objetivos del presente estudio

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

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

- **Muy Alto Resistivo (color rojo):** Comprende valores mayores a 1500 ohm.m. Se considera dentro de este grupo a rocas ígneas y metamórficas, y dentro de las sedimentarias, a los conglomerados. Un factor importante a señalar es que estos materiales estarán bajo condiciones de ausencia de agua; sin embargo, si hay presencia de arcilla, su grado de alteración permitiría la disminución en los valores de resistividad del suelo.
- **Alto Resistivo (color anaranjado):** Comprende valores entre los 500 y 1500 ohm.m. Se considera dentro de este grupo a las rocas sedimentarias, ya sean de origen detrítico o químico. Asimismo, incluye a los suelos con muy baja composición de materiales orgánicos.
- **Resistivo o Resistividad Moderada (color verde):** Comprende valores entre los 100 y 500 ohm.m. Dentro de este grupo se considera a suelos sedimentarios de composición variada; es decir, arenas, arcillas y limos, cada vez con mayor contenido de materiales orgánicos.
- **Bajo Resistivo (color celeste):** Comprende valores entre los 20 y 100 ohm.m. Según Loke (2001), estas resistividades corresponden a suelos saturados de agua y su variación depende de la relación existente entre la resistividad, porosidad y la permeabilidad de los materiales. Así mismo, se puede considerar dentro de este grupo a los suelos orgánicos, arcillosos, limosos y aquellos con contenido de carbón, los cuales se comportan como buenos conductores de corriente.
- **Muy Bajo Resistivo (color azul):** Comprende valores menores a 20 ohm.m. referidos a suelos con presencia de agua, material orgánico y arcillas. Se debe considerar que el grado de salinidad del agua afecta los valores de resistividad, permitiendo que estos alcancen valores del orden del 0.2 Ohm.m., equivalente al agua de mar.

Para el presente estudio, los rangos de resistividades a considerar se detallan en la Tabla 2.

Tabla 2: Rango de Resistividades.

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

Dada la estrecha relación entre la resistividad eléctrica y el grado de saturación del terreno, es posible definir la 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 los valores de resistividad.

2. RECOLECCION DE DATOS

En este estudio se ha realizado la aplicación de métodos sísmicos y geofísicos, para lo cual se han obtenido y utilizado diferentes tipos de registros y arreglos, siendo sus características las siguientes.

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



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

En el área urbana de Humay y Bernalles, se consideró registros de vibración ambiental obtenidos de manera puntual en 121 puntos, distribuidos según la Figura 6. La distribución de los puntos de medida es definida sobre el mapa catastral de Humay y Bernalles, teniendo en cuenta la información geológica y geomorfológica de la zona de estudio. En cada punto, se registran datos por un periodo de 15 minutos, lo cual permite disponer de buena cantidad de información para su posterior análisis.

En la Figura 7, se muestra la disposición del equipo sísmico al momento del registro de información, además de ejemplos de señales de vibración ambiental. La señal registrada en el punto HU-106 presenta bajos niveles de ruido; mientras que, la señal en HM-62, presenta diversidad de pulsos de variada amplitud, que al momento de su análisis fueron filtrados a fin de no alterar los resultados.

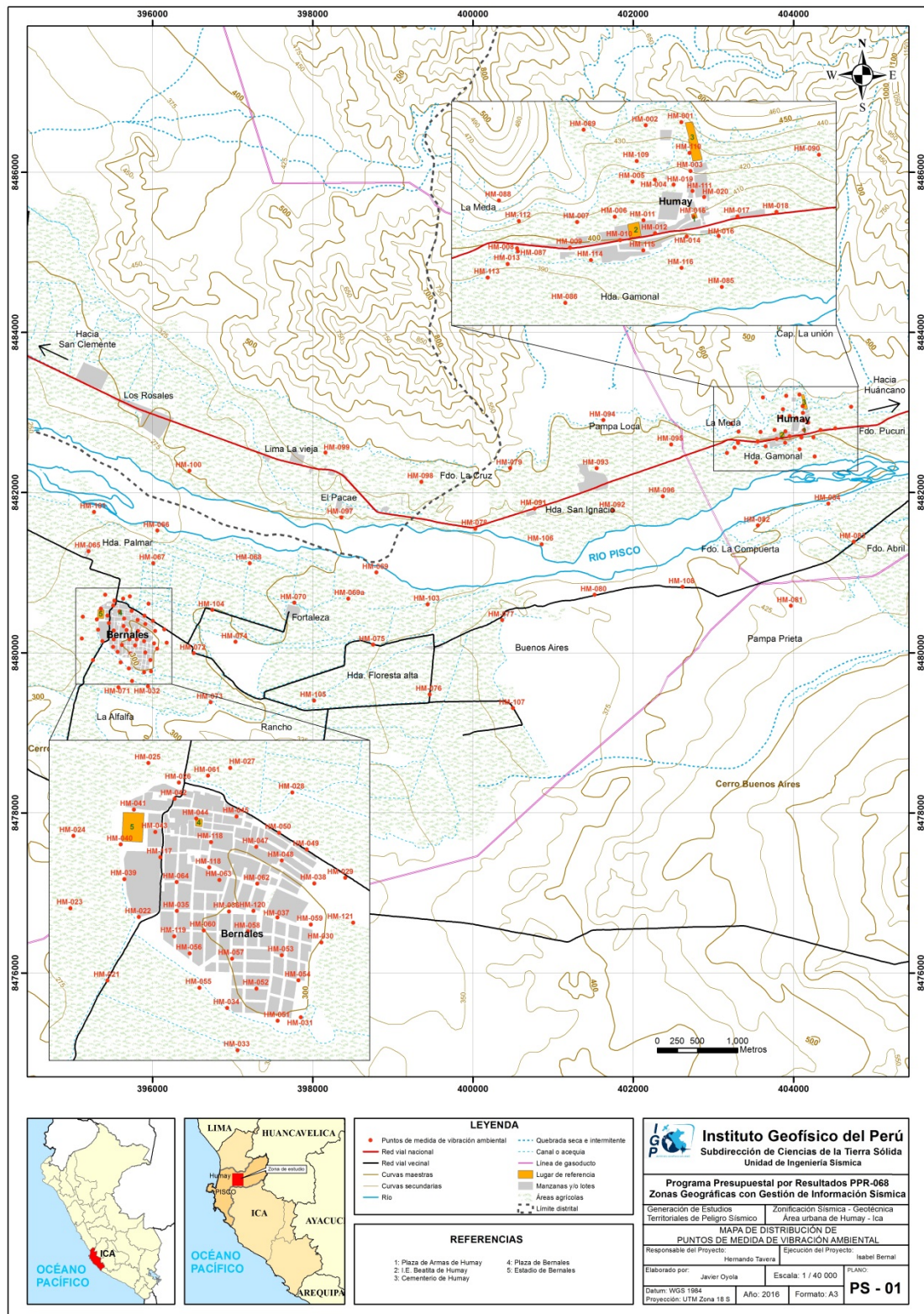


Figura 6: Mapa catastral del área urbana de Humay y Bernales con la distribución de puntos donde se tomaron los registros de vibración ambiental.

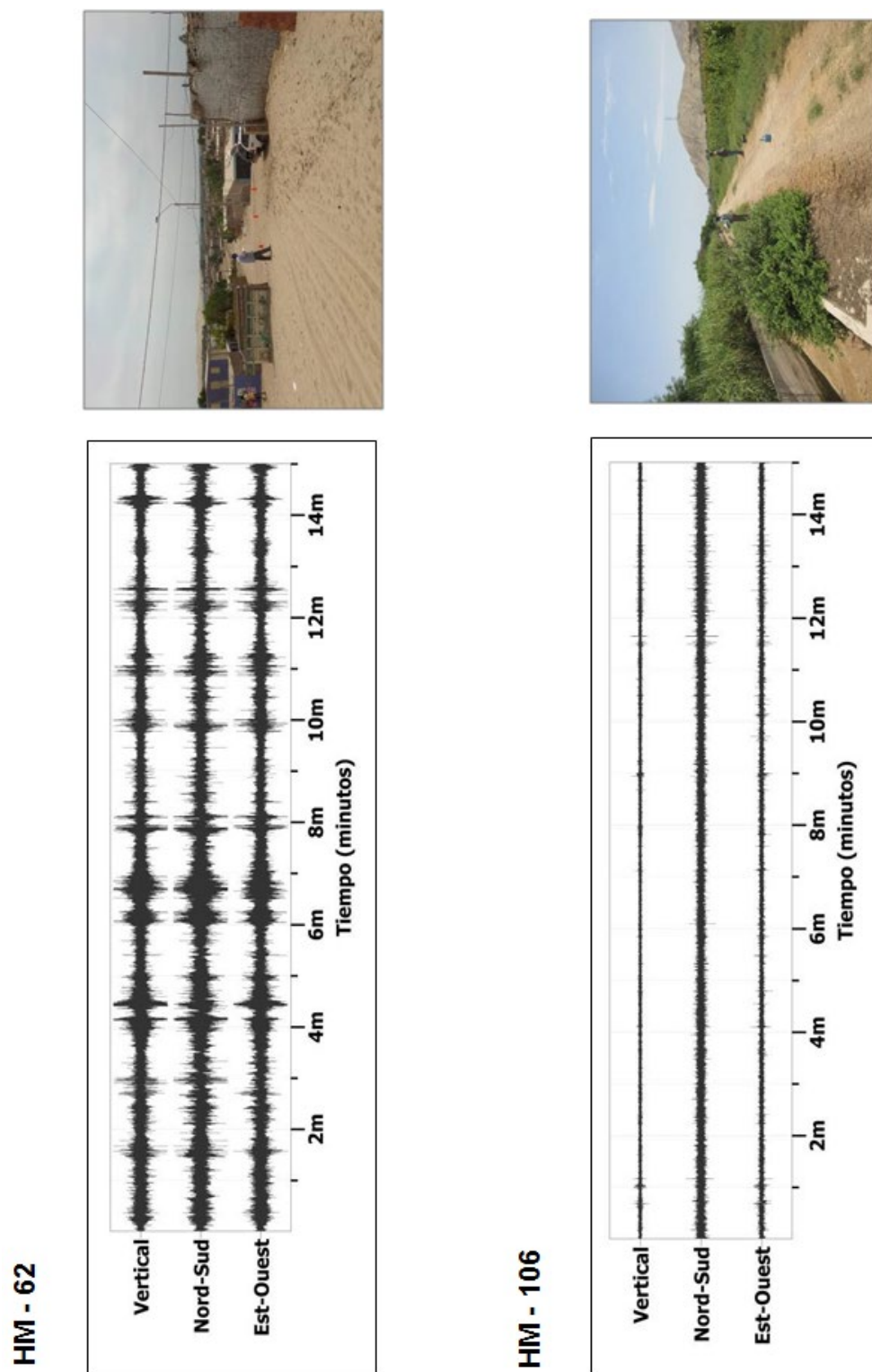


Figura 7: Ejemplos de la disposición del equipo sísmico para el registro de vibraciones ambientales. Ejemplos de registros de vibración ambiental obtenidos sobre una zona con ruido transitorio (HM-62) y otro con ruido de fondo constante (HM-106).

Entre Humay y BERNALES se realizaron 08 arreglos sísmicos y su distribución se muestra en la Figura 8 codificadas como: LS01-HM, LS02-HM, En la Tabla 3 se presenta las coordenadas UTM de cada línea.

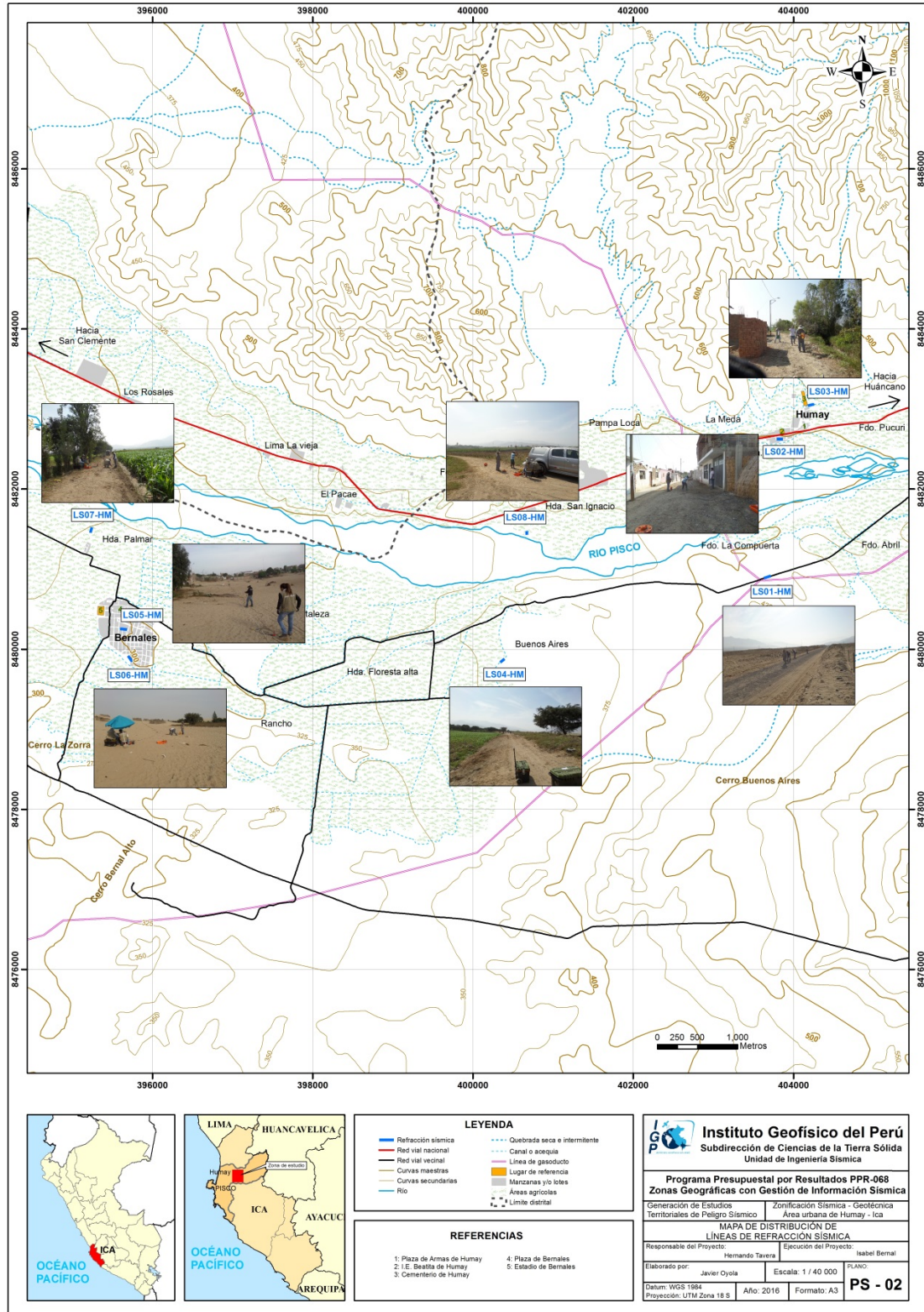


Figura 8: Mapa de las áreas urbanas de Humay y BERNALES, y distribución espacial de las líneas sísmicas codificadas como: LS01-HM, ..., LS08-HM.

Tabla 3: Coordenadas y características de las Líneas Sísmicas.

Línea Sísmica	Este (m)	Norte (m)	Cota (m)	Espaciamiento entre geófonos (m)	Longitud total (m)
LS01-HM	403717	8480917	434	4	92
	403629	8480889	431		
LS02-HM	403786	8482623	411	3.5	80.5
	403867	8482623	413		
LS03-HM	404257	8483060	442	3.5	80.5
	404179	8483042	442		
LS04-HM	400394	8479881	382	3	69
	400340	8479836	382		
LS05-HM	395683	8480244	306	4	92
	395594	8480256	306		
LS06-HM	395748	8479843	317	4	92
	395696	8479918	314		
LS07-HM	395244	8481522	298	3	69
	395227	8481455	300		
LS08-HM	400667	8481518	359	4	92
	400673	8481428	357		

Para el registro de datos sísmicos se ha utilizado un equipo sísmico (sismógrafo) de uso multipropósito, modelo GEODE de Geometrics, 24 sensores o geófonos de baja frecuencia (4.5 Hz). Como fuente de impacto y/o energía para generar las ondas sísmicas, se utilizó un martillo de 20 lbs y para dar inicio a la grabación el dispositivo Hammer Swith (Figura 9). Los parámetros de registro, tales como la geometría del tendido y el espaciamiento entre geófonos fue variable ya que dependió de la geomorfología de la zona de estudio. La frecuencia de muestreo fue de 4000 Hz (0.25 ms) con un pre-trigger de -0.1s y una longitud de registro de 2 segundos.



Figura 9: Equipos utilizados en la toma de datos de MASW en Humay.

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

A fin de evaluar la calidad de los datos y el nivel de ruido (Figura 10), se verifica la relación señal/ruido mediante unos apilamientos de señales (en cada punto de disparo se registran varios golpes y es acumulado al anterior) obtenidos después de realizar, se realizar cuatro a cinco golpes en cada punto “shot”, lo cual permitirá realizar el procesamiento preliminar de los datos. En la Figura 11, se muestra la disposición del equipo y el registro sísmico obtenido para la línea sísmica LS02-HM, ubicada próximo a la I.E. Beatita de Humay con bajo contenido de ruido de fondo.

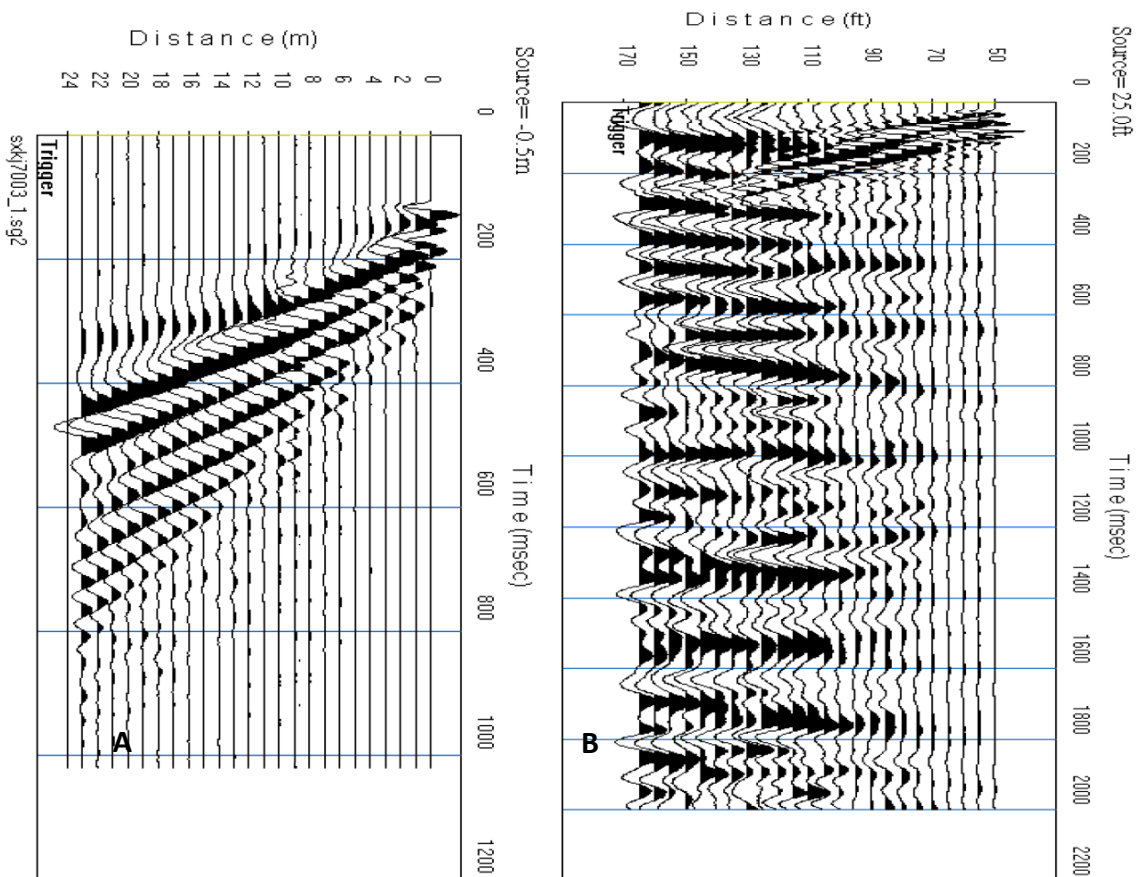


Figura 10: a) Registro sísmico con bajo contenido de ruido ambiental, es decir, alta calidad. b) Registro sísmico con alto contenido de ruido ambiental.



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

En el área urbana y de expansión de Humay y Bernalés se han realizado 05 líneas de tomografía eléctrica con el dispositivo polo-dipolo y la distribución de 30 electrodos. Para las líneas se consideró un espaciamiento de 10 metros entre cada electrodo logrando un tendido longitudinal que variaba de 210, 260 y 290 metros; lo cual permitió tener alcances en profundidad del orden de 39 metros. Asimismo, en la Tabla 4 se presenta las coordenadas UTM (MGS84) para los puntos extremos de cada línea sísmica (Figura 12).

Tabla 4: Coordenadas de las Líneas eléctricas (LE) realizadas en Humay.

Línea Eléctrica	Este (m)	Norte (m)	Cota (m)	Espaciamiento entre electrodos (m)	Longitud total (m)
LE01-HM	404365	8483081	444	10	210
	404166	8483043	442		
LE02-HM	404028	8482662	410	10	260
	403777	8482619	408		
LE03-HM	395817	8479738	308	10	290
	395641	8479956	309		
LE04-HM	395290	8481686	291	10	290
	395212	8481414	295		
LE05-HM	395641	8480394	323	10	290
	395624	8480114	326		

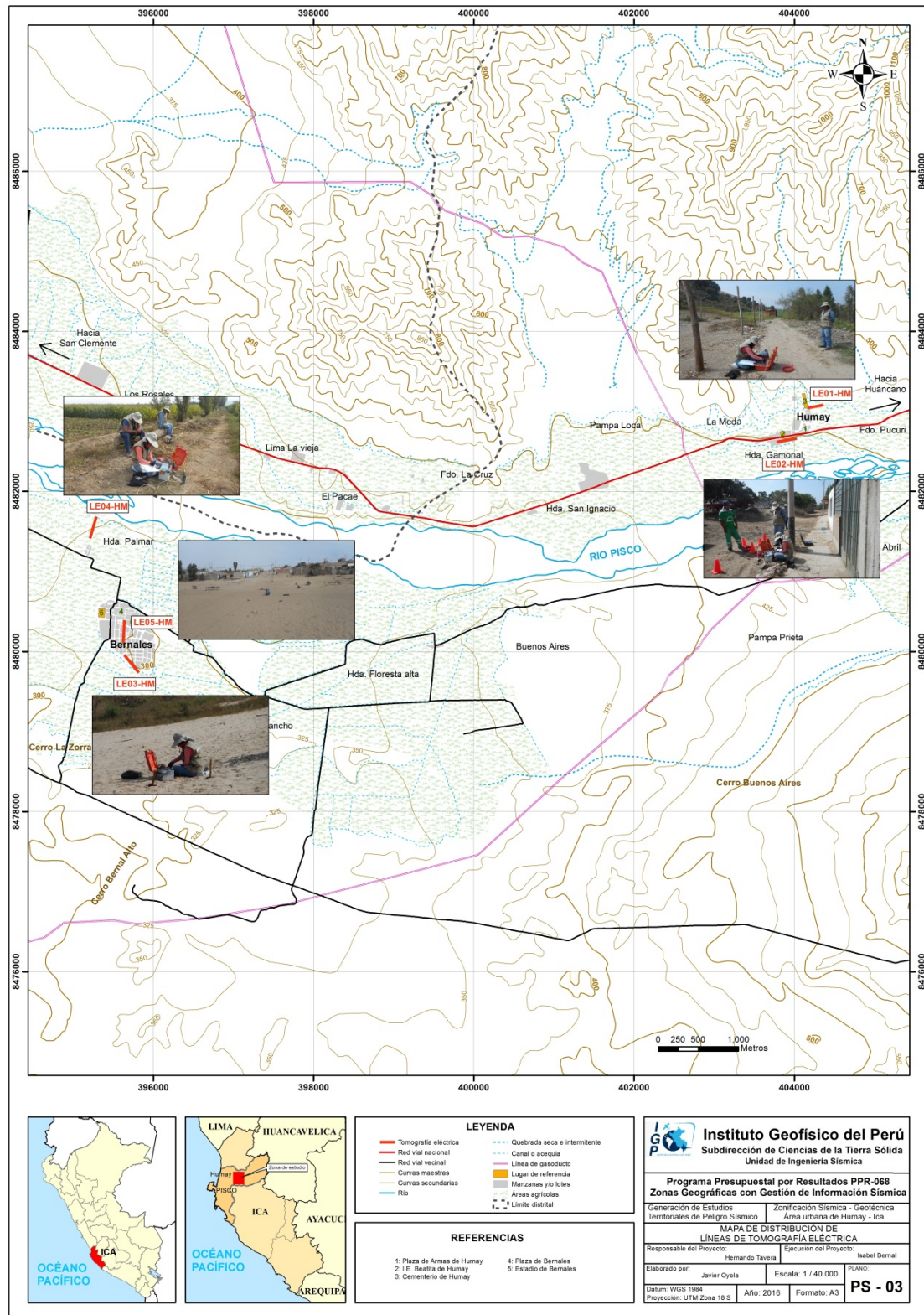


Figura 12: Mapa de las áreas urbanas de Humay y Bernalles, y la distribución espacial de las líneas de tomografía eléctrica codificadas como: LE01-HM, ..., LE05-HM.

En relación a las líneas eléctricas, la calidad de la señal se evalúa mediante un test de resistencia de contacto entre los electrodos y el terreno, garantizando datos confiables para el procesamiento, y buscando 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 confiables aquellos con menores diferencias. Para el registro de datos se considera 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 dos ciclos de medida realizados en cada punto de registro debe ser inferior al 3%.
- ✓ La resistividad mínima y máxima aparente debe estar entre 1 y 100.000 Ωm .

Para el procesamiento de los datos recolectados se ha hecho uso de los algoritmos de inversión DCIP2D y OASIS MONTAJ. En la Figura 13, se observa la disposición de equipo eléctrico en campo y un ejemplo del análisis preliminar del registro obtenido.

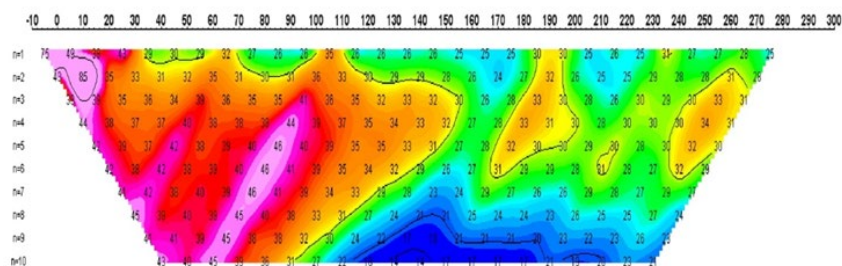


Figura 13: Disposición del equipo de adquisición por la técnica de ERT (LE04-HM) y el registro eléctrico obtenido en campo.

3. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN

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

3.1. Estudio Sísmico con la Técnica de H/V

Esta información permite obtener espectros de Fourier para las tres componentes de registro de vibración ambiental adquiridos de manera puntual en 121 puntos (Figura 3) y a partir de la razón espectral (componentes horizontales/componente vertical), conocer las frecuencias predominantes y/o periodos dominantes de vibración natural del suelo y en algunos casos, la amplificación sísmica relativa para cada punto.

- **Distribución de frecuencias predominantes:** A partir de los valores extraídos de las razones espectrales H/V, se obtiene mapas con la distribución espacial de los valores de frecuencias predominantes. Los resultados obtenidos permiten definir la existencia de suelos con dos rangos de frecuencias: F_0 ($F \leq 2.0$ Hz) y F_1 ($F > 2.0$ Hz) este último fue identificado en varios puntos de medición con amplificaciones menores para F_0 , lo cual sugiere que la respuesta dinámica de estos suelos es relativamente compleja. A continuación, se describe y analiza la distribución espacial de las frecuencias predominantes identificadas en Humay y Bernalles.

- **Frecuencia predominante F_0 :** En la Figura 14, se muestra el mapa con la distribución espacial de los valores de F_0 , notándose el predominio de valores de entre 0.8 y 2.0 Hz hacia el extremo Norte (zona urbana de Humay); mientras que, en el área agrícola adyacente al río Pisco, estos valores se distribuyen de manera uniforme. En el área urbana de Bernalles estas frecuencias se distribuyen de manera dispersa, sobre todo en la periferie de esta área. En la Figura 15, se muestran ejemplos de razones espectrales para los puntos HM-89 (A), HM-90 (B) y HM-110 (C), ubicados en el extremo norte del área urbana de Humay, donde predominan frecuencias a 1.3, 0.8 y 1.9 Hz con amplificaciones mínimas, a excepción del punto HM-90 que alcanza amplificaciones de hasta 6 veces. En este último caso, al considerar valores tan bajos de frecuencias y evaluando el tipo de estructura que

existe actualmente en el área de estudio, este rango de frecuencias no es de interés para este estudio; sin embargo, se debe tener en cuenta al momento de diseñar estructuras especiales que respondan en este rango de frecuencias.

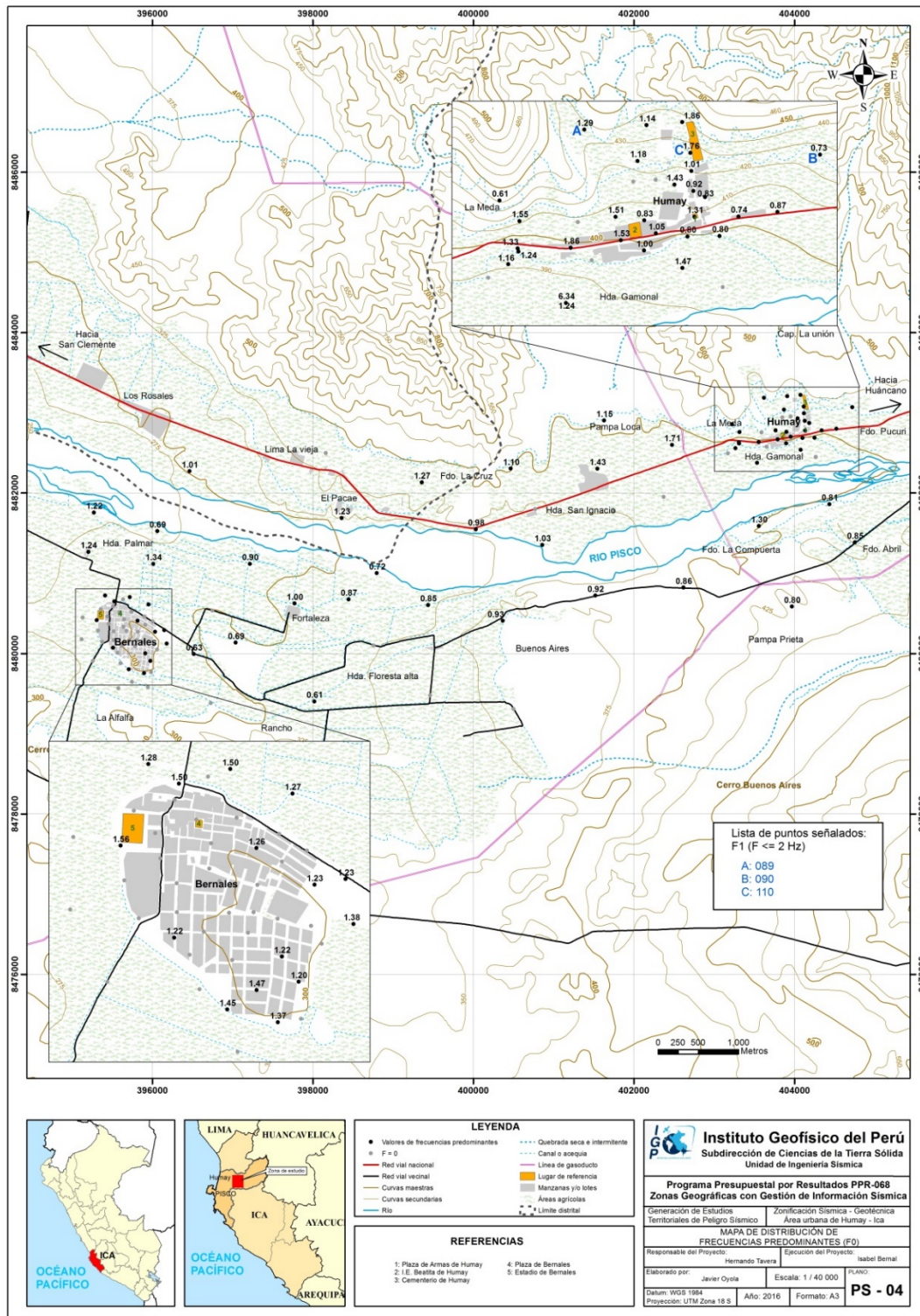
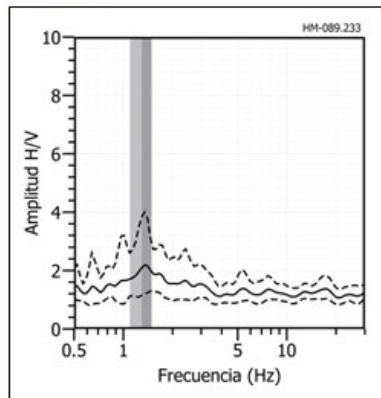
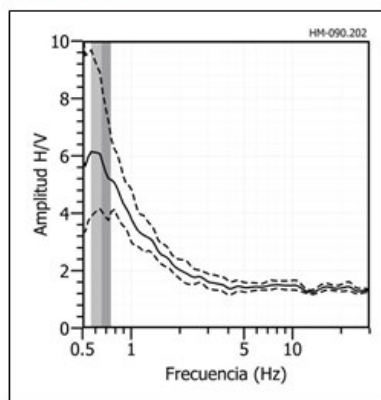


Figura 14: Mapa del área de estudio y la distribución espacial de las frecuencias predominantes F_0 ($F \leq 2.0$ Hz). Las letras indican la ubicación de los gráficos considerados en la Figura 15.

HM- 89



HM - 90



HM- 110

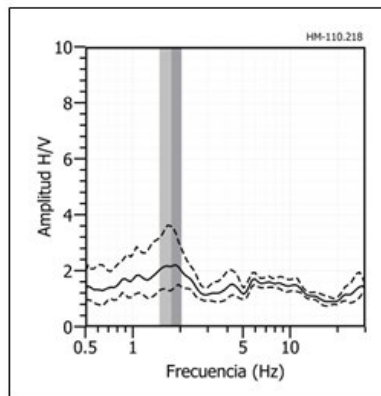


Figura 15: Ejemplos de razones espectrales (H/V): Para los puntos CL-70 (I), CL-149 (W) y CL-150 (X), ubicados en la zona céntrica de Humay, distribuidos entre la Plaza de Armas y el AA.HH. Asunción. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

- **Frecuencias predominantes F1:** En la Figura 16, se muestra la distribución espacial de las frecuencias predominantes F1 ($F > 2.0\text{Hz}$) y en la Figura 17, ejemplos de los gráficos de razones espectrales que caracterizan los suelos del área urbana de Humay con el predominio de frecuencias de entre 5.0 y 15.0 Hz, y

en BERNALES, frecuencias entre 3.0 y 7.0 Hz, con amplificaciones máximas relativas de hasta 5 veces.

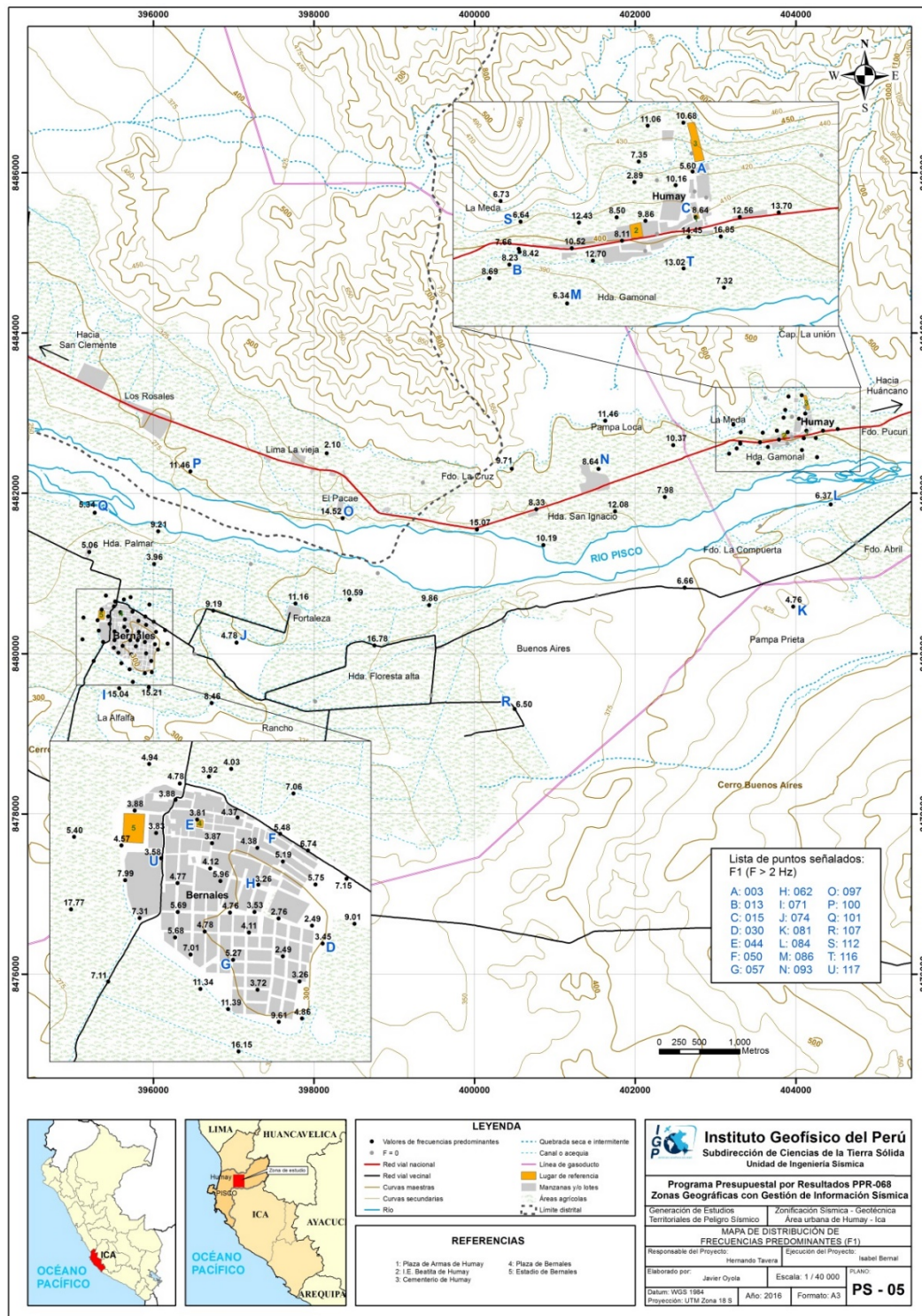
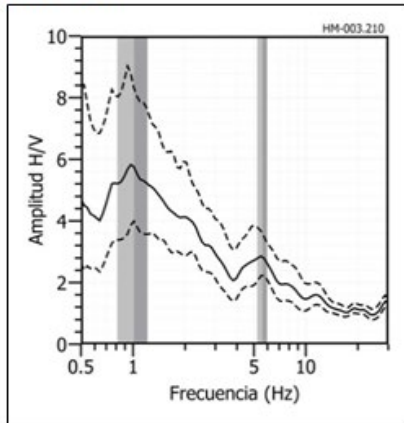
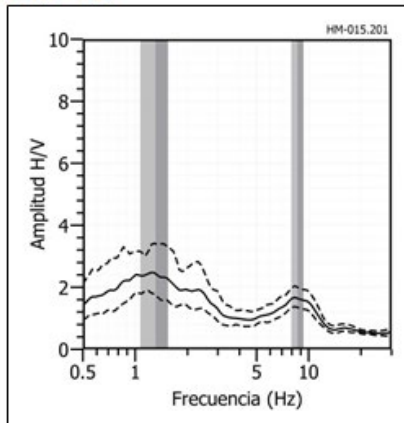


Figura 16: Mapa del área de estudio y la distribución espacial de las frecuencias predominantes $F1$ ($F > 2.0$ Hz). Las letras indican la ubicación de los gráficos que se están considerando en la Figura 17.

HM- 03



HM- 15



HM - 112

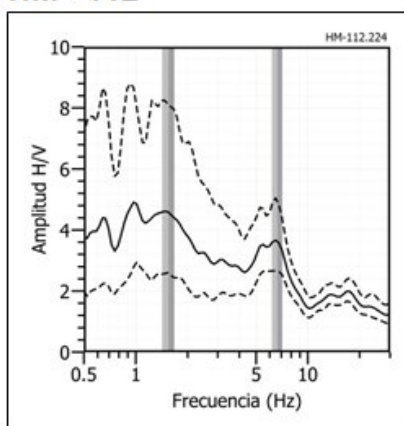
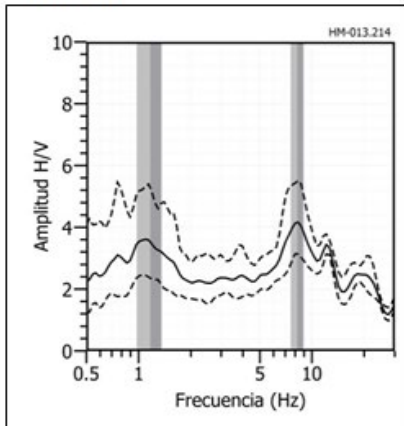
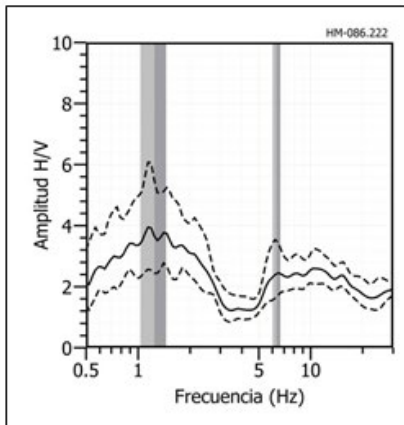


Figura 17: Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F1 ($F > 2.0\text{Hz}$): puntos HM-03(A), HM-15(C) y HM-112(S), ubicados en Humay, dos de ellos en el extremo Norte del área urbana y HM-15 en la plaza de armas. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

HM-13



HM- 86



HM - 116

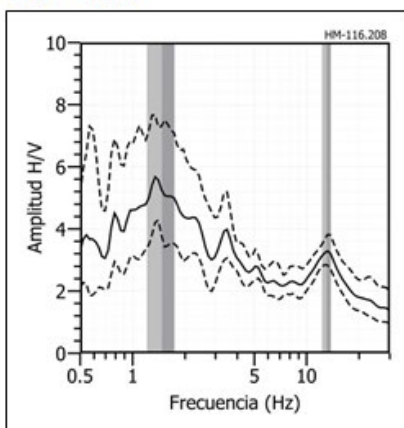
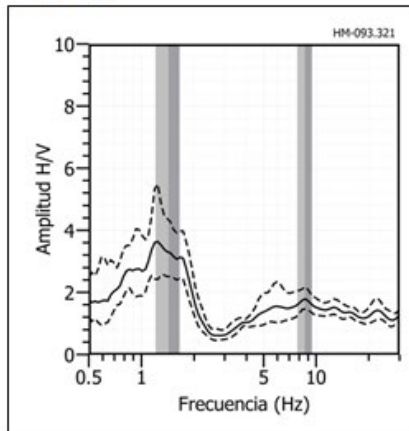
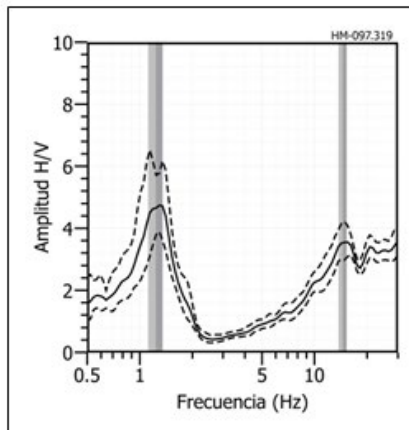


Figura 17: ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F1 ($F > 2.0\text{Hz}$): puntos HM-13(B), IM-86(M) y HM-116(T), ubicados en Humay, en el extremo sur del área urbana. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

HM- 93



HM- 97



HM - 100

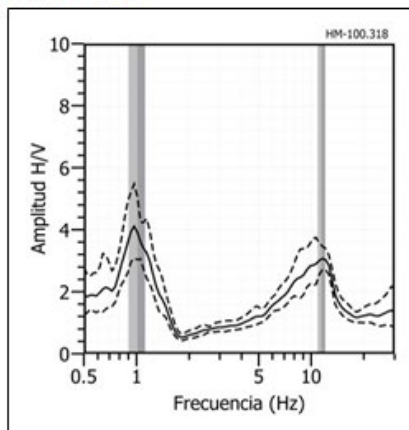
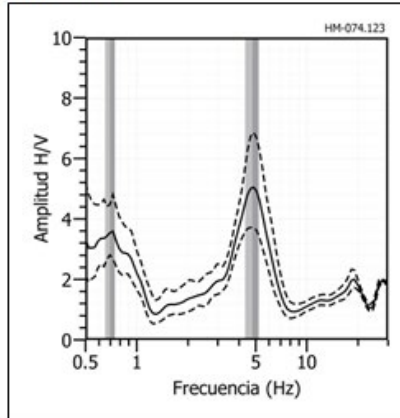
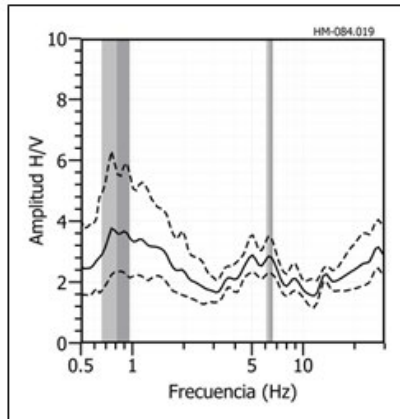


Figura 17: ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F1 ($F > 2.0\text{Hz}$): puntos HM-93(N), HM-97(O) y HM-100(P), ubicados en la margen derecha del río Pisco. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

HM- 74



HM - 84



HM - 101

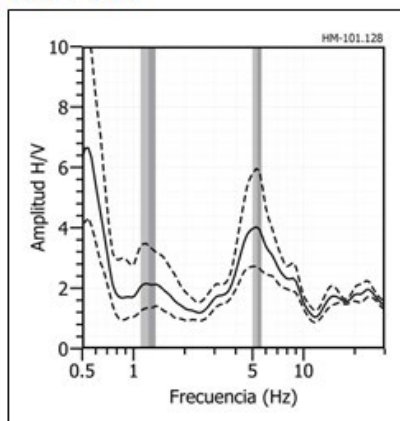
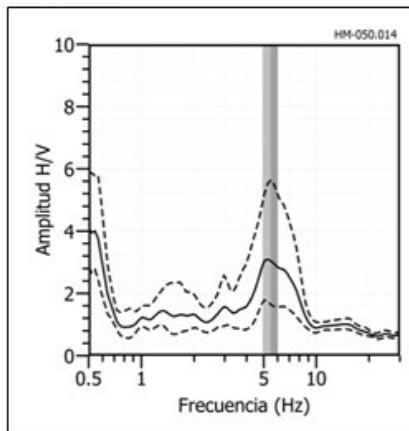
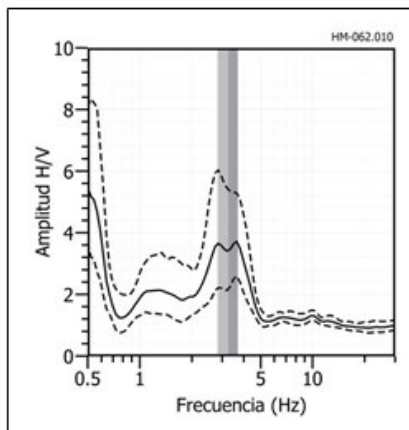


Figura 17: ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F1 ($F > 2.0\text{Hz}$): puntos HM-74(J), HM-84(L) y HM-101(Q), ubicados en la margen izquierda del río Pisco. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

HM- 50



HM- 62



HM - 117

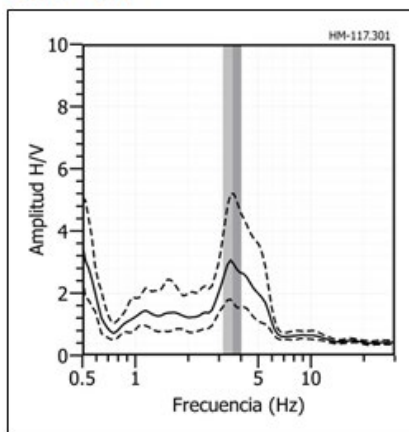
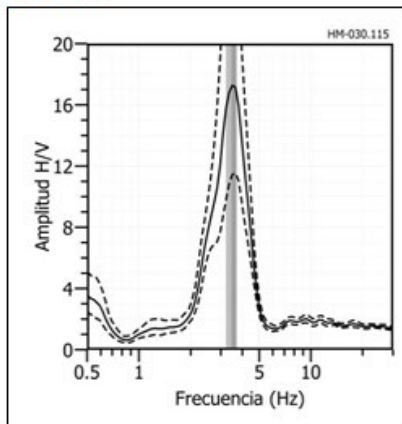
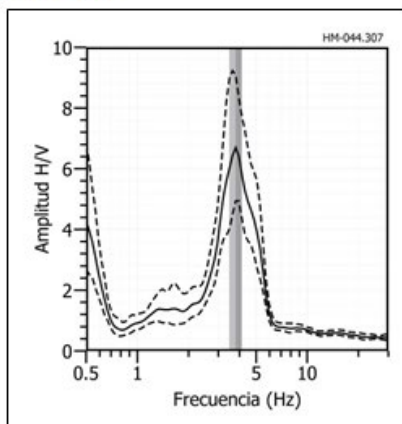


Figura 17: ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F1 ($F > 2.0\text{Hz}$): puntos HM-50(F), HM-62(H) y HM-117(U), ubicados en Bernalles, en el extremo NO del área urbana. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

HM- 30



HM- 44



HM - 57

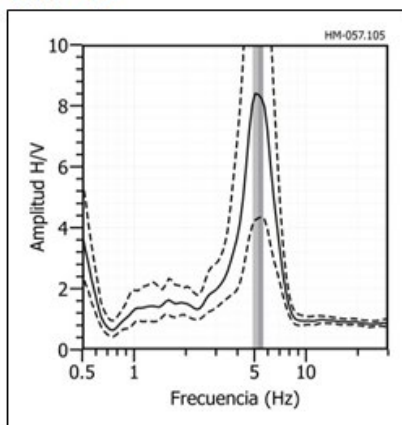
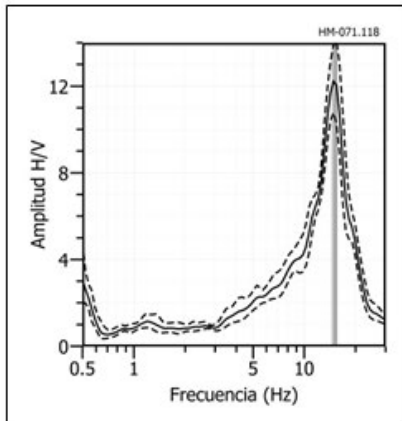
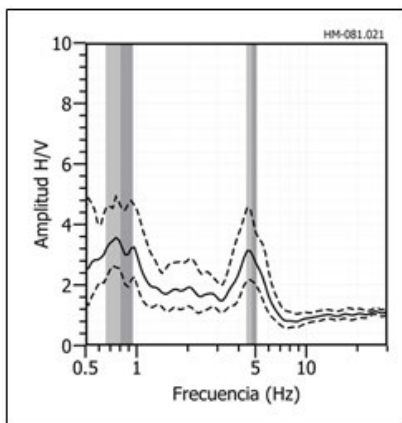


Figura 17: ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F1 ($F > 2.0\text{Hz}$): puntos HM-30(D), HM-44(E) y HM-57(G), ubicados en Bernalles, dos en el extremo SE del área urbana y HM-44 en la plaza de armas. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

HM- 71



HM - 81



HM - 107

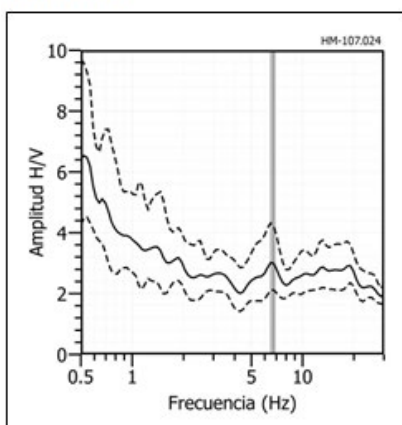


Figura 17: ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F1 ($F > 2.0\text{Hz}$): puntos HM-71(I), HM-81(K) y HM-107(R), ubicados en el extremo sur del área de estudio, en la zona denominada La Alfalfa, Buenos Aires, y Pampa Prieta. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

Para Humay, se presenta las razones espectrales (H/V) obtenidas para los puntos HM-03(A), HM-15(C) y HM-112(S), ubicados en el extremo norte de área urbana y HM-15 en su Plaza de Armas, donde los suelos responden a frecuencias de 5.6, 8.6 y 6.6Hz respectivamente con amplificaciones de hasta 3 veces. En los puntos HM-13(B), IM-86(M) y HM-116(T), ubicados en el extremo sur del área urbana, sobre la hacienda Gamonal, predominan frecuencias a 8.2, 6.4 y 13.0 Hz, con amplificaciones de hasta 4 veces. Asimismo, en este sector también los suelos muestran sensibilidad a frecuencias de 1.0 a 2.0 Hz.

En los puntos HM-93(N), HM-97(O) y HM-100(P), ubicados en la margen derecha del río Pisco, predominan frecuencias a 8.6, 14.5 y 11.5 Hz con amplificaciones máximas relativas de hasta 4 veces y en los puntos HM-74(J), HM-84(L) y HM-101(Q), ubicados en la margen izquierda del río Pisco, frecuencias de 4.8, 6.2 y 5.3 Hz con amplificaciones de hasta 5 veces. Estos resultados evidencian que los suelos ubicados hacia la margen derecha del río Pisco tienden a valores mayores de frecuencias respecto a la otra margen y muestra una clara respuesta a frecuencias que fluctúan entre 1.0-1.5 Hz con amplificaciones de hasta 4.5 veces asociada a la proximidad al río y una mayor complejidad en la respuesta dinámica de los suelos.

Para Bernales, se presenta las razones (H/V) obtenidas para los puntos HM-50(F), HM-62(H) y HM-117(U), ubicados en el extremo NO del área urbana, donde predominan un pico bien definido a frecuencias de 5.5, 3.6 y 3.5 Hz, con amplificaciones de hasta 3.0 veces, y en los puntos HM-30(D), HM-44(E), HM-57(G), ubicados en el extremo SE del área urbana y HM-44 en su plaza de armas, frecuencias a 3.4, 3.7 y 5.2 Hz, con amplificaciones máximas relativas de hasta 17, 6 y 8 veces, lo cual sugiere que los suelos arenosos de este sector son poco consolidados.

En los puntos HM-71(I), HM-81(K) y HM-107(R) ubicados hacia el extremo Sur del área de estudio, en la zona denominada La Alfalfa, Buenos Aires y Pampa Prieta, predominan frecuencias a 15.0, 4.8 y 6.50 Hz, con amplificaciones relativas de 12, 3 y 2.2 veces. Las altas frecuencias se asocian a la capa más superficial del subsuelo y las mayores amplificaciones a su poca compactación.

Interpretación

A pesar que en el área urbana de Humay, se ha identificado dos picos de frecuencias, por su baja amplificación definen la presencia de suelos más estables

respecto a lo observado en el área urbana de Bernalles, que presenta un pico de frecuencia bien definido, pero con grandes amplificaciones evidenciando su mayor flexibilidad y, por ende, menor consistencia.

3.2. Estudio Sísmico con la Técnica de MASW

Los modelos de velocidad de propagación (V_s) representan información muy útil en materia de riesgo sísmico y reconocimiento general de la estructura y naturaleza del subsuelo.

En este estudio, el procesamiento de datos permitió llegar desde profundidades de 1.5 y 2.5 metros hasta los 30 metros en cada línea sísmica. Las líneas LS02 y LS03 en la zona urbana de Humay; LS05 y LS06 en Bernalles; LS01 y LS04 en la margen derecha del río Pisco (frente al pueblo de Humay) y las líneas LS07 y LS08 cerca del río Pisco (Figura 5). A continuación, se describe los resultados obtenidos agrupados de acuerdo a sus valores y ubicación del perfil:

Línea sísmica LS01-HM: Línea sísmica realizada en la carretera con dirección al Fundo Abril (Figura 5) y muestra la presencia de suelos conformados por dos capas: la primera con velocidades V_s de 259 m/s y espesores de 5 metros, lo que sugiere la presencia de suelos medianamente rígidos. La segunda, con 10 metros de espesor y V_s de 473 m/s; por lo tanto, considerado como suelos rígidos, y la superficie de contacto con el semiespacio con $V_s > 717$ m/s lo que sugieren suelos muy rígidos.

Línea sísmica LS02-HM y LS03-HM: Líneas sísmicas ubicadas al costado del cementerio de Humay (LS03) y próximo a la I.E. Beatita de Humay (LS02), Figura 19. Se identificó la presencia de suelos conformados por dos capas: la primera de 5 a 7 metros de espesor y velocidades V_s de 259 a 265 m/s que sugieren suelos medianamente rígidos. La segunda capa, en el caso de la línea LS02, presenta suelos muy rígidos con velocidades de 537 m/s y espesores de 13 metros. En la línea LS03 suelos rígidos con V_s de 388 m/s y 15 metros de espesor; es decir, la segunda capa en la línea LS02 es más compacta que en la línea LS03. La superficie de contacto con el semiespacio presenta velocidades $V_s > 1004$ m/s para ambas líneas sísmicas, lo cual sugiere la presencia de rocas moderadamente duras.

Línea sísmica LS04-HM: Ubicada en el sector de Buenos Aires (Figura 5) y muestran la presencia de suelos conformados por dos capas: la primera con velocidades V_s de 428 m/s y espesores de 5 metros que sugiere la existencia de suelos duros. La segunda, con espesores de 6 metros y velocidades V_s de 641 m/s correspondientes a suelos muy duros. La superficie de contacto con el semiespacio con $V_s > 889$ m/s sugiere la presencia de rocas moderadamente duras.

Líneas sísmicas LS05-HM y LS06-HM: Ambas líneas ubicadas en la zona urbana de Bernalles (Figura 5), indican la presencia de suelos conformados por dos capas: la primera con velocidades V_s de 136 a 166 m/s y espesores de 3 a 7 metros que sugieren la presencia de suelos blandos. La segunda, en el caso de la línea LS05 con una velocidad de 283 m/s y espesor de 8 metros correspondiente a suelos medianamente rígidos y la línea LS06, con espesores de 11 metros y velocidades V_s de 371 m/s considera presencia de suelos rígidos. Asimismo, la superficie de contacto con el semiespacio para la línea LS05 presenta velocidades $V_s > 662$ m/s que sugiere la existencia de suelos muy rígidos, a diferencia de la línea LS06 con velocidades altas $V_s > 836$ m/s que considera la presencia de rocas moderadamente duras. Los resultados obtenidos, sugieren que la segunda capa y el semiespacio de la línea LS05 son menos compacto que los encontrados en la línea sísmica LS06.

Líneas sísmicas LS07-HM y LS08-HM: Líneas sísmicas realizadas en zonas de cultivo y cercanos al río Pisco (sector las Palmas), ver Figura 5. Ambos indican la presencia de suelos conformados por una y dos capas: la primera de 4 a 11 metros de espesor y velocidades V_s de 228 a 237 m/s que sugieren la presencia de suelos medianamente rígidos. La segunda capa, ausente en la línea LS07 pero presente en la línea LS08, presenta una velocidad de 481 m/s correspondiendo a suelos rígidos. La superficie de contacto con el semiespacio, en ambas líneas sísmicas, presentan velocidades $V_s > 573$ m/s que sugiere la existencia de suelos muy rígidos.

En la Tabla 5, se resume los valores de velocidad de ondas de corte V_s obtenidos para los distintos tipos de perfiles de suelo, según lo dispuesto en la Tabla 4. En la Figura 18, se presenta los resultados de la línea sísmica LS01, y para las otras líneas ver anexos.

Tabla 5: Valores de espesor y Vs de las líneas sísmicas realizados en Humay mediante el método de MASW.

Superficie					Profundidad		
Línea Sísmica	N° DE CAPA						
	1		2		Semiespacio		VS30 (m/s)
	Vs (m/s)	Esp. (m)	Vs (m/s)	Esp. (m)	Vs (m/s)	Esp. (m)	
LS01-CL	202	4	312	7	417	-	342
LS02-CL	328	7	510	11	658	-	488
LS03-CL	209	7	315	8	510	-	339
LS04-CL	210	4	368	22	759	-	353
LS05-CL	215	4	277	9	529	-	347
LS06-CL	202	4	335	19	604	-	331
LS07-CL	200	4	302	14	489	-	330
LS08-CL	254	9	386	14	511	-	344
LS09-CL	205	13	286	12	487	-	251
LS10-CL	227	4	357	17	517	-	363
LS11-CL	221	7	307	14	585	-	313
Suelo blando (Vs < 180 m/s) Suelo medianamente rígidos (180 – 350 m/s) Suelo rígidos (350 – 500 m/s) Suelo muy rígidos o roca blanda (500 – 800 m/s) Roca moderadamente duro (800 – 1500 m/s)							

Interpretación

De acuerdo a los resultados obtenidos, se ha identificado la presencia de 2 capas sísmicas y un semiespacio (Tabla 5). Su correlación con la geología y geotecnia sugieren los siguientes resultados:

El área urbana de Humay, presenta suelos medianamente rígidos para la primera capa (V_s 238 a 265 m/s) con espesores de 7 metros en la parte sur (próximo a la I.E. Beatita de Humay) y de 5 metros en la parte norte (por el cementerio de Humay y áreas de cultivo), ver Figura 8. La capa superficial suprayace a suelos muy rígidos (V_s 537 m/s) de 13 metros de espesor en la parte sur y suelos rígidos (V_s 388 m/s) con 15 metros de espesor en la parte norte y que pueden deberse al contenido de humedad generado por la proximidad de aéreas de cultivo (Figura 19). Ambas capas corresponden a depósitos aluviales de gran espesor que provienen de la quebrada ubicado al norte de

Humay. Debajo de estas capas, se identificó rocas medianamente rígidas que posiblemente corresponden al contacto suelo roca; es decir, depósitos aluviales asentados sobre intrusivos.

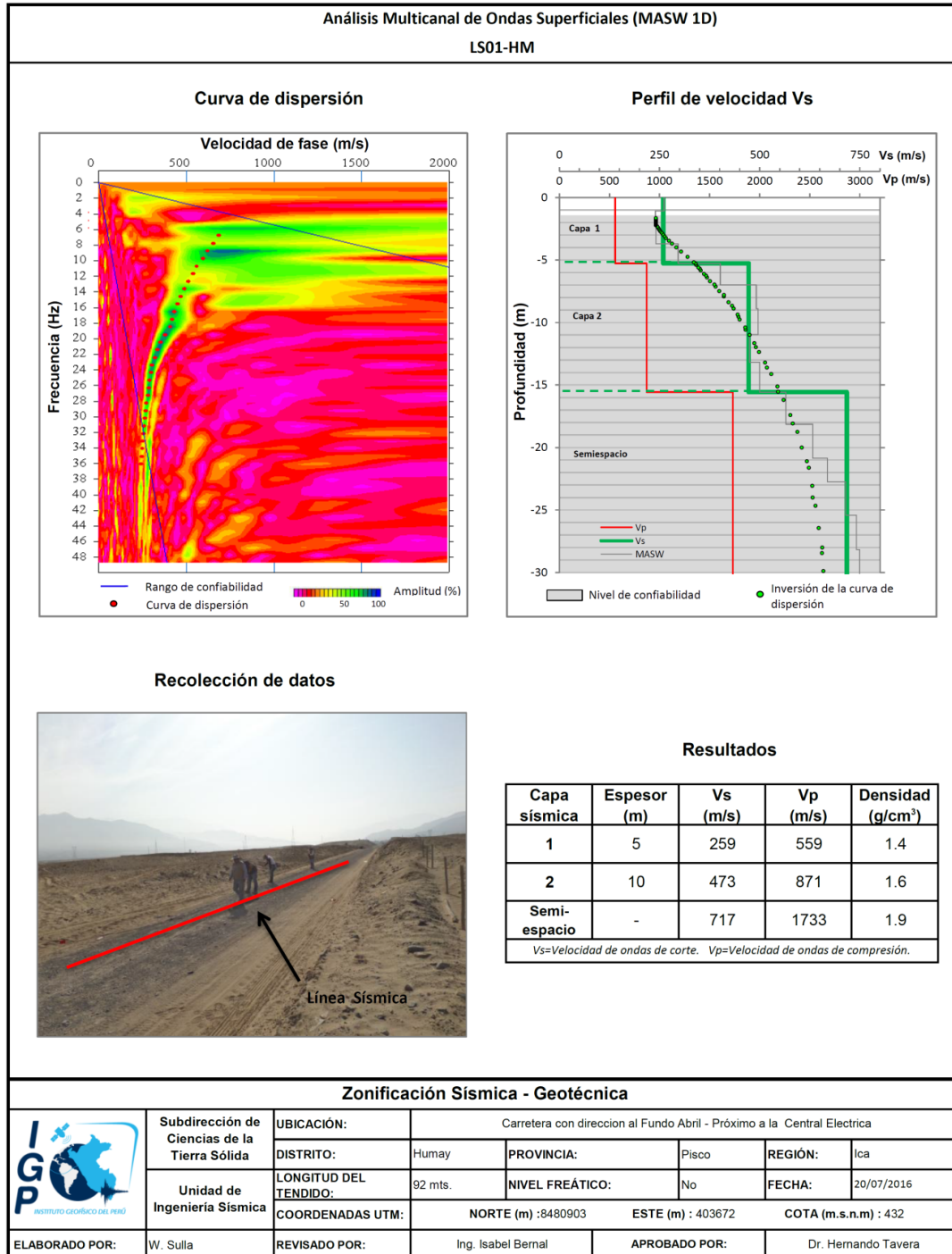


Figura 18: Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo LS01-HM.



Figura 19: Ensayo sísmico realizado en la zona urbana de Humay: capa superficial constituida por suelos moderadamente duros (LS02-HM y LS03-HM).

En el área urbana de Bernales (Figura 8), se identificó suelos blandos en superficie (V_s 136 a 166 m/s) con espesores de 3 metros en la parte central y de 7 metros conforme se avanza al sur, esto es debido a la presencia de depósitos eólicos sobre el cual se encuentra asentada la zona urbana de Bernales, ver Figura 20. La capa superficial suprayace a suelos medianamente rígidos (V_s 283 m/s) de 8 metros de espesor en la parte central y conforme se avanza al sur, se presentan suelos duros (V_s 371 m/s) de 11 metros de espesor; conformada por material aluvial con diferente grado de consolidación y presencia de humedad. Por debajo de ambas capas, están presentes suelos muy rígidos que corresponden también a aluviales, pero más consolidados.

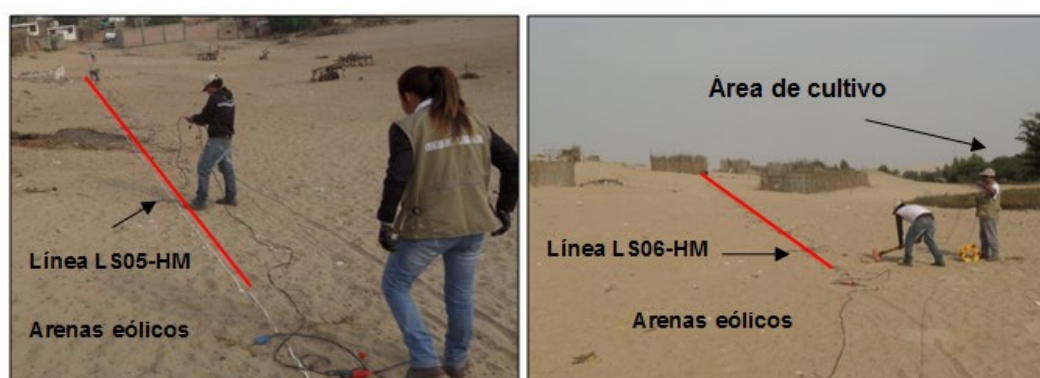


Figura 20: Ensayo sísmico realizado en la zona urbana de Bernales: capa superficial constituida por suelos blandos (LS05-HM y LS06-HM).

Las zonas ubicadas al noreste (Figura 20) próximos al río Pisco (hacienda Palmar y San Ignacio) y al sureste (fundo Abril), presentan suelos medianamente rígidos en superficie (V_s 228 a 259 m/s) a muy rígidos en profundidad correspondiendo a depósitos aluviales y fluviales. Pero en la zona sur (sector Buenos Aires) se presentan suelos rígidos en superficie (V_s 428 m/s) a roca medianamente rígidos; es decir, en esta zona los suelos son más consolidados a pesar de estar constituidos por depósitos aluviales.

3.3. Periodos Dominantes

Para presentar los resultados finales obtenidos con la técnica razones espectrales, los valores de frecuencias fueron transformados a periodos dominantes y para construir el mapa de periodos, se asignó a cada punto de medición un radio de confiabilidad de 10 metros, lo cual facilita los procedimientos seguidos para la zonificación de los suelos. En la Figura 21 se muestra la distribución espacial de los valores de periodos dominantes en el área de estudio, los cuales han sido separados en dos grupos, siendo los representados por números grandes para periodos menores e iguales a 0.4 segundos y en pequeño para periodos mayores.

Los periodos de 0.1 y 0.4 segundos, se distribuyen de manera casi uniforme sobre toda el área de estudio, concentrándose los periodos de 0.1 y 0.2 en el área urbana de Humay y de 0.2 y 0.4 Bernales. En el 70% del área de estudio, sobresale un segundo periodo que fluctúa entre 0.7 y 1.0 segundos, excepto en Bernales que solo sobresale un periodo. Sin embargo, las mayores amplificaciones se presentan en Bernales y sobre algunos puntos ubicados próximos a la ribera del río Pisco.

Los periodos dominantes que caracterizan los suelos del área urbana de Humay y Bernales 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 para Humay de 250 y 400 m/s para las ondas de corte (V_s) y periodos de 0.1 y 0.2 segundos, se estima la presencia de una capa superficial con espesores de entre 6 y 20 m. Para Bernales, considerando velocidades de 160 y 350 m/s para las ondas de corte (V_s) y periodos de 0.2 y 0.3 segundos, se estima la existencia de una capa con espesores de 8 a 28 m para el estrato superficial, asentada sobre una capa de mayor espesor y consistencia.

En el área urbana de Humay, la distribución espacial de periodos mayores a 0.4 segundos sugiere la presencia en el subsuelo de una capa superficial de gran espesor y los periodos menores, una capa superficial de menor espesor, donde la primera influye moderadamente sobre la segunda. Por otro lado, los valores de 0.2 y 0.4 segundos con altas amplificaciones se distribuyen principalmente hacia el extremo NO del centro poblado de Bernales, estos sugieren que los suelos son más flexibles en comparación con el resto del área de estudio.

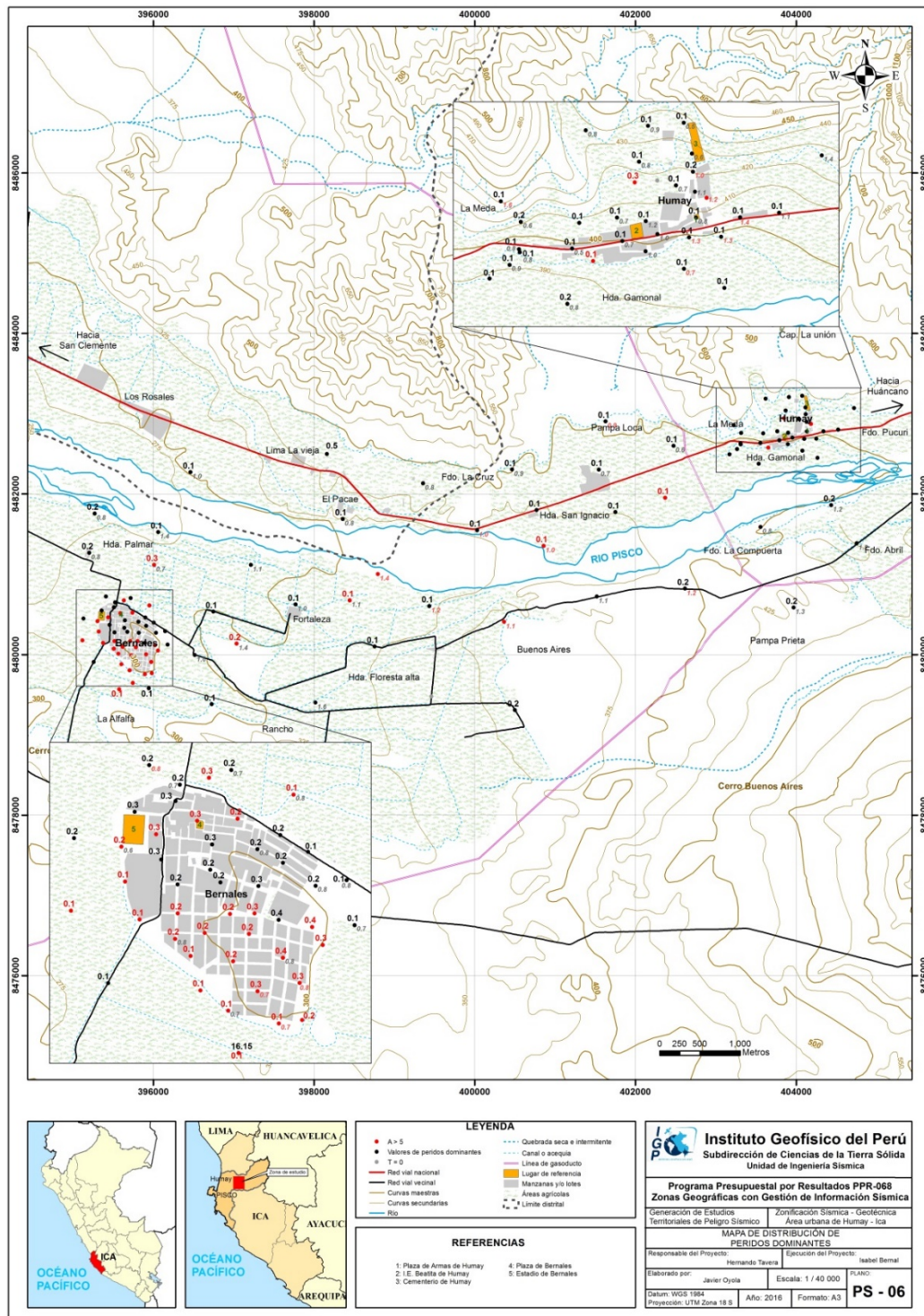


Figura 21: Mapa de la distribución espacial de los valores de periodos dominantes para el área de estudio.

3.4. Estudio Eléctricos con la Técnica de ERT

A continuación, se describe los resultados obtenidos para las líneas de tomografía eléctrica realizados en las áreas urbanas de Humay y Bernal:

Líneas eléctricas LE01-HM y LE02-HM, realizadas paralelas al río Pisco (Figura 12), próximas al cementerio de Humay y a la I.E. Beatita de Humay (Figura 22), respectivamente. De acuerdo a los resultados obtenidos se identificaron dos horizontes geoeléctricos, el primero con valores medianamente resistivos desde la superficie y que envuelven a materiales resistivos, asociados a terrenos compactos; mientras que, el segundo corresponde a materiales conductivos, asociados a la saturación del terreno. Ambas líneas fueron realizadas sobre depósitos aluviales, con permeabilidad moderada, provocando que los suelos en profundidad se saturen (mayor contenido de humedad). El nivel freático fluctúa entre 5 y 30 metros de profundidad.



Figura 22: Características superficiales de LE02-HM.

Línea eléctrica LE03-HM, realizada en el área urbana de Bernal (Figura 12) y en una zona donde existe un canal no revestido, paralelo a la línea (Figura 23). Se ha identificado la presencia de tres horizontes geoeléctricos, concentrándose las resistividades más bajas en el horizonte intermedio debido a la influencia del canal en un medio permeable como las arenas “dunas” (depósitos eólicos). Los horizontes superiores e inferiores indican la presencia de material resistivo y muy resistivo.



Figura 23: Características superficiales de LE03-HM.

Línea eléctrica LE05-HM, realizado próximo a la Plaza de Bernal (Figura 12), cerca de una hondonada donde el punto medio de la línea está en la parte baja. Según los resultados obtenidos, las bajas resistividades son influenciadas por la acción humana (cañerías de agua, instaladas informalmente) es un medio permeable conformado por arenas sueltas de grano medio a fino (depósitos eólicos) y zonas de relleno (Figura 24).



Figura 24: Características superficiales de LE05-HM, el terreno es una depresión.

Línea eléctrica LE04-HM, realizada en el sector de la Hda. Palmar (Figura 12), sobre un terreno agrícola (Figura 25). El 95% de la línea eléctrica es un medio conductivo. Es un suelo saturado y afectado por el paso del río Pisco; por lo tanto, el nivel freático es superficial.



Figura 25: Características superficiales de LE04-HM.

Interpretación

En la Tabla 6, se ha realizado la clasificación de los suelos de acuerdo a los rangos de resistividades descritos en la Tabla 2, desde material muy bajo resistivo hasta muy resistivos; mientras que, en la Figura 26 se presenta los resultados para la línea LE04–HM y en los anexos para las demás líneas.

Tabla 6: Valores de resistividad obtenidos de las líneas eléctricas obtenidas en el área de estudio.

Líneas Eléctricas	Orientación	Profundidad de alcance (m)	Horizonte geoelectrico	Resistividad ($\Omega.m$)	Profundidad Nivel freático (m)
LE01-HM	EW	31	1	100 - 500 500 - 3000	5 m
			2	< 100	
LE02-HM	NS	31	1	100 - 500 500 - 1260	20 m
			2	< 100	
LE03-HM	EW	39	1	500 - 3100	15 m
			2	100 - 500 < 100	
			3	500 - 3100	
LE04-HM	NS	39	1	20 - 100	3 m
			2	< 20	
LE05-HM	NS	39	1	100 - 500	5 m
			2	500 - 3100	
			3	< 100	

De acuerdo a los resultados obtenidos en Humay predominan en superficie suelos medianamente resistivos y en Bernales, suelos de bajos a medianamente resistivos. En el área urbana de Humay, al norte de la Plaza de Armas (próximo al cementerio, Figura 12), el nivel freático se encuentra a 5 metros de profundidad (zona de cultivo y canales de regadío); mientras que, al extremo Sur de la plaza de Humay (sector de la Hda. Gamonal) el nivel freático se encuentra a los 20 metros de profundidad.

En el área urbana de Bernales, al Norte de la Plaza de Armas, en la hacienda Palmar predominan suelos saturados debido a la presencia del río Pisco y zonas de cultivo. Mientras que, en dirección sur, el nivel freático se encuentra a 5 metros de profundidad y en este caso es debido a la presencia de zonas pantanosas; Asimismo, en el extremo Este y Suroeste de la Plaza de Armas se tiene la presencia de lagunas (próximas al cerro La Zorra). Finalmente, en Bernales el nivel freático fluctúa entre 3 y 15 metros de profundidad.

Geológicamente, Humay está asentada sobre depósitos aluviales aptos para explotación de aguas subterráneas. Por otro lado, Bernalles está asentado sobre material eólico y por debajo de este se encuentra el material aluvial, en donde se presentaría el nivel freático.

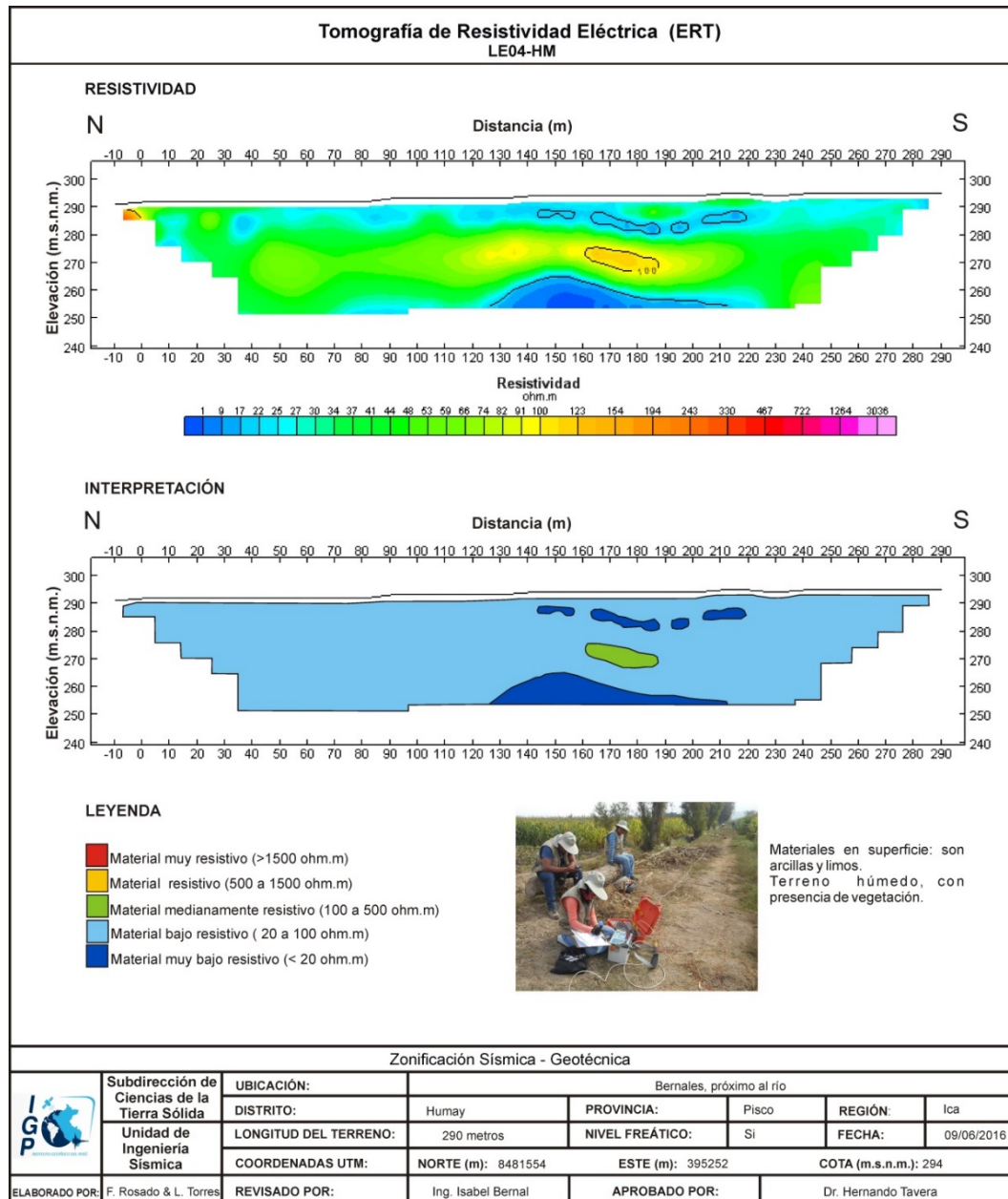


Figura 26: Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método de tomografía eléctrica para la línea LE04-HM.

4. ZONIFICACION GEOFÍSICA - GEOTÉCNICA

El mapa de Zonificación Geofísica - Geotécnica se elabora en función de la integración de los resultados obtenidos de los estudios geológicos, geotécnicos y geofísicos; mientras que, las características dinámicas del suelo y sus propiedades mecánicas han sido identificadas según la Norma de Construcción Sismorresistente E.030. Los resultados indican que en Humay y Bernales, existen suelos de Tipo S1 y S2, que corresponden a suelos rígidos y medianamente rígidos respectivamente.

4.1. Mapa de Zonificación Geofísica - Geotécnica

Para las áreas urbanas de Humay y Bernales se propone la siguiente Zonificación Geofísica – Geotécnica (Figura 27):

ZONA I: Conformada por estratos de depósitos coluviales y aluviales, cubiertos por depósitos de material fino (arenas finas) con espesores de hasta 12 metros. Este suelo tiene un comportamiento medianamente rígido, con periodos de vibración natural que varían entre 0.1 y 0.3 segundos. Considerando las moderadas velocidades de ondas de corte (200 y 500 m/s) encontradas en Humay y Bernales, hay un dominio de suelos Tipo S1 de la norma sismorresistente peruana, con capacidad admisible de 2.0-3.0 Kg/cm².

Dentro de esta zona, con líneas en rojo, se delimita áreas donde se presentan las máximas amplificaciones, lo cual evidencian la menor consistencia de los suelos superficiales y la presencia de altos niveles freáticos en el caso de Bernales.

ZONA II: En la zona se incluye las áreas de terreno conformado por estratos superficiales de suelos granulares finos a gruesos con espesores que varían entre 10 y 35 m., subyaciendo a estos estratos se tiene grava. Este suelo tiene un comportamiento medianamente rígido a blando con periodos de vibración natural que varían entre 0.3 y 0.4 segundos. De acuerdo a las velocidades de ondas de corte (180 y 300m/s) corresponden a suelos Tipo S2 (Norma E030) con capacidad admisible de 1.0-2.0 Kg/cm².

Esta zona se presenta en el extremo SE del área urbana de Bernales, donde superficialmente predominan suelos arenosos.

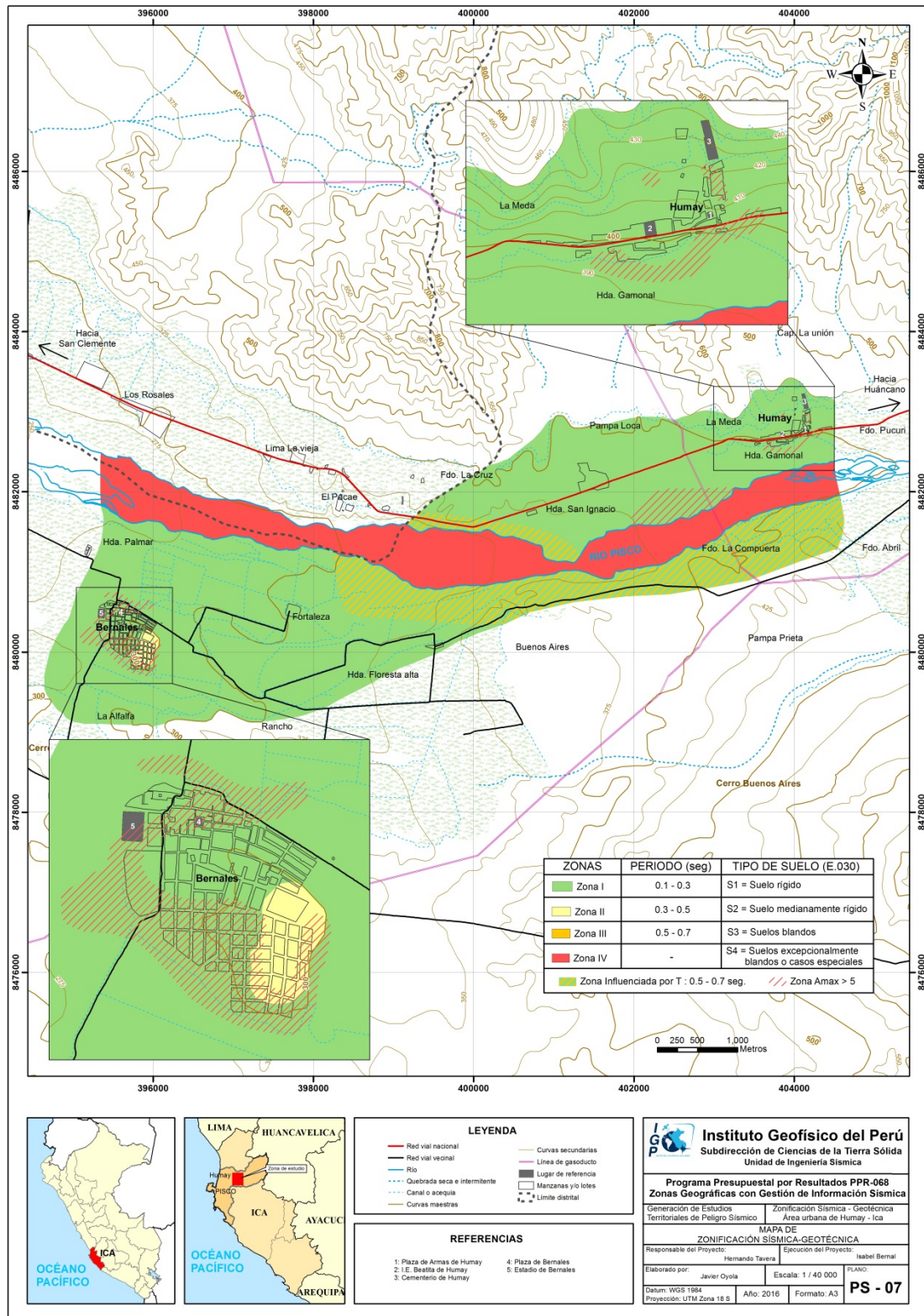


Figura 27: Mapa de Zonificación Geofísica-Geotécnica para las áreas urbanas de Humay y Bernalés.

CONCLUSIONES

El estudio de Zonificación Geofísica-Geotécnica (Comportamiento Dinámico del Suelo) para las áreas urbanas de Humay y Bernalles, ha permitido llegar a las siguientes conclusiones:

- Las unidades geomorfológicas en el área urbana de Humay están conformadas por: Abanicos aluviales (30%), terrazas aluviales 1 y 2 (25%), terrazas fluviales 1 y 2 (20%), lecho fluvial (15%) y montañas (10%). El 60% del área urbana de Humay se asienta sobre un antiguo abanico aluvial; mientras que, las actividades agrícolas se desarrollan en terrazas aluviales y fluviales (40%).
- Se han identificado dos tipos de eventos geodinámicos: Los flujos de detritos inactivos que se desarrollan en la cabecera de las quebradas Cangana Alta, La Meda y Canal de Captación La Unión que se activan en temporada de lluvias intensas. Asimismo, las caídas de rocas, siendo depósitos de clastos y gravas angulosas que forman flujos causando que las quebradas se activen por lluvias.
- En Humay se ha identificado dos tipos de suelos con capacidad de carga admisible baja ($1.36 - 1.46 \text{ kg/cm}^2$) conformados por arenas mal graduadas con gravas y bajos porcentajes de limos (SP) identificadas en el sector de “Parque Infantil” y “El Rompe”. Los suelos de cimentación con capacidad de carga admisible media ($2.72 \text{ a } 2.85 \text{ kg/cm}^2$) se extienden con gran porcentaje en el área urbana y están representados por gravas mal graduadas con limos y arenas (GP-GM), presentes en los sectores de Cangana Alta, La Meda, Los Ángeles (Cementerio Municipal) y Estadio Municipal.
- Se ha identificado cuatro tipos de suelos en área urbana de Bernalles, conformados por arenas bien graduadas (SW), arenas mal graduadas (SP) presentes en la zona urbana de Bernalles, con una capacidad de carga admisible baja ($1.00 \text{ a } 2.00 \text{ kg/cm}^2$). Asimismo, las gravas redondeadas en estratos más compactos se encuentran en el extremo este del área urbana de Bernalles, se trata de gravas bien graduadas (GW) y mal graduadas (GP) con capacidad de carga media ($2.29 - 2.47 \text{ kg/cm}^2$) en los sectores Santa Aide y Hacienda San Ignacio.

- Las unidades geomorfológicas en el área urbana de Bernales están conformadas por: dunas (30%), lecho fluvial (30%), llanura aluvial (30%), llanura de inundación (5%) y terraza aluvial (5%). El 60% del área urbana se asienta sobre una duna antigua conformada por arenas; mientras que, las actividades agrícolas se desarrollan sobre la llanura aluvial.
- Los materiales que conforman el subsuelo en Bernales responden a depósitos eólicos (arenas finas con poco contenido de limos) que tienen un espesor promedio de 10 m y depósitos aluviales (gravas y arenas) producto de la dinámica del río Pisco. El substrato rocoso de la ciudad en mención lo constituyen rocas intrusivas tipo (monzogabros y monzogranito) que afloran principalmente al norte de la zona de estudio.
- Se han identificado cuatro tipos de suelos conformados por: arenas bien graduadas (SW), arenas mal graduadas (SP) presentes en el área urbana con una capacidad de carga admisible baja (1.00 a 2.00 kg/cm²). Asimismo, las gravas redondeadas en estratos más compactos se encuentran al este del área urbana y se trata de gravas bien graduadas (GW) y mal graduadas (GP) con capacidad de carga media (2.29 – 2.47 kg/cm²) en los sectores Santa Aide y Hacienda San Ignacio.
- En Humay y Bernales, los periodos de 0.1 y 0.4 segundos se distribuyen de manera casi uniforme sobre toda el área de estudio, concentrándose los periodos de 0.1 y 0.2 en el área urbana de Humay y de 0.2 y 0.4 en el centro poblado de Bernales. En el 70% del área de estudio, sobresale un segundo periodo que fluctúa entre 0.7 y 1.0 segundos, excepto en Bernales que solo sobresale un periodo.
- Los periodos dominantes que caracterizan a los suelos están relacionados con las condiciones físico-dinámicas a través de la relación $T_0=4H/V_s$, que asumiendo para Humay un Velocidad de 250 y 400 m/s para las ondas de corte (V_s) y periodos de 0.1 y 0.2 segundos, se estima una capa superficial con espesores de entre 6 y 20 m y para Bernales considerando velocidades de 160 y 350 m/s para las ondas de corte (V_s) y periodos de 0.2 y 0.3 segundos, se estima espesores de 8 a 28 m para el estrato superficial, asentada sobre una capa de mayor espesor y consistencia.

- En Humay predominan en superficie suelos medianamente resistivos y en Bernales suelos de bajos a medianamente resistivos. Al Norte de la plaza de Humay, el nivel freático se encuentra a los 5 m de profundidad y al Sur de la plaza de Humay. En Bernales predominan suelos saturados, debido a la presencia de terrenos de cultivo, canales sin revestir y a la presencia de zonas pantanosas.

- Para las áreas urbanas de Humay y Bernales se han identificado la existencia de dos (2) tipos de suelos: Tipo S1 y S2 correspondiente a suelos rígidos y medianamente rígidos. En el entorno al río de Pisco, los suelos son considerados como caso especial.

BIBLIOGRAFIA

- Autoridad Nacional del Agua, ANA (2011) Evaluación de recursos hídricos superficiales en la cuenca del río Chancay – Huaral.
- Bastiani, M. (2006). Propuesta de nuevos turísticos en la cuenca del río Pisco: los sitios prehispánicos en relación a su medio ambiente, como recursos culturales potencialmente turísticos. UNMSM – Lima.
- Braja Das., (2007) Principles of Foundation Engineering, Seven Edition, pág. 133-180.
- Brusi, D., et al (2013) Enseñanza de las Ciencias de la Tierra. ISSN: 1132-9157. Pág. 181-194.
- Cahill, T. & Isacks, B. L. (1992) Seismicity and shape of the subducted Nazca Plate, Journal of Geophysical Research, 97, 17503p.
- CISMID (2016) Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres.
- Cruden, D. M., (1991) – A simple definition of a landslide. IAEG Bull., 43, 27-29.
- Felcísimo, M. (1994) Modelos digitales del terreno. Oviedo-España: Pentalfa. 222 p. ISBN: 84-7848-475-2. 222 p.
- Fernández, M. (1993) Geología de los cuadrángulos de Pisco, Guadalupe, Punta Grande, Ica y Córdova. Boletín N° 47. Serie A: Carta Geológica Nacional. 74 pág.
- Fidel, L., Zavala, B., Núñez, S., Valenzuela, G. (2006) Estudio de riesgos geológicos del Perú, Franja N° 4. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 29. 383 p.
- 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.
- Gutiérrez, M., (2008) Geomorfología, Edit. Pearson/Prentice Hall, Madrid, 898 p. ISBN 97884832-23895.
- Harvey, J. C., (1987) – Geology for geotechnical engineers (Cambridge University Press), 5p y 13p.
- Hauser, A, (1985) Flujos de barro en la zona preandina de la Región Metropolitana: Características, causas, efectos, riesgos y medidas preventivas. Revista Geológica de Chile No. 24, p. 75-92.
- Hauser, A, (1993) Remociones en masa en Chile. Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería, Boletín N° 45.

- Hutchinson, J. N., (1968) Mass Movement. In the Enciclopedia of Geomorphology (Fairbridge, R.W., ed., Reinhold Book Corp., New York), 668-696p.
- 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. Rotterdam: Balkema.
- INDECI (2001) Mapa de peligros, plan de usos del suelo y propuesta de medidas de mitigación de los efectos producidos por los desastres naturales de la ciudad de Pisco. Programa de Ciudades Sostenibles I Primera etapa. 128 pág.
- INDECI (2008). Mapa de peligros. Ciudades sostenibles PNUD
- INDECI-PENUD (2007) Mapa de Peligros de la Ciudad de Chancay.
- INGEMMET (1981) Estudio geodinámico de la cuenca del río Pisco. Boletín N° 7. Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica. 138 pág.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (2007). Censos Nacionales 2007 XI de Población y VI de Vivienda. Recuperado de <https://www.inei.gob.pe/estadisticas/censos/>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2007). XI censo de Población y VI de Vivienda. Recuperado de <http://censos.inei.gob.pe/cpv2007/tabulados/>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2013). Mapa de pobreza provincial y distrital 2013. Recuperado de https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1261/Libro.pdf
- INSTITUTO NACIONAL DE RECURSOS NATURALES, INRENA (1994) Diagnóstico de la calidad del agua de la vertiente del Pacífico: Cuenca Chancay – Huaral.
- Instituto Nacional de Recursos Naturales, INRENA (2001) Evaluación y ordenamiento de los recursos hídricos de la cuenca Chancay – Huaral.
- Juárez, B. & Rico, A., (1973) – Mecánica de suelos. Tomo II.
- Loke, M.H. (2004). Tutorial 2D and 3D electrical imaging surveys.
- Macharé, J., Benavente, C., Audin., Laurence. (2008) – Síntesis descriptiva del mapa neotectónico [Boletín C-40]
- Ministerio de 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. Quaterly Report Railway Tech. Res. Inst., 30-1, 25-30.
- Orellana, E. (1982). Prospección geoelectrica en corriente continua. Madrid: Ediciones Paraninfo.
- Palacios, O., y Caldas, J., y Vela, C., INGEMMET (1992) Geología del Cuadrángulo de Chancay – Hoja 24i.
- 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>
- Reynolds, J.M. (2011). An Introduction to Applied and Environmental Geophysics. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, 2nd ed., 712 pp.
- Roma, V. (2010). Seismic geotechnical site characterization by means of MASW and ReMi methods. FastTIMES, 15(3):16-28.
- Samouëlian, A., I. Cousin, A. Tabbagh, A. Bruand y G. Richard, (2006). Electrical resistivity survey in soil science: a review. Soil Till Res 83, 173-193
- Sánchez, M., Parra, D. & De La Cruz, K. (2011) MicroZonificación Geofísica de la ciudad de Pisco. CISMID. Guzlop editoras. 23 pág.
- SESAME European research project WP12 – Deliverable D23.12: (2004). Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations measurements, processing and interpretation.
- Socco, L.V., Boiero, D., Comina, C., Foti, S., y Wis_en, R. (2008). Seismic characterization of an Alpine site. Near Surface Geophysics, 6(4):255-267.
- Tarback, 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. & Buforn, E. (2001) Source Mechanism of Earthquake in Peru. Journal of Seismology, en prensa.
- Tejada, A., G, (1994). Vocabulario Geomorfológico. Ediciones Akal, S.A., Madrid-España, 185p.

- Varnes, D. J., (1978) Slope movement types and processes, en Schuster R.L., y Krizek R.J., ed, Landslides analysis and control: Washington D. C, National Academy Press, Transportation Research Board Special Report 176, 9–33p.
- 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 – 47p.
- Villota, H. (1991) Geomorfología de las zonas montañosas, colinados y ondulados. Instituto Geográfico Agustín Codasi (IGAC), Santafé de Bogotá. D.C. Colombia, 212p.
- 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.
- Zinck, J. (1988) Physiography and soils. Lecture notes. Enschede, The Netherlands: International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC).
- Zinck, J. & Valenzuela, C. (1990) Soil geographic database: structure and application examples. ITC Journal, 1990(3), 270-294.

ANEXO

La información contenida en el presente Informe Técnico. “Zonificación Geofísica – Geotécnica de la ciudad de Humay y Bernales” se encuentra disponible en formato digital.

1. Información Geológica Geotécnica:

- 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 eléctricos (ERT)
- Mapas

