

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

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



ZONIFICACIÓN SÍSMICA – GEOTÉCNICA DE LAS ÁREAS URBANAS DE LAS CIUDADES DE ILO Y PAMPA INALÁMBRICA

Instituto Geofísico del Perú

Presidente Ejecutivo: Hernando Tavera

Director Científico: Danny Scipion

Autores

Isabel Bernal

Caracterización Sísmica y Geofísica de las áreas urbanas de las ciudades de Ilo y Pampa
Inalámbrica

Juan Carlos Gómez

Caracterización Geológica y Geotécnica de las áreas urbanas de las ciudades de Ilo y Pampa
Inalámbrica

Equipo de Evaluación Geológica y Geotécnica: Roberth Carrillo/ Cristian Chiroque

Equipo de Evaluación Sísmica y Geofísica: Fabiola Rosado/ Henry Salas/ Wilfredo Sulla/ Liliana
Torres/ Javier Oyola/ Kelly Parí/ 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 SÍSMICA – GEOTÉCNICA DE LAS
ÁREAS URBANAS DE LAS CIUDADES DE
ILO Y PAMPA INALÁMBRICA**

**Distrito de Ilo, Provincia de Mariscal Nieto
Región Moquegua**

RESUMEN

En el marco del Programa Presupuestal por Resultados N°068: Reducción de la Vulnerabilidad y Atención de Emergencias por Desastres se ejecutó el proyecto **“Zonas Geográficas con Gestión de Información Sísmica”**, el mismo que tuvo como una de sus actividades la **“Generación de Estudios Territoriales de Peligro Sísmico”** obteniéndose como resultado final, la Zonificación Sísmica - Geotécnica de las áreas urbanas de las ciudades/localidades de Tacna (distrito de Tacna), Ilo y Pampa Inalámbrica (distrito de Ilo), Alto Alianza (distrito de Alto de la Alianza), Ciudad Nueva (distrito de Ciudad Nueva), Boca del Rio (distrito de Sama), Ite (distrito de Ite), Moquegua (distrito de Moquegua) y Torata (distrito de Torata). Estos estudios permiten conocer el Comportamiento Dinámico de los Suelos a partir de la recolección de datos de campo utilizando técnicas geofísicas, sísmicas, geológicas y geotécnicas.

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

ÍNDICE

RESUMEN

ÍNDICE

PARTE 1: Presentación

1. Introducción

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

2. Condiciones locales de sitio

- 2.1. La Norma Técnica E.030

CONCLUSIONES

PARTE 2: Caracterización geológica y geotécnica del área urbana de la ciudad de Ilo

PARTE 3: Caracterización geológica y geotécnica del área urbana de la ciudad de Pampa Inalámbrica.

PARTE 4: Caracterización sísmica y geofísica de las áreas urbanas de las ciudades de Ilo y Pampa Inalámbrica.

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS: Documentos y Anexos se adjuntan en un DVD.

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 2017 el Proyecto “**Zonas Geográficas con Gestión de Información Sísmica**” y como parte del mismo, la Sub-Dirección de Ciencias de la Tierra Sólida desarrollo la Actividad “**Generación de Estudios Territoriales de Peligro Sísmico**” a fin de obtener el Mapa de Zonificación Sísmica – Geotécnica (Comportamiento Dinámico del Suelo) para el área urbana de las siguientes ciudades (Figura 1):

- **Tacna**, distrito de Tacna, provincia de Tacna, región de Tacna.
- **Alto de la Alianza**, distrito de Alto de la Alianza, provincia de Tacna, región Tacna.
- **Ciudad Nueva**, distrito de Ciudad Nueva, provincia de Tacna, región de Tacna.
- **Boca del Río**, balneario del distrito de Sama, provincia de Tacna, región de Tacna.
- **Ite**, distrito de Ite, provincia de Jorge Basadre y región de Tacna.
- **Ilo, Pampa Inalámbrica**, distrito de Ilo, provincia de Mariscal Nieto, región de Moquegua.
- **Moquegua**, distrito Moquegua, provincia de Mariscal Nieto, región de Moquegua.
- **Torata**, distrito de Torata, provincia de Mariscal Nieto, región de Moquegua.

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

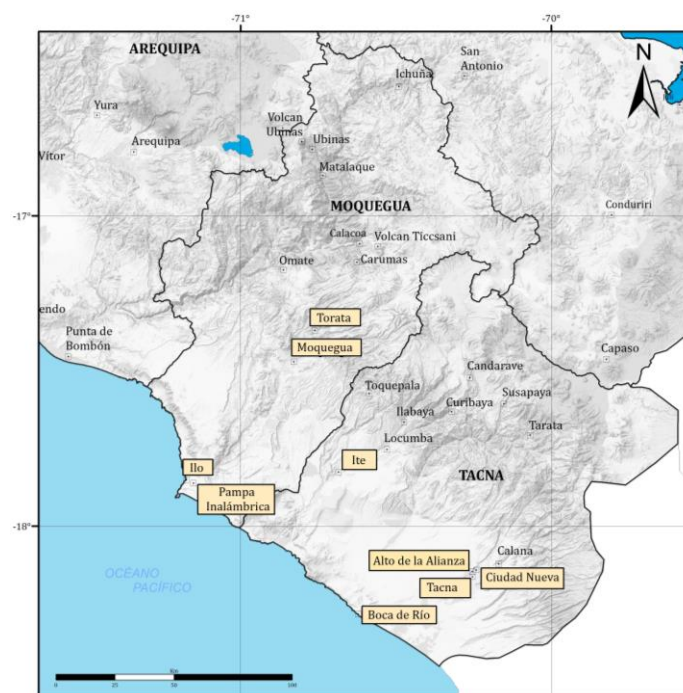


Figura 1: Distribución espacial de las ciudades intervenidas durante el año 2017: Zonificación Sísmica– Geotécnica de suelos.

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

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

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

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

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

1.1. Objetivo

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

1.2. Historia

Los primeros habitantes de Ilo se remontan a los pobladores de la cultura Chiribaya (700 – 1200 a.n.e) quienes consolidaron la actividad agrícola a lo largo del valle del río Osmore y la zona litoral. Doscientos años más tarde, durante el dominio incaico, la ocurrencia de flujos aluvionales en el valle destruye el sistema agrícola desarrollado hasta ese momento, ocasionando el desabastecimiento de alimentos para los asentamientos poblacionales de la franja litoral.

Durante la época Republicana, cerca del año de 1868, ocurre un sismo de gran magnitud que destruye los asentamientos localizados en el actual distrito de Pacocha. Este hecho marcó el inicio de la nueva morfología urbana de Ilo, puesto que, los afectados reubicaron sus viviendas en las zonas adyacentes al antiguo desembarcadero (actual muelle fiscal).

A partir de 1925, se da inicio la actividad industrial en Ilo con la instalación de la fábrica Lever Pacocha que producía jabones y aceite, la fábrica de conservas San Pedro y la empresa pesquera Ilo (EPISA). Cabe indicar que, las actividades primarias

como la agricultura y pesca fueron la base de la economía local hasta 1960, año en el cual se inaugura la fundición al norte y las industrias pesqueras en la franja del litoral sur, ocasionando la transformación económica de Ilo (Figura 2).

Ésta transformación económica convierte a Ilo en un lugar de interés para poblaciones migrantes de distintas zonas del país. Es así como inicia el surgimiento de barrios marginales entorno al centro de la ciudad, ocasionando para 1970 la creación de la provincia de Ilo, constituida por los distritos de Ilo, Pacocha y el Algarrobal.

Entre la década de los 70 y 80, se produce la creación de los asentamientos humanos Kennedy y Miramar, cuya ocupación traspasa la línea férrea. Asimismo, a inicios de los 90 se produce una ocupación territorial planificada en el actual sector de Pampa Inalámbrica (Alto Ilo). Actualmente, por la continua presión demográfica, éste lugar presenta asentamientos no planificados a causa de las invasiones y tráfico de terrenos (Municipalidad Provincial de Ilo, 2009).



Figura 2: Plaza principal de la ciudad de Ilo.

Actualmente, según el censo realizado por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) en el 2007, presenta una extensión territorial de 345.52 Km² ocupada por una población de 59132 habitantes (INEI, 2007).

La ciudad de Ilo se ubica a 870 km al sur de Lima, provincia de Ilo, región Moquegua, en las coordenadas UTM: 251890E y 8048528N, a una altura de 24 m.s.n.m. Limita: con el Norte: Algarrobal, por el Este Ite, por el Sur Océano Pacífico y por el Oeste: con el Océano Pacífico. Cabe indicar que, la ciudad de Ilo está

conformada por el centro urbano y los sectores Bello Horizonte, Miramar, San Pedro, El Arenal y Villa Esperanza (Figura 3). Asimismo, Pampa Inalámbrica pertenece al distrito de Ilo y fue creado el 26 de mayo de 1970 bajo la ley N° 18298. Es uno de los seis distritos que conforman la provincia de Ilo en la región de Moquegua. Se ubica en las coordenadas 251758E y 8048471N y una altitud de 140 m.s.n.m (Figura 3).

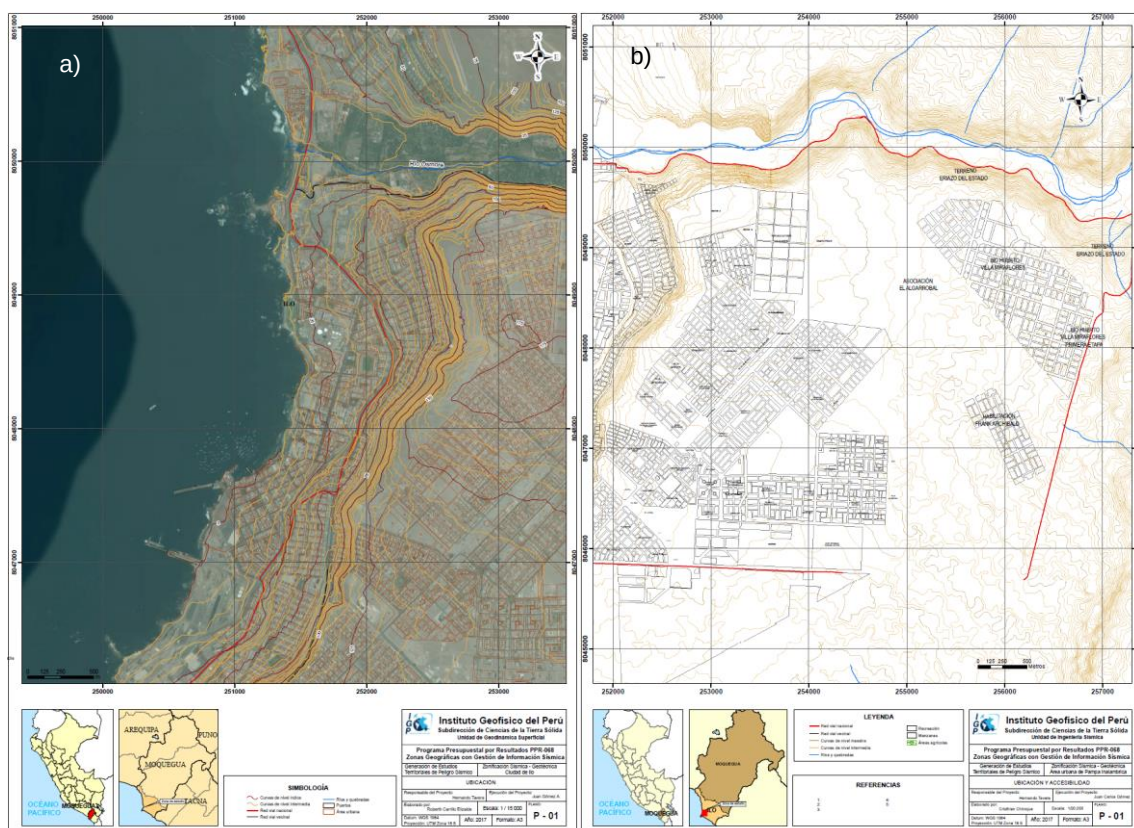


Figura 3: Mapa de ubicación geográfica de: a) ciudad de Ilo, b) ciudad Pampa Inalámbrica.

1.3. Accesibilidad y Clima

Desde la ciudad de Lima, el acceso a la ciudad de Ilo, se realiza por la carretera Panamericana Sur, a través de vía asfaltada en buen estado de conservación, y su recorrido es de aproximadamente 1120 km. Desde Ilo el acceso a la ciudad de Pampa Inalámbrica, es por una vía asfaltada que continúa por la costanera hasta llegar al km 4, (Ministerio de Transportes y Comunicaciones MTC).

Para conocer las condiciones climáticas en Ilo y Pampa Inalámbrica, se han tomado datos referenciales de la web del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). Información obtenida de la estación meteorológica "Punta Coles ", que se encuentra ubicada a 7 Km al suroeste de la ciudad de Ilo, en las

coordenadas geográficas: Latitud 17° 41' 55.2", Longitud 71 22' 25" y en la cota 25 m.s.n.m. Según los datos meteorológicos para el período 2015-2016, en la zona de estudio se presenta un clima variado: Moderado durante los meses de diciembre - marzo, mientras que, se presenta templado en los meses de abril - diciembre con temperaturas máximas promedio de 25 a 26 °C y mínimas promedio de 16 a 19°C, respectivamente. Los datos pluviométricos indican que las máximas precipitaciones alcanzan en promedio 1.5 mm mensuales, durante el mes de marzo (Figura 4 y Tabla 1).



Figura 4: Estación meteorológica “Punta Coles” que se ubica a 7 Km al suroeste de las ciudades de Ilo y Pampa Inalámbrica

Tabla 1: Registro de temperaturas mínimas, máximas y precipitaciones pluviales acumuladas, durante el período 2015 – 2016.

Variable	Año 2015											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
T° Max Promedio (°C)	25.38	26.26	25.71	24.59	23.05	20.58	19.58	19.21	20.36	21.42	23.30	24.71
T° Min Promedio (°C)	19.50	20.46	20.05	19.04	18.23	16.78	16.78	15.31	16.47	17.22	18.26	19.90
Precipitación (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	1.60	0.00	0.00
Variable	Año 2016											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
T° Max Promedio (°C)	26.08	27.16	23.70	SD	22.71	20.33	19.82	19.64	20.80	22.13	23.72	24.97
T° Min Promedio (°C)	21.00	21.39	18.14	SD	17.28	16.40	16.04	16.12	16.13	17.28	17.97	18.75
Precipitación (mm)	0.00	0.00	1.50	SD	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

1.4. Economía

En las ciudades de Ilo y Pampa Inalámbrica se presentan como la actividad económicamente más importante el comercio (INEI, 2007). Estas presentan una PEA (Población Económicamente Activa) de 24041 pobladores, solo el 40% realiza esta actividad económica (59,132 habitantes). De la población, la mayor proporción son vendedores y comerciantes con un 40%, siendo el segundo lugar para los obreros de construcción civil, minas y manufactura (11%).

Según Arbaiza (2014), la gestión estratégica que define como la creación de un conjunto de ventajas competitivas que siguen un objetivo estratégico expresado en la visión de la entidad pública o privada. En este caso la municipalidad de Ilo tiene como visión ser un gobierno “Gobierno Local líder del desarrollo, modelo de gestión pública Municipal, sensible y coherente con las necesidades ciudadanas. Con personal competente comprometido, trabajando en equipo, en un ambiente de armonía, solidaridad y participación”.

Asimismo, el puerto de Ilo es el séptimo puerto más importante del país ya que es usado para la carga y descarga de las mercancías relacionadas con la fundición. Southern Copper que ha sido y sigue siendo hoy en día, un elemento clave en el desarrollo económico de las ciudades y de la región.

1.5. Estudios previos

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

- Estudio Geológico y Geotécnico de la región Suroccidental del Perú – Boletín N° 22 Serie C. (INGEMMET – 1999). Tiene por finalidad describir las principales propiedades geotécnicas de los suelos de cimentación y presentar mapas de zonificación geotécnica de los departamentos de Arequipa, Moquegua y Tacna. Entre las 15 ciudades evaluadas se tomó en cuenta el distrito de Ilo y a continuación, se mencionan información relevante del lugar en mención:

La ciudad de Ilo se encuentra en una zona de litoral que se caracteriza por la presencia de planicies de erosión marina, desarrollándose en dos terrazas escalonadas: la primera se ubica entre la planta de fundición y Punta Coles con altitudes entre 60 y 120 m.s.n.m. Mientras que, la segunda se sitúa al sureste de Punta Coles y comprende elevaciones entre 15 y 20 m.s.n.m.

Desde el punto de vista geodinámico, indican que los peligros geológicos que afectan la seguridad física de los pobladores de Ilo y alrededores se tienen los sismos, debido a que la zona sur del Perú y norte de Chile se encuentran adyacentes al área de subducción de la placa Oceánica de bajo de la Continental; muestra de ello, es la ocurrencia de sismos de grado M8 durante los años 1604, 1687, 1715, 1868 (epicentro en Arica) y 1877 (epicentro en Iquique). El informe menciona que, a consecuencia de los sismos se generan inundaciones por Tsunamis, donde Ilo sería el distrito más afectado, produciendo que el agua se desplace 400 m hacia el área urbana y 450 en las inmediaciones del río Ilo.

Geológicamente, indican que la ciudad de Ilo antigua y Puerto Ilo, se asientan sobre remanentes de roca metamórfica tipo anfibolita que se presentan alteradas y cubiertas por depósitos marinos (arenas y gravillas sub-angulares con restos calcáreos y horizontes aislados de caliche). Luego, se tienen rocas intrusivas tipo granodioritas en Pampa Inalámbrica y finalmente, materiales del Cuaternario como los depósitos proluviales (conglomerados intercalados con sal y yeso) ubicados en los A.A.H.H Alto Ilo, terrenos ENACE, siglo XXI, 24 de Octubre y Los Ángeles; depósitos marinos (gravas y gravillas con fragmentos de conchuela), localizados al sur de Punta Coles (Terrenos de CÉTICOS Ilo y aropuerto) y los depósitos fluviales (gravas subredondeadas) que se sitúan al noroeste de Ilo (Asociación César Vallejo de Pacocha).

- Ministerio de Agricultura – Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA - 2004). Estudio hidrogeológico del valle Moquegua - Ilo. Este estudio tiene como objetivo evaluar el estado de los recursos hídricos en el valle Moquegua – Ilo que comprende los distritos de Samegua, Moquegua, El Algarrobal, Pacocha e Ilo.

Menciona que, para determinar las condiciones hidrogeológicas y el área de influencia del valle Moquegua – Ilo se han llevado a cabo 161 sondeos

eléctricos verticales (SEVs), de los cuales 70 se llevaron a cabo en la ciudad de Ilo y con los cuales se construyeron 5 secciones geolétricas:

En base a las condiciones geolétricas del suelo se determinó que en los sectores Sausal, La Florida y Ozorín las resistividades (45 a 65 Ω m) indican que se pueden perforar pozos de 25 m de profundidad. Luego, en los sectores Higueral, pasando por El Hueso, La Salvadora, La Compañía, Sacramento, Chirimoya, Santo Domingo y Majuelo, se presentan varias áreas con buenas condiciones geolétricas (45 – 90 Ohm.m), valores que indican que sólo deben excavar pozos de poca profundidad (hasta 20 m).

También, se obtuvo en base a los valores de resistividad, el espesor de los materiales Cuaternarios: Entre los sectores El Yaral y Chiviquina varían de 11.00 m hasta 25.00 m; entre los sectores Chiviquina y La Salvadora los espesores varían de 13.00 a 39.00 m; siendo el sector La Salvadora el de mayor espesor (30.00 – 39.00 m). Entre los sectores La Salvadora y Santo Domingo, los espesores totales fluctúan de 10.00 a 34.00 m; presentándose mayores dimensiones en los sectores de Campania con 34.00 m (SEV N° 16) y Chiribaya con 33.00 m (SEV N° 14). Finalmente, entre los sectores de Majuelo y Mostazal, los espesores totales varían de 20.00 a 43.00 m; presentándose en Mostazal y Uruhuasi los mayores espesores (43.00 y 38.00 m).

- Evaluación de peligros de la ciudad de Ilo (UNSA – INDECI, 2001). La elaboración del mapa de peligros de la ciudad de Ilo, ha permitido identificar los principales peligros de origen natural, relacionados a la geodinámica interna y externa que podrían afectar la seguridad física de la ciudad de Ilo y áreas de expansión urbana. Para la identificación de estos peligros se han llevado a cabo estudios geológicos, geofísicos y geotécnicos, los cuales se describen a continuación:

Desde el punto de vista geológico, en el área de estudio afloran rocas que comprenden edades entre el Precambiano y Cuaternario reciente, cuya litología es de naturaleza metamórfica, ígnea y sedimentaria. Considera que la formación geológica más antigua es la denominada Complejo Basal de la Costa que aflora en la orilla del mar y consiste en rocas metamórficas asociadas con intrusiones de granito rojo.

Entre los distintos eventos geodinámicos que menciona el informe, resaltan los originados por la acción eólica, entre ellos el arenamiento que ocasionalmente obstruye las principales vías de acceso (carreteras). Por otro lado, las inundaciones y erosión fluvial en la desembocadura del río Osmore y quebradas ubicadas en las inmediaciones de Pacocha representan nivel de peligrosidad bajo, debido a la ausencia de precipitaciones pluviales. En cuanto a los movimientos en masa, indica que la pendiente existente en la parte alta de Miramar podría considerarse como nivel de peligro medio por el tipo de material y en consecuencia no aparente para una futura expansión urbana. Finalmente, el informe menciona que Ilo se encuentra en una zona altamente sísmica y entre los efectos que podrían originarse, resaltan los tsunamis. De acuerdo a datos históricos, los tsunamis ocurridos en los años de 1868 y 1877, las zonas de inundación consideran alturas de agua de 15 metros y el mar podría penetrar hasta una distancia de 400 metros en la desembocadura del río, lo que la hace sumamente peligroso.

- Geología de los cuadrángulos de Ilo y Locumba (Servicio de Geología y Minería, 1964). En este boletín se describe los resultados de los trabajos de campo mapeando principalmente rocas ígneas sedimentarias y metamórficas cuyas edades van desde el Pre-Cámbrico hasta el Cuaternario.
- Estudio geológico – geotécnico de la Región Suroccidental del Perú INGEMMET (2006). El objetivo de dicho estudio fue caracterizar los suelos y las características geomecánicas de los suelos de cimentación de las localidades en estudio. Mostrar valores de capacidad de cargas admisibles para realizar una zonificación de suelos a escala 1/25 000.
- Evaluación de Peligros de la Ciudad de Ilo PNUD-INDECI (2001). Este estudio definió las características físicas de los suelos de la ciudad de Ilo mediante estudios geológicos, geofísicos y geotécnicos. A partir de los resultados de los mismos se elaboraron mapas de peligros identificando las zonas de mayor vulnerabilidad.
- Geomorphic evidences of recent tectonic activity in the forearc, Southern Perú (Audin, et al, 2006). Esta investigación describe los marcadores geomorfológicos producto de los sistemas de fallas que actúan en el periodo

cuaternario. Se resalta que algunas de las fallas que se identifican son capaces de generar sismos importantes.

- Upper plate deformation and seismic barrier in front of Nazca subduction zone: The Chololo Fault System and active tectonics along the Coastal Cordillera, Southern Peru (Audin et al, 2008). En dicho estudio se resalta el sistema de fallas normales que afectan la franja costera donde se ubican los grandes abanicos aluviales del Holoceno y que se extienden entre Moquegua y Tacna.
- Implicancias de la falla Chololo en la Pampa Inalámbrica Ilo (Meza y Chacón, 2014). En este informe se recopilan diversas fuentes de información para plasmar el trazo de la Falla Chololo evidenciada en el sismo del 23 de junio del 2001. Las inspecciones a diversas infraestructuras como Instituciones Educativas y viviendas muestran grietas en paredes y columnas.

2. CONDICIONES LOCALES DE SITIO

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

Las condiciones locales de sitio son evaluadas en los estudios de Zonificación Sísmica - geotécnica y el resultado es considerado como una de las herramientas más importantes para minimizar los daños producidos por los sismos. La finalidad es evaluar el comportamiento dinámico de los suelos (CDS), teniendo en cuenta que la intensidad del sacudimiento sísmico varía considerablemente a distancias cortas y áreas pequeñas. Diversos estudios muestran, que los suelos ante la incidencia de ondas sísmicas asociadas a movimientos débiles y/o fuertes, responden de acuerdo a sus condiciones locales, pudiendo estos modificar el contenido frecuencial de las ondas y/o generar amplificaciones de las ondas sísmicas (Hartzell, 1992; Beresnev et al., 1995; Bard 1995; Lermo y Chávez-García, 1993, 1994 a, b; Bard y Sesame, 2004; Bernal, 2002), ver Figura 5.

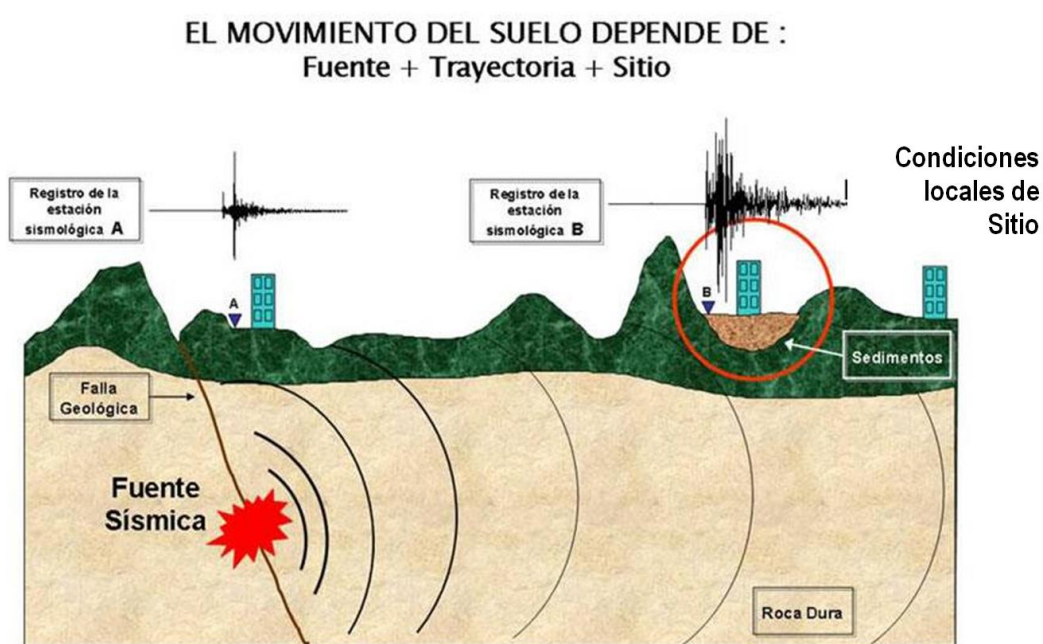


Figura 5: Las condiciones locales de sitio controlan la amplificación del sacudimiento del suelo, puesto en evidencia con la amplitud del registro sísmico obtenido sobre roca y sedimentos.

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

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

2.1. La Norma Técnica E.030

En el Perú, la construcción de obras civiles de cualquier envergadura debe considerar la Norma Técnica E.030 “Diseño Sismorresistente” del Reglamento Nacional de Edificaciones, modificada según Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda. Básicamente, esta norma considera los perfiles de suelos en función de sus propiedades físicas, tomando en cuenta la velocidad promedio de propagación de las ondas de corte, o alternatively, 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 Sísmica – Geotécnica se realiza en función de las características mecánicas y dinámicas de los suelos que conforman el terreno de cimentación del área de estudio y de las consideraciones dadas por Norma E.030 (Diseño Sismorresistente). En tal sentido y de acuerdo a los estudios realizados, se establece la existencia de 5 zonas cuyas características son:

ZONA I: Comprende a suelos Tipo S1, cuyas velocidades de ondas de corte (Vs) varían entre 500 y 1500 m/s, correspondiendo a suelos rígidos a muy rígidos. Esta zona está conformada por estratos de grava coluvial que se encuentra a nivel superficial o cubiertos por un estrato de material fino. Los periodos dominantes en esta zona son de 0.1 y 0.3 segundos.

ZONA II: Comprende a suelos Tipo S2, cuyas velocidades de ondas de corte (Vs) varían entre 180 y 500 m/s, correspondiendo a suelos medianamente rígidos. Esta zona está conformada por estratos superficiales finos y suelos arcillosos con espesores de hasta 10 metros, subyaciendo a estratos de grava. Los periodos dominantes en esta zona son de 0.3 y 0.5 segundos.

ZONA III: Comprende a suelos Tipo S3, cuyas velocidades de ondas de corte (Vs) son <180 m/s, correspondiendo a suelos blandos. Esta zona está conformada por estratos superficiales finos y arenas de gran espesor que se encuentran en un estado suelto, subyaciendo a estratos de material gravoso. Los periodos dominantes en esta zona son de 0.5 y 0.7 segundos.

ZONA IV: Comprende a suelos Tipo S4, cuyas características físicas y dinámicas son excepcionales. Esta zona está conformada por:

-Zona IVa: Depósitos eólicos, fluviales, marinos y/o suelos pantanosos.

-Zona IVb: Zonas de topografía irregular, susceptibles a generar derrumbe, flujos detríticos.

-Zona IVc: Depósitos de relleno sueltos, desmonte heterogéneo, rellenos sanitarios.

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

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

El estudio de Zonificación Sísmica – Geotécnica para las áreas urbanas de las ciudades de Ilo y Pampa Inalámbrica, ha permitido llegar a las siguientes conclusiones (Figura 6):

- En el área urbana de la ciudad de Ilo se han identificado la existencia de ocho unidades geomorfológicas: lecho fluvial, llanura de inundación, terraza fluvial, terraza aluvial, terraza marina, playa, llanura aluvial y acantilado. El área urbana se asienta sobre una terraza marina y terraza fluvial. La geomorfología del área urbana de Pampa Inalámbrica está conformada por una extensa llanura aluvial que abarca el 60% de la zona de estudio y sobre la cual se asienta la mayor parte del área urbana de la ciudad.
- Los eventos geodinámicos identificados son las inundaciones fluviales y flujos de detritos que afectan el sector Pacocha; asimismo, en el área urbana de Ilo se identificó que los acantilados ubicados entre la ciudad de Ilo y Pampa Inalámbrica son susceptibles a desprendimientos ante la ocurrencia de un evento sísmico; así como en el sector Puerto Ingles (extremo sur de Ilo).
- En el área urbana de Ilo se han identificado cinco tipos de suelos: gravas mal graduadas (GP) en el sector Pacocha, arenas mal graduadas (SP) en la parte urbana de Ilo, arena limosa (SM) en la zona urbana, limo inorgánico (ML) en el margen derecho del río Osmore (inmediaciones de ex local Pesca Perú). En el área urbana de la ciudad de Pampa Inalámbrica, los tipos de suelos están conformados por arenas mal graduadas (SP) sobre el 40% del área de estudio y se encuentra distribuidos en los sectores: Bio Huerto Villa Miraflores, Ramiro Priale, Vista Alegre, Alto Chiribaya, Nueva Generación, Habitación Urbana Frank Archibald, Villa Libertad, Promuvi IV Sector 8, Villa Paraíso, Villa Progreso y 24 de Octubre.
- Los resultados obtenidos de las razones espectrales H/V, indican que los suelos del área de estudio, responden en dos rangos de frecuencias F_0 y F_1 ($F < 2.0\text{Hz}$ y $F > 20\text{Hz}$). Dentro de F_0 , predominan las frecuencias de 1.0 y 2.0 Hz, distribuidas próximos al estadio Domingo Mcal. Nieto en Ilo cercado, al extremo

Este de la zona céntrica de Pacocha y de manera dispersa en Pampa Inalámbrica. Frecuencias F1 se distribuyen de manera uniforme con valores entre 3 a 10 Hz, y mayores amplificaciones próximos al río Osmore y próximos a la Asoc. Villa Progreso en Pampa Inalámbrica.

- De los resultados de MASW, para el área de Ilo cercado se definen la presencia de 2 capas sísmicas y un semiespacio, a excepción de la Asoc. Francisco Bolognesi donde se define 1 capa y un semiespacio. En la zona céntrica de Ilo se presentan suelos muy rígidos para la primera y segunda capa (Vs 548 a 768 m/s) con un espesor total de 13 metros. Asimismo, la zona próxima al río Osmore (Valle Pacocha) presenta suelos blandos para la primera capa (Vs 202 m/s) con espesor del orden de 11 metros.
- El área de Pampa Inalámbrica, se considera la existencia de rocas moderadamente duras (Vs 826 a 1013 m/s) en superficie y suelos rígidos (Vs 421 a 489 m/s) a moderadamente rígidos (Vs 265 a 353 m/s), en dirección este y Noreste, con espesores entre 4 y 5 metros que suprayace a suelos rígidos y a muy rígidos en profundidad.
- Asumiendo para los suelos de las ciudades de Ilo y Pampa Inalámbrica las velocidades de ondas de corte (Vs) promedio de 200, 300 y 450 m/s para la capa superficial y periodos de 0.2, 0.3 y 0.5 respectivamente, se estima espesores de 10, 20 y 60 metros para el estrato superficial. Los menores espesores se presentan en Ilo cercado y los mayores en Pampa Inalámbrica.
- Según los resultados de Tomografía eléctrica, en el cercado de Ilo predominan materiales muy bajo resistivos a bajo resistivos a niveles superficiales, con nivel freático a partir de los 2 metros de profundidad. Al norte y sur de la Plaza de Armas de Ilo predominan en superficie, materiales resistivos a muy resistivos. En Pampa Inalámbrica, en superficie predominan materiales resistivos a muy resistivos.
- Los resultados obtenidos para las áreas urbanas de Ilo y Pampa Inalámbrica han permitido identificar, según las características dinámicas del suelo, la existencia de Tres (3) zonas sísmicas correspondientes a suelos Tipo S1, S2 y S4; es decir suelos rígidos, medianamente rígidos y excepcionales respectivamente.

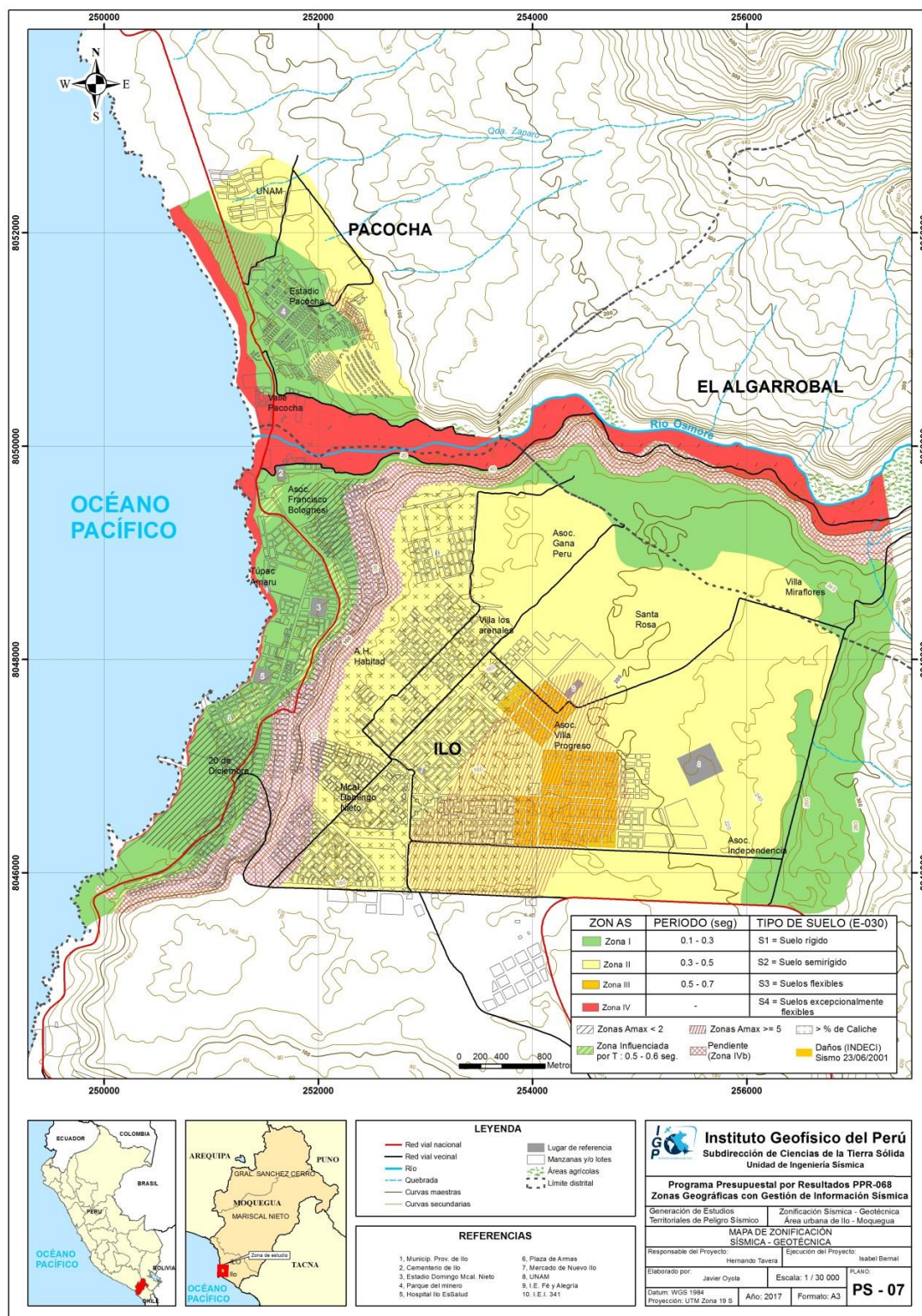


Figura 6: Mapa de Zonificación Sísmica – Geotécnica para las áreas urbanas de las ciudades de Ilo y Pampa Inalámbrica.

Recomendaciones

- Evitar que el área urbana de la ciudad de Ilo en su crecimiento, se emplace en las inmediaciones del acantilado, debido a que este sector podría ser desestabilizado y originar eventos geodinámicos.
- En las inmediaciones de la Av. Circunvalación Cuajone (vía que une Ilo con Pampa Inalámbrica), dar mantenimiento al sistema de drenaje, debido a que en algunos sectores se han identificado probables asentamientos de suelos, a causa de la saturación que se produce por la rotura de tuberías.
- El muro de la Av. Circunvalación Cuajone se asienta sobre material caliche que ha sido apilado de forma artesanal; por lo tanto, se debe reforzar estas estructuras para evitar colapsos (disgregación de suelos por efectos del agua).
- En las quebradas de Pacocha, evitar colmatar sus cauces con residuos sólidos o desmontes debido a que en caso de precipitaciones intensas, los flujos, pueden drenar hacia las áreas urbanas.
- En la parte sur de la ciudad de Ilo (sector Puerto Ingles), eventos geodinámicos como la caída de rocas podrían afectar a los transeúntes; es necesario realizar el desquinche de los afloramientos fracturados o meteorizados.
- En el margen derecho del río Osmore, inmediaciones del ex local Pesca Perú, se han identificado arenas y materiales finos (limos y arcillas) con presencia de nivel freático a 2.20 m de profundidad pudiendo generar licuación de suelos.
- En la Asoc. 7 de Mayo se encontró nivel freático a 1.50 m de profundidad de tipo salobre; información que se debe considerar para el adecuado crecimiento urbano.
- En las zonas adyacentes al río Osmore, se han clasificado zonas de inundación por crecidas en temporadas de lluvias, información a considerar para el crecimiento urbano.

CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA DEL ÁREA URBANA DE LA CIUDAD DE ILO

CONTENIDO

1. METODOLOGÍA

1.1. Base Topográfica

2. GEOMORFOLOGIA

2.1. Modelo Digital de Elevación (MDE)

2.2. Pendiente

2.2.1. Clasificación del grado de pendientes

2.3. Unidades geomorfológicas

2.3.1. Playa

2.3.2. Lecho fluvial

2.3.3. Llanura de inundación

2.3.4. Terraza marina

2.3.5. Terraza aluvial

2.3.6. Terraza fluvial

2.3.7. Acantilado

2.3.8. Llanura aluvial

3. GEOLOGÍA

3.1. Geología regional

3.1.1. Geología histórica

3.2. Geología estructural

3.2.1. Zona de depresión o hundimiento

3.2.2. Zona de bloques

3.2. Geología local

3.3.1. Súper unidad Punta coles

3.3.2. Súper unidad Ilo

3.3.3. Depósitos Cuaternarios

4. GEODINÁMICA

4.1. Procesos de geodinámica interna

4.2. Procesos de geodinámica externa

4.2.1. Caída o desprendimiento

4.2.2. Inundaciones

4.2.3. Flujos de detritos

4.3. Zonas Susceptibles a procesos geodinámicos externos

5. ASPECTOS GEOTÉCNICOS

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

5.1.1. Descripción de calicatas

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

5.2.1. Procedimiento

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

5.3.1. Procedimiento

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

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

5.5.1. Cálculo del ángulo de fricción interna a partir del NSPT

5.6. Clasificación SUCS para suelos

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

5.8. Capacidad de carga admisible

5.8.1. Carga última

5.8.2. Capacidad de carga admisible muy baja

CONCLUSIONES

1. METODOLOGÍA

El estudio de cartografiado geológico, geomorfológico, geodinámico y de exploraciones geotécnicas realizadas en el área urbana de las ciudades de Ilo, se desarrolló en cinco fases:

- ✓ **Gabinete I:** Las actividades realizadas incluyeron la recopilación e interpretación de imágenes satelitales pancromáticas no estereoscópicas (WorlView-2 con resolución 0.5 m., del servidor DigitalGlobe, año 2010).

Revisión de información geológica regional y local existente (boletines geológicos, informes técnicos, entre otros).

Elaboración de mapas temáticos preliminares de ubicación, geología y geomorfología para los trabajos de campo a escala gráfica 1:30000.

- ✓ **Campo I:** Se realizó el cartografiado de las unidades geomorfológicas y litológicas aflorantes a escala 1: 15 000. Asimismo, se identificó y delimitó los eventos geodinámicos a escala 1: 25 000: áreas potencialmente susceptibles a la ocurrencia de flujos de lodos y/o detritos e inundaciones fluviales.
- ✓ **Campo II:** Elaboración de ensayos geotécnicos: calicatas, DPL, posteos y densidad natural in situ.

Elaboración de calicatas: Se realizaron 7 calicatas a profundidad promedio de 1.00 m: distribuidas en el centro urbano y zonas de expansión urbana.

Ensayos de penetración dinámica ligera (DPL): Se realizaron 11 DPL para determinar la resistencia de los suelos.

Ejecución de auscultaciones haciendo uso de una posteadora en zonas intermedias a la ubicación de las calicatas más próximas: se realizaron 11 posteos.

El plano de ubicación de exploraciones fue elaborado a escala 1: 20 000.

- ✓ **Laboratorio:** En esta etapa se realizaron los ensayos de mecánica de suelos tales: granulometría (clasificación SUCS), humedad, densidad y corte directo (capacidad de carga admisible).
- ✓ **Gabinete II:** Elaboración del informe técnico.

1.1. Base Topográfica

El levantamiento fotogramétrico para la ciudad de Ilo abarco un área de 810 hectáreas (sector urbano) y para su ejecución se utilizó un vehículo aéreo no tripulado (VANT), obteniéndose un plano topográfico a escala 1: 15,000 con curvas de nivel (líneas que unen puntos con igual altitud) a una resolución espacial de 5 m (Figura 1).



Figura 1: Área del levantamiento topográfico para la ciudad de Ilo

2. GEOMORFOLOGÍA

La geomorfología estudia las diferentes formas de relieve de la superficie terrestre (geoformas) y los procesos que las generan, este relieve es el resultado de la interacción de fuerzas endógenas y exógenas. Las primeras actúan como creadoras de grandes elevaciones y depresiones producidas fundamentalmente por movimientos en masa de componente vertical; mientras que, las segundas, como desencadenantes de una continua denudación que tiende a rebajar el relieve originado, estos últimos llamados procesos de geodinámica externa, se agrupan en la cadena meteorización, erosión, transporte y sedimentación (Gutiérrez, 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 geomorfológicas (geoformas) existentes en el área urbana de la ciudad de Ilo, en relación a su origen. Previamente, en base al levantamiento topográfico, Modelo Digital de Elevación (MDE) y pendientes se caracterizan y delimitan las unidades geomorfológicas del terreno (geoformas), que luego fueron verificadas y validadas durante el trabajo de campo.

2.1. Modelo Digital de Elevación (MDE)

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

Para la elaboración del MDE de la ciudad de Ilo, se tomó en cuenta el uso de herramientas SIG sobre las curvas de nivel diseñadas anteriormente, obteniendo como resultado la representación digital de la superficie del terreno sobre un área de 20 km² aproximadamente (Figura 2).

En base al MDE elaborado para el área urbana de la ciudad de Ilo se ha reconocido que la zona urbana se asienta sobre dos terrazas que comprenden altitudes máximas de 25 y 75 m.s.n.m.

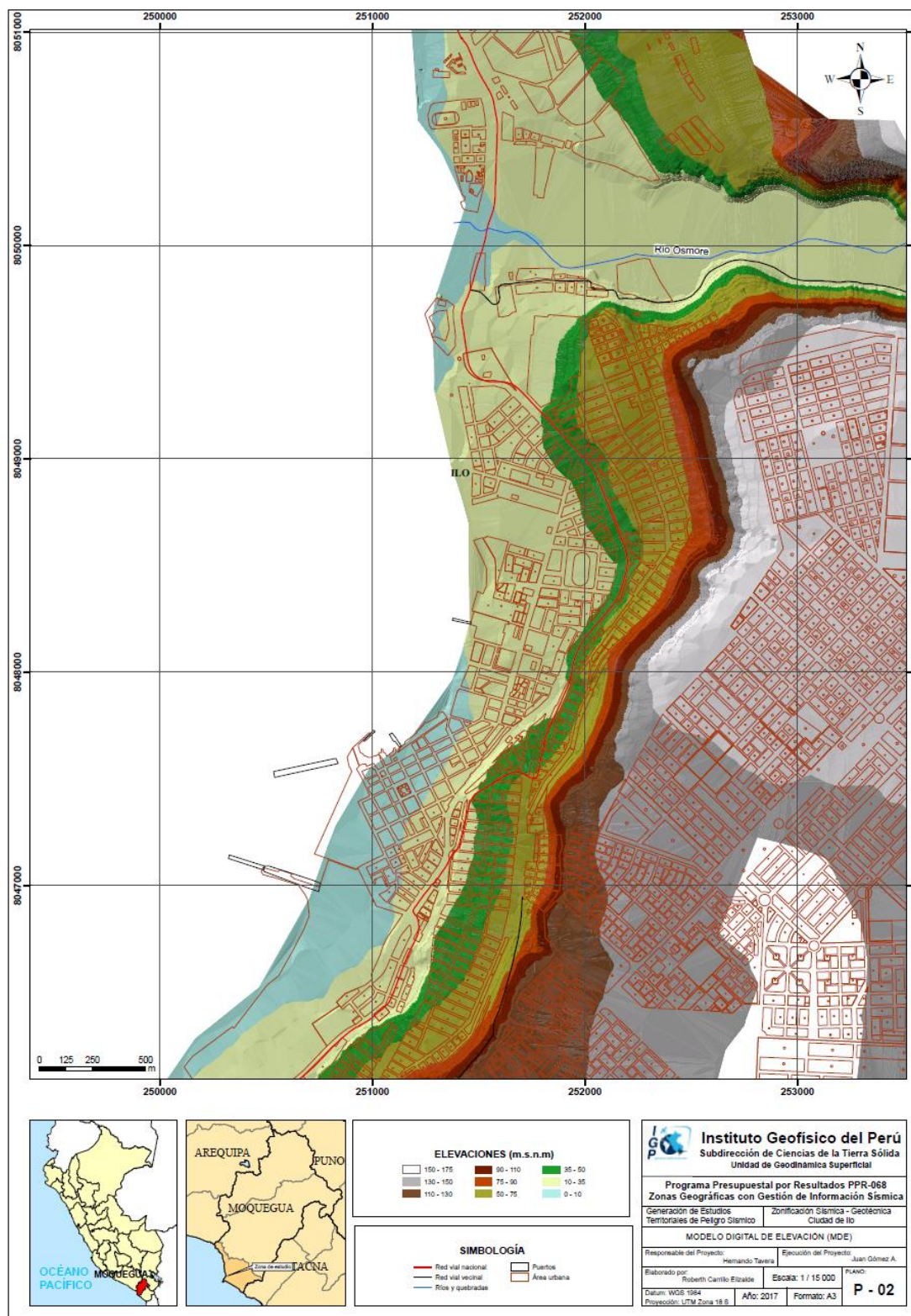


Figura 2: Mapa de modelo digital de elevación para el área urbana de Ilo y alrededores

2.2. Pendientes

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

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

2.2.1. Clasificación del grado de pendientes

Para la clasificación de los rangos de pendientes se usó como fuente el Boletín N° 29 Serie C (Fidel et al 2006), ver Tabla 1.

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

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

La parte central del área urbana de la ciudad de Ilo se encuentra asentada sobre una terraza de pendiente menor a 5°; mientras que, en la parte oriental la terraza presenta una pendiente menor a 20° y finalmente, la terraza que limita con el área urbana de Pampa Inalámbrica presenta pendientes de hasta 50° en promedio.



Figura 3: Mapa de pendientes del terreno para el área urbana de la ciudad de Ilo y alrededores.

2.3. Unidades geomorfológicas

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

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

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

En base a las características físicas de las geoformas y su origen en el área urbana de la ciudad de Ilo se cartografiaron la estructura de ocho unidades geomorfológicas: lecho fluvial, llanura de inundación, terraza aluvial, terraza fluvial, terraza marina, playa, llanura de aluvial y acantilado (Tabla 2 y Figura 4).

Tabla 2: Determinación de geoformas en el área urbana de Ilo en base a las características físicas y su origen.

GEOMORFOLOGÍA ILO			
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		ORIGEN	UNIDAD GEOMORFOLÓGICA
Pendiente	<5°	Depositacional	Playa
Geometría	Regular		
Drenaje	Variable		
Pendiente	<5°	Denudacional	Lecho fluvial
Geometría	Irregular		
Drenaje	Irregular		
Pendiente	<5°	Depositacional	Llanura de inundación
Geometría	Regular		
Drenaje	Variable		
Pendiente	<5°	Depositacional	Terraza fluvial
Geometría	Regular		
Drenaje	Variable		
Pendiente	<5°	Depositacional	Terraza marina
Geometría	Alargada		
Drenaje	Variable		
Pendiente	5° - 20°	Depositacional	Terraza aluvial
Geometría	Alargada		
Drenaje	Variable		
Pendiente	< 5°	Depositacional	Llanura aluvial
Geometría	Regular		
Drenaje	Variable		
Pendiente	> 20°	Denudacional	Acantilado
Geometría	Alargada		
Drenaje	Variable		

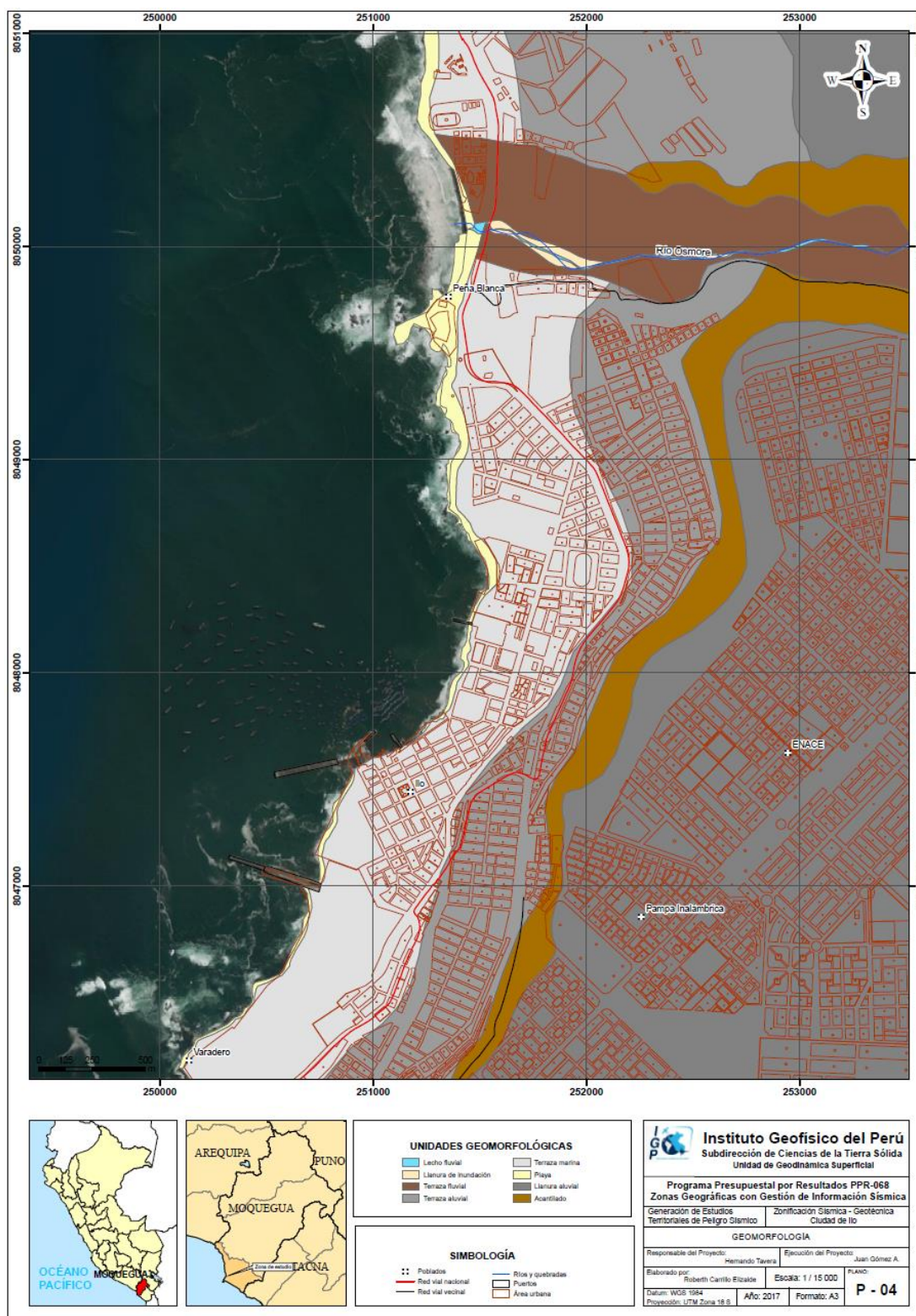


Figura 4: Mapa geomorfológico para el área urbana de la ciudad de Ilo y alrededores

2.3.1. Playa

Esta geoforma de origen depositacional presenta una longitud de 5 Km, pendiente $<5^\circ$ y geometría alargada. Esta unidad abarca 3.1 % del área de estudio y se encuentra formando un lineamiento con dirección norte – sur. Se identificó en la parte occidental del área urbana de Ilo. Sobre ésta unidad geomorfológica se asientan áreas recreativas (parques, entre otros) (Figura 5).



Figura 5: Playa (línea amarilla) ubicada en las inmediaciones de la desembocadura del río Osmore.

2.3.2. Lecho fluvial

Esta unidad geomorfológica presenta una pendiente $<5^\circ$, así como una geometría y drenaje irregular. Esta unidad abarca menos del 0.3 % del área de estudio y se encuentra a lo largo del cauce del río Osmore, cuyas aguas tienen dirección este a oeste (Figura 6).

2.3.3. Llanura de inundación

Esta unidad geomorfológica presenta una pendiente $<5^\circ$, así como una geometría y drenaje irregular. Se hace mención que, esta unidad abarca menos del 3.1 % del área de estudio: ambos márgenes del río Osmore (Figura 7).



Figura 6: Lecho fluvial del río Osmore, ubicado en la parte norte del área urbana de Ilo.



Figura 7: Llanura de inundación (Línea amarilla) ubicada en ambos márgenes del río Osmore.

2.3.4. Terraza marina

Esta unidad geomorfológica presenta una pendiente mayor a 5° e inferior a 20° con una geometría regular (alargada), drenaje variable y está conformada por materiales heterogéneos (arenas, gravas y conglomerados) con intercalaciones de restos calcáreos (conchuelas y coquinas meteorizadas). La unidad abarca el 13.9 % del área de estudio y sobre esta, se sitúa parte del área urbana de la ciudad de Ilo (Figura 8).



Figura 8: Terraza de origen marino (línea roja) en las inmediaciones del área urbana de Ilo (casco urbano central); mientras que, la terraza aluvial (línea amarilla) comprende los sectores Alto Miramar y Bello Horizonte.

2.3.5. Terraza aluvial

Esta unidad geomorfológica de origen depositacional comprende el 5.3 % del área de estudio y esta conforma por una terraza inclinada de pendiente entre 5° a 20° , así como una geometría y drenaje irregular. Sobre esta unidad se asientan las viviendas ubicadas en el extremo este del área urbana de la ciudad de Ilo.

2.3.6. Terraza fluvial

Esta unidad geomorfológica presenta una pendiente $<5^{\circ}$, así como una geometría y drenaje irregular. La unidad abarca el 4.8 % del área de estudio y se identifica en ambos márgenes del río Osmore (Figura 9).



Figura 9: Terraza fluvial (Línea amarilla) ubicada en ambos márgenes del río Osmore.

2.3.7. Acantilado

Esta unidad geomorfológica constituye relieves verticales con pendientes mayores a 40° (desniveles topográficos abruptos), así como geometría y drenaje irregular. La unidad abarca el 5.4 % del área de estudio y divide los distritos de Ilo y Pampa Inalámbrica (Figura 10).

2.3.8. Llanura aluvial

Esta unidad geomorfológica presenta una pendiente $<5^\circ$, así como una geometría y drenaje irregular. La unidad abarca el 54.5 % del área de estudio y sobre esta superficie se ubica en el área urbana de Pampa Inalámbrica (Figura 10).



Figura 10: Llanura aluvial sobre la cual se asienta el área urbana de Pampa Inalámbrica, así como acantilado (línea amarilla) que divide los distritos de Ilo y Pampa Inalámbrica.

3. GEOLOGÍA

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

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

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

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

3.1. Geología regional

El marco geológico regional de una ciudad es importante para comprender los procesos y eventos geológicos que ocurrieron a gran escala. Es así que, se recopiló la información geológica regional del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET, 2007) a escala 1: 50,000. En ésta, se describen las unidades litológicas aflorantes cuyas edades se encuentran desde el Jurásico Superior hasta el cuaternario reciente.

3.1.1. Geología histórica

Según Narváez (1964), hace 200 millones de años (jurásico inferior), en el valle de Ilo, predomina un ambiente continental con ciertas zonas de mares someros, así como una intensa actividad volcánica, lo que originó rocas tales como dioritas y gabros de la unidad punta coles.

Luego, en el jurásico medio (174 Ma), ocurre un proceso de subsidencia (hundimiento), acompañado de actividad volcánica; continua, en el cretáceo un proceso epirogénico que reactivó en la región occidental, dio lugar a rocas tipo granodioritas (Ki-il/gd-h), intercalados con restos calcáreos. A finales del cretácico empieza el emplazamiento del batolito de la costa, afectando las rocas volcánicas – intrusivas antes mencionadas, periodo en el que ocurrió un fallamiento en bloques, el cual se hizo más intenso a fines del neógeno y principios del cuaternario (2.5 Ma), ocasionando terrazas aluviales y marinas contiguas a la zona de litoral.

3.2. Geología estructural

En los alrededores de la zona de estudio se han reconocido dos zonas estructurales, entre las cuales se tienen: la zona de hundimiento (grabens) y la zona de bloques. De las cuales resalta, la segunda (zona de fallas en bloques) que comprende la zona costera y abarca desde la Bahía de Paracas hasta la parte occidental del río Ica.

3.2.1. Zona de depresión o hundimiento

Se denomina así debido a la presencia de fallas longitudinales que han ocasionado ambientes en forma de grabens, abarca desde Ático hasta el sur del

territorio peruano, entre las cordilleras de la costa y occidental. En la zona de estudio y alrededores de Ilo, esta unidad estructural ha sido la encargada de modelar las llanuras aluviales.

3.2.2. Zona de bloques

Consiste en un sistema de fallas normales de orientación predominante NO-SE que han afectado rocas intrusivas como las fallas Chololo, Chaspaya, Cerro Loreto, El Abra y Alto los Chilenos (Figura 11).

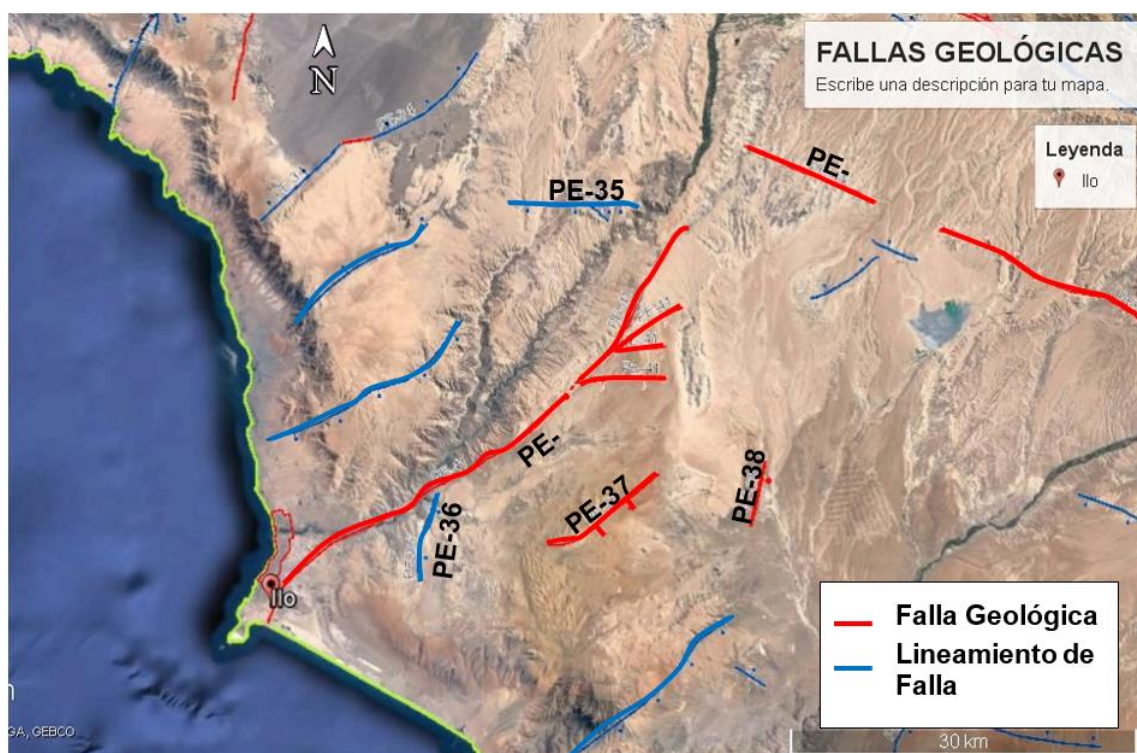


Figura 11: Fallas geológicas identificadas en las inmediaciones de la ciudad de Ilo

- **Falla Chololo (PE-41):** Tiene una longitud aproximada de 40 Km desde Ilo hasta el valle de Moquegua y dirección predominante noreste - suroeste (Audin et al., 2006). Intercepta depósitos cuaternarios recientes (materiales aluviales) y tiene cierta influencia en la reorganización del drenaje (cauces de ríos y paredes de montañas).

Esta falla se considera activa debido a evidencias que fueron observadas con el sismo del año 2001, en los distritos de Algarrobal y Pampa Inalámbrica. De

acuerdo a versión de los pobladores se generaron grietas en el suelo y en algunos sectores las viviendas colapsaron.

Finalmente, (Meza y Chacón) afirman que en Pampa Inalámbrica se han construido infraestructuras (reservorio, centro de tratamiento e institución educativa) y durante su emplazamiento han observado agrietamientos y fracturas en el subsuelo.

- **Falla Chaspaya (PE-37):** Se ubica a 27.5 Km al este de Ilo, en el lado suroeste del cerro Chaspaya, a lo largo de 10 km aproximadamente, con dirección noreste-suroeste e inclinación hacia el sureste.

- **Falla Cerro Loreto (PE-36):** Se ubica a 11 Km al este de la ciudad de Ilo, presenta un escarpe relativamente erosionado, que no permite observar evidencias o indicadores de actividad reciente (Fenton et al., 1995).

3.3. Geología Local

La geología local, consistió en el reconocimiento y cartografiado de las unidades litológicas aflorantes en el área urbana de la ciudad de Ilo a escala 1:15,000, sobre un área de 20 Km² aproximadamente (Figura 12). En la Tabla 3 se describen estas unidades.

Tabla 3: Columna cronolitoestratigráfica de las unidades aflorantes en la zona de estudio.

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS	SÍMBOLO	LITOLOGÍA	CARÁCTER
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	DEPÓSITOS FLUVIALES 1	Qh-fl1	GRAVAS REDONDEADAS Y ARENAS CON POCA O NULA	CONTINENTAL
			DEPÓSITOS FLUVIALES 2	Qh-fl2		
			DEPÓSITOS EÓLICOS	Qh-e	ARENAS SUELTAS	CONTINENTAL
			DEPÓSITOS ALUVIALES 1	Qh-al1	GRAVAS REONDEADAS Y SUB-REDONDEADAS INMERSAS EN MATRIZ ARENO-LIMOSA	CONTINENTAL
			DEPÓSITOS ALUVIALES 2	Qh-al2		
	NEÓGENO					
MESOZOICO	CRETÁCEO		SÚPER UNIDAD ILO	Ki-il/gd-h	GRANODIRITAS DE HORNBLENDA	CONTINENTAL
	JURÁSICO	MEDIO				
		INFERIOR	SÚPER UNIDAD PUNTA COLES	Jm-pc/di	INTRSUSIVOS: DIORITAS	CONTINENTAL
				Jm-pc/gb	INTRSUSIVOS: GABROS	

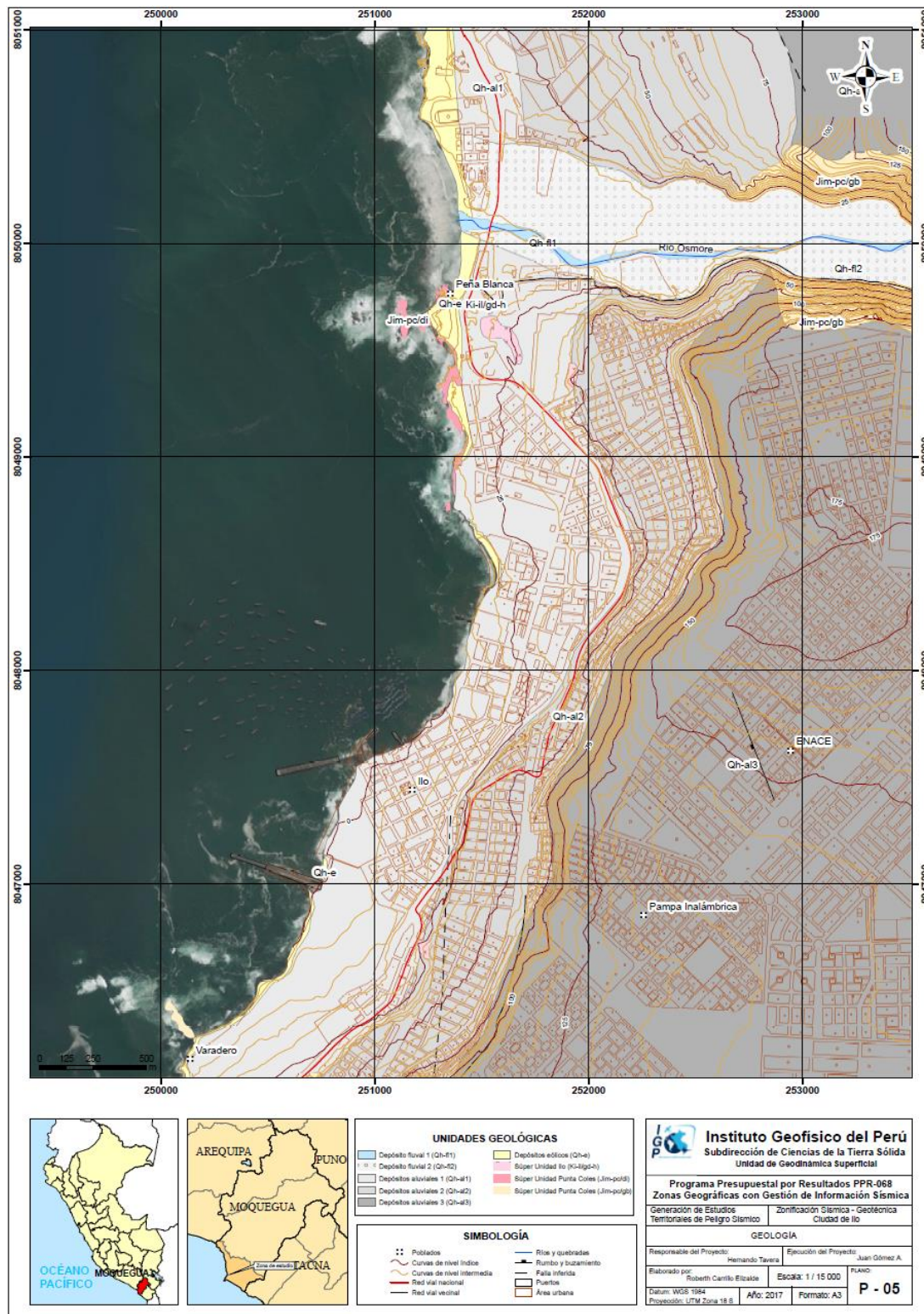


Figura 12: Mapa de geología local para el área urbana de Ilo y alrededores.

3.3.1. Súper Unidad Punta coles

Corresponde al Jurásico Superior y está representada por dos miembros: dioritas (Jim-pc/di) y gabros (Jim-pc/gb). Las primeras se encuentran acompañados por diques de andesitas y dacitas; afloran en las inmediaciones de la línea de Costa, mientras que, los gabros afloran en ambos márgenes del río Osmore y en el extremo sur de Ilo, donde se presentan alteradas, fracturadas y con presencia de material calcáreo y yeso en forma de vetas (Figuras 13 y 14).



Figura 13: Rocas intrusivas (dioritas) que afloran en las inmediaciones del litoral.



Figura 14: Rocas intrusivas (Gabros) que afloran en las inmediaciones del litoral.

3.3.2. Súper Unidad Ilo

Corresponde al cretáceo y está representada por granodioritas con hornblenda y en algunos casos dioritas. Esta litología aflora en el margen izquierdo del río Osmore (Figura 15).



Figura 15: Rocas intrusivas pertenecientes a la Súper Unidad Ilo, afloran a 470 m al sur del río Osmore, en las inmediaciones del cementerio.

3.3.3. Depósitos Cuaternarios

Suprayaciendo al substrato rocoso, conformado por rocas intrusivas se encuentran los depósitos cuaternarios de edad Holocena, principalmente de origen eólico, fluvial y aluvial, los que se describen a continuación:

-Depósitos aluviales: Materiales resultantes de los procesos de erosión vinculados a los cauces de las quebradas y que son transportados aguas abajo y depositados en zonas de menor pendiente (terrazas). Está constituida por gravas heterogéneas conformadas por clastos redondeados y sub-redondeados que se encuentran envueltos en matriz arenosa y/o limosa. Cabe mencionar que, Ilo se han identificado tres depósitos aluviales (Qh-al1, Qh-al2 y Qh-al3), unidades que se diferencian por el desnivel topográfico entre ellas; sobre el primer depósito (Qh-al1) se sitúa el casco urbano central de Ilo y se caracteriza por contener restos calcáreos; sobre el segundo depósito se asienta el área

urbana ubicada en el extremo este de la ciudad y finalmente, en el tercer depósito se encuentra el área urbana de Pampa Inalámbrica.

-Depósitos fluviales: Materiales resultantes de la meteorización y/o erosión, traslado y depositación de rocas preexistentes, transportados por una corriente fluvial permanente, encontrándose depositados en el cauce de los lechos de los ríos existentes en el área estudiada. Conformados por gravas redondeadas y arenas de grano medio a grueso, no presentan plasticidad y se encuentran a lo largo del cauce y río Osmore (Qh-fl1) y en ambos márgenes (Qh-fl2) (Figura 16).



Figura 16: Depósitos fluviales 1 ubicados en el cauce principal del río Osmore (línea amarilla) y fluviales 2 que se sitúan en ambos márgenes del río en mención (línea naranja).

-Depósitos eólicos: Materiales resultantes de los procesos de erosión vinculados a los cauces de las quebradas, los mismos que son transportados aguas abajo y depositados en zonas de menor pendiente (terrazas). Está constituida por gravas heterogéneas conformadas por clastos redondeados y sub-redondeados que se encuentran envueltos en matriz arenosa y/o limosa. Cabe mencionar que, en Ilo se han identificado tres depósitos aluviales (Qh-al1, Qh-al2 y Qh-al3), unidades que se diferencian por el desnivel topográfico entre ellas.

4. GEODINÁMICA

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

Es importante recalcar, que parte de la geodinámica externa se considera la litología local que explica el origen de los materiales que constituyen las geoformas en las cuales se generan procesos como meteorización y erosión que contribuyen a la ocurrencia de eventos Geodinámicos.

4.1. Procesos de geodinámica interna

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

4.2. Procesos de geodinámica externa

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

Asimismo, estos procesos tienen como factores condicionantes: geomorfología (formas de relieve), litología (tipos de rocas y/o suelos), estructuras geológicas (pliegues y disposición de estratos) que interactúan con los factores detonantes como sísmicos (sismicidad de la zona), climatológicos (incremento de las precipitaciones) y antrópicos (urbanismo, usos del suelo y construcción de vías de comunicación).

Tal como se indicó anteriormente, existen dos procesos y sus características son:

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

La acción por separado o en conjunto de los factores que dan origen a los procesos externos, favorecen a la ocurrencia de los eventos Geodinámicos (Figura 17), los cuales se dividen, según su origen en, fluvio-aluvial e hidro-gravitacional.

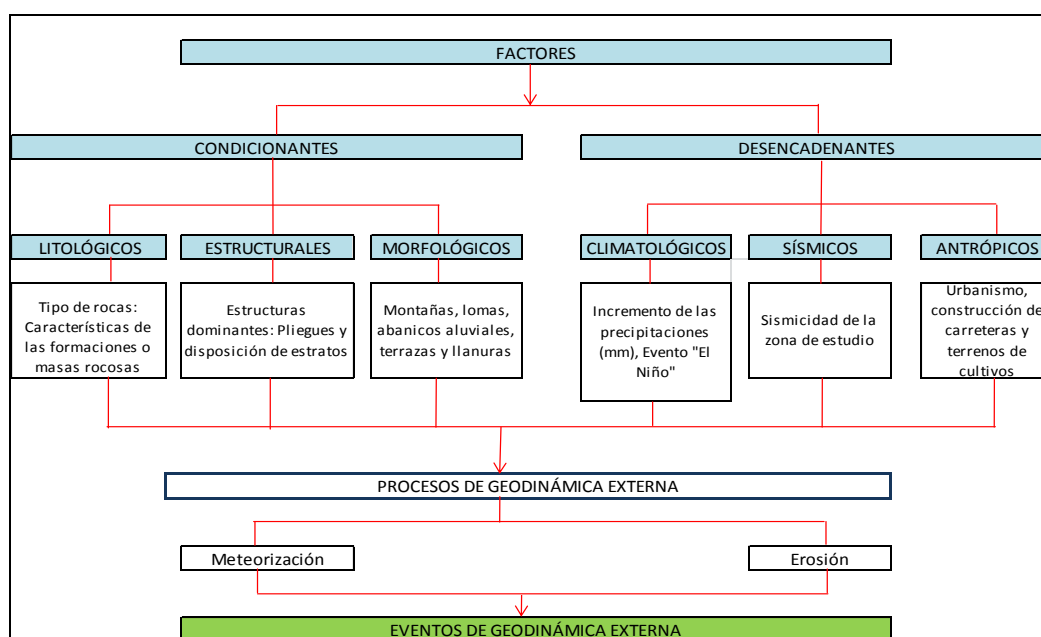


Figura 17: Factores asociados a procesos de geodinámica externa que contribuyen a la ocurrencia de eventos geodinámicos.

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

-Flujos de detritos (huaycos): movimiento de materiales sin cohesión (materiales sueltos) que se comportan como fluidos a causa del agua (provoca la pérdida total de resistencia de estos materiales) y se desplazan sin presentar superficies de rotura definidas, en algunos casos depositan sus materiales en forma de conos de deyección (Figura 18).

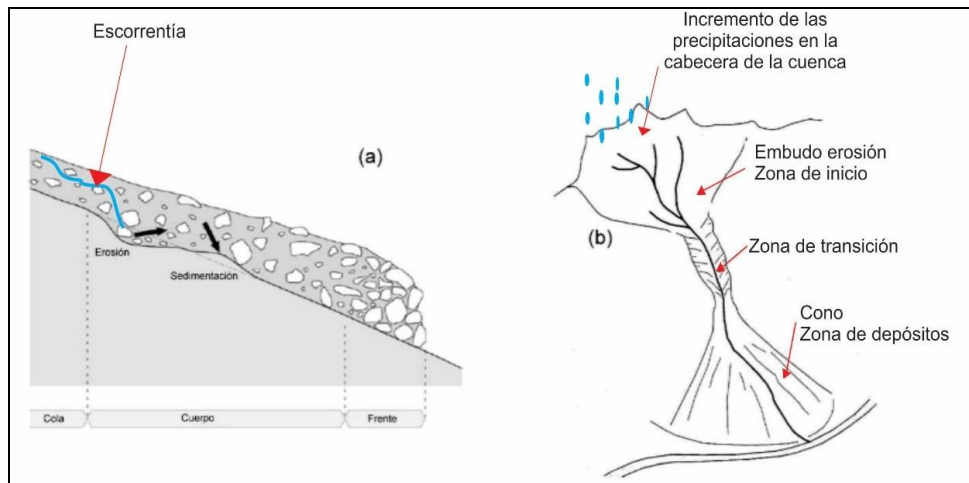


Figura 18: a) Proceso de erosión por las aguas de escorrentía y acumulación de material. b) Vista frontal de la cuenca y desarrollo del evento en cabecera de la cuenca por incremento de las precipitaciones, zona de transición (zona de almacenamiento de material y la depositación del material), modificada 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, es decir, atribuida al incremento brusco del volumen de agua, denominada crecida, que es por consecuencia del exceso de lluvias. (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 tormenta extrema. Estas al desarrollarse generan crecidas que causaron inundaciones en las áreas circundantes al río, esta anomalía es conocida como, evento hidrometeorológico extremo (Figura 19).

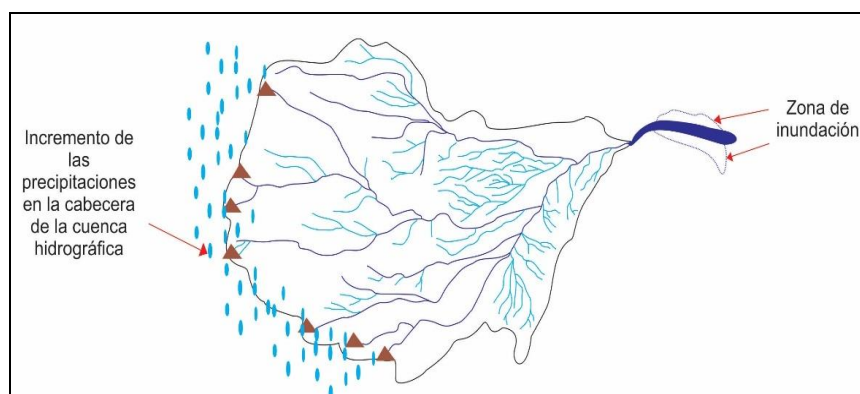


Figura 19: Inundación por incremento de las precipitaciones en la cabecera de la cuenca hidrográfica.

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

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

-Caída o desprendimiento: Es resultado del debilitamiento de la masa de roca, varios bloques de clastos o suelo (GEMMA, 2007), debido a la fragmentación y a la ausencia de soporte lateral, sin que a lo largo de esta superficie ocurra desplazamiento cortante apreciable, produciendo un deterioro en la estructura del talud por la acción de la meteorización. Dependiendo del material desprendido se habla de una caída de roca o una caída de suelo (Figura 20).

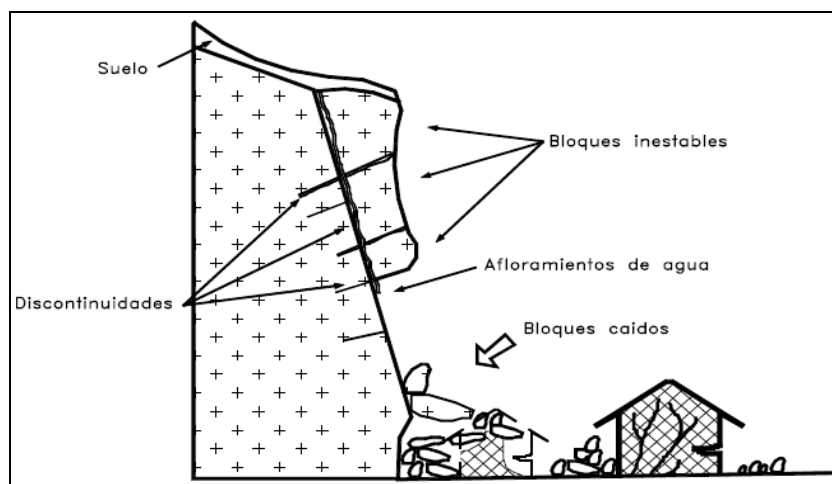


Figura 20: Proceso de caída de suelo y rocas ((Suárez 1998)

-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 21). Se puede clasificar en:

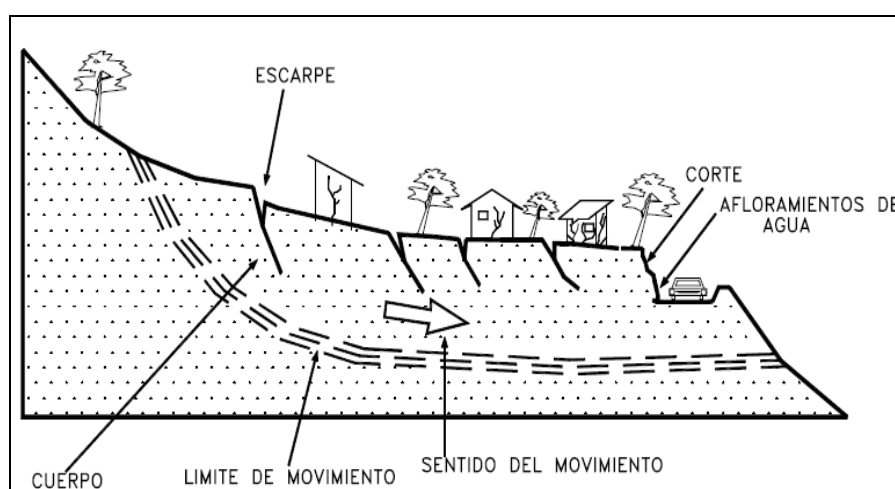


Figura 21: Deslizamiento en laderas (Suárez 1998).

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

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

En área urbana de Ilo, se han reconocido 3 tipos de eventos Geodinámicos (Figura 22) que según el proceso y factores que intervienen se han clasificado en:

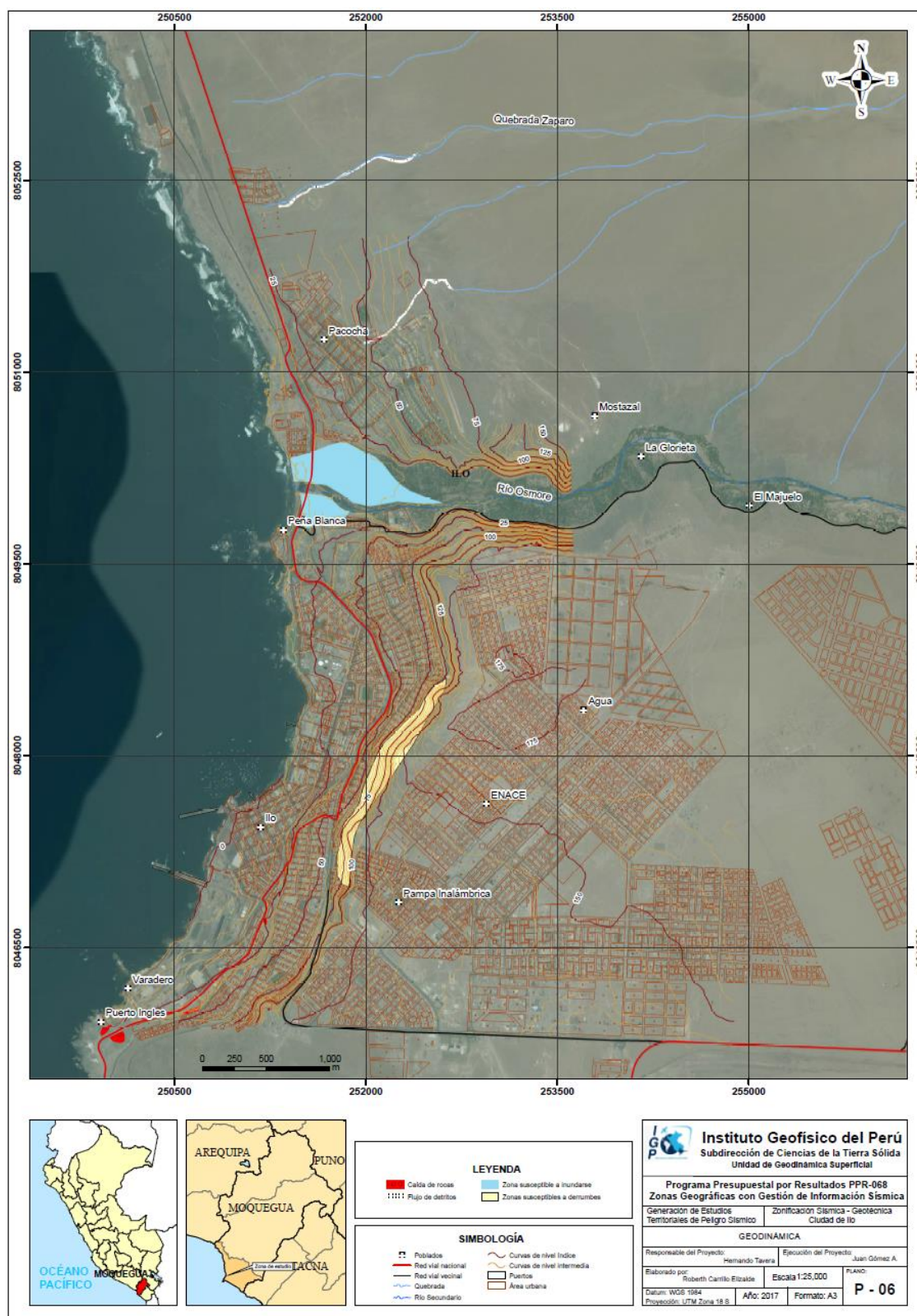


Figura 22: Mapa Geodinámico del área urbana de Ilo y alrededores.

4.2.1. Caída o desprendimiento

En este tipo de eventos, los fragmentos de roca intrusiva de la Súper Unidad Punta Coles se encuentran fracturadas debido a la acción de los distintos procesos de erosión y meteorización, ya sean de origen natural o antrópico (corte de taludes), ocasionando el desprendimiento de bloques de roca. Estos eventos fueron reconocidos en el extremo sur (sector Puerto Ingles) del área urbana de Ilo y comprenden un área aproximada de 1.5 Ha (Figura 23).



Figura 23: Laderas en las que aflora roca intrusiva de la Súper Unidad Punta Coles que se encuentra fracturada y meteorizada, debido a ello, ocurren desprendimientos constantes de bloques de rocas hacia la parte baja.

4.2.2. Inundaciones

Ante la ocurrencia de precipitaciones pluviales durante los periodos lluviosos en la parte superior de la cuenca del río Osmore, se incrementa el caudal del mismo, ocasionando desbordes e inundaciones de las zonas aledañas.

De acuerdo a las versiones de los pobladores, las zonas afectadas por las inundaciones del año 1997 fueron: el local ex pesca Perú y áreas agrícolas contiguas al cauce principal, sobre un área de aproximadamente 36 hectáreas (Figura 24).



Figura 24: Zonas susceptibles a inundarse (polígono amarillo), ante el incremento del cauce del río Osmore en zona de Pacocha.

4.2.3. Flujos de detritos

Otro de los eventos geodinámicos ocasionados ante la ocurrencia de precipitaciones pluviales durante los periodos lluviosos son los flujos de detritos (huaicos). Durante el cartografiado, se reconocieron estos eventos en las inmediaciones de Pacocha, debido a que, se tienen quebradas activas que transportan materiales desde las partes altas.

En la parte norte de Ilo, específicamente en el sector denominado ciudad Jardín (Universidad), se identificó una quebrada de 5 m de ancho y 3.5 de profundidad que presenta flujos recientes en su cauce, estos podrían aumentar su volumen ante la ocurrencia de máximas precipitaciones en las partes altas. Entre las áreas afectadas se tendrían la universidad y algunas viviendas ubicadas en ambos márgenes de la quebrada (Figura 25).



Figura 25: Flujo de detritos proveniente de quebradas ubicadas en el sector Pacocha (hacia el norte de Universidad Nacional)

4.3. Zonas Susceptibles a procesos geodinámicos externos

La susceptibilidad se define como la mayor o menor predisposición a que un proceso geodinámico suceda u ocurra sobre determinado espacio geográfico y tiempo (Hauser 1985 y 1993), depende de los factores: litología, tectonismo, agentes geológicos y actividad humana (taludes de corte). Para identificar y delimitar las zonas susceptibles se utilizó la información recopilada en campo durante el cartografiado, así como la descripción contextual del evento geodinámico ocurrido en zonas adyacentes (antecedentes).

a) Zonas susceptibles a desprendimientos: El Muro de contención construido en la Av. Circunvalación Cuajone, se ha construido con material precario (montículos de caliche apilado), siendo inestable a desprenderse ante la ocurrencia de un evento sísmico (Figura 26). Se ha estimado que, los sectores susceptibles a la ocurrencia de desprendimientos abarcan un área de 22 hectáreas.



Figura 26: Zona susceptible a desprendimiento de suelo y clastos de gravas (línea amarilla) ante la ocurrencia de sismos.

5. ASPECTOS GEOTÉCNICOS

Los materiales inconsolidados que han sido resultado de los procesos de erosión y que posteriormente han sido 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, conforman los suelos sobre los cuales 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, en el diagrama líneas abajo se indica el origen de los suelos (Figura 27).

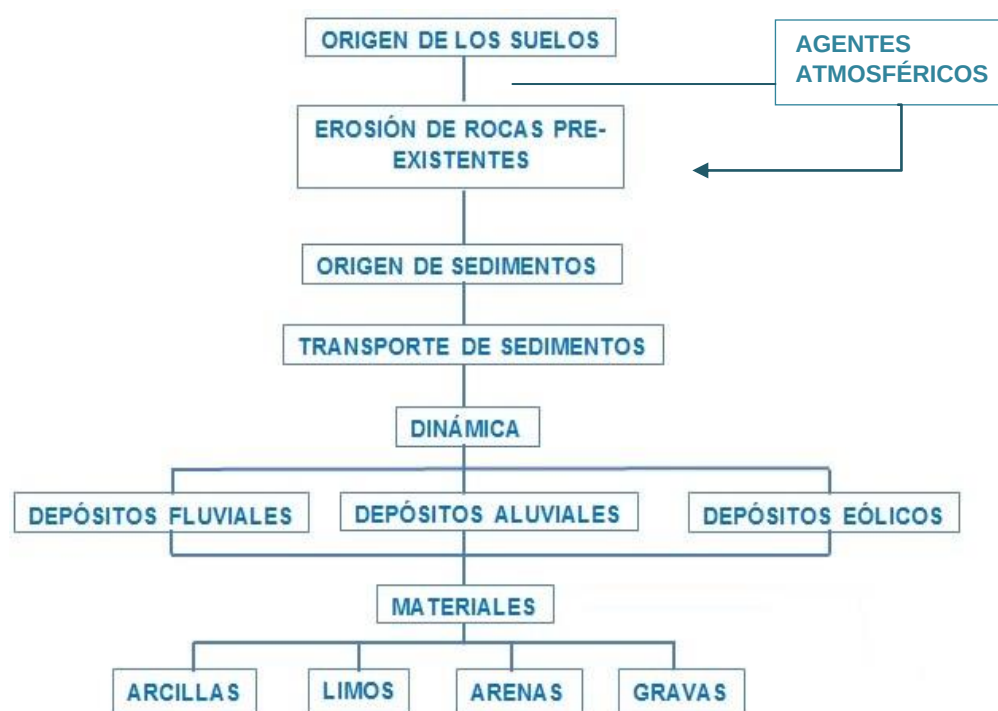


Figura 27: Diagrama del origen de los suelos.

La geotecnia es la rama de la geología aplicada a la ingeniería que se encarga del estudio de las propiedades físicas y mecánicas; 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; a fin de determinar las propiedades físicas de los suelos de cimentación.

En el área urbana de la ciudad de Ilo se realizó el estudio geotécnico que consistió en la elaboración de calicatas, densidad de campo, posteos y ensayos de

penetración dinámica ligera (DPL). La distribución de las excavaciones se muestra en la Figura 28.

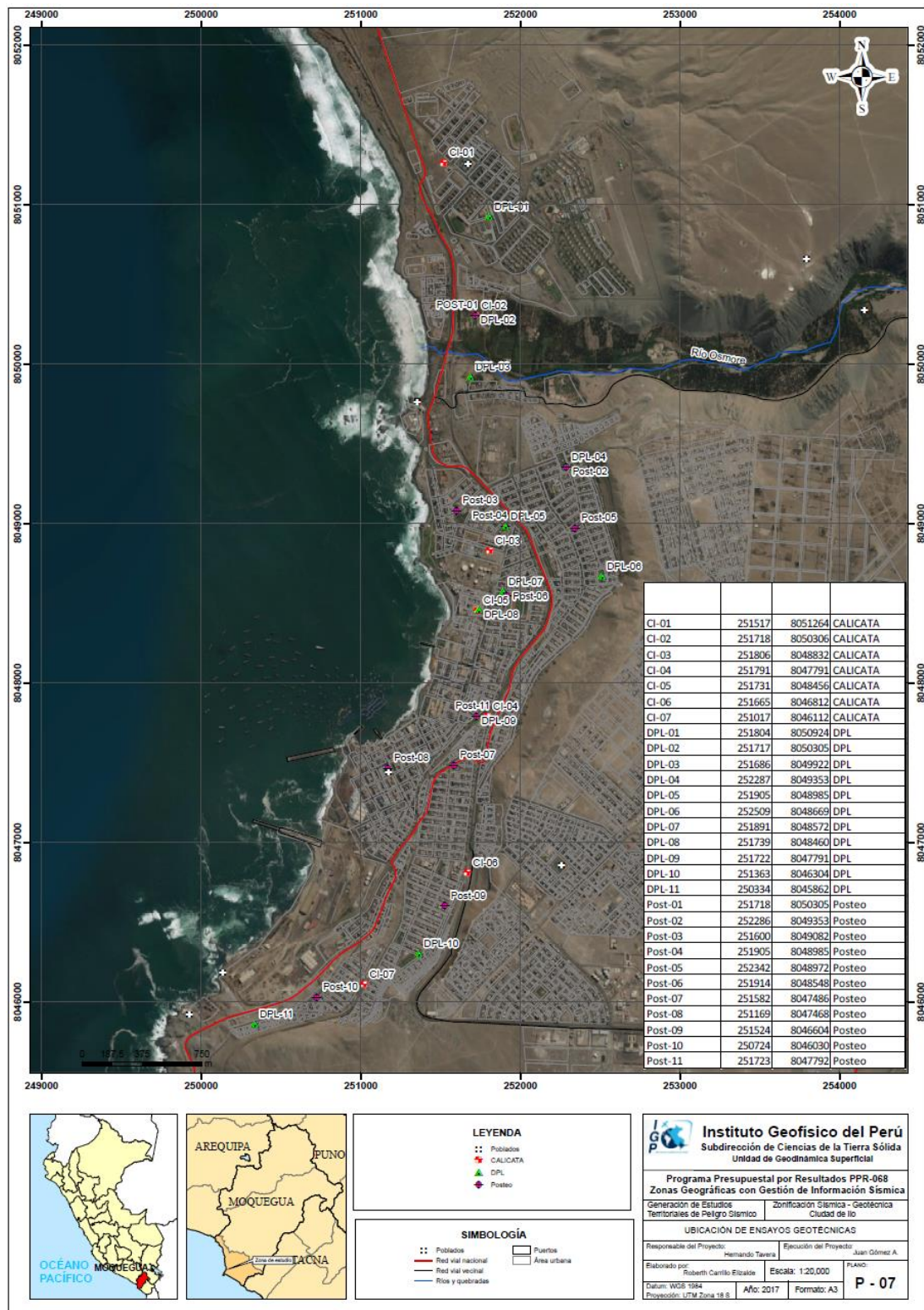


Figura 28: Mapa de distribución de calicatas, posteos y DPL en el área urbana de Ilo y alrededores

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

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

Es un método de exploración directo que consiste en realizar una excavación en el terreno para la observación del suelo hasta cierta profundidad (aproximadamente 3 m), para 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.

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 la ciudad de Ilo, en base al análisis visual de las características del terreno, accesibilidad y lugares apropiados.

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

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

5.1.1. Descripción de calicatas

Una vez terminada la excavación de la calicata, se procede a elaborar el perfil estratigráfico del subsuelo y sus fichas se adjuntan en los anexos. La ubicación geográfica de las calicatas se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4: Ubicación de calicatas.

CALICATA	UTM ESTE (m)	UTM NORTE (m)	Elevación (m.s.n.m)	Profundidad (m)	Nivel Freático A (m)
CI - 01	251517	8051264	19	0.90	N.P
CI - 02	251718	8050306	6	2.20	2.20
CI - 03	251806	8048832	18	1.10	N.P
CI - 04	251791	8047791	36	1.50	N.P.
CI - 05	251731	8048456	14	1.50	1.50
CI - 06	251665	8046812	77	3.00	N.P.
CI - 07	251017	8046112	57	1.30	N.P.

En promedio la profundidad de investigación fue de 1.50 m, a excepción de la calicata CI-01, debido a que los suelos son compactos al presentar caliches.

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

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

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

5.2.1. Procedimiento

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

- ✓ Extracción de la muestra de suelo del agujero elaborado anteriormente y su pesado.
- ✓ Posicionamiento de cono de arena pesado sobre la placa, se espera hasta que este deje de vaciar arena y se llene el agujero.

Finalmente, se 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.

En la Tabla 5, se presenta los resultados obtenidos para las densidades de 7 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. Las fichas se adjuntan en los Anexos.

Tabla 5: Resultado de densidades in – situ

CALICATA	MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	DENSIDAD HÚMEDA (gr/cm ³)	DENSIDAD SECA (gr/cm ³)
CI – 01	DC-CI - 01	0.20	1.70	1.70
CI - 02	DC-CI - 02	0.80	1.62	1.25
CI – 03	DC-CI - 03	0.60	1.31	1.30
CI – 04	DC-CI - 04	0.50	1.98	1.94
CI – 05	DC-CI - 05	0.40	1.92	1.88
CI - 06	DC-CI - 06	1.30	1.95	1.94
CI - 07	DC-CI - 07	0.50	1.60	1.52

En base a los valores definidos en las Tablas 4 y 6 se concluye que los suelos en el área urbana de la ciudad de Ilo, presentan rangos de densidad húmeda entre 1.31 – 1.98 gr/cm³, es decir, presentan densidad media a alta, debido a que sus suelos están conformados por suelos granulares (gravas y arenas con presencia de limos); a excepción de la calicata (CI-02) que está conformada por arenas finas y saturadas.

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

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

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

En general, la posteadora presenta restricciones en suelos con presencia de gravas y gravillas (la cuchara saca muestra se entranpan con este tipo de suelos).

5.3.1. Procedimiento

Con la posteadora se penetra el subsuelo, desde la superficie, de tal manera que, se gira manualmente el equipo ejerciendo presión sobre el suelo, a medida que se va incrementando la profundidad, se van conectando y añadiendo las varillas de 1 metro de extensión para la obtención de muestras con las cucharas acopladas en el extremo. Estas exploraciones fueron distribuidas entre las calicatas en lugares donde no existía información geotécnica para obtener mejor caracterización del suelo del área urbana de Ilo. En la Tabla 7 se muestra los resultados obtenidos. Las fichas se adjuntan en los Anexos.

Tabla 7: Ubicación de posteos y clasificación de suelos SUCS.

POSTEOS	UTM ESTE (m)	UTM NORTE (m)	ELEVACIÓN (m.s.n.m)	PROFUNDIDAD (m)	TIPO DE SUELO (SUCS)	NIVEL FREÁTICO A (m)
POST - 01	251718	8050305	7	0.90	SC	N.P.
POST - 02	252287	8049353	67	0.60	SP	N.P.
POST - 03	251600	8049082	12	0.50	SP	N.P.
POST - 04	251905	8048985	20	0.40	SP	N.P.
POST - 05	252342	8048972	23	0.40	SP	N.P.
POST - 06	251914	8048548	13	0.80	SP	N.P.
POST - 07	251582	8047486	54	0.40	SP	N.P.
POST - 08	251169	8047468	4	0.30	SP	N.P.
POST - 09	251524	8046604	68	0.50	SP	N.P.
POST - 10	250724	8046030	46	0.60	SP	N.P.
POST - 11	251722	8047791	32	0.60	SP	N.P.

En general, las profundidades de investigación varían de acuerdo al tipo de suelo. En las investigaciones superficiales se encontró materiales granulares como arenas mal graduadas mientras que, a mayor profundidad corresponden a suelos finos y arenosos de consistencia baja.

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

Es un equipo de campo de registro continuo, dónde se contabiliza y registra el “N”, que es el número de golpes dados por un martillo de 10 Kg. Este martillo se deja caer por gravedad desde una altura de 0.50 m., medida en la parte superior del tambor de acero, para profundizar tramos cada 10 cm. a través de una punta cónica de 60° que se encuentra en el extremo inferior. Este ensayo permite estimar el ángulo de fricción de suelos específicos, que ayudarán a calcular mediante fórmulas empíricas la capacidad portante (resistencia al corte) de los suelos en Kg/cm², además, se puede tener las propiedades de compacidad de los suelos.

Este ensayo es aplicable en terrenos arenosos, areno-arcillosos y limo arenoso, 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 al costado y en puntos intermedios a algunas de las calicatas para obtener mayor información sobre la resistencia del suelo en el área estudiada.

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

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

En la Tabla 8, se indica la ubicación de los 11 ensayos de penetración dinámica ligera (DPL) realizados en el área urbana de la ciudad de Ilo. La profundidad total alcanzada y los datos obtenidos del ensayo (número de golpes y ángulo de fricción) es a una profundidad entre 1.00 y 1.20 m, debido a que en ese nivel se calculará los parámetros geotécnicos (ángulo de fricción y cohesión) para el cálculo de la capacidad portante. Las fichas de los ensayos se adjuntan en los anexos.

Tabla 8: Ubicación de ensayos de penetración dinámica ligera (DPL) y parámetros obtenidos

DPL	UTM ESTE (m)	UTM NORTE (m)	ELEVACIÓN (m.s.n.m)	PROFUNDIDAD TOTAL (m)	NÚMERO DE GOLPES	ϕ
DPL-01	251804	8050924	23	0.85	45	39.7
DPL-02	251717	8050305	8	2.90	40	38.5
DPL-03	251686	8049922	7	2.80	45	39.7
DPL-04	252287	8049353	67	1.10	41	38.7
DPL-05	251905	804885	20	0.43	35	37.3
DPL-06	252509	8048669	66	0.66	45	39.7
DPL-07	251891	8048572	11	1.48	35	37.3
DPL-08	251739	8048460	5	0.40	45	39.7
DPL-09	251722	8047791	32	0.54	28	35.5
DPL-10	251363	8046304	73	1.50	30	36
DPL-11	250334	8045862	47	0.30	40	38.5

ϕ : Ángulo de fricción interna

En seis ensayos DPL (01, 05, 06, 08, 09 y 11) se ha alcanzado profundidades menores a 1.00 m., debido a que son suelos de compacidad media a alta; mientras

que, en el resto de ensayos alcanzaron profundidades mayores, por la presencia de materiales granulares con resistencia media a baja a la penetración.

5.5. 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 de ensayo DPL (N_{DPL}) fueron correlacionados con el número de golpes del ensayo de penetración estándar (N_{SPT}) para determinar el ángulo de fricción interna corregido y posteriormente, calcular la capacidad de carga admisible.

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

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

Dónde:

N_1 = Número de golpes equivalente en SPT

N_2 = Número de golpes obtenidos en DPL

W_1 = Peso del martillo del DPL

W_2 = Peso del martillo SPT

H_1 = Altura de caída de DPL

H_2 = Altura de caída del SPT

A_1 = Área de la punta cónica del DPL

A_2 = Área de la punta cónica del SPT

e_1 = Espesor de la hincas del DPL

e_2 = Espesor de la hincas del SPT

Una vez calculado los valores de golpes con el SPT (N_{SPT}), se realizaron las correcciones: nivel freático, eficiencia, longitud y diámetro; para así obtener un nuevo

valor de número de golpes por ensayo SPT (N'_{SPT}), con el cual se procede a estimar el ángulo de fricción interna de los suelos.

5.5.1. Cálculo del ángulo de fricción interna a partir del N_{SPT}

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 de la ciudad de Ilo, se empleó la relación experimental propuesta por Osaki (1959), debido a que es la más usada internacionalmente y sus resultados son conservadores (Tabla 9).

Tabla 9: Cálculo del ángulo de fricción interna, usando valores del N_{SPT} .

ENSAYO	N_{SPT} CORREGIDO	ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA (ϕ'_{NSPT})	N_{SPT} CORREGIDO	ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA (ϕ'_{NSPT})
DPL 02	8.23	27.80	8.95	28.40
DPL -03	11.61	30.20	12.58	30.90
DPL -04	27.34	38.40	---	---
DPL -07	9.19	28.60	25.40	37.50
DPL -10	10.40	29.40	18.63	34.30
PROFUNDIDAD DEL ENSAYO	1.00 – 1.20 m		1.30 - 1.50 m	

ϕ : Ángulo de fricción interna

Tabla 10: Compacidad relativa ángulos de fricción interna en base al N_{spt} . (Crespo, 2014)

COMPACIDAD RELATIVA DE SUELOS GRANULARES			CONSISTENCIA EN SUELOS COHESIVOS		
VALOR DE N_{SPT}	COMPACIDAD RELATIVA	ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA (ϕ)	VALOR DE N_{SPT}	CONSISTENCIA	ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA (ϕ)
0 - 4	Muy Suelta	< 28°	< 2	Muy blanda	0°
4 - 10	Suelta	28° - 30°	2 - 4	Blanda	0° - 2°
10 - 30	Media	30° - 36°	4 - 8	Media	2° - 4°
30 - 50	Compacta	36° - 41°	8 - 15	Compacta	4° - 6°
> 50	Muy Compacta	> 41°	15 - 30	Muy compacta	6° - 12°
			> 30	Dura	> 14°

De acuerdo a los datos de las Tablas 9 y 10, los suelos del área urbana de Ilo, en su mayoría, son granulares (gravas y arenas limosas) y a profundidades comprendidas entre 1.00 y 1.20 m., los suelos presentan compacidad media (ángulo de fricción interna 30°) en el margen derecho del río Osmore (Sector Ex Pesca Perú); suelta (ángulo de fricción interna 25.30°) en las inmediaciones del vivero municipal; compacta (ángulo de fricción interna 38°) en las inmediaciones del área urbana de Ilo y suelta en el extremo sureste. Asimismo, a profundidad de 1.30 y 1.50 m, la compacidad relativa del suelo varía de suelta (menor a 30°) en ambos márgenes del río Osmore; compacta (mayor a 37°) en el área urbana y media (menor a 35°) en el extremo sur de Ilo.

Finalmente, en los Anexos se adjuntan las fichas resumen de cada ensayo realizado en campo y sus respectivos valores del ángulo de fricción interna (Figura 29).

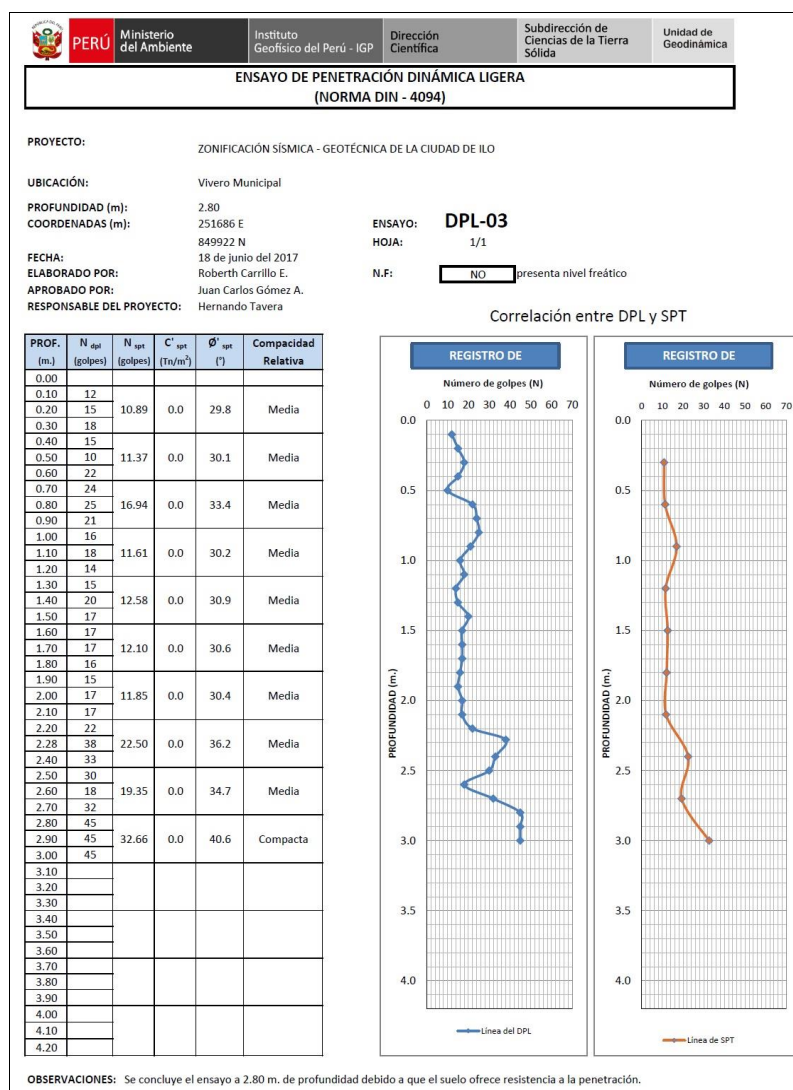


Figura 29: Diagrama de correlación entre el número de golpes del DPL y el número de golpes del SPT y el cálculo de ángulo de fricción interna corregido.

5.6. Clasificación SUCS para Suelos

En base a la información geotécnica recopilada de las calicatas, posteos, DPL y la inspección visual del terreno en el área urbana de la ciudad de Ilo, se ha identificado la existencia de 5 tipos de suelos, que han sido agrupados haciendo uso del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), ver Tabla 11 y Figura 30.

Suelo tipo GP: Grava mal graduada con poco contenido de material fino (5 %) y contenido de humedad menor a 2%; Además presentan suelos con grado de compactación medio a alto. Los suelos que pertenecen a este tipo ocupan el 27.6 % del área de estudio y se han identificado en las inmediaciones del sector Pacocha.

Suelo tipo SP: Están conformados por arenas mal graduadas con material gravoso y contenido de humedad menor a 2%, además presentan suelos con grado de compactación medio a alto, no presentan plasticidad. Estos suelos representan el 71.0 % del área de estudio y se han identificado en las calicatas (CI-03, CI-06 y CI-07), que se ubican en las inmediaciones del casco urbano de la ciudad de Ilo.

Suelo tipo SM: Están conformados por arenas limosas y el contenido de humedad menor a 5%, además presentan suelos con grado de compactación medio y no presentan plasticidad. Estos suelos representan menos del 1 % del área de estudio y se han identificado en la calicata (CI- 07), que se ubica a espaldas de la plataforma deportiva del sector Bello Horizonte.

Suelo tipo ML: Están conformados por limos inorgánicos de humedad media (menor a 22 %) y constituyen suelos con grado de compactación suelta a media; asimismo presenta plasticidad baja. Estos suelos representan menos del 1% del área de estudio y se han reconocido en el margen derecho del río Osmore en las inmediaciones del Ex local Pesca Perú (calicata CI-01).

Suelo tipo SP - SM: Están conformados por arenas mal graduadas con presencia de limos y contenido de humedad menor a 2%; además presentan suelos con grado de compactación bajo a medio. Estos suelos representan menos del 1% del área de estudio y se han identificado en la calicata (CI-04), que se ubica en las inmediaciones de la calle Jhon F. Kenenndy.

Tabla 11: Clasificación SUCS de las siete (7) calicatas elaboradas en el área urbana de la ciudad de Ilo.

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
CI - 01	0.9	N.P	2.7	81	16.24	N.P	N.P	N.P	0.46	SM	Arena limosa
CI - 02	2.2	2.2	0.6	47.6	51.67	N.P	N.P	N.P	22.74	ML	Limo inorgánico con arena
CI - 03	1.1	N.P	24.4	71.2	4.41	N.P	N.P	N.P	0.57	SP	Arena mal graduado
CI - 04	1.5	N.P	37	54.8	8.2	N.P	N.P	N.P	2.9	SP-SM	Arena mal graduado con limo
CI - 05	1.5	1.5	45.61	50.93	3.46	N.P	N.P	N.P	1.96	SW	Arena bien graduado
CI - 06	3	N.P	10.5	84.7	4.8	N.P	N.P	N.P	1.6	SP	Arena mal graduado
CI - 07	1.3	N.P	30.9	54.8	14.25	N.P	N.P	N.P	4.84	SM	Arena limosa con gravas

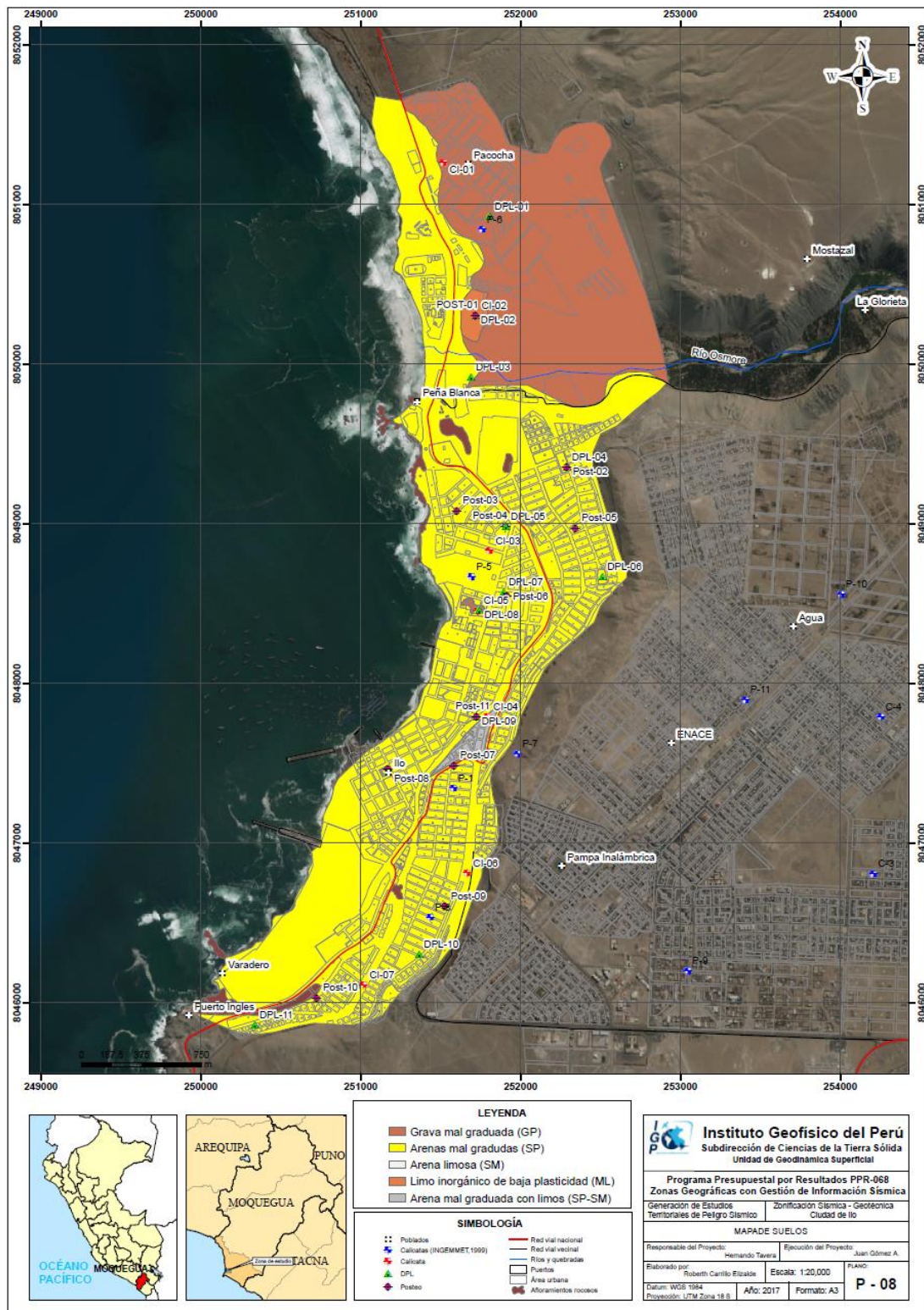


Figura 30: Mapa de clasificación SUCS para los suelos del área urbana de Ilo y alrededores.

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

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

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

Los valores obtenidos con los ensayos realizados en el área urbana de Ilo se presentan en la Tabla 12.

Tabla 12: Valores obtenidos del ensayo de corte directo

MUESTRA	Ángulo de fricción interna del suelo (ϕ)	Cohesión aparente del suelo (kg/cm^2)	Densidad natural (gr/cm^3)
CI-01	25.00	0.02	1.70
CI -02	24.30	0.05	1.62
CI -03	26.00	0.07	1.31
CI -04	27.61	0.04	1.98
CI -05	27.66	0.06	1.92
CI -06	26.43	0.08	1.95
CI -07	26.20	0.04	1.60

De los resultados obtenidos se evidencia que, la mayoría de los suelos presentan cohesión baja y valores del ángulo de fricción interna entre 24° y 27° aproximadamente. Estos valores caracterizan a suelos granulares (arenas y gravas) con contenido de limo y arcillas.

5.8. Capacidad de carga admisible

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

5.8.1. Carga última

Es la presión última por unidad de área de la cimentación soportada por el suelo, en exceso de la presión causada por el suelo alrededor al nivel de la cimentación (Amézquita, et al. 1996). 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), usando la siguiente expresión.

Formula para falla por corte general:

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

Formula para falla por corte local:

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

C: cohesión

Donde:

C: cohesión

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

N_c , N_q , N_γ : Factores de carga (Tabla 13).

Tabla 13: Factores de cohesión, carga y volumen aplicados para la falla por Corte General propuesto por Terzaghi y Kumbhojkar (1993) y para Falla por Corte Local los parámetros Modificado propuestos por Terzaghi.

TERZAGHI (según Kumbhojkar, 1993)				Modificado por TERZAGHI			
Ángulo ϕ	N_c	N_q	N_g	Ángulo ϕ	N_c	N_q	N_g
0	5.7	1	0	0	5.7	1	0
1	6	1.1	0.01	1	5.9	1.07	0.005
2	6.3	1.22	0.04	2	6.1	1.14	0.02
3	6.62	1.35	0.06	3	6.3	1.22	0.04
4	6.97	1.49	0.1	4	6.51	1.3	0.055
5	7.34	1.64	0.14	5	6.74	1.39	0.074
6	7.73	1.81	0.2	6	6.97	1.49	0.1
7	8.15	2	0.27	7	7.22	1.59	0.128
8	8.6	2.21	0.35	8	7.47	1.7	0.16
9	9.09	2.44	0.44	9	7.74	1.82	0.2
10	9.61	2.69	0.56	10	8.02	1.94	0.24
11	10.16	2.98	0.69	11	8.32	2.08	0.3
12	10.76	3.29	0.85	12	8.63	2.22	0.35
13	11.41	3.69	1.04	13	8.96	2.38	0.42
14	12.11	4.02	1.26	14	9.31	2.55	0.48
15	12.86	4.45	1.52	15	9.67	2.73	0.57
16	13.68	4.92	1.82	16	10.06	2.92	0.67
17	14.6	5.45	2.18	17	10.47	3.13	0.76
18	15.12	6.04	2.59	18	10.9	3.36	0.88
19	16.56	6.7	3.07	19	11.36	3.61	1.03
20	17.69	7.44	3.64	20	11.85	3.88	1.12
21	18.92	8.26	4.31	21	12.37	4.17	1.35
22	20.27	9.19	5.09	22	12.92	4.48	1.55
23	21.75	10.23	6	23	13.51	4.82	1.74
24	23.36	11.4	7.08	24	14.14	5.2	1.97
25	25.13	12.72	8.34	25	14.8	5.6	2.25
26	27.09	14.21	9.84	26	15.53	6.05	2.59
27	29.24	15.9	11.6	27	16.3	6.54	2.88
28	31.61	17.81	13.7	28	17.13	7.07	3.29
29	34.24	19.98	16.18	29	18.03	7.66	3.76
30	37.16	22.46	19.13	30	18.99	8.31	4.39
31	40.41	25.28	22.65	31	20.03	9.03	4.83
32	44.04	28.52	26.87	32	21.16	9.82	5.51
33	48.09	32.23	31.94	33	22.39	10.69	6.32
34	52.64	36.5	38.04	34	23.72	11.67	7.22
35	57.75	41.44	45.41	35	25.18	12.75	8.35
36	63.53	47.16	54.36	36	26.77	13.97	9.41
37	70.01	53.8	65.27	37	28.51	15.32	10.9
38	77.5	61.55	78.61	38	30.43	16.85	12.75
39	85.97	70.61	95.03	39	32.53	18.56	14.71
40	95.66	81.27	115.31	40	34.87	20.5	17.22
41	106.81	93.85	140.51	41	37.45	22.7	19.75
42	119.67	108.75	171.99	42	40.33	25.21	22.5
43	134.58	126.5	211.56	43	43.54	28.06	26.25
44	151.95	147.74	261.6	44	47.13	31.34	30.4
45	172.28	173.28	325.34	45	51.17	35.11	36
46	196.22	204.19	407.11	46	55.73	39.48	41.7
47	224.55	241.8	512.84	47	60.91	44.45	49.3
48	258.28	287.85	650.67	48	66.8	50.46	59.25
49	298.71	344.63	831.99	49	73.55	57.41	71.45
50	347.5	415.14	1072.8	50	81.31	65.6	85.75

En base a los resultados obtenidos 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. Los resultados obtenidos de capacidad de carga admisible para los suelos estudiados se presentan en las Tablas 14 y 15 y en la Figura 31.

Tabla 14: Capacidad de carga admisible (criterio falla local) para los siete (7) muestras de suelo extraídas en el área urbana de Ilo.

MUESTRA	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)
CI-01	3.29	1.10	4.35	1.45
CI-02	2.05	0.58	2.45	0.73
CI-03	2.05	0.68	2.45	0.82
CI-04	2.39	0.80	3.07	1.02
CI-05	2.64	0.88	3.30	1.10
CI-06	2.80	0.93	3.42	1.14
CI-07	1.82	0.61	2.32	0.77
DIMENSIONES DE CIMENTACIÓN	Profundidad: 1.00 m y ancho:1.00		Profundidad: 1.50 m y ancho:1.00	

Tabla 15: Capacidad de carga admisible (criterio de falla local) en base a los ensayos de N_{SPT} (correlacionado con N_{DPL}) para el área urbana de Ilo

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 – 02	1.42	0.47	2.15	0.72
DPL – 03	1.53	0.51	2.29	0.76
DPL – 04	3.92	1.31	----	----
DPL – 07	1.29	0.43	4.84	1.61
DPL – 10	1.70	0.57	4.02	1.34
DIMENSIONES DE CIMENTACIÓN	Profundidad: 1.00 m y ancho:1.00		Profundidad: 1.50 m y ancho:1.00	

Tabla 16: Rangos de capacidad de carga admisible.

Capacidad de Carga Admisible (Kg/cm ²)	DENOMINACION
< 1.0	MUY BAJA
1.0 - 2.0	BAJA
2.0 - 3.0	MEDIA

Con los resultados obtenidos y tomando en cuenta los valores de la Tabla 16, se ha determinado que el área urbana de la ciudad de Ilo, en su mayoría ha sido construida con cimentaciones de 1.00 m de profundidad. Ante ello, se ha clasificado los suelos con la siguiente capacidad de carga admisible:

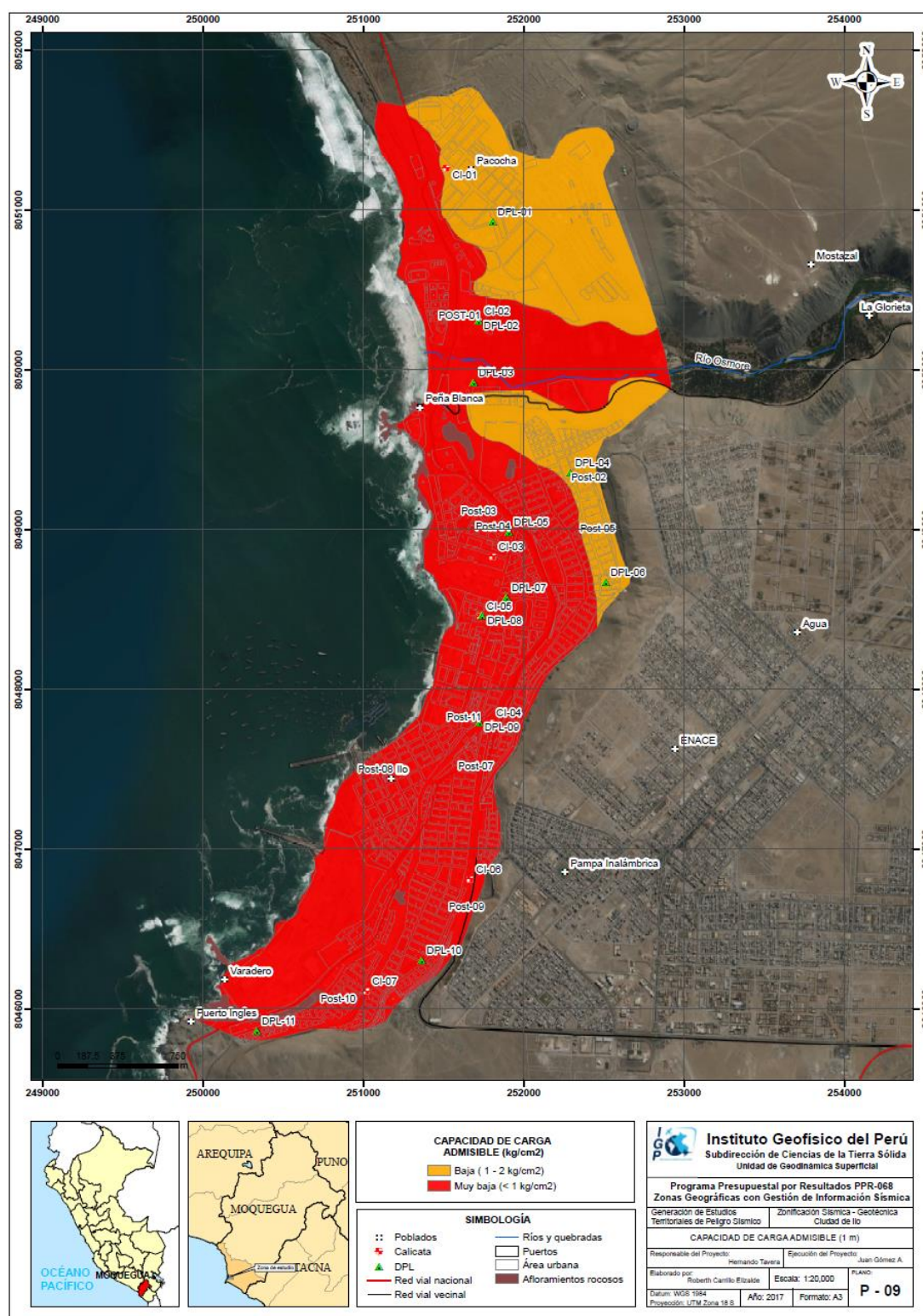


Figura 31: Mapa de capacidad de carga admisible para el área urbana de la ciudad de Ilo y alrededores.

5.8.2. Tipos de carga admisible

Para el área urbana de la ciudad de Ilo se ha identificado los siguientes tipos de capacidad de carga admisible:

a) Capacidad de carga admisible muy baja: Comprende rangos de capacidad de carga admisible menores a 1.00 kg/cm^2 , corresponde al tipo de suelo conformado por arena mal graduada (SP), arena limosa (SM), limo inorgánico (ML) y arena mal graduada con limos (SP-SM), cuyo grado de compactación es de medio a bajo. Abarca aproximadamente el 71.09% del área de estudio y se encuentra distribuido a lo largo del casco urbano de la ciudad de Ilo.

b) Capacidad de carga admisible baja: Comprende rangos de capacidad de carga admisible entre $1.00 - 2.00 \text{ kg/cm}^2$, corresponde al tipo de suelo conformado por arena mal graduada (SP) y grava mal graduada (GP), cuyo grado de compactación es medio. Abarca el 27.3% del área de estudio y se encuentra en mayor proporción en el sector Pacocha.

c) Capacidad de carga admisible alta: Comprende rangos de capacidad de carga admisible entre mayores a 3.00 kg/cm^2 , corresponde a los afloramientos de roca que se encuentran en la zona de playa y en las inmediaciones de cementerio; abarca el 1.6 % del área de estudio.

CONCLUSIONES

- En el área urbana de la ciudad de Ilo existen ocho unidades geomorfológicas: lecho fluvial, llanura de inundación, terraza fluvial, terraza aluvial, terraza marina, playa, llanura aluvial y acantilado. El área urbana se asienta sobre una terraza marina y terraza fluvial, sobre la primera se asienta el casco urbano central; mientras que, sobre la última el área urbana ubicada en el extremo este y finalmente, la principal vía de acceso hacia Pampa Inalámbrica sobre los acantilados.
- El sustrato rocoso está representado por rocas intrusivas de la Súper Unidad Punta Coles (gabros y dioritas), cuyos afloramientos se encuentran en ambos márgenes del río Osmore, así como en el extremo sur del área de estudio (Sector Puerto Ingles); mientras que, los depósitos del cuaternario están conformados por materiales aluviales sobre los cuales se asienta la ciudad en mención.
- Los eventos geodinámicos identificados son las inundaciones fluviales y flujos de detritos que afectan el sector Pacocha; asimismo, en el área urbana de Ilo se identificó que los acantilados ubicados entre la ciudad de Ilo y Pampa Inalámbrica son susceptibles a desprendimientos ante la ocurrencia de un evento sísmico; así como en el sector Puerto Ingles (extremo sur de la ciudad de Ilo).
- Se han identificado cinco tipos de suelos en el área urbana de la ciudad de Ilo, entre los cuales predominan: gravas mal graduadas (GP) en el sector Pacocha, arenas mal graduadas (SP) en la parte urbana de Ilo, arena limosa (SM) en la zona urbana, limo inorgánico (ML) en el margen derecho del río Osmore (inmediaciones de ex local Pesca Perú).
- Se evidenció presencia de nivel freático a una profundidad de 2.20 m., en la margen derecha del río Osmore (Ex – Local Pesca Perú), así como a 1.50 m de profundidad en las inmediaciones de la Asociación 7 de Mayo.
- Los suelos del área urbana de la ciudad de Ilo en su mayoría presentan capacidad muy baja en el sector urbano de Ilo; capacidad baja en el sector Pacocha y capacidad alta en la zona donde afloran rocas intrusivas.

CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA DEL ÁREA URBANA DE PAMPA INALÁMBRICA

CONTENIDO

1. METODOLOGÍA

1.1. Base Topográfica

2. GEOMORFOLOGIA

2.1. Modelo Digital de Elevación (MDE)

2.2. Pendiente

2.2.1. Clasificación del grado de pendientes

2.3. Unidades geomorfológicas

2.3.1. Lecho fluvial

2.3.2. Llanura aluvial

2.3.3. Llanura de inundación

2.3.4. Lomadas

2.3.5. Terraza aluvial y terraza marina

2.3.6. Acantilado

3. GEOLOGÍA

3.1. Geología regional

3.1.1. Geología histórica

3.2. Geología estructural

3.2.1. Zona de depresión o hundimiento

3.2.2. Zona de bloques

3.3. Geológica local

3.3.1. Súper unidad Punta Coles

3.4. Depósitos Cuaternarios

3.4.1. Depósitos aluviales 3 (Qh-al3)

3.4.2. Depósitos aluviales 2 (Qh-al2)

3.4.3. Depósitos aluviales 1 (Qh-al1)

3.4.4. Depósitos fluviales 1 y 2 (Qh-fl1/2)

3.4.5. Depósitos eólicos (Qh-e)

3.4.6. Depósitos coluviales (Q-co)

4. GEODINÁMICA

4.1. Procesos de geodinámica interna

4.2. Procesos de geodinámica externa

4.2.1. Flujos de detritos

4.2.2. Caída de rocas

5. ASPECTOS GEOTÉCNICOS

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

5.1.1. Descripción de calicatas

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

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

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

5.4.1. Cálculo del ángulo de fricción interna a partir del NSPT

5.5. Clasificación SUCS para suelos

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

5.7. Capacidad de carga admisible

5.7.1. Carga última

5.7.2. Capacidad de carga admisible muy baja

CONCLUSIONES

1. METODOLOGÍA

El estudio de cartografiado geológico, geomorfológico, geodinámico y de exploraciones geotécnicas realizadas en el área urbana de Pampa Inalámbrica, se desarrolló en cinco fases:

- ✓ **Gabinete I:** Las actividades realizadas incluyeron la revisión de imágenes satelitales (WorlView-2 con resolución 0.5 m del servidor DigitalGlobe, año 2010) que fueron georreferenciadas haciendo uso de sistemas de información geográfica (SIG).

- ✓ **Campo I:** Se realizó el cartografiado de las unidades geomorfológicas y litológicas aflorantes a escala 1:10,000; asimismo, se identificó y delimitó los eventos geodinámicos.

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

Elaboración de calicatas: Éstas se realizaron a una profundidad promedio de 3.00 m. En el área urbana de Pampa Inalámbrica y zonas de expansión urbana: se realizaron 10 calicatas.

Ensayos de penetración dinámica ligera (DPL): se realizaron 13 ensayos DPL para determinar la resistencia de los suelos al ser penetrados. .

Ejecución de auscultaciones haciendo uso de una posteadora en zonas intermedias a la ubicación de las calicatas. En el área de estudio se realizaron 10 posteos.

- ✓ **Laboratorio:** Procesamiento de las muestras de suelos, a través de ensayos de mecánica de suelos como granulometría (clasificación SUCS), humedad, densidad y corte directo (capacidad de carga admisible).

- ✓ **Gabinete II:** Elaboración del informe técnico.

1.1. Base Topográfica

Se obtuvo a partir de un levantamiento fotogramétrico realizado en el área urbana de Pampa Inalámbrica, sobre un área de 980 ha (sector urbano). Este trabajo se realizó con el propósito de obtener la representación digital del relieve que conforman unidades como terrazas, lomas, entre otros.

Para la ejecución de este trabajo, se utilizó un vehículo aéreo no tripulado (VANT), obteniéndose un plano topográfico a escala 1:5, 000 con curvas de nivel (líneas que unen puntos con igual altitud) con resolución espacial de 5 m (Figura 1).

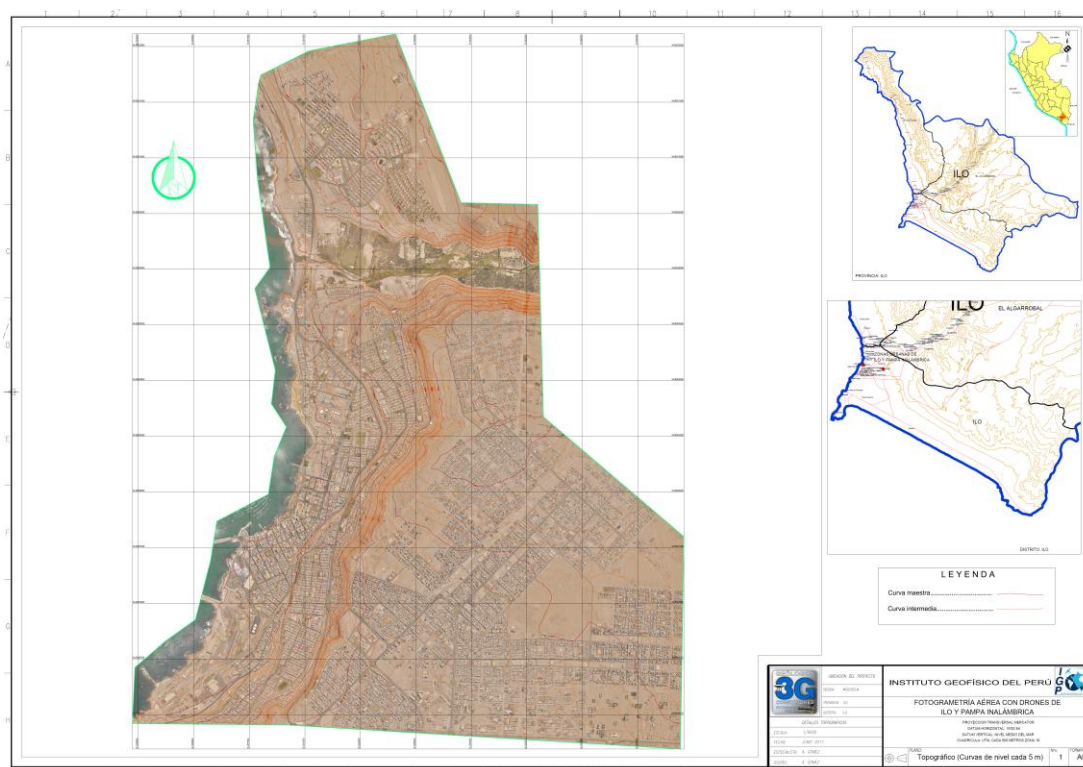


Figura 1: Plano topográfico del área urbana de Pampa Inalámbrica, en el cual se muestra la ortofoto y las curvas de nivel.

2. GEOMORFOLOGÍA

La geomorfología estudia las diferentes formas de relieve de la superficie terrestre (geoformas) y los procesos que las generan, este relieve es el resultado de la interacción de fuerzas endógenas y exógenas. Las primeras actúan como creadoras de grandes elevaciones y depresiones producidas fundamentalmente por movimientos en masa de componente vertical, mientras que, las segundas, como desencadenantes de una continua denudación que tiende a rebajar el relieve originado, estos últimos llamados procesos de geodinámica externa se agrupan en la cadena meteorización-erosión, transporte y sedimentación (Gutiérrez, 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 Pampa Inalámbrica, en relación a su origen.

Previamente, en base a la topografía obtenida de la fotogrametría realizada en la zona de estudio y mediante herramientas computacionales (SIG) se han elaborado los planos: Modelo Digital de Elevación (MDE) y pendientes con el fin de delimitar las características geomorfológicas del terreno (geoformas). Estas fueron verificadas y validadas durante el trabajo de campo, para cartografiar y delimitar las unidades geomorfológicas en el área urbana de la ciudad de Pampa Inalámbrica.

2.1. Modelo Digital de Elevación (MDE)

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

Para la elaboración del MDE del área urbana de Pampa Inalámbrica, se tomó en cuenta el uso de herramientas SIG y las curvas de nivel obtenidas anteriormente,

obteniéndose la representación digital de la superficie del terreno sobre un área de 4.9 km² aproximadamente (Figura 2).

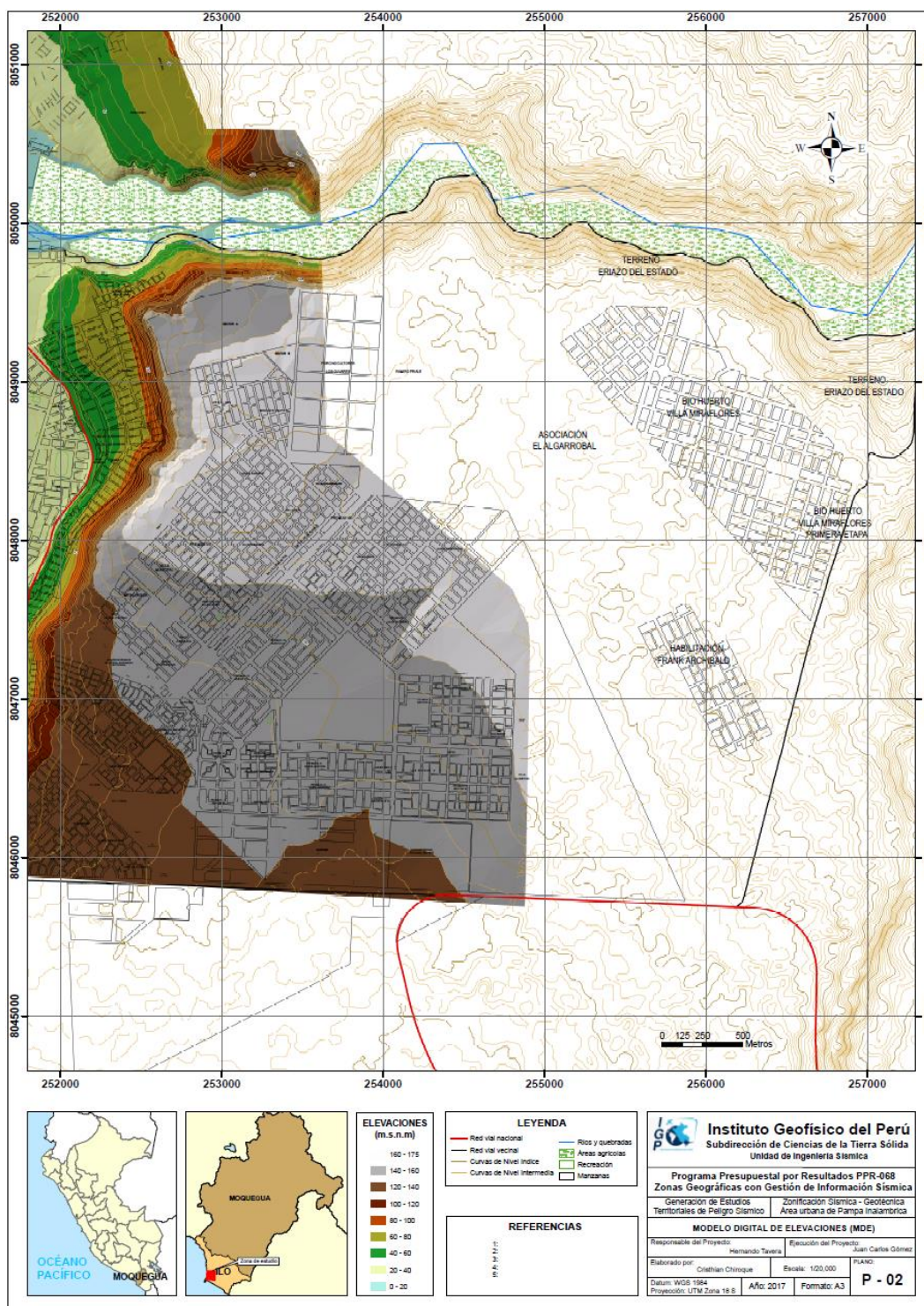


Figura 2: Mapa de modelo digital elevación para el área urbana de Pampa Inalámbrica y alrededores

En base al MDE elaborado se ha reconocido que la zona urbana, el Sector Industrial y las zonas de expansión urbana ubicadas en dirección este, se asientan sobre superficies con elevaciones entre 176 y 230 m.s.n.m. Hacia el este se ubican lomas que alcanzan los 270 y 397 m.s.n.m, y en la zona intermedia, se está desarrollando una dinámica eólica a alturas de 230 a 270 m.s.n.m.

2.2. Pendientes

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

El diseño del mapa de pendientes para el área urbana de Pampa Inalámbrica fue desarrollado a partir del MDE elaborado anteriormente, haciendo uso de herramientas de geoprocésamiento (área de influencia, construcción de modelos, análisis espacial, etc.) para diferenciar gráficamente los ángulos de inclinación del relieve en el área de estudio (Figura 3).

2.2.1. Clasificación del grado de pendientes

Para la clasificación de los rangos de pendientes se consideró los valores propuestos por Fidel (2006) ver Tabla 1.

Tabla 1: Rangos de pendientes del terreno

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

El área urbana de la ciudad de Pampa Inalámbrica se encuentra asentada sobre una llanura aluvial que presenta pendientes menores a 5° en promedio, incrementándose en dirección este, entre 20° - 35° debido a la presencia de lomas.

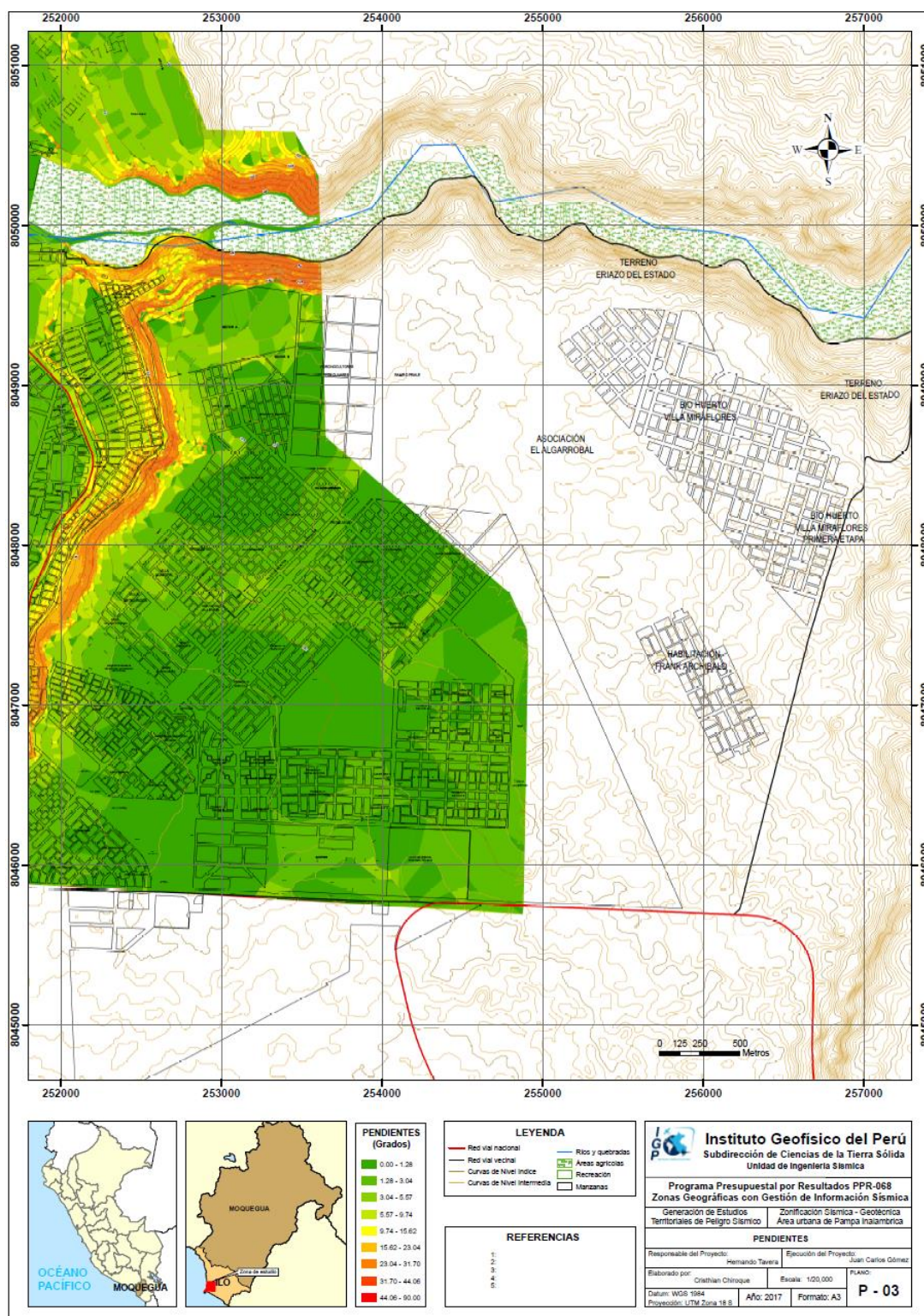


Figura 3: Mapa de pendientes del terreno para el área urbana de Pampa Inalámbrica y alrededores.

2.3. 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.

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

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

En base a las características físicas de las geoformas y su origen, en el área urbana de Pampa Inalámbrica, se cartografiaron siete unidades: lecho fluvial, llanura aluvial, llanura de inundación, playa, terrazas 1, 2 y 3. En la Tabla 2 se muestra a detalle estas unidades y su distribución en la Figura 4.

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

GEOMORFOLOGÍA PAMPA INALÁMBRICA				
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		PROCESO		UNIDAD GEOMORFOLÓGICA
Pendiente	<5°	Origen	Denudacional	Lecho fluvial
Altura	-			
Geometría	alargada			
Drenaje	dendrítico			
Pendiente	5°-20°	Origen	Depositacional	Llanura aluvial baja
Altura	-			
Geometría	redondeada			
Drenaje	-			
Pendiente	5°-20°	Origen	Depositacional	Llanura de inundación
Altura	-			
Geometría	alargada			
Drenaje	dendrítico			
Pendiente	<5°	Origen	Depositacional	Playa
Altura	-			
Geometría	alargada			
Drenaje	-			
Pendiente	5°-20°	Origen	Depositacional	Terrazas 1
Altura	0-100=otros			
Geometría	alargada			
Drenaje	otros			
Pendiente	5°-20°	Origen	Depositacional	Terrazas 2
Altura	0-100=otros			
Geometría	alargada			
Drenaje	otros			
Pendiente	5°-20°	Origen	Depositacional	Terrazas 3
Altura	0-100=otros			
Geometría	alargada			
Drenaje	otros			

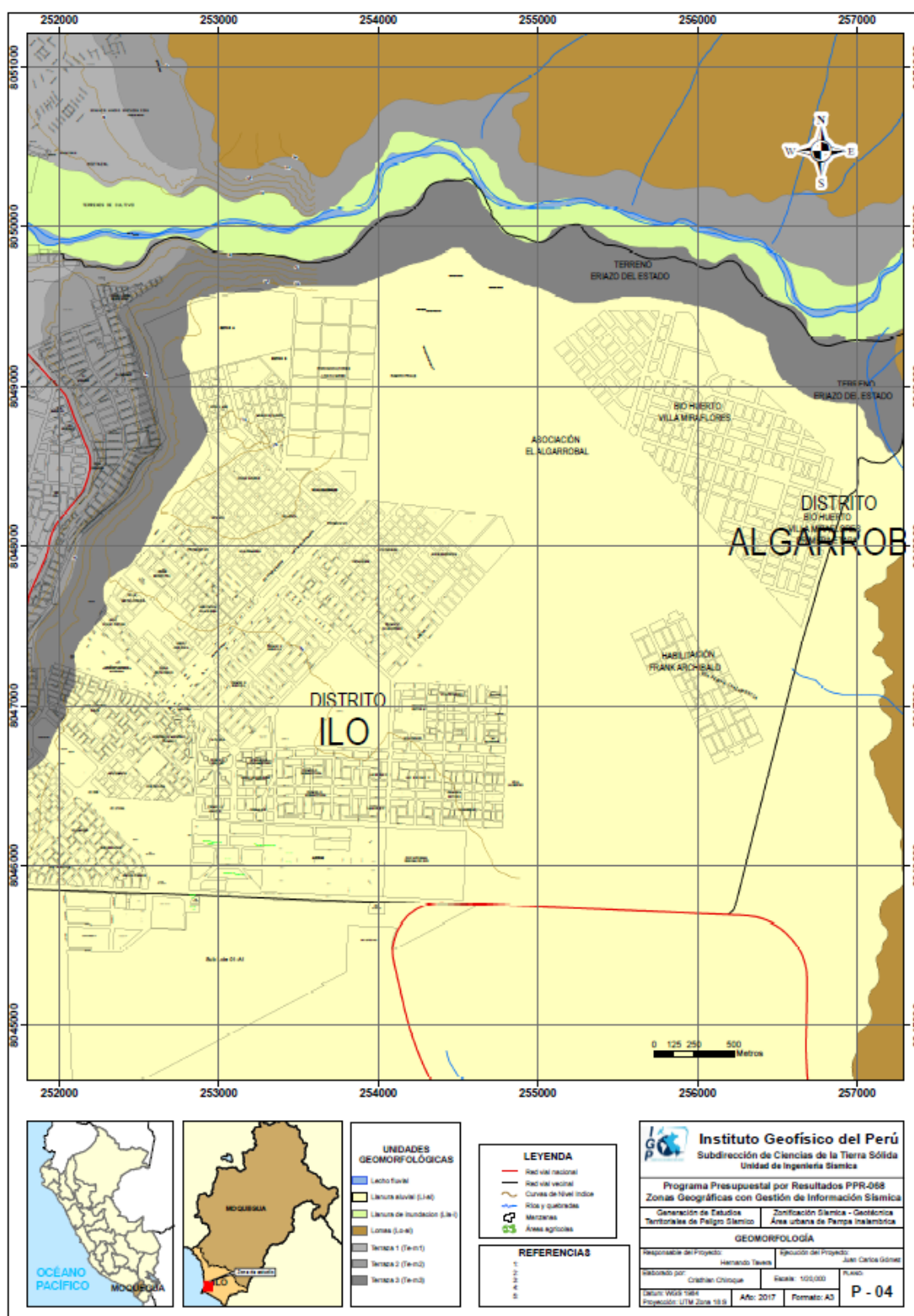


Figura 4: Mapa geomorfológico para el área urbana de Pampa Inalámbrica y alrededores

2.3.1. Lecho fluvial

Es el canal excavado por el flujo de agua de un río y los sedimentos que este transporta durante todo su desarrollo y evolución. La morfología del lecho depende del caudal, la pendiente, el tamaño del sedimento y de lo erosionable que sea el substrato rocoso, es decir, es producto de un equilibrio dinámico entre la carga de sedimentos y su capacidad de transporte.

El lecho fluvial del río Osmore se desplaza con dirección este a oeste con un ancho promedio de 150 m., y en donde se han depositado gran cantidad de materiales de origen fluvial (gravas y arenas medias a gruesas). Abarca el 3% de la zona de estudio (Figura 5).



Figura 5: Lecho fluvial del río Osmore que alcanza un ancho promedio de 150 m en la desembocadura

2.3.2. Llanura aluvial

Esta geoforma de origen depositacional presenta pendientes menores a 5° con desniveles por debajo de 10 m. Tiene geometría redondeada y drenaje dendrítico e irregular. Recientemente, ha sido modificada por la acción del viento (erosión eólica), escorrentía de las aguas superficiales y la actividad antrópica. La unidad llanura ocupa el 60% de la zona de estudio. Asimismo, cerca del 80% de la zona urbana de la ciudad de Pampa Inalámbrica se asienta sobre esta unidad (Figura 6).

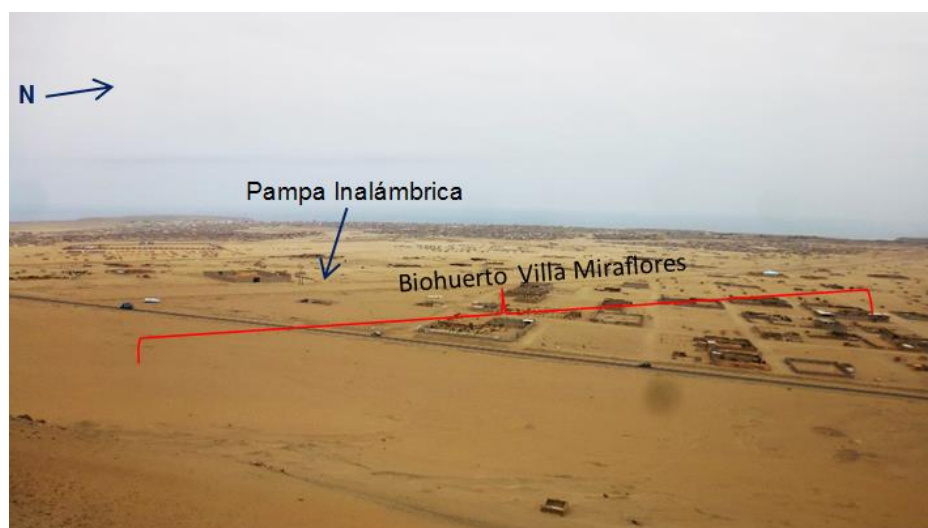


Figura 6: La zona urbana de la ciudad de Pampa Inalámbrica se encuentra asentada sobre una llanura aluvial.

2.3.3. Llanura de inundación

La llanura de inundación ha sido formada por acción del río Osmore que erosionó, transportó y depositó grandes volúmenes de sedimentos de origen mayormente fluvial.

Esta unidad geomorfológica está conformada, en mayor porcentaje, por material aluvio-fluvial, con un ancho variable entre 50 a 100 m desde el lecho fluvial. Esta llanura de inundación abarca el 2% de la zona de estudio (Figura 7). La llanura de inundación presenta escaso desnivel con respecto al cauce del río (menor a 3 m), es por ello que en épocas de precipitaciones, el río inunda la llanura y algunas terrazas en la desembocadura.



Figura 7: Llanura de inundación en ambas márgenes del río Osmore.

2.3.4. Lomadas

Son geoformas que no superan los 500 m de altitud y se encuentran al este del área urbana de Pampa Inalámbrica: cerros El Higueral, Canicora y Corte Blanco. Presentan pendientes mayores a 30° y sus superficies están cubiertas por mantos eólicos conformados por arenas finas que se transportan de Sureste a Noroeste (Figura 8).



Figura 8: Las lomadas sirven como una barrera natural frente a la dinámica eólica de la zona, en algunos sectores se ha formado dunas tipo barcanas.

2.3.5. Terraza aluvial y terraza marina

Son superficies ligeramente inclinadas con relieves que presentan pendientes menores a 7° . Generalmente se encuentran conformados por materiales heterogéneos (clastos angulosos a subredondeados envueltos en una matriz areno-limosa) de origen marino sedimentario (restos coquiníferos y carbonatos bien compactos). Abarca el 15% del área de estudio (Figura 9).

2.3.6. Acantilado

Son cambios bruscos de la pendiente de una superficie con paredes verticales o subverticales que se encuentran al norte del área urbana de Pampa Inalámbrica. Limita o define las llanuras de inundación que forma el río Osmore (Figura 10).

Estas geoformas están cubiertas por detritos que se forman por caída de rocas que afecta la carretera de acceso al caserío El Higueral.

Su origen es principalmente estructural y erosional como son productos de movimientos verticales de la corteza terrestre.



Figura 9: La zona urbana de Ilo se asienta sobre tres terrazas aluviales.



Figura 10: Los acantilados delimitan la llanura de inundaciones del río Osmore.

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 litoestratigráficas. Los tipos de rocas han sido originados por procesos internos (tectónica de placas, ascenso de magma, etc.) como también por la erosión, transporte y depositación de rocas preexistentes (proceso de meteorización).

El intemperismo asociado a los procesos de meteorización, es básicamente un proceso químico, el agua actúa como disolvente, la remoción de los elementos más pequeños del cuerpo de roca deja espacios por ende el agua sigue penetrando y acelerando el proceso de desintegración. La roca se vuelve porosa, después, se descompone en fragmentos cada vez más pequeños, hasta que, al ser transportada y 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 naturaleza y fragilidad. Por ejemplo: la sílice (SiO_2) en forma de cuarzo es estable en climas templados, pero en climas ecuatoriales, las altas temperaturas y las precipitaciones pluviales contribuyen a su descomposición; es por ello que, es importante conocer los tipos de rocas y sus características físicas (Harvey, 1987). Estos procesos de meteorización, modelan tanto la roca como el suelo, dando como resultado las geoformas que componen el relieve, los factores condicionantes como la litología, pendiente, hidrología, etc; así como, los detonantes: sismos y precipitaciones pluviales ocasionan movimientos en masa (deslizamientos, flujos, caídas de rocas). Para entender el comportamiento del terreno, es necesario conocer los procesos geológicos externos (meteorización, erosión, transporte y sedimentación). Se estudian las rocas y los suelos que provienen de las mismas, analizando las propiedades asociadas al comportamiento mecánico.

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

3.1. Geología regional

El marco geológico regional de una ciudad es importante para comprender los procesos y eventos geológicos que ocurrieron a gran escala.

Es así que, se recopiló la información geológica regional del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET 2007) a escala 1:50, 000. En esta, se describen las unidades litológicas aflorantes cuyas edades se encuentran desde el jurásico inferior (199 Ma) hasta el cuaternario reciente.

3.1.1. Geología histórica

Según Narváez (1964) hace 200 millones de años (Jurásico Inferior), en el valle de Ilo, predomina un ambiente continental con ciertas zonas de mares someros, así como una intensa actividad volcánica, lo que originó rocas tales como dioritas y gabros de la Unidad Punta Coles.

Luego, en el jurásico medio (174 Ma), ocurre un proceso de subsidencia (hundimiento), acompañado de actividad volcánica; continua, en el cretáceo un proceso epirogénico que reactivó en la región occidental, dio lugar a rocas tipo granodioritas (Ki-il/gd-h), intercalados con restos calcáreos.

A finales del cretáceo empieza el emplazamiento del batolito de la Costa, afectando las rocas volcánicas – intrusivas antes mencionadas, periodo en el que ocurrió un fallamiento en bloques, el cual se hizo más intenso a fines del Neógeno y principios del cuaternario (2.5 Ma), ocasionando terrazas aluviales y marinas contiguas a la zona de litoral.

3.2. Geología estructural

En los alrededores de la zona de estudio se han reconocido dos zonas estructurales, entre las cuales se tienen: la zona de hundimiento (grabens) y la zona de bloques. De las cuales resalta, la segunda (zona de fallas en bloques) que comprende la zona costera y abarca desde la Bahía de Paracas hasta la parte occidental del río Ica.

3.2.1. Zona de depresión o hundimiento

Se denomina así debido a la presencia de fallas longitudinales que han ocasionado ambientes con formas de grabens y que abarca desde la ciudad de Ático hasta el sur del territorio peruano, entre las Cordilleras de la Costa y Occidental. En la zona de estudio y alrededores de Ilo, esta unidad estructural ha sido la encargada de modelar las llanuras aluviales.

3.2.2. Zona de bloques

Consiste en un sistema de fallas normales de orientación predominante NO-SE que han afectado rocas intrusivas como las fallas de Chololo, Chaspaya, Cerro Loreto, El Abra y Alto los Chilenos (Figura 11).

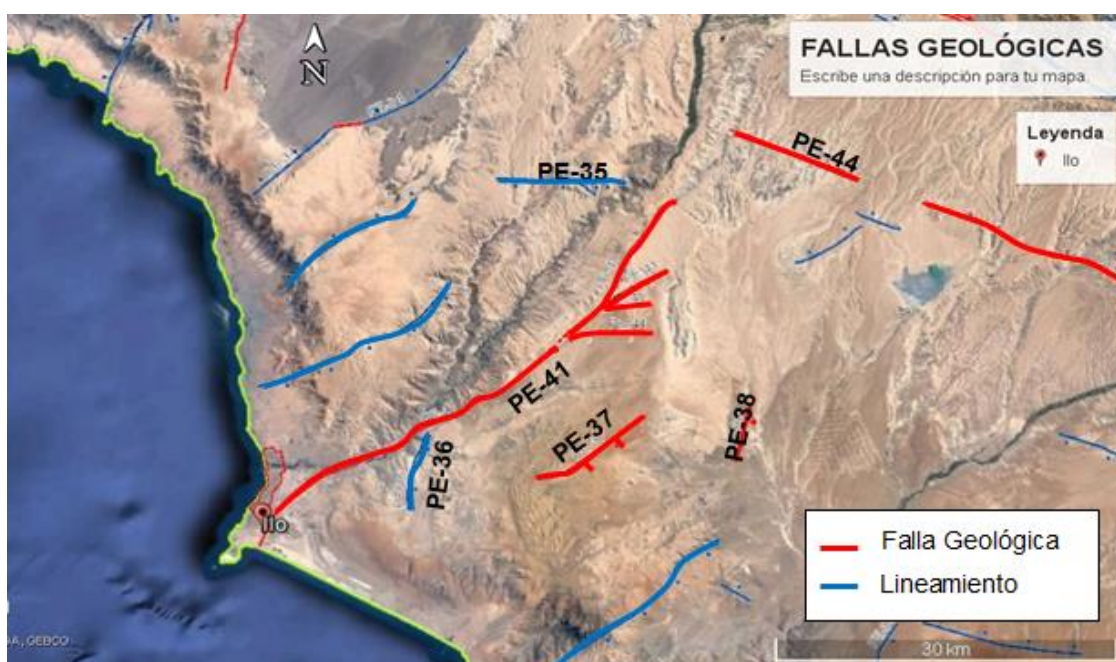


Figura 11: Fallas geológicas identificadas en las inmediaciones de la ciudad de Ilo (INGEMMET, 2009).

Falla Chololo (PE-41): Tiene una longitud aproximada de 40 Km desde Ilo hasta el valle de Moquegua y dirección predominante noreste - suroeste (Audin et al., 2006). Intercepta depósitos cuaternarios recientes (materiales aluviales) y tiene cierta influencia en la reorganización del drenaje (cauces de ríos y paredes de Montañas).

Esta falla se considera activa debido a evidencias que fueron observadas en el sismo del año 2001 en los distritos de Algarrobal y Pampa Inalámbrica. De

acuerdo a versión de los pobladores se generaron grietas en el suelo y en algunos sectores las viviendas colapsaron.

Finalmente, (Meza y Chacón) afirman que en Pampa Inalámbrica se han construido infraestructuras (reservorio, centro de tratamiento e institución educativa) y durante su emplazamiento han observado agrietamientos y fracturas en el subsuelo.

Falla Chaspaya (PE-37): Se ubica a 27.5 Km al este de Ilo, en el lado suroeste del cerro Chaspaya, a lo largo de 10 km aproximadamente, con dirección noreste-suroeste e inclinación hacia el sureste.

Falla Cerro Loreto (PE-36): La falla de Cerro Loreto se ubica a 11 Km al este de la ciudad de Ilo, presenta un escarpe relativamente erosionado, que no permite observar evidencias o indicadores de actividad reciente (Fenton et al., 1995).

3.3. Geología local

Consistió en el reconocimiento y cartografiado de las unidades litológicas aflorantes en el área urbana de Pampa Inalámbrica a escala 1:15, 000, sobre un área de 33 km² aproximadamente. En la Tabla 3 se describe estas unidades y en la Figura 12, se muestra su distribución.

Tabla 3: Columna cronolitoestratigráfica de la zona de estudio

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS	SÍMBOLO	LITOLOGÍA
Cenozoico	Cuaternario		Depósito coluvial	Q-co	Clastos angulosos a subredondeados
			Depósito eólico	Q-e	Arenas finas
			Depósito fluvial	Q-fl	Gravas redondeadas a subredondeadas con arenas de grano medio a grueso
			Depósito aluvial 1	Qh-al1	Gravas angulosas a redondeadas en matriz areno limosa
			Depósito aluvial 2	Qh-al2	Gravas angulosas a redondeadas en matriz areno limosa
Mesozoico	Cretácico		Superunidad Ilo	Ki-il/gd-h	Granodioritas
	Jurásico	Medio	Superunidad Punta Coles, Gabros	Jim-pc/gb	Gabros
		Inferior	Superunidad Punta Coles, Diorita	Jim-pc/di	Dioritas

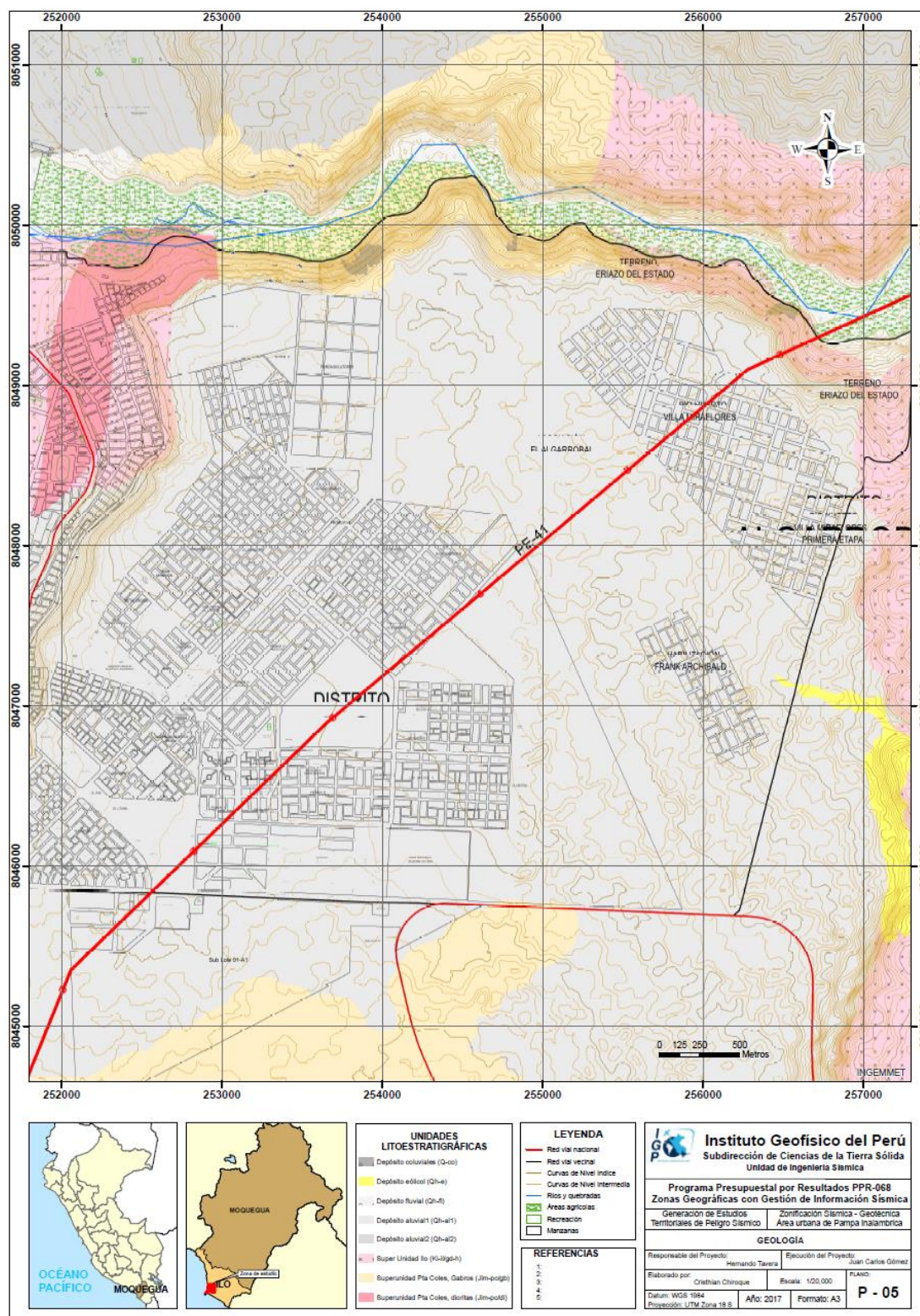


Figura 12: Mapa de geología local para el área urbana de Pampa Inalámbrica y alrededores.

3.3.1. Súper Unidad Punta Coles

Esta unidad forma parte del batolito jurásico donde abundan los emplazamientos de gabros, dioritas y monzotonalitas.

-Súper Unidad Punta Coles, Dioritas (Jim-pc/di): Este miembro está conformado por dioritas que afloran al oeste del área de Pampa Inalámbrica. Este tipo de rocas afloran en el Pueblo Joven Miguel Grau y en algunos sectores cercanos al cauce del río Osmore. Asimismo, al este de Pampa Inalámbrica en los cerros El Higueral, Canicora y Corte Blanco (Figura 13).



Figura 13: Dioritas que afloran en el cerro el Higueral.

-Súper Unidad Punta Coles, Gabros (Jim-pc/gb): Es unidad está conformada por gabros que afloran al oeste de Pampa Inalámbrica en la zona urbana de Ilo (Figura 14).



Figura 14: Afloramiento de gabros de la Superunidad Punta Coles.

-Súper Unidad Ilo (Ki-il/g-h): Esta unidad forma parte del denominado Batolito de Ilo (Moquegua) donde las rocas que predominan son principalmente de naturaleza tonalítica y granodiorítica (Figura 15).



Figura 15: Tonalitas que conforman la Superunidad Ilo.

3.4. Depósitos Cuaternarios

Suprayaciendo al substrato rocoso conformado por rocas intrusivas, se encuentran los depósitos cuaternarios de edad Holocena, principalmente de origen aluvial, eólico y fluvial. Las características de estos materiales son:

3.4.1. Depósitos aluviales 3 (Qh-al3): Están constituidos por una cobertura de arenas de granulometría gruesa a fina de origen eólico y color beige que se transportan desde la zona de playas. Las capas con profundidad de 1.00 m están conformadas por gravas y gravillas angulosas de compacidad media a baja (Figura 16). En algunos sectores los depósitos eólicos presentan capas hasta 2 m de profundidad.

3.4.2. Depósitos aluviales 2 (Qh-al2): Estos depósitos están conformados por gravas y clastos subredondeados a angulosos con matriz arenosa de color beige, los cuales son transportados por escorrentía desde la parte alta (Figura 17).



Figura 16: La zona urbana de Pampa Inalámbrica se asienta sobre depósitos aluviales conformados por arenas finas.



Figura 17: Depósitos aluviales presentes en las quebradas intermitentes del sector Pueblo Nuevo.

3.4.3. Depósitos aluviales 1 (Qh-al1): Los depósitos aluviales están conformados por conglomerados con matriz areno limosa y cubiertas de gravillas angulosas (Figura 18).

3.4.4. Depósitos fluviales 1 y 2 (Qh-fl1/2): Dichos materiales están conformados por gravas redondeadas y limos que han sido transportados por la dinámica y evolución del curso y cauce actual del río Osmore (Figura 19).

La diferenciación entre los depósitos fluviales 1 y 2, se basa en la dinámica actual del río Osmore. Los depósitos fluviales 2 constituyen actualmente la llanura de inundación adyacente al río y solo presentan erosión y no depositación de materiales.



Figura 18: La zona urbana de Ilo se asienta sobre este tipo de depósitos aluviales.



Figura 19: El lecho del río Osmore está cubierto por gravas redondeadas con arenas de grano medio a grueso.

3.4.5. Depósitos eólicos (Qh-e): Constituidos por arenas de grano fino. Éstos forman pequeños mantos de arena de grano fino a medio que se ubican al este de Pampa Inalámbrica, se encuentran formando dunas tipo barcanas (Figura 20).

3.4.6. Depósitos coluviales (Q-co): Conformados por conglomerados no consolidados con clastos mayores a 5" de diámetro y angulosos de naturaleza intrusivo. Se observaron en la ladera de las terrazas adyacentes al río Osmore hacia el norte de la zona urbana de la ciudad de Pampa Inalámbrica (Figura 21).



Figura 20: Dunas tipos barcanas al este de Pampa Inalámbrica.



Figura 21: Contacto geológico entre la formación Guaneros y los depósitos coluviales, ladera de la loma Cristo Redentor

4. GEODINÁMICA

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

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

4.1. Procesos de geodinámica interna

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

4.2. Procesos de geodinámica externa

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

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

-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).

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

La acción por separado o en conjunto de los factores que dan origen a los procesos externos, favorecen a la ocurrencia de los eventos Geodinámicos (Figura 22), los cuales se dividen según su origen en: fluvio-aluvial e hidrogravitacional.

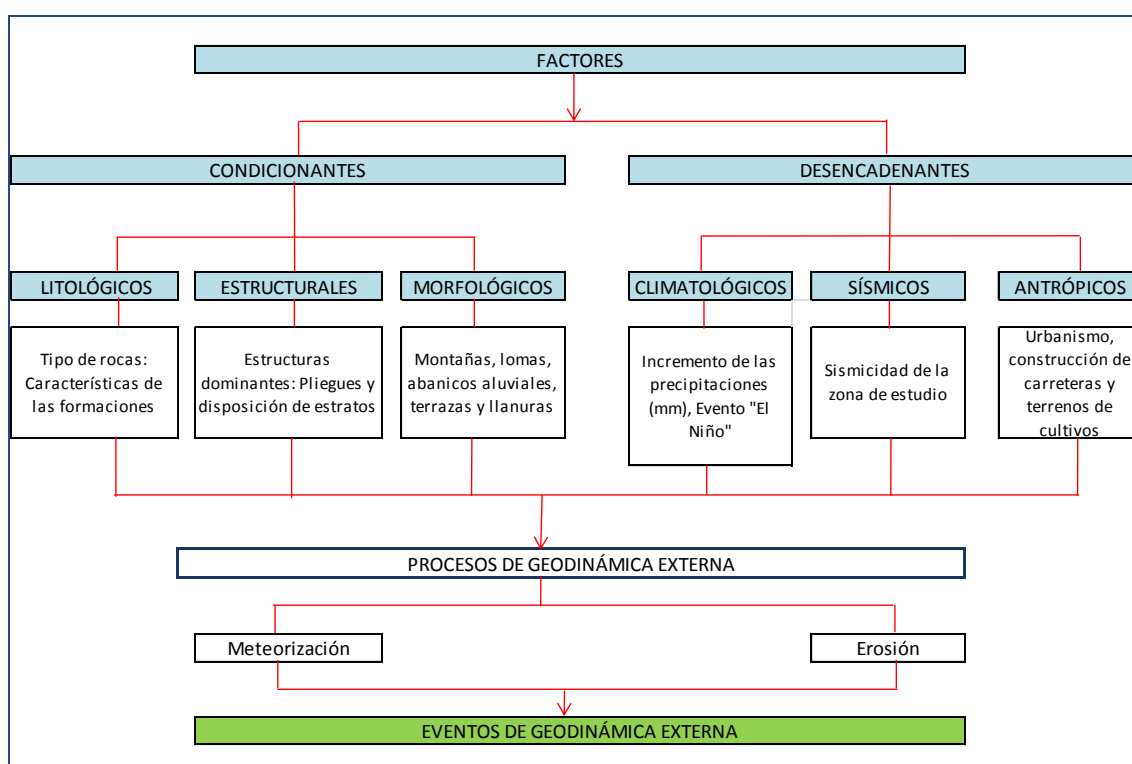


Figura 22: Factores asociados a procesos de geodinámica externa que contribuyen a la ocurrencia de eventos geodinámicos

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

la cual genera la escorrentía superficial, esto provoca el arrastre progresivamente de los materiales a posiciones de menor energía potencial (menor pendiente). La carga de sedimentos transportados por la quebrada o río incrementen la acción erosiva y son capaces de producir remoción de los materiales (Brusi, 2013): Flujos de detritos e inundación. Los eventos geodinámicos originados por procesos pluviales son descritos a continuación:

-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 (Figura 23).

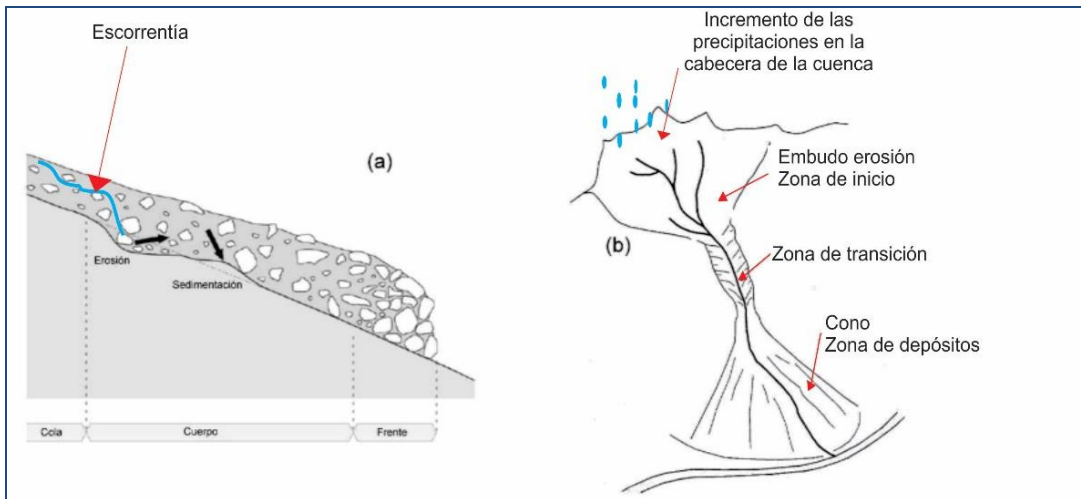


Figura 23: a) Proceso de erosión por las aguas de escorrentía y acumulación de material. b) Vista frontal de la cuenca y desarrollo del evento en cabecera de la cuenca por incremento de las precipitaciones, zona de transición (zona de almacenamiento de material y la depositación del material), modificado del GITS (Grupo de investigación de transportes de sedimentos)

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

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

-Caída de rocas: Es el resultado del debilitamiento de la masa de roca, debido a la fragmentación y a la ausencia de soporte lateral, produciendo el deterioro de la estructura del talud por la acción de la meteorización. En este caso se forman prismas o pequeñas placas con dimensión mínima de 50 mm, que caen por gravedad (Figura 24).

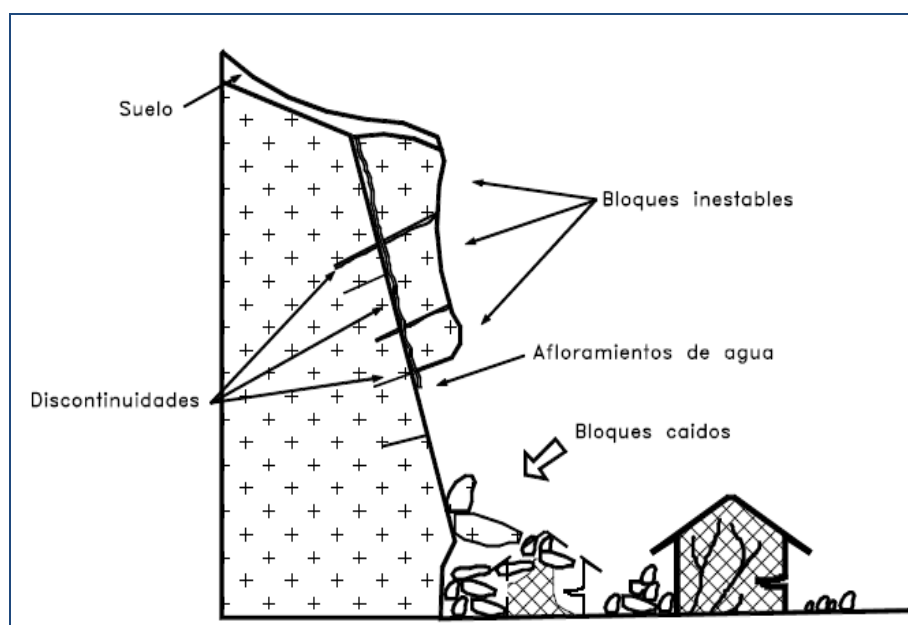


Figura 24: Proceso de caída de rocas (Suárez, 1998).

En el área urbana de Pampa Inalámbrica, se han cartografiado dos tipos de eventos geodinámicas (Figura 25), los cuales según el proceso y factores que intervienen, se han clasificado de la siguiente manera:

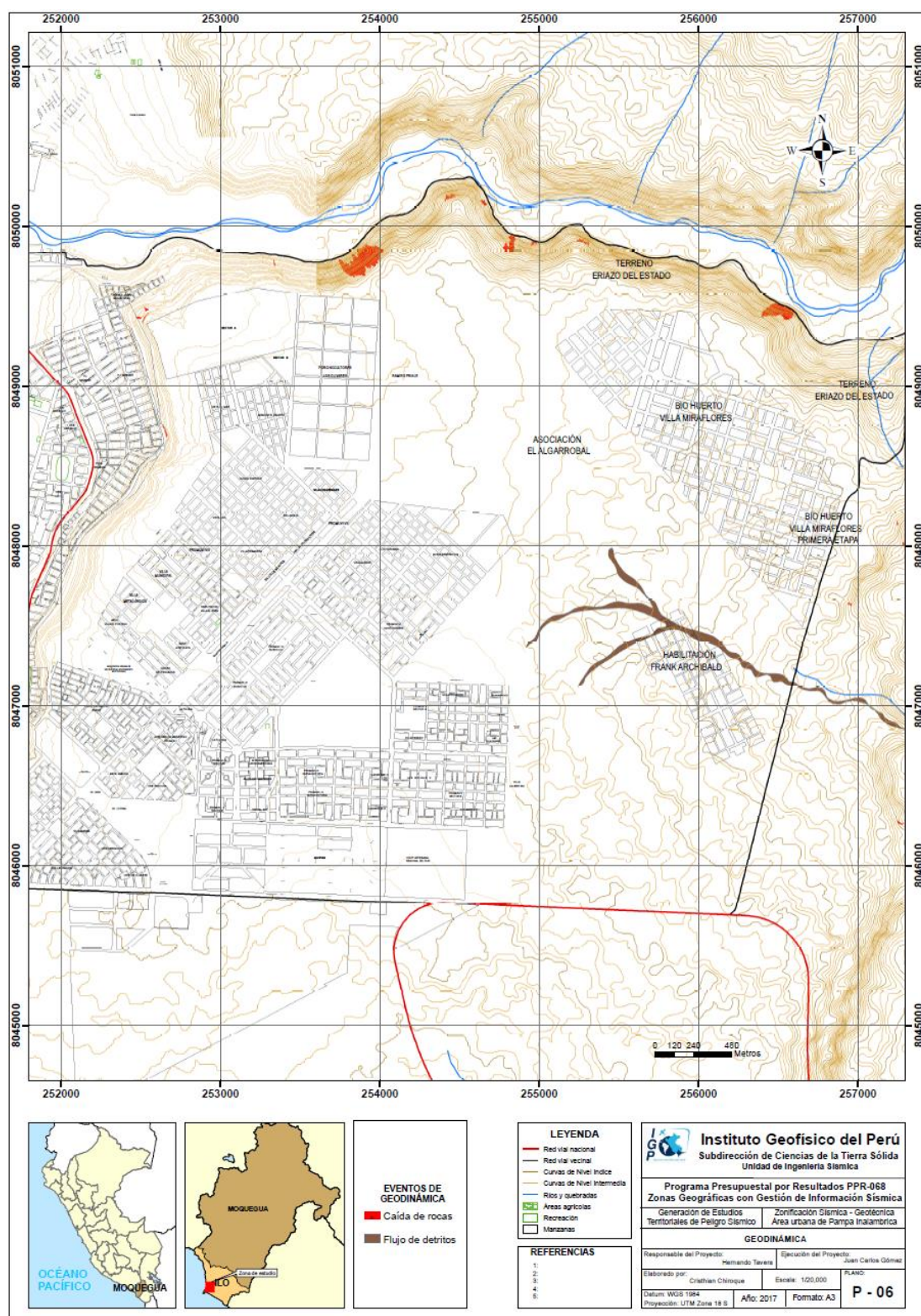


Figura 25: Mapa Geodinámico del área urbana de Pampa Inalámbrica y alrededores.

4.2.1. Flujos de detritos

Son eventos rápidos saturados, no plásticos, que ocurren 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 de 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.

En la zona de estudio los flujos de detritos se identificaron en la quebrada El Higueral y solo se activa en temporada de lluvias intensas (Figura 26).

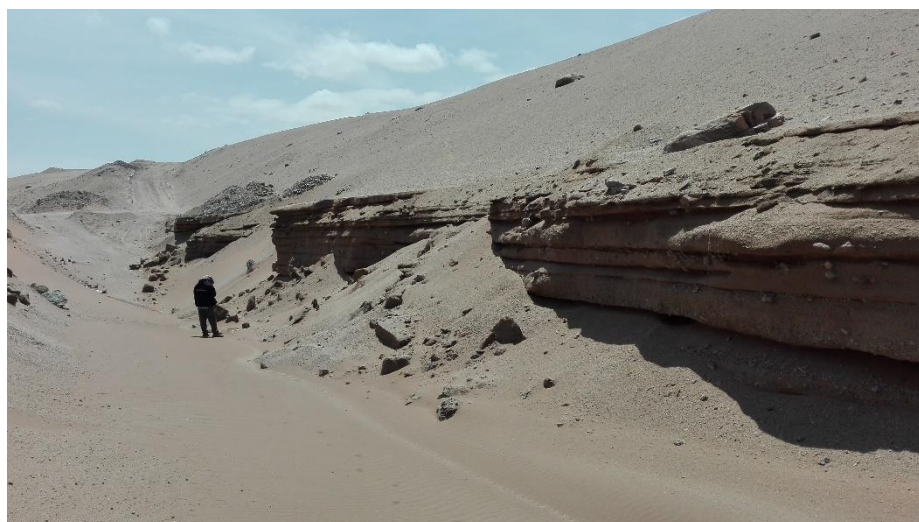


Figura 26: Quebrada El Higueral ubicada al este de Pampa Inalámbrica y que desciende de oeste a este hacia la zona urbana.

4.2.2. Caída de rocas

En este tipo de evento, 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 de las lomas). En la zona de estudio se identificaron en las laderas de las terrazas y montañas que rodean la zona urbana de la ciudad de Pampa Inalámbrica (Figura 27).

En general, los eventos geodinámicos como caída de rocas no afectan directamente a la población, pues no existen viviendas cerca de dichos peligros.



Figura 27: Caída de rocas en el cerro El Higueral.

5. ASPECTOS GEOTÉCNICOS

Los materiales inconsolidados que han sido resultado de los procesos de erosión y que posteriormente han sido 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, conforman los suelos sobre los cuales 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 presentan dichos procesos, en el diagrama líneas abajo se indica el origen de los suelos (Figura 28).

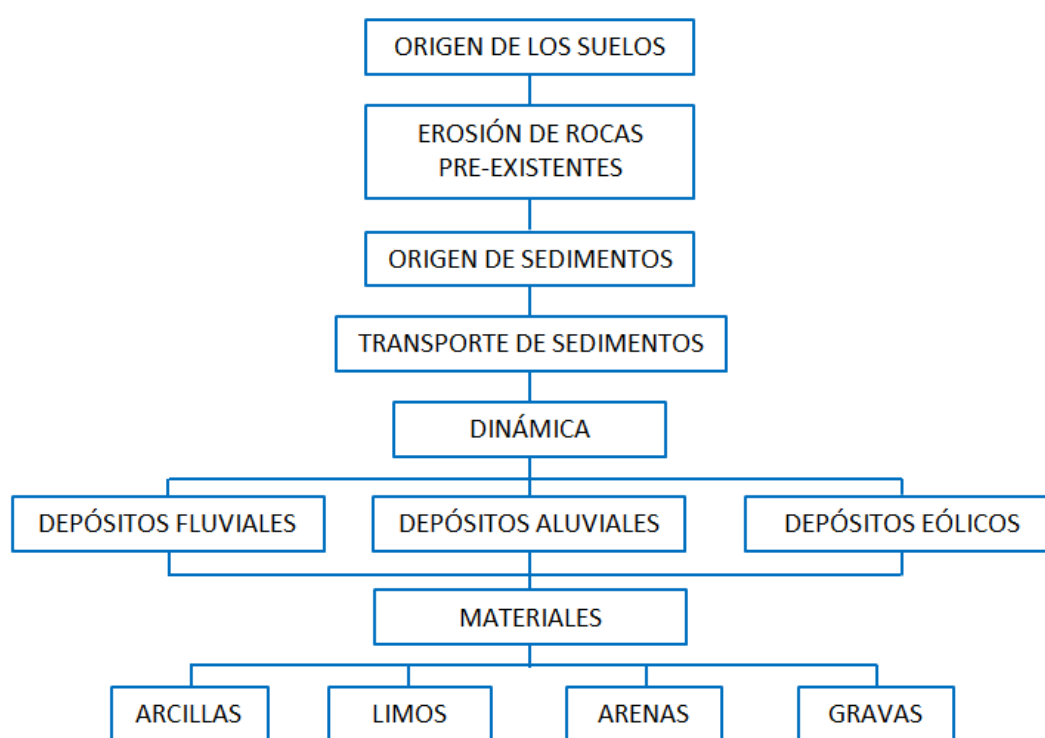


Figura 28: Diagrama del origen de los suelos.

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

En el área urbana de Pampa Inalámbrica se realizó el estudio geotécnico que consistió en la elaboración de calicatas, densidad de campo, posteos y ensayos de

penetración dinámica ligera (DPL). La distribución de las excavaciones se muestra en la Figura 29.

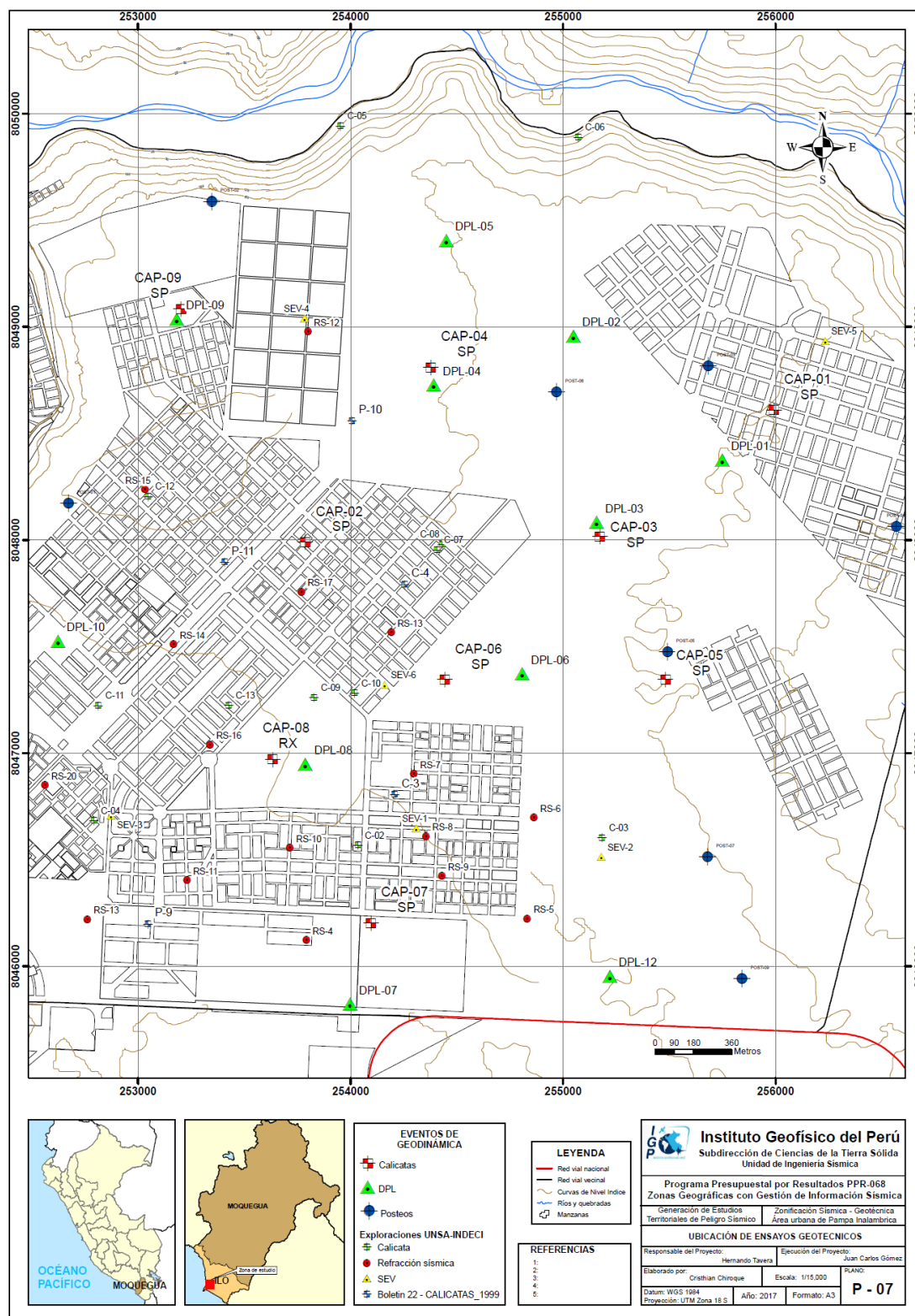


Figura 29: Mapa de distribución de calicatas, posteos y DPL para el área urbana de Pampa Inalámbrica y alrededores

Asimismo, de las calicatas se extrajeron nueve (9) 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.

5.1. Exploraciones a cielo abierto (Norma ASTM D420)

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.), para 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.

-Procedimiento:

Reconocimiento de la zona de estudio: Las exploraciones se realizaron de tal manera que se distribuyan de manera uniforme en el área de estudio y en base al análisis visual de las características del terreno, accesibilidad y lugares apropiados donde realizarlas.

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

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

5.1.1. Descripción de calicatas

Una vez terminada la excavación de la calicata, se procede elaborar el perfil estratigráfico del subsuelo. La Tabla 4, muestra las coordenadas de las exploraciones realizadas.

Tabla 4: Ubicación de calicatas en el área urbana de Pampa Inalámbrica.

PUNTO	UTM ESTE (m)	UTM NORTE (m)	ELEVACIÓN (m.s.n.m.)	PROFUNDIDAD (m)	NIVEL FREÁTICO A (m)
CAP-01	255992	8048610	255	2.80	N.P
CAP-02	253787	8047990	165	2.95	N.P
CAP-03	255173	8048019	240	3.00	N.P
CAP-04	254377	8048810	220	2.20	N.P
CAP-05	255483	8047345	250	3.00	N.P
CAP-06	254443	8047345	165	3.00	N.P
CAP-07	254095	8046203	140	2.95	N.P
CAP-08	253633	8046972	150	0.30	N.P
CAP-09	253202	8049086	170	3.20	N.P

En general, las profundidades promedio sobrepasaron los 2.50 m, no habiéndose encontrado niveles freáticos a lo largo de la columna de estratos; sin embargo, la presencia de capas cementadas con carbonatos de calcio y sales (caliches) dificultó las excavaciones en los primeros (Figura 30).

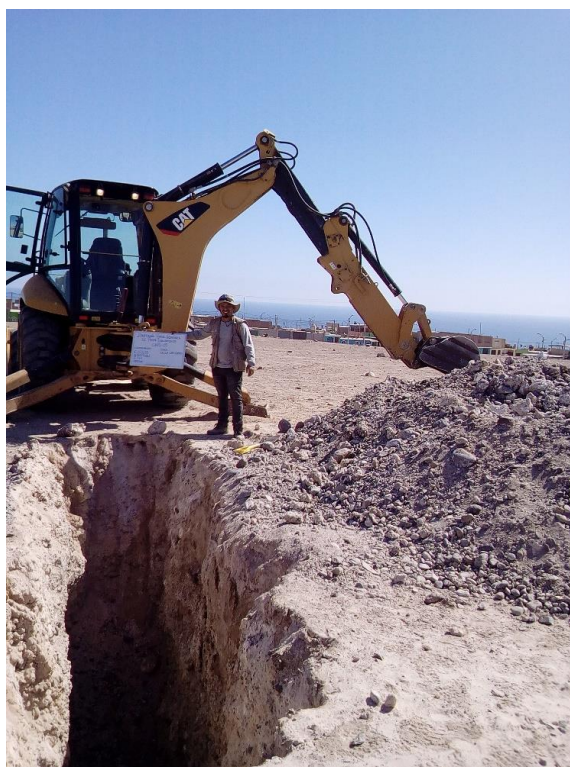


Figura 30: Calicata CA-09 ubicada en el sector denominado Mirador del Pacífico

5.2. Exploraciones con posteadora manual (Norma ASTM D1452)

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

En general, la posteadora presenta restricciones en suelos con presencia de gravas y gravillas (las cucharas sacan muestras se entranpan con este tipo de suelos).

-Procedimiento:

Con la posteadora se penetra el subsuelo desde la superficie, de tal manera que, se gira manualmente el equipo ejerciendo presión sobre el suelo, a medida que se va incrementando la profundidad, se van conectando y añadiendo las varillas de 1 metro de extensión para la obtención de muestras con las cucharas acopladas en el extremo. Estas exploraciones fueron distribuidas entre las calicatas en lugares donde no existía información geotécnica para obtener mejor caracterización de los suelos en el área urbana de Pampa Inalámbrica. En la Tabla 5 se muestra los resultados obtenidos.

Tabla 5: Coordenadas UTM de ubicación de los Posteos.

PUNTO	UTM ESTE (m)	UTM NORTE (m)	ELEVACIÓN (m.s.n.m.)	PROFUNDIDAD (m)	TIPO DE SUELO (SUCS)	NIVEL FREÁTICO A (m)
POST-01	252672	8048174	175	0.25	GP	N.P.
POST-02	253346	8049589	160	0.40	GM	N.P.
POST-03	255682	8048817	245	0.45	SM	N.P.
POST-04	256567	8048063	275	0.65	SM	N.P.
POST-05	255491	8047475	255	0.50	SM	N.P.
POST-06	254968	8048696	235	0.40	SM	N.P.
POST-07	255679	8046513	250	0.45	SM	N.P.
POST-08	252056	8047398	130	0.35	SM	N.P.
POST-09	255841	8045942	240	0.35	SM	N.P.
POST-10	252088	8046059	130	0.20	SM	N.P.

De acuerdo a su geología, los suelos del área urbana de Pampa Inalámbrica están conformados principalmente por estratos superficiales cementados y bien compactos conformados por caliches, por esta razón el equipo no ha penetrado a mayor profundidad que 0.70 m (Figura 31). Los detalles de los posteos se presentan en los Anexos.



Figura 31: Ensayo con posteadora manual

5.3. Ensayos de penetración dinámica ligera (Norma DIN 4094)

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.

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

En general, este ensayo es aplicable en terrenos arenosos, arcillosos y limo arenoso, no recomendable a utilizarse en gravas, fragmentos gruesos, conglomerados y terrenos rocosos.

-Procedimiento:

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

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

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

En la Tabla 6, se indica la ubicación de los 13 ensayos de penetración dinámica ligera (DPL) realizados en el área urbana de Pampa Inalámbrica (Figura 32). La profundidad mínima alcanzada de 0.40 m, debido a que los estratos contienen carbonatos de calcio y sales (caliche). Para profundidades entre 1.00 y 1.20 m., se muestra el número de golpes y el ángulo de fricción. Posteriormente, estos valores se corrigen y correlacionan, para obtener el N y SPT, valores que permitirán calcular algunos parámetros geotécnicos como: ángulo de fricción y cohesión usados para calcular la capacidad de carga admisible.

Tabla 6: Ubicación de ensayo de Penetración Dinámica Ligera (DPL) y parámetros obtenidos

PUNTO	UTM ESTE (m)	UTM NORTE (m)	ELEVACIÓN (m.s.n.m.)	PROFUNDIDAD (m)	NÚMERO DE GOLPES	ϕ
DPL-03	255157	8048083	240	2.07	40	38.5
DPL-05	254450	8049406	225	1.46	47	40.3
DPL-06	254807	8047372	170	1.27	48	40.5
DPL-07	253998	8045822	195	1.05	46	40
DPL-09	253184	8049037	170	1.30	39	38.2
DPL-12	255221	8045953	220	1.28	48	40.5
DPL-13	255180	8046571	130	1.60	45	39.7

ϕ : Ángulo de fricción interna



Figura 32: Ensayo de penetración dinámica ligera (DPL-03)

Los ensayos de DPL se realizaron hasta profundidades máxima de 2.07 m. y mínima de 1.05 m, debido a que los suelos están conformados por gravas que presentan ángulos de fricción entre 38.5° y 40.5° en promedio: característicos de suelos granulares de compactación alta. Los datos obtenidos de los valores de ensayos se presentan en fichas de DPL que se adjuntan en los anexos.

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

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

Entre los diversos métodos de correlación para el número de golpes del ensayo DPL y SPT, en base a las características del terreno (compactación, resistencia y deformabilidad), 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 hincapi 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 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.

5.4.1. Cálculo del ángulo de fricción interna a partir del N_{SPT}

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 de la ciudad de Pampa Inalámbrica, se empleó la relación experimental propuesta por Osaki (1959), debido a que, es la más usada internacionalmente y sus resultados son conservadores (Tabla 7).

Tabla 7: Cálculo del ángulo de fricción interna, usando valores de N_{SPT}

ENSAYO	N_{SPT} CORREGIDO	ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA (ϕ'_{NSPT})	N_{SPT} CORREGIDO	ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA (ϕ'_{NSPT})
DPL-03	21.29	35.6	23.95	36.9
DPL-05	31.21	40.0	29.52	39.3
DPL-06	30.48	39.7	11.61	30.2
DPL-07	21.77	35.9	-	-
DPL-09	32.18	40.4	11.37	30.1
DPL-12	22.26	36.1	11.61	30.2
DPL-13	22.02	36.0	10.89	29.8
PROFUNDIDAD DEL ENSAYO	1.00 – 1.20 m		1.30 – 1.50 m	

Tabla 8: Compacidad relativa y ángulo de fricción interna e los suelos en base al NSPT

COMPACIDAD RELATIVA DE SUELOS GRANULARES			CONSISTENCIA EN SUELOS COHESIVOS		
VALOR DE N_{SPT}	COMPACIDAD RELATIVA	ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA ϕ	VALOR DE N_{SPT}	CONSISTENCIA	ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA ϕ
0 – 4	Muy Suelta	$>28^\circ$	<2	Muy blanda	0°
4 – 10	Suelta	$28^\circ - 30^\circ$	2 – 4	Blanda	$0^\circ - 2^\circ$
10 – 30	Media	$30^\circ - 36^\circ$	4 – 8	Media	$2^\circ - 4^\circ$
30 – 50	Compacta	$36^\circ - 41^\circ$	8 – 15	Compacta	$4^\circ - 6^\circ$
>50	Muy Compacta	$>41^\circ$	15 – 30	Muy Compacta	$6^\circ - 12^\circ$
			>30	Dura	$>14^\circ$

ϕ : Ángulo de fricción interna

De acuerdo a los datos de las Tablas 7 y 8, los suelos del área urbana de Pampa Inalámbrica en su mayoría son granulares (arenas y gravas) y a profundidades comprendidas entre 1.00 y 1.20 m, presentan compacidad media. A profundidades de 1.30 y 1.50 m, la compacidad relativa del suelo varía a media (ángulo de fricción 36° a 30.1°) debido a presencia de capas carbonatadas (caliches) superficiales bien compactas hasta 1.00 m, para luego a mayor profundidad, arenas sueltas.

En los anexos, se presenta las fichas resumen para cada ensayo realizado en campo, así como sus valores de ángulos de fricción interna (Figura 33).

	PERÚ	Ministerio del Ambiente	Instituto Geofísico del Perú - IGP	Dirección Científica	Subdirección de Ciencias de la Tierra Sólida	Unidad de Geodinámica
ENSAYO DE PENETRACIÓN DINÁMICA LIGERA (NORMA DIN - 4094)						

PROYECTO: ZONIFICACIÓN SÍSMICA - GEOTÉCNICA DE LA CIUDAD DE PAMPA INALÁMBRICA

UBICACIÓN: Urb. Villa Miraflores

PROFUNDIDAD (m): 0.64
COORDENADAS (m): 255779E

FECHA: 29 de Junio del 2017
ELABORADO POR: Cristhian Chiroque H.
APROBADO POR: Juan Carlos Gómez A.
RESPONSABLE DEL PROYECTO: Hernando Tavera

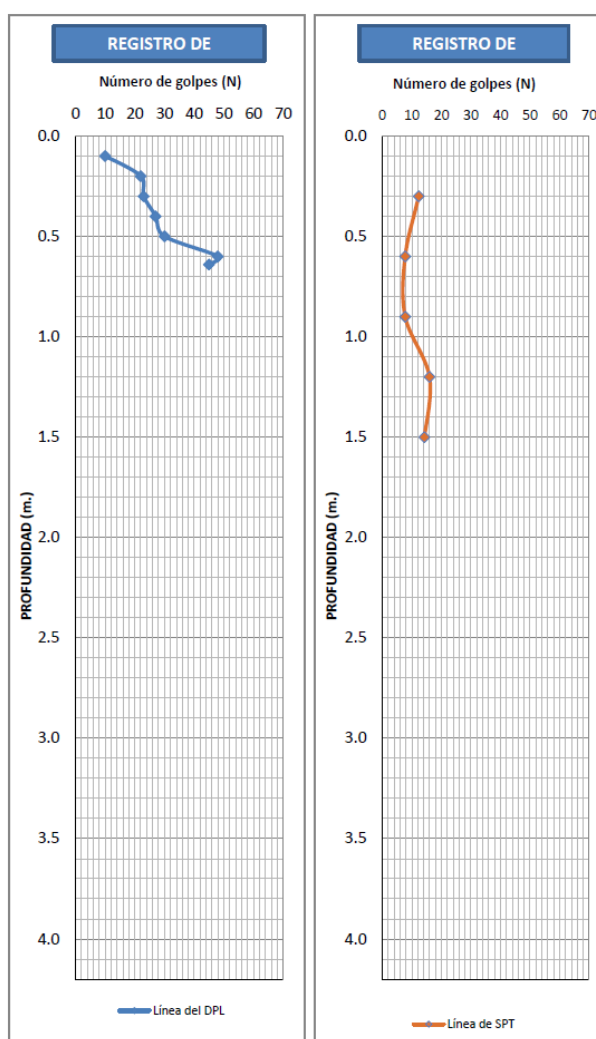
ENSAYO: **DPL-01**

HOJA: 1/1

N.F: ☐ NO presenta nivel freático

Correlación entre DPL y SPT

PROF. (m.)	N _{dpl} (golpes)	N _{spt} (golpes)	C' _{spt} (Tn/m ²)	Ø' _{spt} (°)	Compacidad Relativa
0.00					
0.10	10				
0.20	22	13.31	0.0	31.3	Media
0.30	23				
0.40	27				
0.50	30	25.40	0.0	37.5	Media
0.60	48				
0.64	45				
0.80		10.89	0.0	29.8	Media
0.90					
1.00					
1.10			0.0	#####	
1.20					
1.30					
1.40			0.0	#####	
1.50					
1.60					
1.70			0.0	#####	
1.80					
1.90					
2.00			0.0	#####	
2.07					
2.20					
2.30					
2.40					
2.50					
2.60					
2.70					
2.80					
2.90					
3.00					
3.10					
3.20					
3.30					
3.40					
3.50					
3.60					
3.70					
3.80					
3.90					
4.00					
4.10					
4.20					



OBSERVACIONES: Se concluye el ensayo a 0.64, debido a que el suelo ofrece resistencia a la penetración.

Figura 33: Diagrama de correlación entre el número de golpes del DPL y el número de golpes del SPT, y cálculo del ángulo de fricción interna corregido.

5.5. Clasificación SUCS para suelos

En base a la información geotécnica recopilada de las calicatas, posteos, DPL y la inspección visual del terreno en el área urbana de Pampa Inalámbrica se ha identificado la existencia 1 tipo de suelo, agrupado haciendo uso del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), (Tabla 9 y Figura 34).

Suelo tipo SP: Conformados por arenas mal graduadas con contenido de gravas y gravillas angulosas a subangulosas. El contenido de humedad es menor a 5% y constituyen suelos con grado de compactación bajo a medio que no presentan plasticidad. Estos suelos representan el 60 % del área de estudio y se han identificado en las calicatas CAP-01, CAPH-02, CAP-03, CAP-04, CAP-05, CAP-06, CAP-07 y CAP-09: sectores A.V. Biohuerto “Villa Miraflores”, Urb. Vista Alegre, Urb. Villa El Bosque, Sector Gana Perú, Urb Frank Archibald, A.V Villa Miraflores, Urb. Las Brisas y Mirador del Pacífico respectivamente.

Capas carbonatadas (caliches): En las calicatas realizadas se han encontrado capas carbonatadas de calcio y contenido de sales hasta 1.50 m de profundidad. Estos se encuentran cementando arenas de grano medio a grueso con gravas y gravillas, y contenido de conchas y restos calcáreos triturados. Están bien compactadas en los primeros centímetros para mostrarse luego en deleznales a medida que se profundiza el ensayo.

Afloramiento de rocas: El 30% de las áreas estudiadas corresponden a afloramientos de rocas bien fracturadas con restos de capas carbonatadas (caliches). Esta zona está cubierta por una capa detrítica superficial conformada por gravas angulosas con matriz areno limosa. Estos afloramientos se encuentran distribuidos hacia el Mirador del Pacífico en los sectores: Vista Azul, Villa Primavera, Villa Municipal, Habitación El Eden, Villa Metalurgia, Asoc. Villa El Porteño, Asoc. José Olaya, Villa Valcárcel (ENACE), AA. HH Las Gardenias, Urb. Trabajadores de La Educación.

Tabla 9: Clasificación de Suelos de las nueve (09) calicatas elaboradas en el área urbana de Pampa Inalámbrica

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
CAP - 01	2.80	N.P.	17.7	81.3	0.89	N.P.	N.P.	N.P.	10.87	SP	Arena mal graduada con gravas
CAP - 02	2.95	N.P.	8.0	83.8	0.56	N.P.	N.P.	N.P.	9.32	SP	Arena mal graduada con gravas
CAP - 03	3.00	N.P.	18.2	81.1	0.67	N.P.	N.P.	N.P.	0.12	SP	Arena mal graduada con gravas
CAP - 04	3.00	N.P.	10.2	84.6	0.36	N.P.	N.P.	N.P.	5.19	SP	Arena mal graduada con gravas
CAP - 05	3.00	N.P.	23	70	0.54	N.P.	N.P.	N.P.	7.12	SP	Arena mal graduada con gravas y limos
CAP - 06	3.00	N.P.	42.5	57	0.53	N.P.	N.P.	N.P.	8.43	SP	Arena mal graduada con gravas
CAP - 07	2.95	N.P.	18.1	80.9	0.34	N.P.	N.P.	N.P.	11.92	SP	Arena mal graduada con gravas
CAP - 09	3.30	N.P.	46.3	52.9	0.43	N.P.	N.P.	N.P.	3.07	SP	Arena mal graduada con gravas

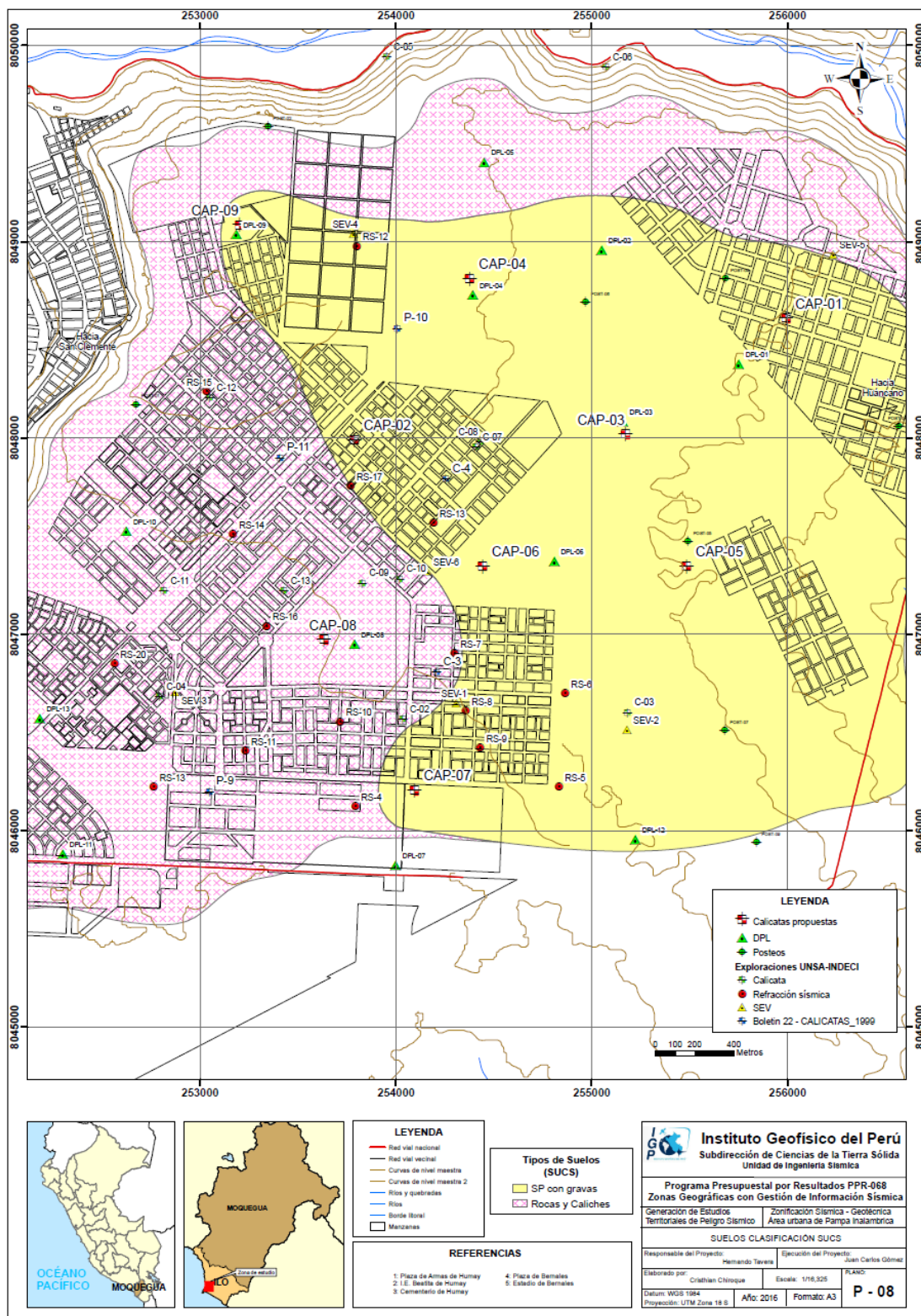


Figura 34: Mapa de clasificación SUCS para el área urbana de Pampa Inalámbrica y alrededores.

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

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

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

Tabla 10: Valores obtenidos del ensayo de corte directo

MUESTRA	Ángulo de fricción interna del suelo (ϕ)	Cohesión aparente del suelo (Tn/m^2)	Densidad natural (Tn/m^3)
CAPI-01	29.74	0.07	2.10
CAPI-02	29.28	0	1.90
CAPI-03	35.6	0.10	1.93
CAPI-04	30.67	0.06	1.88
CAPI-05	40.00	0.08	1.80
CAPI-06	39.70	0	1.76
CAPI-07	35.90	0.4	1.35
CAPI-08	40.51	0	-
CAPI-09	35.45	0	1.40

De 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 39.70°, valor característico de suelos granulares como arenas y gravas.

5.7. Capacidad de carga admisible

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

5.7.1. Carga última

Es la presión última por unidad de área de la cimentación soportada por el suelo, en exceso de la presión causada por el suelo alrededor al nivel de la cimentación (Amézquita, J 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:

$$q_u = cN_cS_c + qN_q + \frac{1}{2}\gamma BN_\gamma S_\gamma$$

Donde:

C: cohesión

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

N_c , N_q , N_γ : Factores de carga (Tabla 11).

Tabla 11: Factores de carga, modificado por Terzaghi (Das, 2007)

para falla general				para falla de corte local			
TERZAGHI (según Kumbhojkar, 1993)				Modificado por TERZAGHI			
Ángulo ϕ	N_c	N_q	N_g	Ángulo ϕ	N_c	N_q	N_g
0	5.7	1	0	0	5.7	1	0
1	6	1.1	0.01	1	5.9	1.07	0.005
2	6.3	1.22	0.04	2	6.1	1.14	0.02
3	6.62	1.35	0.06	3	6.3	1.22	0.04
4	6.97	1.49	0.1	4	6.51	1.3	0.055
5	7.34	1.64	0.14	5	6.74	1.39	0.074
6	7.73	1.81	0.2	6	6.97	1.49	0.1
7	8.15	2	0.27	7	7.22	1.59	0.128
8	8.6	2.21	0.35	8	7.47	1.7	0.16
9	9.09	2.44	0.44	9	7.74	1.82	0.2
10	9.61	2.69	0.56	10	8.02	1.94	0.24
11	10.16	2.98	0.69	11	8.32	2.08	0.3
12	10.76	3.29	0.85	12	8.63	2.22	0.35
13	11.41	3.69	1.04	13	8.96	2.38	0.42
14	12.11	4.02	1.26	14	9.31	2.55	0.48
15	12.86	4.45	1.52	15	9.67	2.73	0.57
16	13.68	4.92	1.82	16	10.06	2.92	0.67
17	14.6	5.45	2.18	17	10.47	3.13	0.76
18	15.12	6.04	2.59	18	10.9	3.36	0.88
19	16.56	6.7	3.07	19	11.36	3.61	1.03
20	17.69	7.44	3.64	20	11.85	3.88	1.12
21	18.92	8.26	4.31	21	12.37	4.17	1.35
22	20.27	9.19	5.09	22	12.92	4.48	1.55
23	21.75	10.23	6	23	13.51	4.82	1.74
24	23.36	11.4	7.08	24	14.14	5.2	1.97
25	25.13	12.72	8.34	25	14.8	5.6	2.25
26	27.09	14.21	9.84	26	15.53	6.05	2.59
27	29.24	15.9	11.6	27	16.3	6.54	2.88
28	31.61	17.81	13.7	28	17.13	7.07	3.29
29	34.24	19.98	16.18	29	18.03	7.66	3.76
30	37.16	22.46	19.13	30	18.99	8.31	4.39
31	40.41	25.28	22.65	31	20.03	9.03	4.83
32	44.04	28.52	26.87	32	21.16	9.82	5.51
33	48.09	32.23	31.94	33	22.39	10.69	6.32
34	52.64	36.5	38.04	34	23.72	11.67	7.22
35	57.75	41.44	45.41	35	25.18	12.75	8.35
36	63.53	47.16	54.36	36	26.77	13.97	9.41
37	70.01	53.8	65.27	37	28.51	15.32	10.9
38	77.5	61.55	78.61	38	30.43	16.85	12.75
39	85.97	70.61	95.03	39	32.53	18.56	14.71
40	95.66	81.27	115.31	40	34.87	20.5	17.22
41	106.81	93.85	140.51	41	37.45	22.7	19.75
42	119.67	108.75	171.99	42	40.33	25.21	22.5
43	134.58	126.5	211.56	43	43.54	28.06	26.25
44	151.95	147.74	261.6	44	47.13	31.34	30.4
45	172.28	173.28	325.34	45	51.17	35.11	36
46	196.22	204.19	407.11	46	55.73	39.48	41.7
47	224.55	241.8	512.84	47	60.91	44.45	49.3
48	258.28	287.85	650.67	48	66.8	50.46	59.25
49	298.71	344.63	831.99	49	73.55	57.41	71.45
50	347.5	415.14	1072.8	50	81.31	65.6	85.75

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; para profundidades de cimentación de 1.50 m y ancho de zapata de 1.00 m. Los resultados de capacidad de carga admisible para los 3 tipos de suelos analizados se presentan en las Tablas 12 y 13.

Tabla 12: Capacidad de carga admisible de nueve (9) muestras de suelo extraídas en el área urbana de Pampa Inalámbrica.

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)
CAPI-01	3.55	1.18	4.4	1.47
CAPI-02	4.22	1.60	4.02	1.60
CAPI-03	2.82	0.94	3.37	1.12
CAPI-04	4.88	0.95	2.85	0.95
CAPI-05	3.66	1.12	2.71	0.79
CAPI-06	5.52	0.91	2.73	0.91
CAPI-07	4.48	1.16	3.19	0.86
CAPI-08	3.33	2.80	4.99	2.95
CAPI-09	5.53	2.30	2.79	2.34
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 en el área urbana de Pampa Inalámbrica

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 – 03	3.35	1.12	5.52	1.84
DPL – 05	22.99	7.66	8.17	2.72
DPL – 06	21.08	7.03	2.79	0.93
DPL – 07	3.49	1.16	-	-
DPL – 09	24.09	8.03	2.80	0.93
DPL – 12	3.55	1.18	2.65	0.88
DPL – 13	3.50	1.17	2.55	0.85
DIMENSIONES DE CIMENTACIÓN	Profundidad: 1.00 m y ancho:1.00		Profundidad: 1.50 m y ancho:1.00	

Tabla 14: Rangos 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

5.7.2. Tipos de capacidad de carga admisible

El área urbana de Pampa Inalámbrica se han identificado los siguientes tipos de capacidad de carga admisible:

a) Capacidad de carga admisible muy baja: Comprende rangos de capacidad de carga muy baja $< 1.00 \text{ kg/cm}^2$ y que corresponde al tipo de suelo conformado por arenas mal graduadas (SP), con grado de compactación bajo. Abarca menos del 10% del área de estudio y se encuentran en dos zonas ubicadas al oeste de la Asociación El Algarrobal y al norte de Villa El Progreso. La principal fuente de estas arenas es la dinámica eólica proveniente de sureste.

b) Capacidad de carga admisible baja: Comprende rangos de capacidad de carga admisible entre $1.00 - 2.00 \text{ kg/cm}^2$, corresponde a arenas mal graduadas (SP) con gravas, y con grado de compactación medio. Este tipo de suelos se encuentran cubiertos por carbonatos de calcio y sales comúnmente llamados caliches. Abarcan el 40% del área de estudio y se encuentra distribuido en los sectores: Bio Huerto Villa Miraflores, Ramiro Priale, Vista Alegre, Alto Chiribaya, Nueva Generación, Habilitación Urbana Frank Archibald, Villa Libertad, Promuvi IV Sector 8, Villa Paraíso, Villa Progreso y 24 de Octubre.

c) Capacidad de carga admisible media: Comprende rangos de capacidad de carga admisible entre $2.00 - 3.00 \text{ kg/cm}^2$, corresponde a gravas mal graduadas (GP) con arenas y caliches, con grado de compactación medio. Este tipo de suelos conforman una capa detrítica bien compacta de gravas angulosas de rocas preexistentes y que conforman la parte fracturada del basamento rocoso. Constituyen afloramientos de rocas intrusivas que abarcan una extensa franja de 800 m que se extiende del norte al sur del Mirador del Cristo Blanco. Estos tipos de materiales se encuentran distribuidos en los sectores: Vista Azul, Villa Primavera, Villa Municipal, Habilitación El Eden, Villa Metalurgia, Asoc. Villa El Porteño, José Olaya, Villa Valcárcel (ENACE), AA. HH Las Gardenias, Urb. Trabajadores de La Educación.

CONCLUSIONES

- La geomorfología del área urbana de Pampa Inalámbrica está conformada por una extensa llanura aluvial que abarca el 60% de la zona de estudio y sobre la cual se asienta la mayor parte del área urbana de la ciudad. Al este, rodeando a la llanura aluvial, se encuentra la unidad de lomas conformada por afloramientos de rocas volcánicas que son lentamente cubiertas por arenas eólicas abarcando el 10% de la zona de estudio. Al norte de la zona urbana de la ciudad de Pampa Inalámbrica, se encuentran los acantilados que limitan al valle del río Osmore, conformado por la llanura de inundación y el lecho fluvial. Al oeste en el límite entre Pampa Inalámbrica e Ilo se encuentran dos niveles de terrazas (aluvial y marina) de diferente origen.
- El sustrato rocoso consta de rocas intrusivas, cuyos afloramientos se encuentran bien definidos en el litoral costero, en el sector urbano de Ilo y en los cerros que se ubican al este de Pampa Inalámbrica; mientras que, los depósitos del cuaternario están conformados en mayor porcentaje por materiales aluviales, estos abarcan el 60% de la zona de estudio. Los depósitos eólicos se encuentran al este formando dunas que lentamente ingresan hacia la ciudad con dirección sureste a noroeste. Los materiales de origen fluvial se encuentran en el cauce del río Osmore; mientras que, los coluviales se han identificado en las laderas del cerro Higueral y hacia los acantilados que definen el valle del río.
- La geodinámica superficial del área urbana de la ciudad de Pampa Inalámbrica está representada por movimientos en masa tipo: caída de rocas identificados en el cerro El Higueral, en las laderas de las terrazas y en los acantilados ubicados al norte del área urbana. Los flujos de detritos se desarrollan en la quebrada El Higueral o quebrada Pampa Inalámbrica, en dirección este-oeste, desde la parte alta de las lomas hacia la llanura aluvial en donde se encuentra el área urbana de la ciudad.
- Los tipos de suelos encontrados en el área urbana de la ciudad de Pampa Inalámbrica, están conformados por arenas mal graduadas (SP), con capacidad de carga admisible baja ($1.36 - 1.46 \text{ kg/cm}^2$). Estos suelos se encuentran cubiertos por carbonatos de calcio y sales comúnmente llamados caliches. Abarcan el 40% del área de estudio y se encuentra distribuidos en los sectores:

Bio Huerto Villa Miraflores, Ramiro Priale, Vista Alegre, Alto Chiribaya, Nueva Generación, Habitación Urbana Frank Archibald, Villa Libertad, Promuvi IV Sector 8, Villa Paraíso, Villa Progreso y 24 de Octubre.

- Se han identificado dos sectores con capacidad de carga muy baja $< 1.00 \text{ kg/cm}^2$ y corresponden a suelos conformados por arenas mal graduadas (SP) sueltas, cuyo grado de compactación es bajo. Abarca menos del 10% del área de estudio y se encuentran en la Asociación El Algarrobal y al norte de Villa El Progreso. La fuente de estas arenas es la dinámica eólica proveniente de sureste.

**CARACTERIZACIÓN SÍSMICA Y GEOFÍSICA DE LAS
ÁREAS URBANAS DE LAS CIUDADES
DE ILO Y PAMPA INALÁMBRICA**

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. ADQUISICIÓN DE DATOS

- 2.1. Registro de vibración ambiental (H/V)
- 2.2. Registro de arreglos lineales (MASW)
- 2.3. Registro de la resistividad del suelo (ERT)

3. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN

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

4. ZONIFICACIÓN SÍSMICA – GEOTÉCNICA

- 4.1. Integración de resultados
- 4.2. Mapa de Zonificación Sísmica

CONCLUSIONES

1. METODOLOGÍA

El estudio de Zonificación Sísmica – Geotécnica para las áreas urbanas de las ciudades de Ilo y Pampa Inalámbrica se ha realizado con información recolectada en campo y con la aplicación de las metodologías que a continuación se describen:

1.1. Razones Espectrales (H/V)

El método de razones espectrales (H/V) descrito por Nakamura (1989), permite caracterizar la respuesta dinámica del sitio y estimar la amplificación sísmica de suelo.

Para la aplicación de esta técnica se obtiene registros de vibración ambiental y se procede a construir las razones espectrales H/V (cociente de los espectros de Fourier de las componentes horizontales entre la vertical), a fin de identificar las frecuencias predominantes y amplificaciones máximas relativas que caracterizan al tipo de suelo presente en el área de estudio (Figura 1).

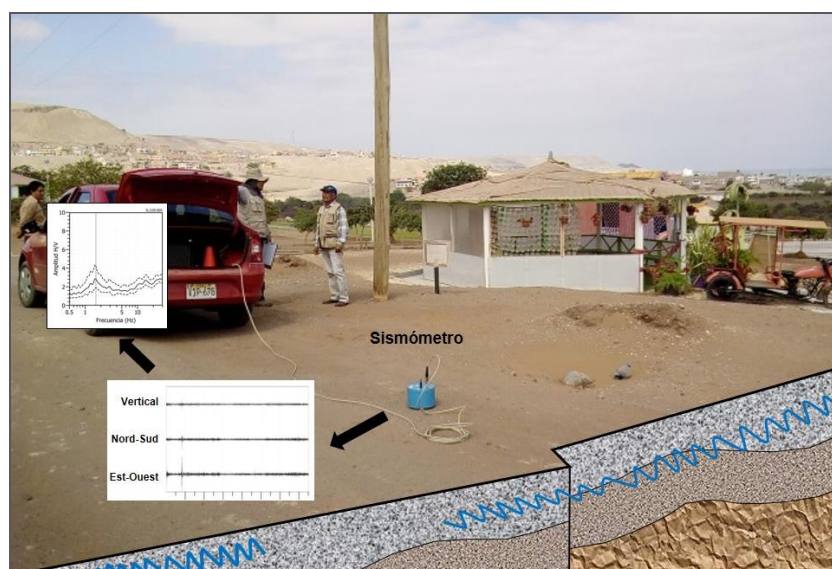


Figura 1: Registro de vibración ambiental generado por la actividad humana.

Estas características son definidas por las condiciones geológicas, geomorfológicas y geotécnicas, de las primeras decenas de metros por debajo de la superficie. Debe entenderse que la variación de las propiedades físicas de cada capa estratigráfica superficial de diferente espesor, geometría y composición litológica, causaran o no, la amplificación de las ondas sísmicas incidentes, propiedad que es utilizada para conocer las características físicas 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 2, se muestra un ejemplo del registro de vibración ambiental (IL-002). 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.

Para el análisis de la información de H/V se debe considerar: 1) Las frecuencias predominantes menores a 1 Hz corresponden a vibraciones generadas por el oleaje del mar, y/o cambios meteorológicos (periodos muy largos), 2) Las bajas frecuencias o periodos largos son debidas a la presencia de depósitos profundos y 3) Las frecuencias altas o periodos cortos son debidos a depósitos superficiales blandos y de poco espesor (SESAME, 2006; Bernal, 2006).

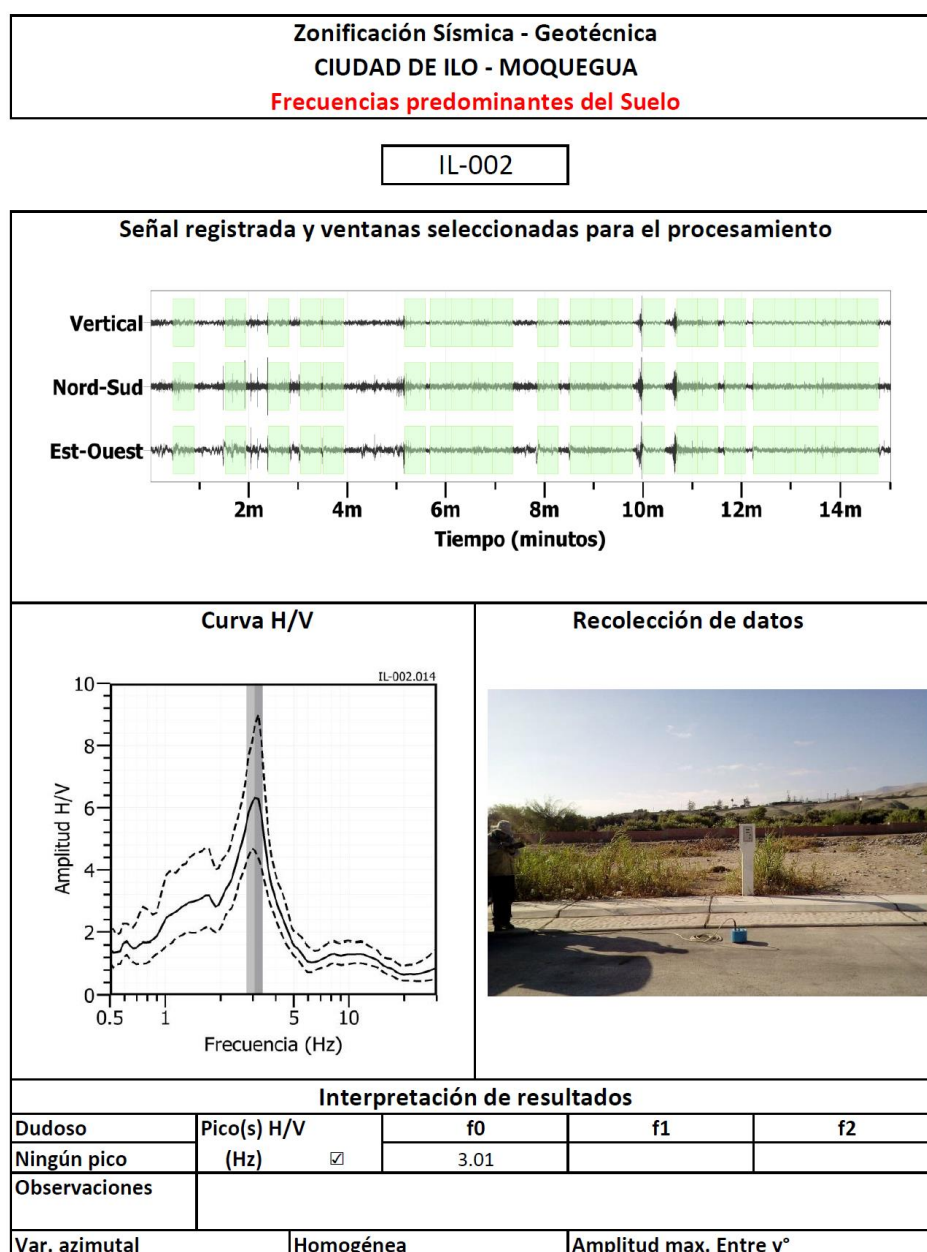


Figura 2: Ejemplo de la ficha H/V para el punto IL-002 en la cual se recopila la información registrada y analizada. Arriba, señal registrada; Medio; razón espectral (H/V) en línea gruesa y su desviación estándar en línea discontinua y Abajo; resultados.

1.2. Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW)

La técnica MASW es un método indirecto que permite determinar la estratigrafía del subsuelo bajo un punto; es decir, obtener la velocidad de propagación de las ondas de corte Vs el subsuelo a partir del análisis de la dispersión de ondas superficiales (ondas Rayleigh), generados por una fuente de energía impulsiva y registrada por arreglos lineales de sensores sísmicos, tal como muestra la Figura 3.

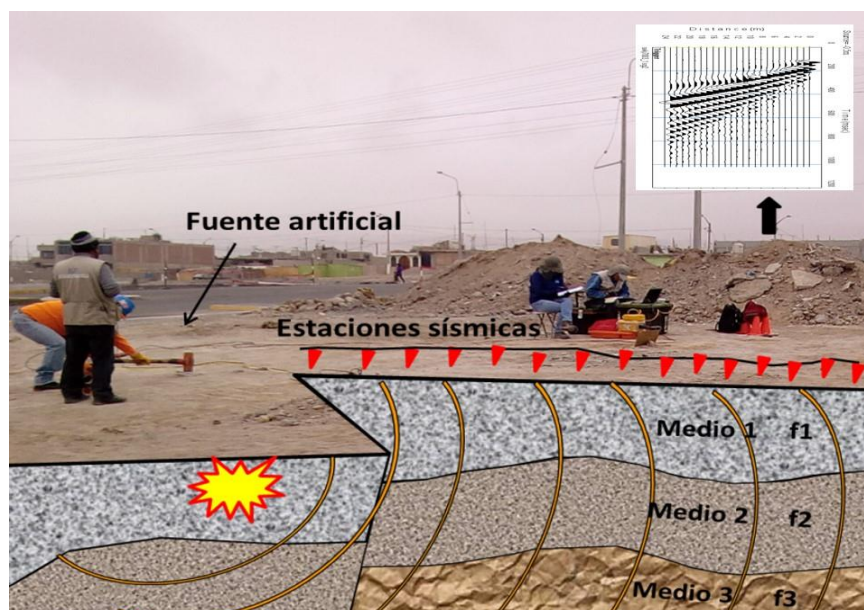


Figura 3: Generación de ondas Rayleigh con fuente artificial y su respectiva curva de dispersión.

La longitud de la línea sísmica (D), depende de la profundidad máxima de investigación (Z_{max}). Usualmente D es más grande que Z_{max} (Park, 20015), es decir: $D=nZ_{max}$, donde ($1 \leq n \leq 3$). Para fines geotécnicos la profundidad máxima de investigación suele estar en el rango de 10 - 30 m, pero puede variar según el tipo de suelo, la longitud de arreglo sísmico y el tipo de fuente activa utilizada (Park, 2007).

El procedimiento consiste en aplicar la transformada rápida de Fourier (FFT) a los registros sísmicos obtenidos para cada punto de disparo (Reynolds, 2011), lo cual permite la transformación de los datos en series de tiempo, dando como resultado una imagen de dispersión que relaciona la velocidad de fase de las ondas superficiales con la frecuencia. Una vez obtenidas las curvas de dispersión, son sometidas de forma individual a un proceso matemático de inversión con el fin de obtener los perfiles V_s en una dimensión (1D) considerando como parámetros de entrada la profundidad (30 m) y el número de capas (15 capas).

Finalmente, los perfiles V_s son promediados obteniendo un perfil unidimensional para cada línea sísmica. Los resultados al ser analizados, proporcionan información útil sobre las características geotécnicas del subsuelo (Park, 2014; Roma, 2010; Socco et al., 2008).

En la Figura 4, se muestra un ejemplo de los resultados que se obtiene a partir de la técnica de MASW. La imagen de la izquierda muestra la curva de dispersión obtenida y de la derecha, muestra el perfil de velocidad de ondas de corte V_s (línea

verde) que considera el promedio final de los perfiles obtenidos post inversión, los círculos de color verde representa la inversión de la curva de dispersión del dominio de frecuencia a profundidad. Esta curva permite verificar el nivel de confiabilidad o la profundidad mínima y máxima de investigación (área sombreada), en este caso; el perfil presenta una capa sísmica y un semiespacio, donde, el nivel de confiabilidad es de 2 a 30 metros de profundidad.

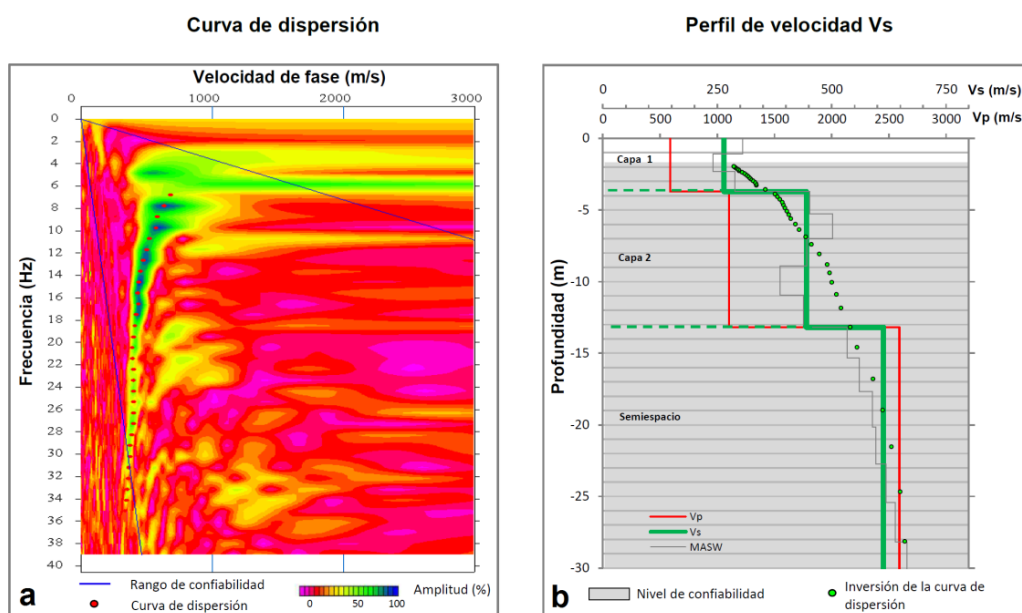


Figura 4: a) Curva de dispersión y b) perfil de velocidad obtenido a partir de la técnica de MASW.

Para el análisis e interpretación de los resultados obtenidos se considera la clasificación de suelos según la Norma E.030. En este caso, el rango de velocidad de los perfiles de suelo S1 y S2 se subdividen a fin de considerar dos clasificaciones adicionalmente. Asimismo, esta nueva clasificación del perfil del suelo es representado en colores, para mejor comprensión de los resultados (Tabla 1).

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

Clasificación de los perfiles de Suelo					
Nº	Vs	Norma E.030		Descripción	
1	< 180 m/s	S ₃	Suelo blando		
2	180 m/s a 350 m/s	S ₂	Suelo medianamente rígido	Suelo moderadamente rígido	
3	350 m/s a 500 m/s			Suelo rígido	
4	500 m/s a 800 m/s	S ₁	Roca o suelo muy rígido	Suelo muy rígido o roca blanda	
5	800 m/s a 1500 m/s			Roca moderadamente dura	
6	> 1500 m/s	S ₀	Roca dura		

Finalmente, se realiza la correlación de las capas sísmicas obtenidas con la geotecnia y geología de la zona de estudio, así como el contenido de humedad o nivel, 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 distribución de los valores de la resistividad del subsuelo, define o delimita los diferentes estratos con mayor o menor contenido de agua y sales disueltas presentes en las fracturas de las rocas y en la porosidad del suelo.

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

Para la obtención de valores de resistividad aparente se han realizado líneas de tomografía eléctrica con el dispositivo polo-dipolo y cuya distribución se muestra en la Figura 5. La profundidad de investigación depende de la separación entre electrodos, por ejemplo, con una separación entre electrodos de 1 metro, lográndose una profundidad máxima de 9 metros en el centro del perfil. Si se aumenta la distancia entre los electrodos, aumenta la profundidad de alcance, pero disminuye la resolución y en consecuencia aumenta el error.

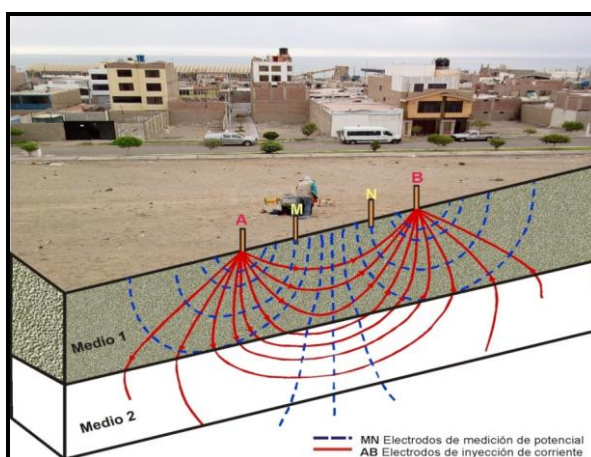


Figura 5: Principio del método de resistividad (LE06-IL).

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

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

La interpretación de la información considera todos los factores posibles que puedan influir en los resultados como la 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 relación entre la resistividad eléctrica y el grado de saturación del terreno, se define la posible ubicación de las zonas de filtración y saturación del 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) y sus características son las siguientes (Tabla 2):

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

.- Alto Resistivo (color anaranjado): Comprende valores entre los 500 y 1500 ohm.m. Se considera dentro de este grupo a las rocas sedimentarias, ya sean de

origen detrítico o químico. Asimismo, incluye a los suelos con muy baja composición de materiales orgánicos.

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

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

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

Tabla 2: Rango de Resistividades

Rango de resistividades	ohm.m	Tipo de suelo	
Material muy resistivo	> 1500	Suelo muy seco o roca intacta	
Material resistivo	500 a 1500	Suelo seco o roca fracturada	
Material medianamente resistivo	100 a 500	Suelo con poco contenido de humedad	
Material bajo resistivo	20 a 100	Suelo saturado o roca con contenido de sales	
Material muy bajo resistivo	< 20	Suelo muy saturado	

Dado la estrecha relación existente 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 valores de resistividad.

2. ADQUISICIÓN DE DATOS

En este estudio se ha realizado la aplicación de métodos sísmicos y geofísicos utilizando diferentes tipos de registros y arreglos: la técnica de razones espectrales (H/V) que utiliza registros de vibración ambiental; para conocer los valores de ondas de corte y espesores de las capas, los arreglos sísmicos lineales (MASW); para conocer los valores de resistividad del suelo, los métodos eléctricos (ERT).

2.1. Registro de vibración ambiental (H/V)

Para la obtención de los registros de vibración ambiental se utiliza un equipo sísmico compuesto por un registrador tipo CityShark y sensores de tres componentes de tipo Lennartz (Figura 6).



Figura 6: Equipo sísmico utilizado para el registro de vibraciones ambientales en Ilo y Pampa Inalámbrica: sensor Lennartz (2N) y registrador CityShark II.

Para la aplicación de esta técnica se procedió, sobre el mapa catastral de las áreas urbanas de Ilo y Pampa Inalámbrica, a definir la distribución y el número de puntos para el registro de vibraciones ambientales teniendo en cuenta la información geológica y geomorfológica de la zona de estudio. Cada uno de los puntos de registro de vibración ambiental obtenidos en campo, tienen una duración de 15 minutos, lo cual permite disponer de buena cantidad de información para su posterior análisis. En las áreas urbanas de Ilo y Pampa Inalámbrica, se consideró 299 registros de vibración ambiental obtenidos de manera puntual: 149 en Ilo cercado y 150 en Pampa Inalámbrica (Figura 7).

En la Figura 8, 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 IL-205 presenta bajos niveles de ruido; mientras que, la

señal en IL-008, presenta diversidad de pulsos de variada amplitud que al momento de su análisis, pueden ser filtrados para no afectar a la información a utilizarse en este estudio.

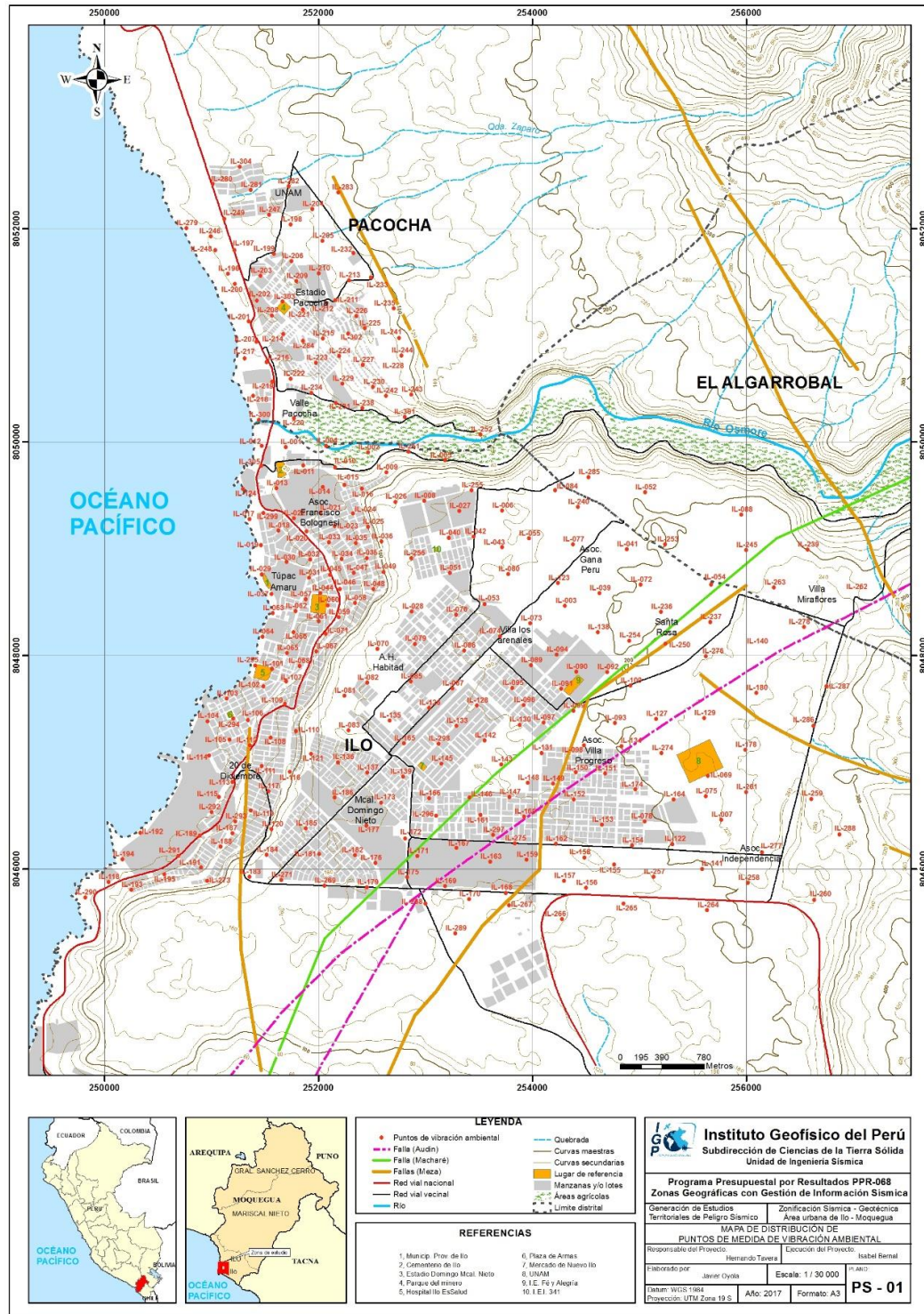


Figura 7: Mapa catastral del área urbana de Ilo y la distribución de puntos donde se tomaron los registros de vibración ambiental HV.

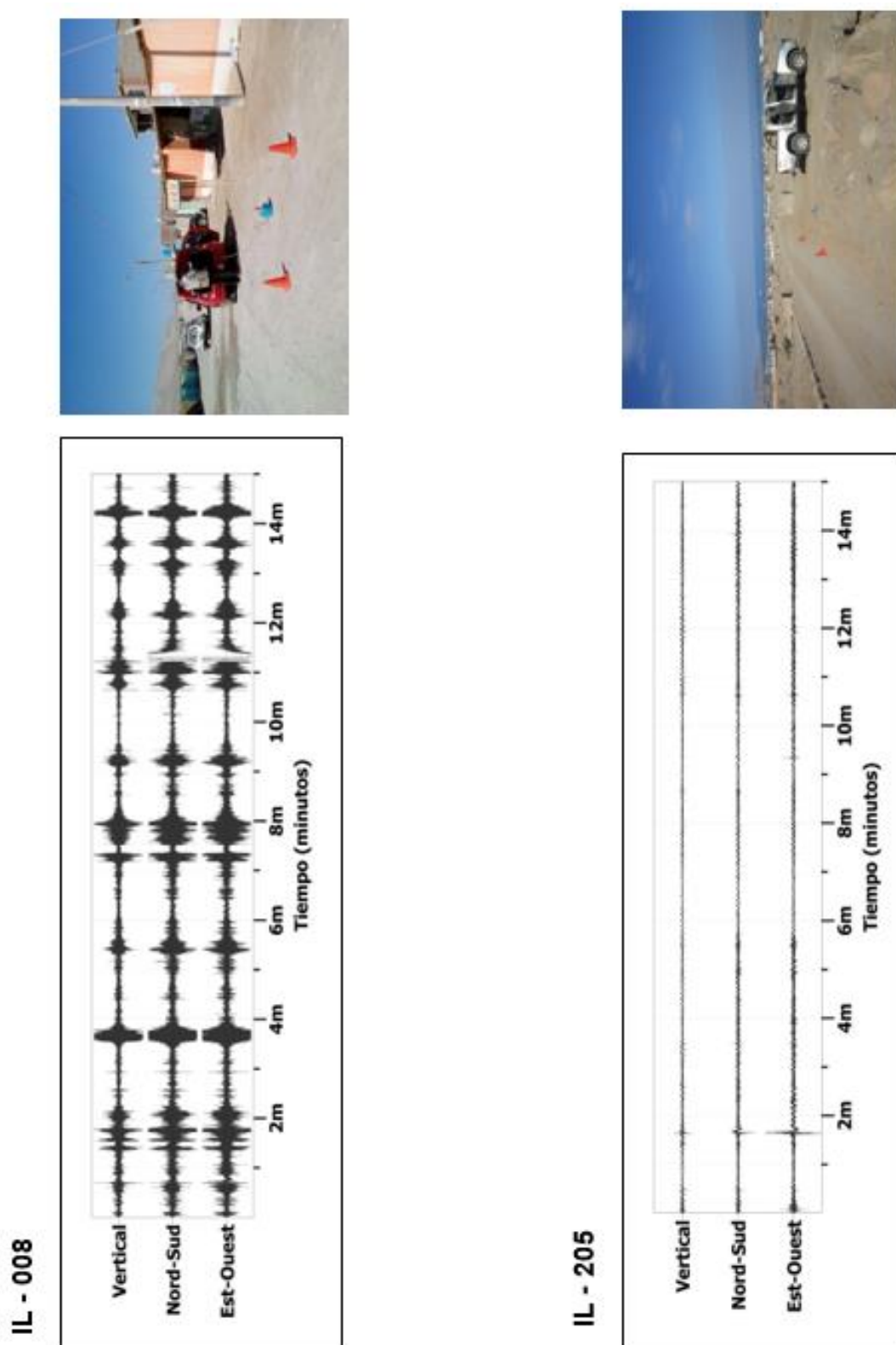


Figura 8: Ejemplos de la disposición del equipo sísmico para el registro de vibraciones ambientales. Ejemplos de registros de vibración ambiental obtenidos sobre una zona con ruido transitorio (IL-008) y otro con ruido de fondo constante (IL-205). Obsérvese las diferentes amplitudes de la señal registrada en cada punto.

2.2. Registro de arreglos lineales (MASW)

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

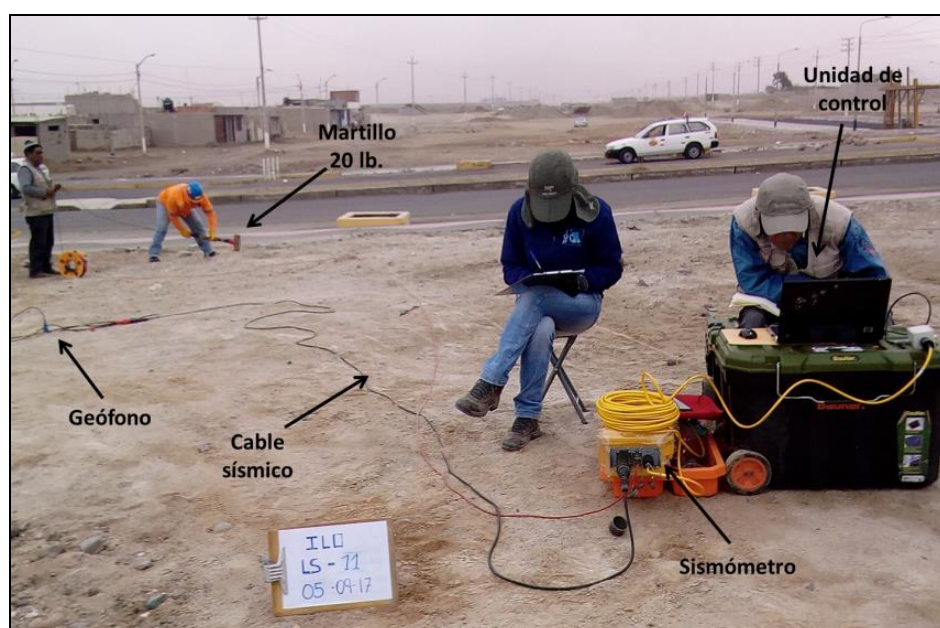


Figura 9: Equipo sísmico para la toma de datos de MASW en la Asoc. Villa los Arenales.

En las áreas urbanas de Ilo y Pampa Inalámbrica se realizaron 19 arreglos sísmicos: 7 arreglos en Ilo cercado y 12 arreglos en Pampa Inalámbrica. En la Figura 10, se presenta el mapa con la distribución espacial de las líneas sísmicas codificadas como: LS01-IL,..., LS19-IL y en la Tabla 3, las coordenadas de cada línea.



Figura 10: Mapa de las áreas urbanas de Ilo y Pampa Inalámbrica y distribución espacial de las líneas sísmicas codificadas como: LS01-IL, ..., LS19-IL.

Tabla 3: Coordenadas y características de las líneas sísmicas realizadas en las ciudades de Ilo y Pampa Inalámbrica.

Línea Sísmica	Este (m)	Norte (m)	Cota (m.s.n.m.)	Espaciamiento entre geófonos (m)	Longitud total (m)
LS01-IL	251467	8052130	46	4	92
	251376	8052116	44		
LS02-IL	252029	8051508	43	4	92
	252054	8051422	44		
LS03-IL	251703	8050407	1	4	92
	251711	8050316	2		
LS04-IL	252139	8049429	58	4	92
	252225	8049464	66		
LS05-IL	251852	8048781	25	4	92
	251764	8048809	23		
LS06-IL	251266	8046943	26	4	92
	251316	8047016	30		
LS07-IL	250950	8046184	48	4	92
	251021	8046128	60		
LS08-IL	252411	8046314	158	4	92
	252448	8046400	161		
LS09-IL	253582	8046999	175	4	92
	253692	8046918	180		
LS10-IL	254386	8047372	190	4	92
	254500	8047298	191		
LS11-IL	253657	8048092	179	4	92
	253721	8048157	178		
LS12-IL	253223	8049008	172	4	92
	253137	8048985	171		
LS13-IL	255135	8048071	203	4	92
	255208	8047952	208		
LS14-IL	254120	8046196	176	4	92
	254212	8046199	174		
LS15-IL	255448	8047167	209	4	92
	255364	8047136	206		
LS16-IL	255955	8048663	212	4	92
	256048	8048560	217		
LS17-IL	254327	8048768	184	4	92
	254417	8048870	190		
LS18-IL	255766	8046146	205	4	92
	255811	8046067	204		
LS19-IL	252654	8047580	169	4	92
	252719	8047648	170		

Durante su adquisición se visualiza los datos sísmicos (sismogramas), para verificar la calidad de la data y el nivel de ruido (Figura 11). Para mejorar la relación señal/ruido fue necesario realizar apilamientos de señales (en cada punto de disparo se registran varios golpes y es acumulado al anterior), realizando de cuatro a cinco golpes en cada punto “shot”. Finalmente, se realiza el procesamiento preliminar para determinar si la profundidad y la velocidad sísmica obtenida tienen correlación con la

geología. El procesamiento de la información de MASW fue realizado en el programa de computación SeisImager.

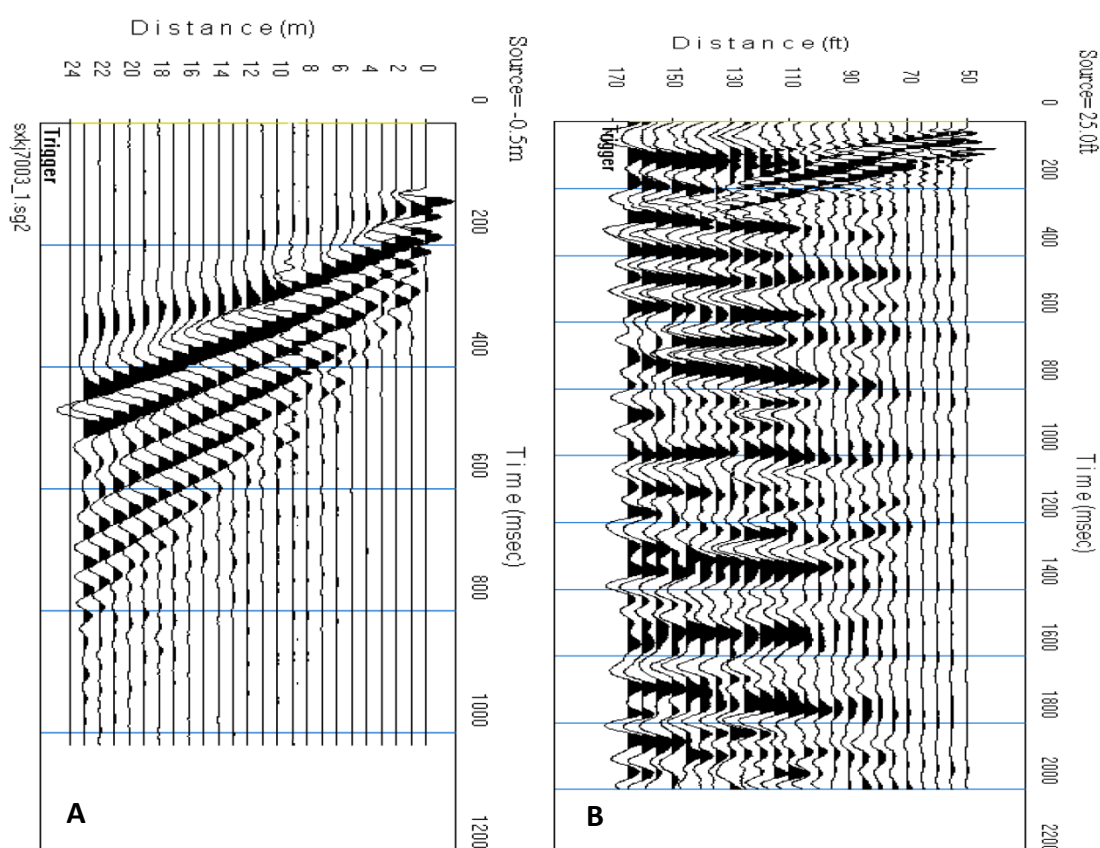


Figura 11: a) Registro sísmico con bajo contenido de ruido ambiental, es decir, alta calidad. b) Registro sísmico con alto contenido de ruido ambiental.

En la Figura 12, se muestra como ejemplo la disposición del equipo y el registro sísmico obtenido para la línea sísmica LS06-IL, ubicado en el A.H. 20 de Diciembre. El sismograma contiene las señales sísmicas con presencia de bajo ruido ambiental, registrados por sensores ubicados a lo largo de la línea y cuyo punto de disparo se encuentra a una distancia de 3 metros al final de la línea sísmica.

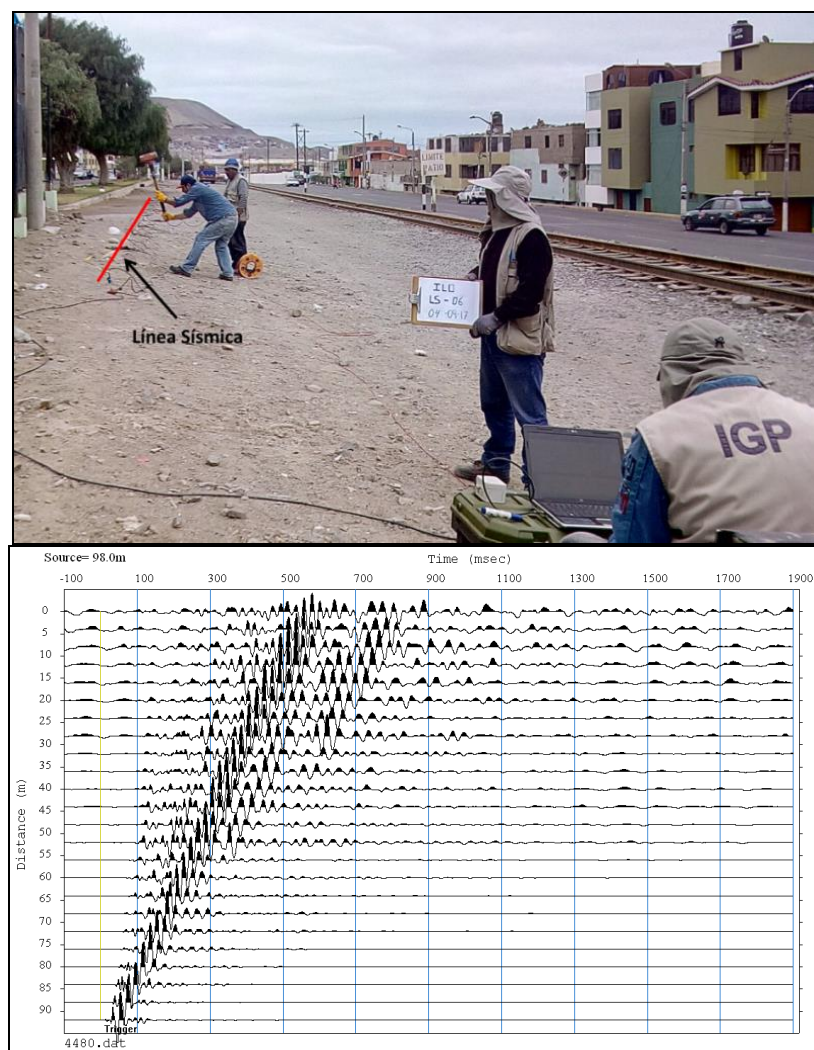


Figura 12: Disposición del equipo de adquisición por el método de MASW y el registro sísmico obtenido.

2.3. Registro de la resistividad del suelo (ERT)

Para el registro de datos de resistividad se ha utilizado un equipo de Resistividad / IP Syscal Pro de marca Iris Instruments de 30 electrodos de acero y 10 cables de potencial multiconductor.

En las áreas urbanas de Ilo y Pampa Inalámbrica se han realizaron 15 líneas de tomografía eléctrica: 6 líneas en Ilo y 9 líneas en Pampa Inalámbrica (Figura 13). Considerando el dispositivo polo-dipolo y la distribución de 30 electrodos. Para las líneas con espaciamiento de 10 metros entre cada electrodo sobre un tendido longitudinal que variaba de 150 y 290 metros, lo cual permitió tener alcances en profundidad del orden de los 40 metros.



Figura 13: Mapa de las áreas urbanas de Ilo y Pampa Inalámbrica y la distribución espacial de las líneas de tomografía eléctrica codificadas como: LE01-IL, ..., LE15-IL.

La Tabla 4, muestra las coordenadas UTM (WGS84) que corresponden a los puntos extremos de las líneas eléctricas.

Tabla 4: Coordenadas de las Líneas eléctricas (LE) de las áreas urbanas de Ilo y Pampa Inalámbrica.

Línea Eléctrica	Este (m)	Norte (m)	Cota (m)	Espaciamiento entre electrodos (m)	Longitud total (m)
LE01-IL	252018	8051623	64	10	290
	252165	8051363	64		
LE02- IL	251645	8050480	16	10	290
	251644	8050180	13		
LE03- IL	251775	8048849	25	10	150
	251896	8048744	27		
LE04- IL	251752	8048586	20	10	160
	251701	8048428	18		
LE05- IL	252076	8048952	42	10	290
	252184	8048678	40		
LE06- IL	251283	8046685	49	10	290
	251165	8046410	51		
LE07- IL	253546	8047098	183	10	290
	253720	8046857	187		
LE08- IL	254336	8047398	195	10	290
	254560	8047197	197		
LE09- IL	255041	8048076	209	10	290
	255335	8048011	215		
LE10- IL	255857	8048768	216	10	290
	256062	8048546	225		
LE11- IL	255338	8047092	215	10	290
	255457	8046819	214		
LE12- IL	255662	8048975	213	10	290
	255870	8048754	216		
LE13- IL	254475	8048836	194	10	290
	254307	8048591	193		
LE14- IL	253204	8049165	178	10	190
	253130	8048977	180		
LE15- IL	254381	8046192	179	10	290
	254084	8046203	177		

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

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

Para el procesamiento de la información recolectada se ha hecho uso de los algoritmos de inversión DCIP2D y OASIS MONTAJ. En la Figura 14, se muestra la disposición de equipo eléctrico en campo y un ejemplo de la distribución de valores de resistividad en profundidad.

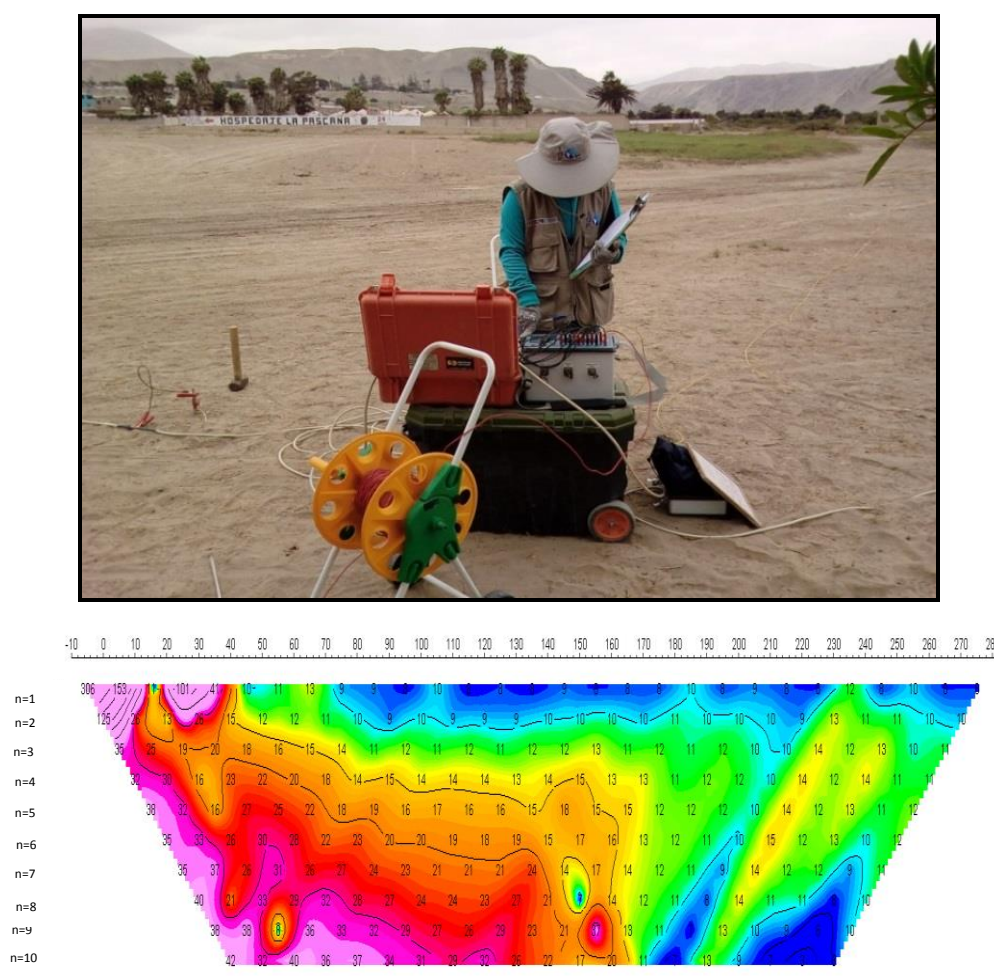


Figura 14: Disposición del equipo de adquisición por la técnica de ERT (LE02-IL) y el registro eléctrico obtenido en campo.

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 en cada caso para las áreas urbanas de las ciudades de Ilo y Pampa Inalámbrica.

3.1. Estudio Sísmico con la Técnica de H/V

Esta información permite obtener espectros de Fourier para las tres componentes de registro de vibración ambiental obtenidos de manera puntual en 299 puntos (ver Figura 7). La relación espectral entre la componente horizontal con la vertical permite conocer las frecuencias y/o periodos dominantes de vibración natural del suelo y en algunos casos, la amplificación sísmica relativa para cada punto.

- **Distribución de frecuencias predominantes:** A partir de los valores extraídos de las razones espectrales H/V, se obtiene mapas con la distribución espacial de los valores de frecuencias predominantes. Para las ciudades de Ilo y Pampa Inalámbrica, los resultados obtenidos a partir de las razones espectrales H/V, han permitido definir la existencia de dos rangos de frecuencias F_0 ($F \leq 2.0$ Hz) y $F1$ ($F > 2.0$ Hz), debido a que en varios puntos de medición sobresalen dos picos de frecuencias, lo cual sugiere que la respuesta dinámica de estos suelos es muy compleja. A continuación, se describe y analiza la distribución espacial de las frecuencias predominantes identificadas en el área de estudio.

- **Frecuencias predominantes F_0 :** En la Figura 15, se muestra el mapa con la distribución espacial de los valores de F_0 para el área de Ilo y en la Figura 16 para el área de Pampa Inalámbrica, donde predominan frecuencias con valores entre 1.0 y 2.0 Hz. principalmente a la derecha del trazo de la falla Chololo en Pampa Inalámbrica, a inmediaciones del estadio Domingo Mcal. Nieto en Ilo cercado y al Sureste del estadio de Pacocha, lo que evidencia la presencia de capas sedimentarias de gran espesor.



Figura 15: Mapa del área urbana de Ilo y la distribución espacial de las frecuencias predominantes F_0 ($F \leq 2.0$ Hz).

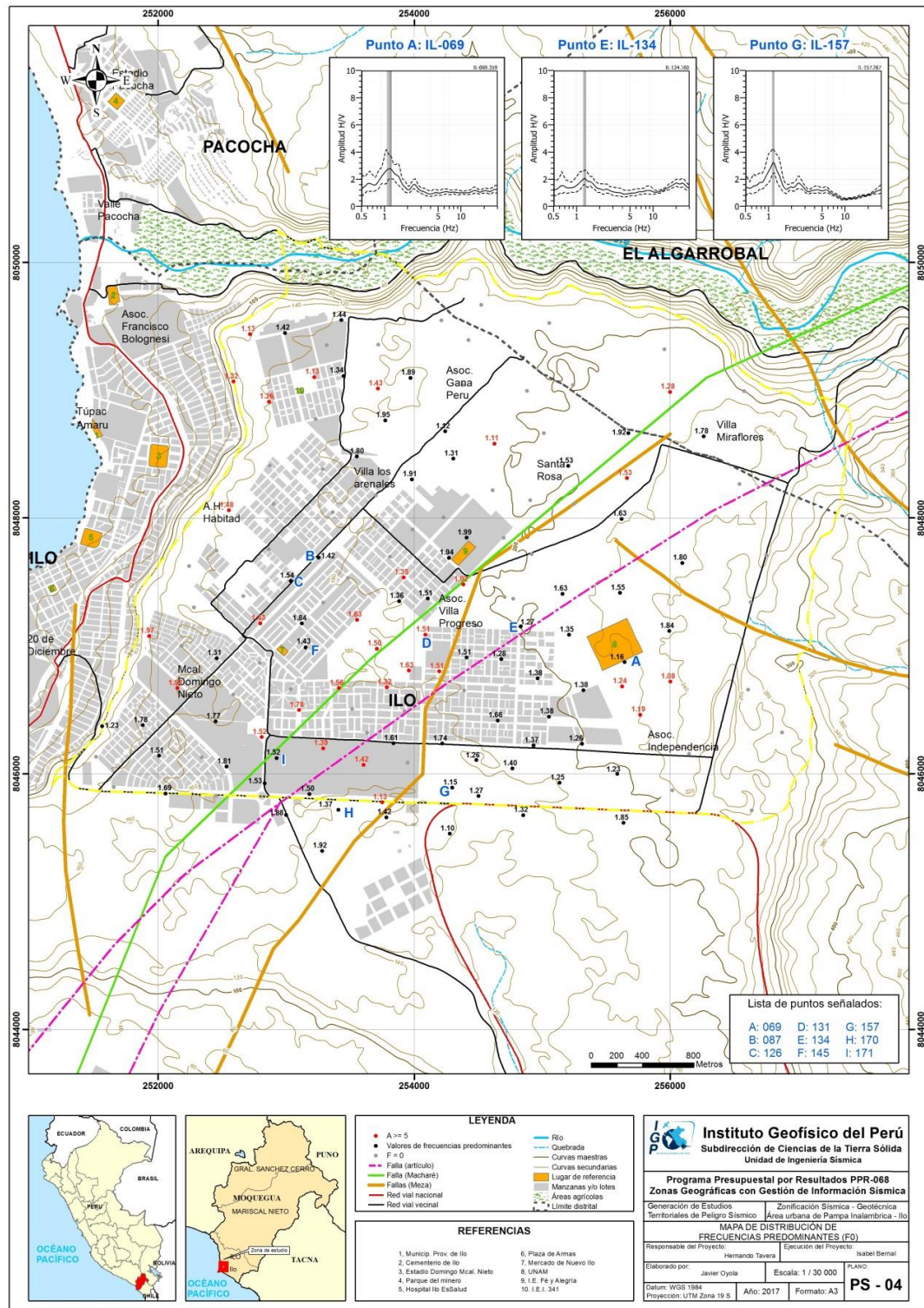


Figura 16: Mapa del área urbana de Pampa Inalámbrica y la distribución espacial de las frecuencias predominantes F_0 ($F \leq 2.0\text{Hz}$).

En Ilo (Figura 17), las razones (H/V) obtenidas para los puntos IL-045(A), IL-058(B) y IL-067(C), el primero ubicado al Norte del estadio Domingo Mcal. Nieto y los dos siguientes, al este y sur del estadio. En todos se identifica un pico con frecuencias predominantes de 1.65, 1.93 y 1.85 Hz y amplificaciones de 4.3, 3.56 y 6.49 veces respectivamente. Además, se observa la presencia de un segundo pico de frecuencia a 6.6, 6.63 y 5.37 con amplificaciones mayores a 2 veces. Los resultados sugieren la existencia de dos capas sedimentarias.

Según la Figura 16, los puntos IL-183(D), IL-191(E) y IL-193(F) ubicados al sur de la Plaza de Armas, presentan frecuencias de 1.23, 1.61 y 1.50 Hz con amplificaciones de hasta 5 veces. Además, los suelos en estas zonas responden a un segundo pico de frecuencia a 4.87, 7.60 y 6.07 Hz con amplificaciones de hasta 4 veces. Estos resultados muestran la existencia de dos capas sedimentarias. Por otro lado, al sureste del parque El Minero, los puntos IL-225(G), IL-227(H) y IL-229 (I) presentan un pico con frecuencias predominantes a 1.37, 1.90 y 1.60 Hz con amplificaciones de 5.29, 3.80 y 2.83 respectivamente (Figura 17).

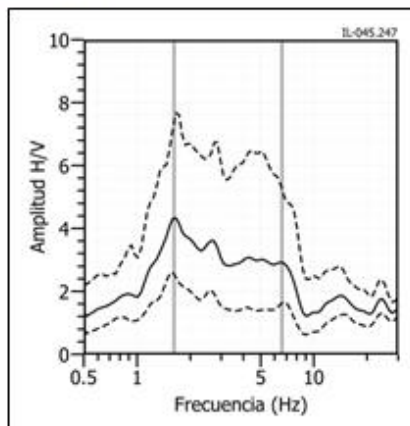
Según la Figura 18, en el área de Pampa Inalámbrica, los puntos IL-69(A), IL-134(E) y IL-157(G) ubicados por la Universidad Nacional Moquegua sede Pampa Inalámbrica (UNAM), en la Asoc. Villa Progreso y al oeste de la Asoc. Independencia presentan frecuencias a 1.69, 1.27 y 1.15 Hz con amplificaciones de 2.77, 2.05 y 3.21 respectivamente. Estos valores sugieren la presencia de estratos de gran espesor.

Los puntos IL-87(B), IL-126(C) y IL-145(F) ubicados al oeste de la I.E. Fé y Alegría, entre Villa los Arenales y Mcal. Domingo Nieto, presentan frecuencias a 1.42, 1.54 y 1.43 Hz con amplificaciones de 4.78, 4.38 y 3.50 respectivamente. Además, los suelos de estas zonas responden a un segundo pico de frecuencia a 8.41, 6.93 y 9.27 con amplificaciones de 3.42, 3.32 y 2.86 respectivamente. Los resultados sugieren la existencia de dos capas sedimentarias (Figura 18).

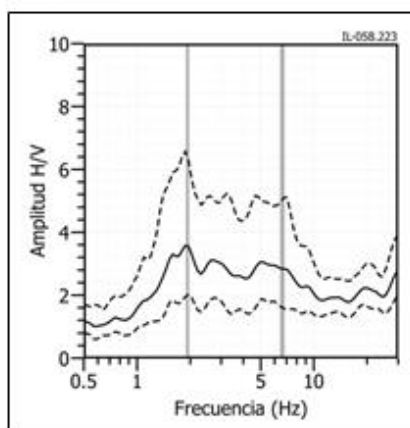
De acuerdo a la Figura 18, las razones (H/V) obtenidas para los puntos IL-131(D), IL-170(H) y IL-171(I) ubicadas en la Asoc. Villa Progreso y entre Mcal. Domingo Nieto y Asoc. Independencia, presenta frecuencias predominantes a 1.51, 1.37 y 1.52 Hz con amplificaciones de 5.25, 3.08 y 3.47 respectivamente. Además, de un segundo pico de frecuencia a 7.06, 8.98 y 6.68 Hz con

amplificaciones de hasta 3 veces. Los resultados sugieren la existencia de dos capas sedimentarias.

IL- 045



IL- 058



IL- 067

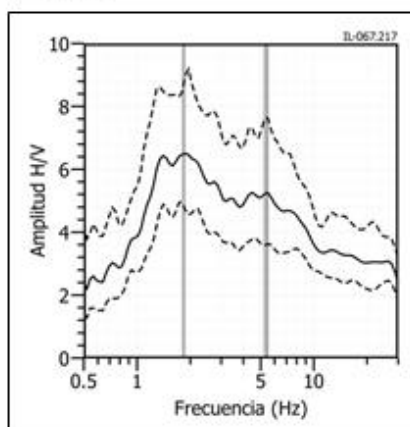
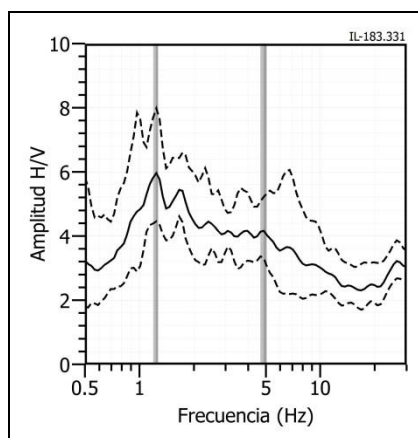
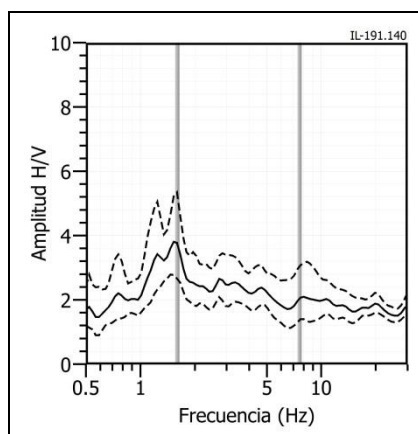


Figura 17: Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F_0 ($F \leq 2.0\text{Hz}$): puntos IL-045(A), IL-058(B) y IL-067(C) ubicados en los alrededores del estadio Domingo Mcal Nieto. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

IL - 183



IL - 191



IL - 193

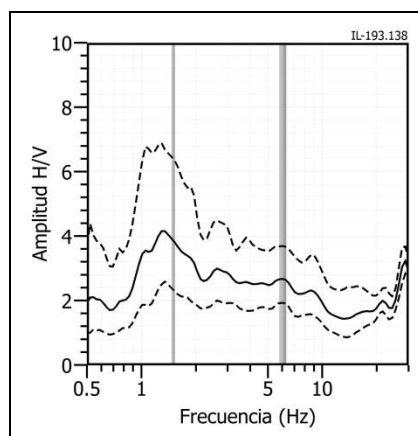
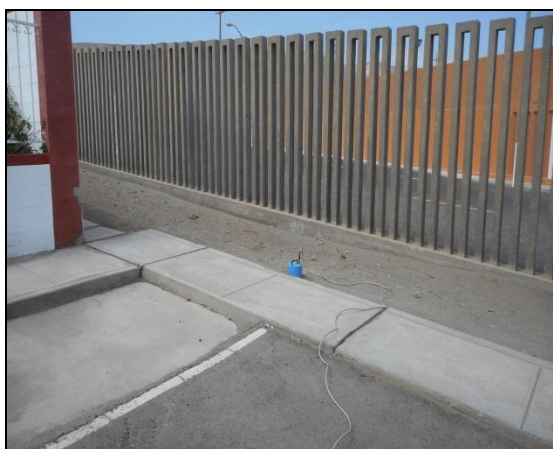
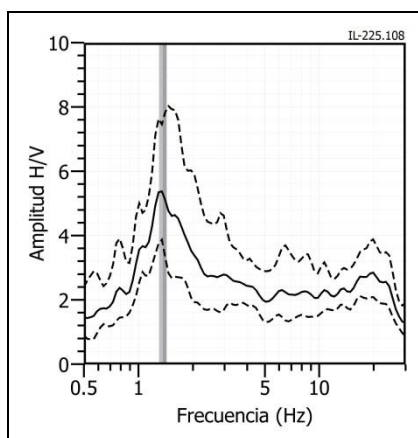
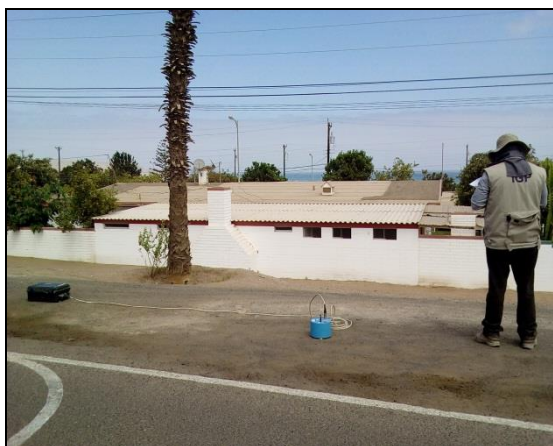
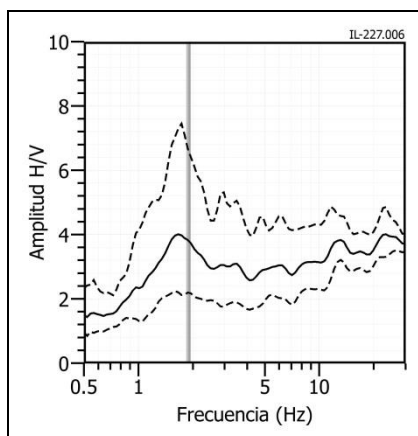


Figura 17: ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F_0 ($F \leq 2.0\text{Hz}$): puntos IL-183(D), IL-191(E) y IL-193(F) ubicados al Sur de la Plaza de Armas de Ilo. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

IL - 225



IL - 227



IL - 229

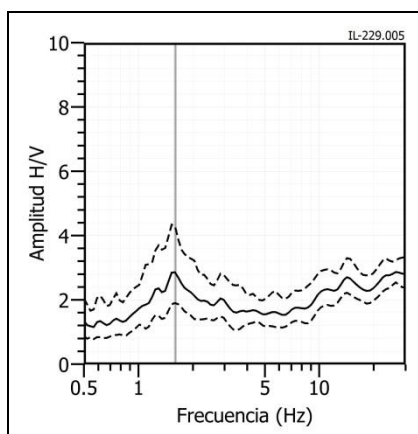
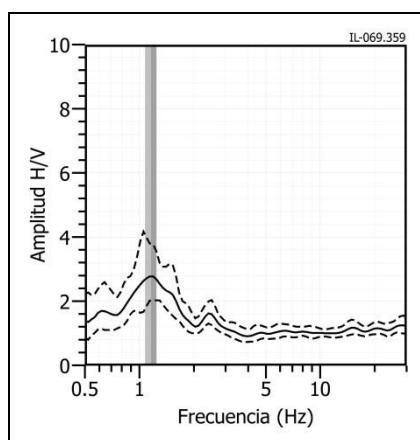
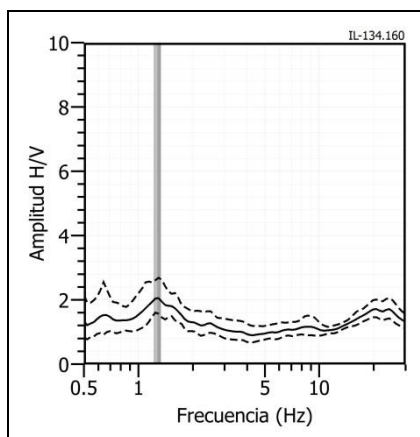


Figura 17: ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F_0 ($F \leq 2.0\text{Hz}$): puntos IL-225(G), IL-227(H) y IL-229(I), ubicados al sur este del Parque del Minero. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

IL - 069



IL - 134



IL - 157

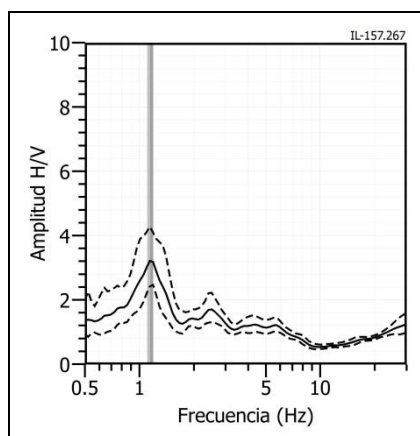
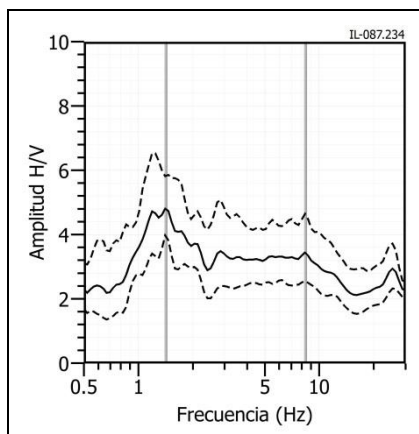
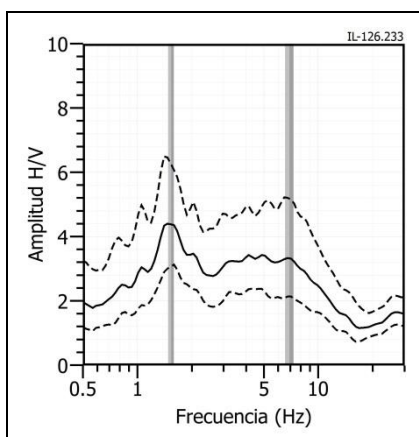


Figura 18: ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F_0 ($F \leq 2.0\text{Hz}$): Puntos IL-069(A), IL-134(E) y IL-157(G) ubicados en la UNAM y en las asociaciones Villa Progreso e Independencia. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

IL - 087



IL - 126



IL - 145

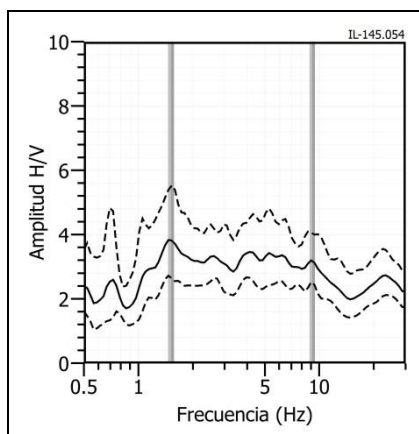
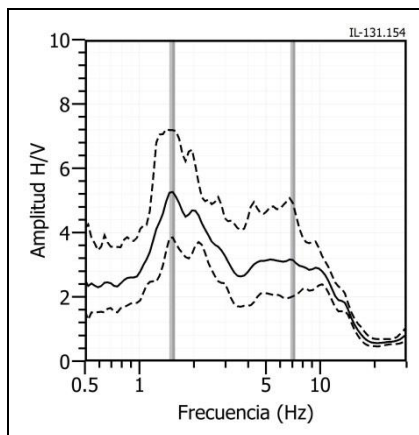
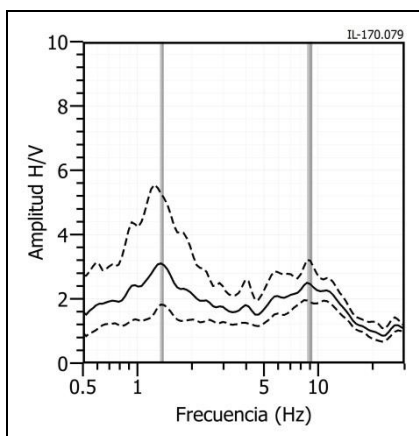


Figura 18: ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F_0 ($F \leq 2.0\text{Hz}$): puntos IL-087(B), IL-126(C) y IL-145(F) ubicados al oeste de la I.E. Fé y Alegría y entre las asociaciones Villa Los Arenales y Mcal. Domingo Nieto. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

IL - 131



IL - 170



IL - 171

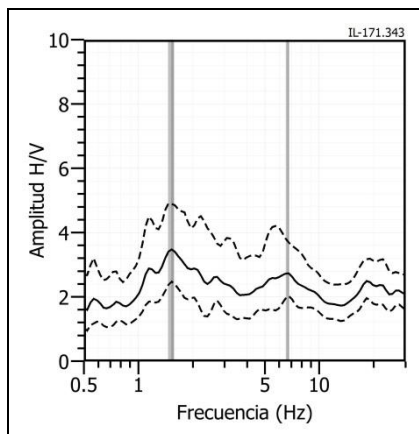


Figura 18: ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F_0 ($F \leq 2.0\text{Hz}$): puntos IL-131(D), IL-170(H) y IL-171(I) ubicados en la Asoc. Villa Progreso y entre las asociaciones Mcal. Domingo Nieto e Independencia. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

- Frecuencias predominantes F1: En las Figuras 19 y 20, se muestra la distribución espacial de las frecuencias predominantes F1 ($F > 2.0\text{Hz}$) para Ilo y Pampa Inalámbrica. Asimismo, en las Figuras 21 y 22 se muestra ejemplos de razones espectrales que caracterizan a los suelos. En el cercado de Ilo predominan frecuencias entre 2.07 a 23.29 Hz y en Pampa Inalámbrica frecuencias entre 2.02 a 17.65 Hz.

En el área urbana de Ilo, las razones (H/V) obtenidas para los puntos IL-2(A), IL-218(I) y IL-220(J), ubicados en el Valle Pacocha, presentan frecuencias predominantes a 3.08, 11.96 y 2.96 Hz con amplificaciones de 6.32, 9.58 y 7.69 respectivamente. Los resultados sugieren que los suelos son flexibles (Figura 21).

Los puntos IL-45(B), IL-58(C) y IL-67(D), ubicados al este del estadio Domingo Mcal. Nieto, presentan dos picos de frecuencias a 6.60, 6.63 y 5.37 Hz con amplificaciones de 2.91, 2.84 y 5.24 respectivamente. La presencia de dos picos indica la presencia de suelos complejos. Además, esta es una de las zonas que sufrió daños moderados durante la ocurrencia del sismo de Arequipa del 2001 (Figura 21).

Las razones (H/V) obtenidas para los puntos IL-105(E), IL-112(F) y IL-292(K), ubicados al sur de la Plaza de Armas y en la Asoc. 20 de Diciembre, indican que los suelos bajo estos puntos no responden a ninguna frecuencia predominante, lo que sugiere que los suelos son rígidos (Figura 21).

Asimismo, las razones espectrales para los puntos IL-208(G), IL-216(H) y IL-303(L), ubicados al norte, sur y oeste del Parque del Minero, presentan frecuencias predominantes a 11.23, 14.31 y 10.51 Hz con amplificaciones de 4.09, 3.26 y 4.08 respectivamente. Estos resultados sugieren la presencia de suelos en una capa delgada (Figura 21).

En el área urbana de Pampa Inalámbrica los puntos IL-28(A), IL-79(B) y IL-85(C), ubicados al sur de la I.E.I. 341, indican que los suelos bajo estos puntos no responden a una frecuencia predominante, lo que sugiere que los suelos son rígidos (Figura 22).

Las razones (H/V) obtenidas para los puntos IL-87(D), IL-126(E) y IL-145(G), ubicados al norte del Mercado de Nuevo Ilo, presentan dos picos con frecuencias predominantes a 1.42, 1.54 y 1.43 Hz con amplificaciones de 4.78, 4.38 y 3.50 respectivamente para el primer pico y frecuencias predominantes de 8.41, 6.93 y 9.27 Hz con amplificaciones de hasta 3 veces para el segundo pico. Estos resultados sugieren la existencia de dos capas sedimentarias (Figura 22).

Para los puntos IL-131 (F), IL-170(H) y IL-171(I), ubicados entre las asociaciones Villa Progreso y Mcal. Domingo Nieto, indican que los suelos bajo estos puntos presentan dos picos, siendo las frecuencias predominantes para el primer pico de 1.51, 1.37 y 1.52 Hz con amplificaciones de 5.25, 3.08 y 3.47 respectivamente; y para el segundo pico de 7.06, 8.98 y 8.98 Hz con amplificaciones de 3.14, 2.46 y 2.43. Estos resultados sugieren la existencia de dos capas sedimentarias (Figura 22).

Asimismo, los puntos IL-259 (J), IL-286(K) y IL-287(L) ubicados al este de la UNAM, presentan frecuencias predominantes de 3.28, 2.78 y 3.44 Hz con amplificaciones de 2.28, 3.65 y 3.10 respectivamente. Los resultados sugieren la presencia de una capa delgada de suelos (Figura 22).

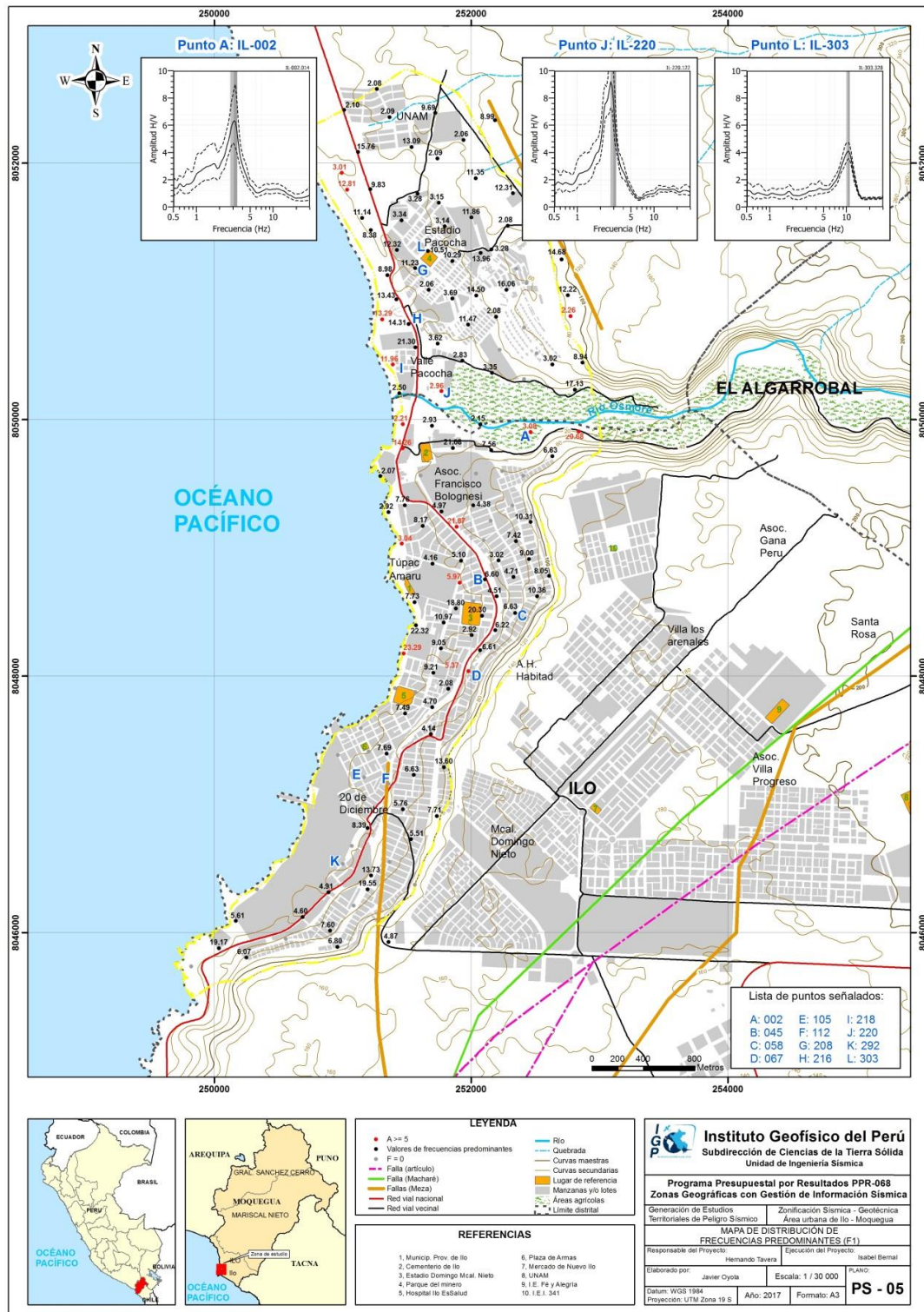


Figura 19: Mapa del área urbana de Ilo y la distribución espacial de las frecuencias predominantes F1 ($F > 2.0 \text{ Hz}$).

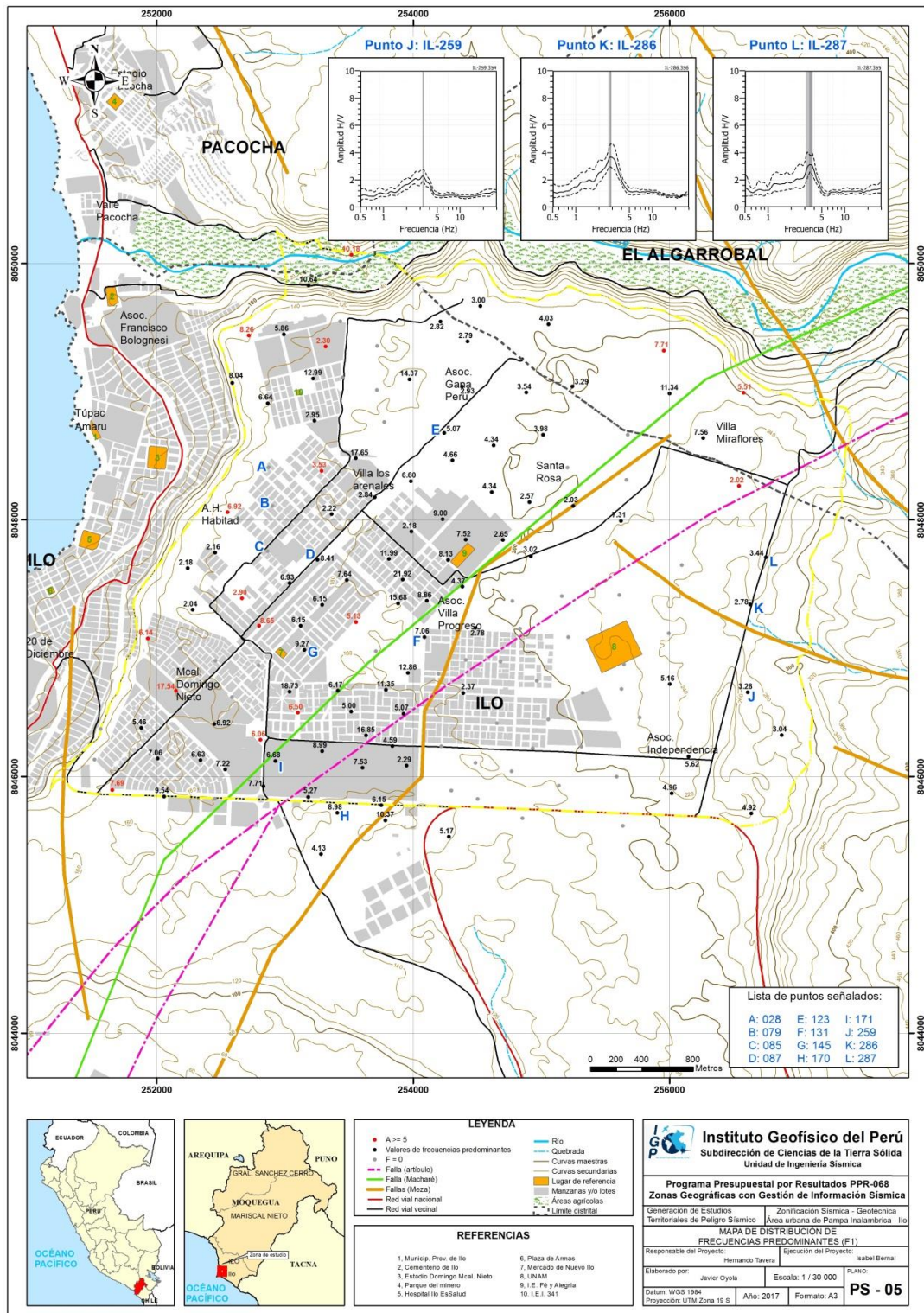
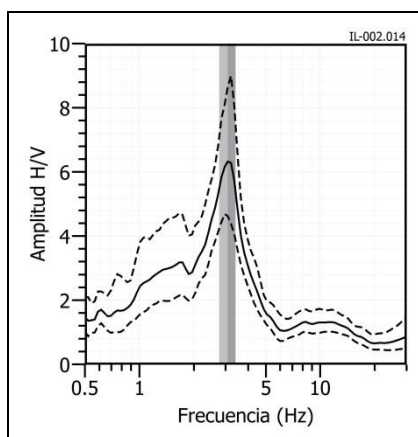
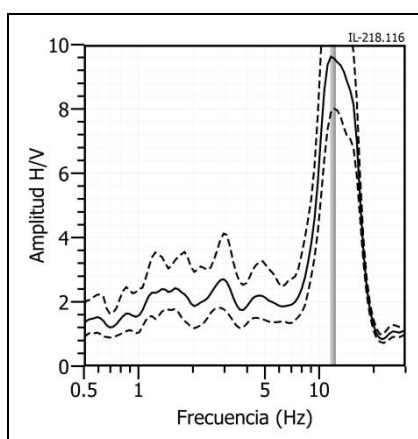


Figura 20: Mapa del área urbana de Pampa Inalámbrica y la distribución espacial de las frecuencias predominantes F1 ($F > 2.0\text{Hz}$).

IL - 002



IL - 218



IL - 220

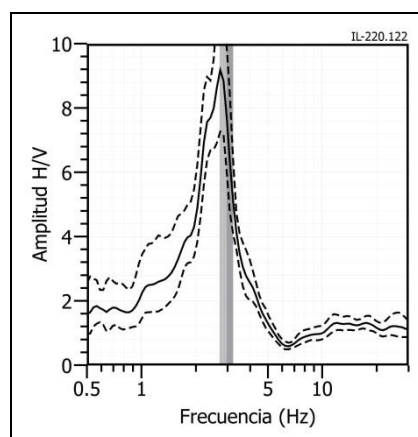
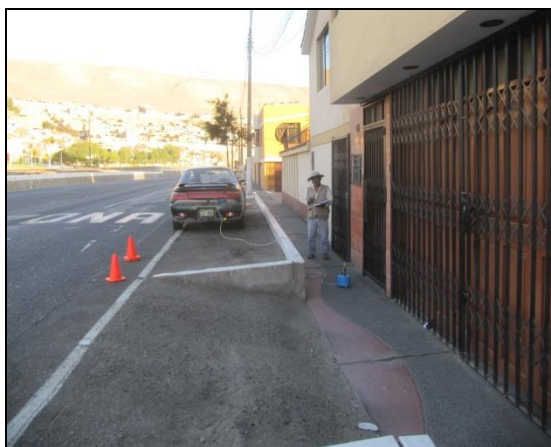
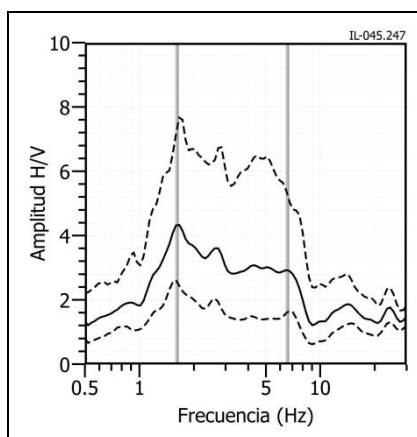
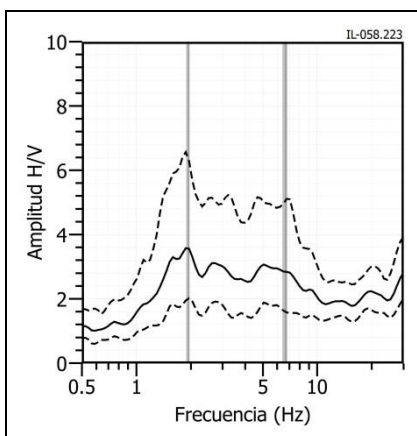


Figura 21: Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango $F1$ ($F > 2.0\text{Hz}$): puntos IL-002 (A), IL-218(I) y IL-220(J) ubicados en el Valle Pacocha. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

IL - 45



IL - 058



IL - 067

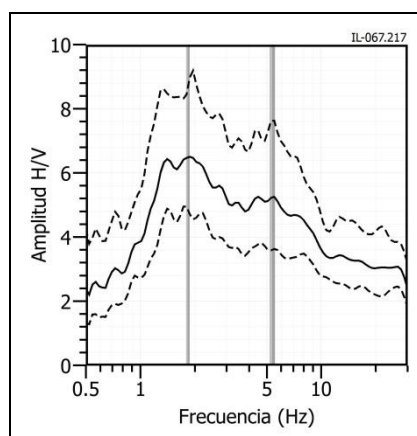
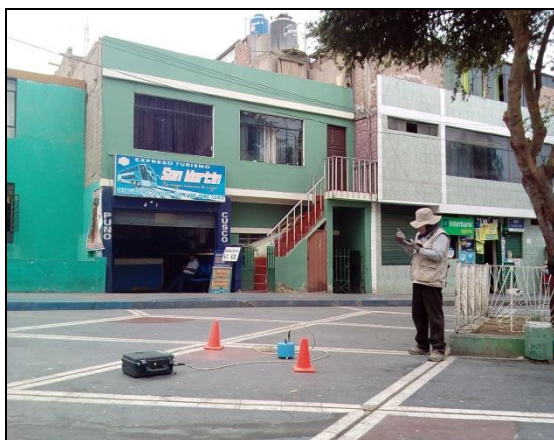
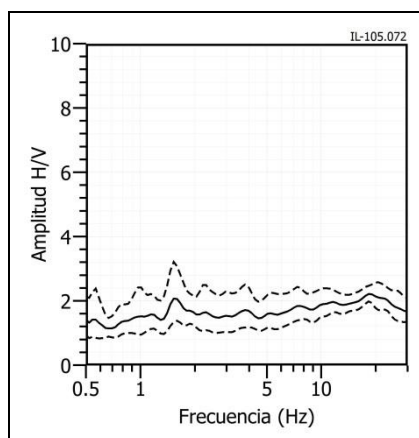
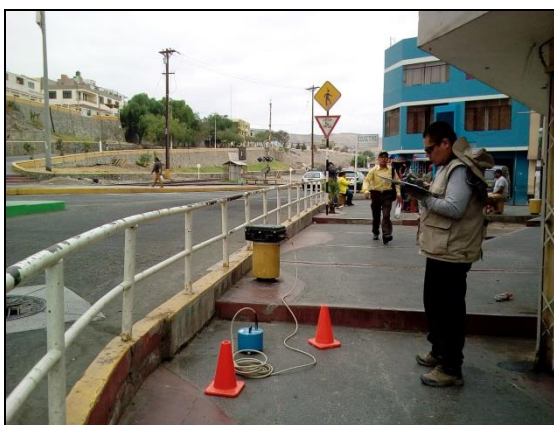
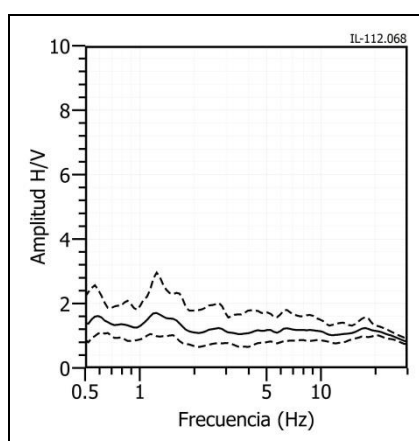


Figura 21: ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F1 ($F > 2.0\text{Hz}$): puntos IL-045(B), IL-058(C) y IL-067(D) ubicados al este del estadio Domingo Mcal. Nieto. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

IL - 105



IL - 112



IL - 292

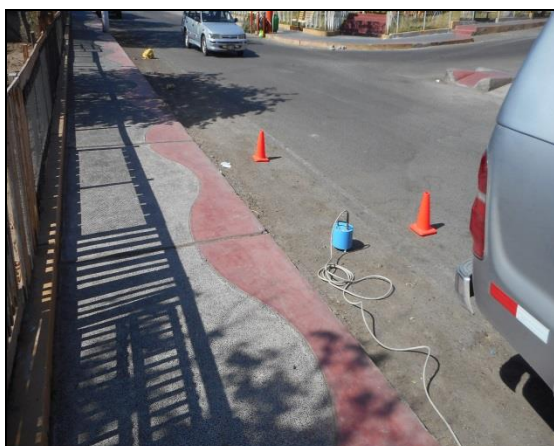
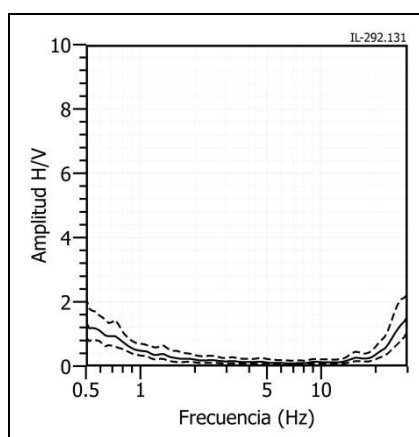
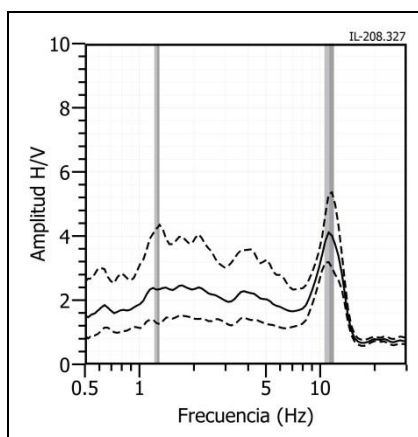
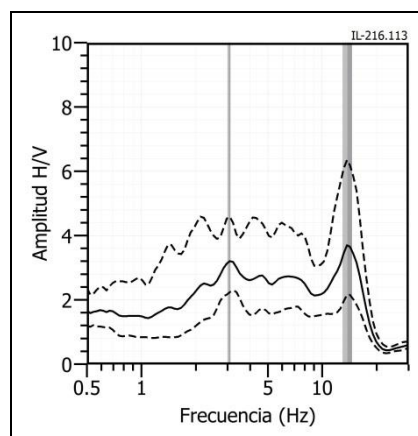


Figura 21: ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F1 ($F > 2.0\text{Hz}$): puntos IL-105(E), IL-112(F) y IL-292(K) ubicados al sur de la Plaza de Armas de Ilo. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

IL - 208



IL - 216



IL- 303

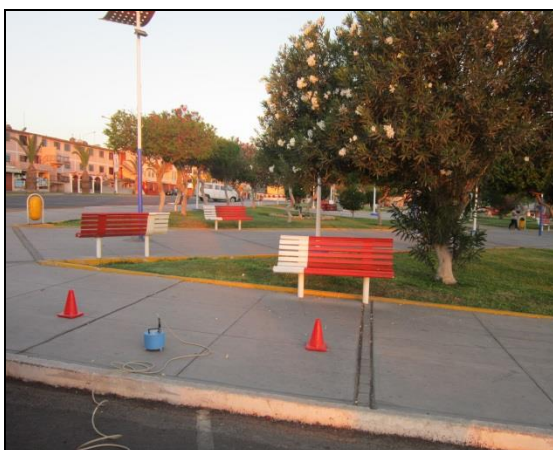
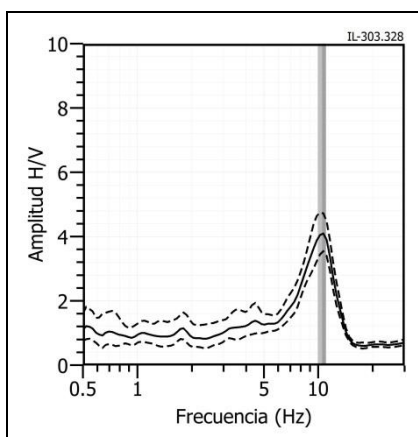
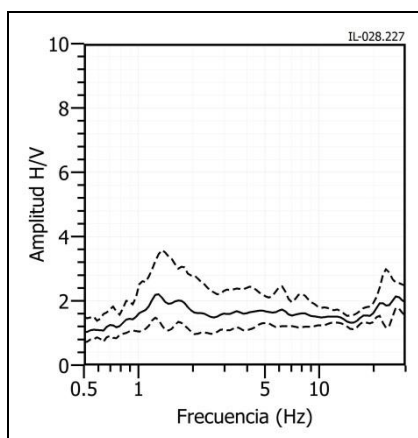
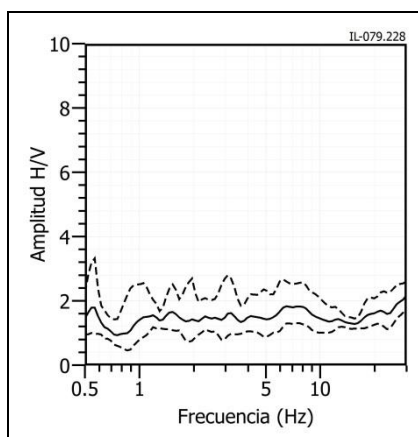


Figura 21: ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F1 ($F > 2.0\text{Hz}$): puntos IL-208(G), IL-216(H) y IL-303(L) ubicados al norte, sur y oeste del Parque del Minero. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

IL - 028



IL - 079



IL - 085

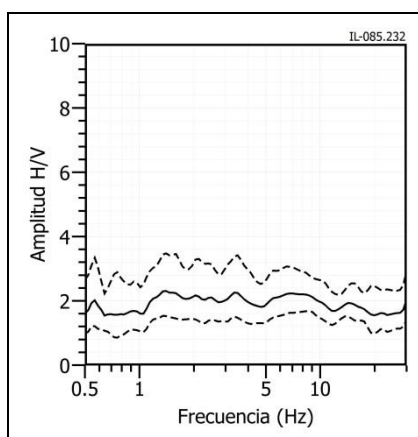
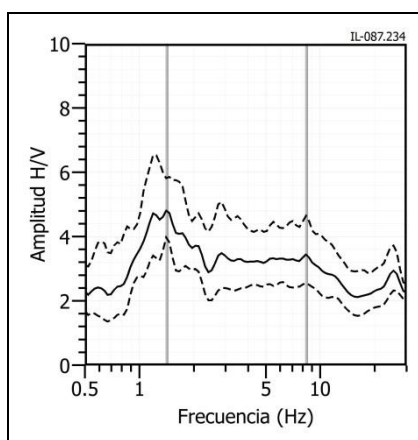
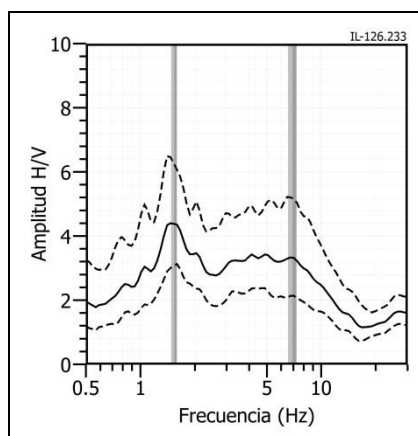


Figura 22: ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F1 ($F > 2.0\text{Hz}$): puntos IL-028(A), IL-079(B) y IL-085(C) ubicados al sur de la I.E.I 341. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

IL - 087



IL - 126



IL - 145

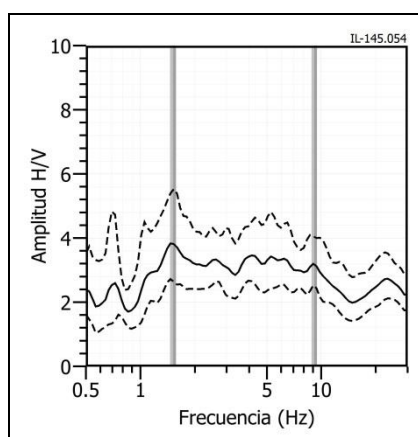
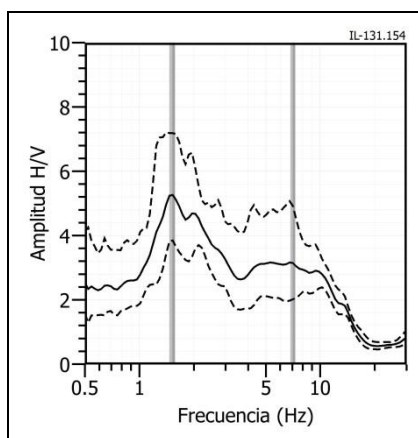
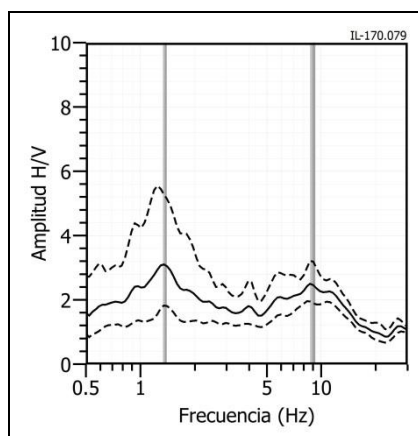


Figura 22: ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F1 ($F > 2.0\text{Hz}$): puntos IL-087(D), IL-126(E) y IL-145(G) ubicados al norte del Mercado de Nuevo Ilo. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

IL - 131



IL - 170



IL - 171

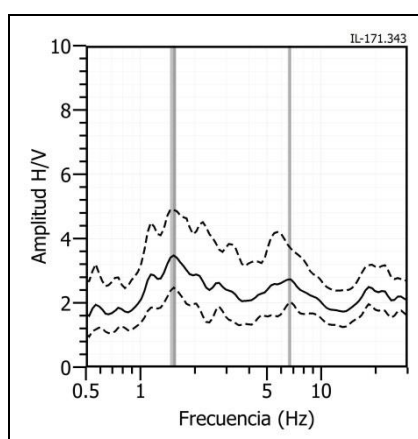
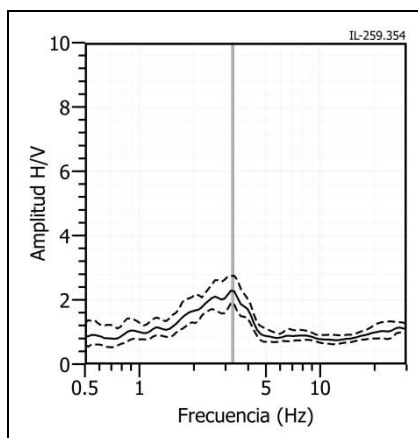
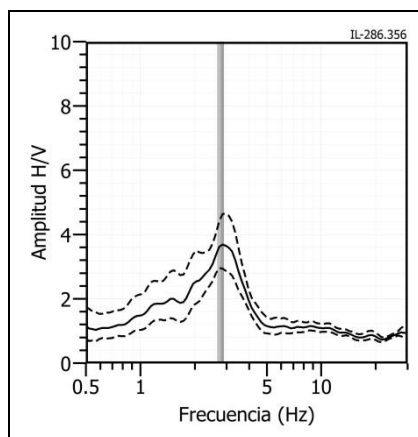


Figura 22: ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F1 ($F > 2.0\text{Hz}$): puntos IL-131(F), IL-170 (H) y IL-171(I) ubicados entre las asociaciones Villa Progreso y Mcal. Domingo Nieto. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

IL - 259



IL - 286



IL - 287

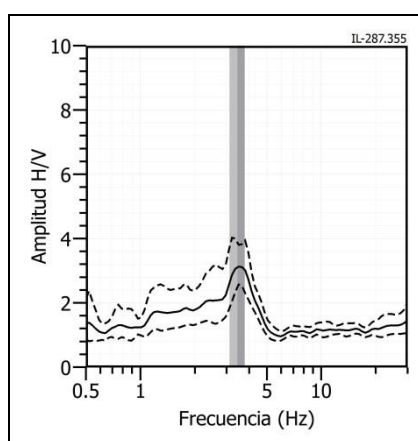


Figura 22: ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F1 ($F > 2.0\text{Hz}$): puntos IL-259(J), IL-286 (K) y IL-287(L) ubicados al este de la UNAM. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

3.2. Estudio Sísmico con la Técnica de MASW

Los modelos de velocidad de propagación (V_s) proporcionaron información muy útil para el reconocimiento de la naturaleza del subsuelo y los espesores de capas. El procesamiento de datos permitieron llegar desde profundidades mínimas de 2 y 6 metros hasta los 30 metros de profundidad para cada línea sísmica: Las líneas LS01, LS02 y LS03 fueron realizadas en Pacocha, LS04 a LS07 en Ilo cercado y LS08 a LS19 en Pampa Inalámbrica (ver Figura 10). A continuación, se describe los resultados obtenidos, agrupados según similitud de velocidad V_s en el perfil sísmico y ubicación:

Líneas sísmicas LS01-IL y LS02-IL: realizadas en las proximidades de la UNAM (LS01) y en el estadio de Pacocha (LS02), indican la presencia de suelos conformados por dos capas: la primera de 5 a 7 metros de espesor y velocidades V_s entre 471 a 482 m/s que sugieren la presencia de suelos rígidos. La segunda, con velocidades V_s que varían entre 815 a 937 m/s correspondientes a rocas moderadamente duras. La superficie de contacto con el semiespacio presenta velocidades $V_s > 1334$ m/s para la línea LS01 (roca moderadamente dura) y de $V_s > 1665$ para la línea LS02 (roca dura).

Línea sísmica LS03-IL: realizada en la Asoc. Villa Pacocha e indica la presencia de suelos conformados por dos capas: la primera de 11 metros de espesor y velocidades V_s de 174 m/s que sugiere la existencia de suelos blandos. La segunda, con espesor de 13 metros y velocidades V_s de 319 m/s correspondientes a suelos moderadamente rígidos. La superficie de contacto con el semiespacio presenta velocidades $V_s > 437$ m/s que sugiere la presencia de suelos rígidos o roca blandas.

Línea sísmica LS04-IL: realizada en la Asoc. Francisco Bolognesi e indica la presencia de suelos conformados por una capa con velocidad de 1472 m/s y 9 metros de espesor que sugieren la existencia de rocas moderadamente duras. El semiespacio con velocidades $V_s > 2004$ m/s sugiere la presencia de rocas duras.

Línea sísmica LS05-IL: realizada en la Asoc. Villa del Mar e indica la presencia de suelos conformados por dos capas: la primera de 4 metros de espesor y velocidades V_s de 548 m/s; la segunda con velocidades V_s de 768 m/s y 9 metros de espesor; ambos sugieren la presencia de suelos muy rígidos o rocas

blandas. La superficie de contacto con el semiespacio presenta velocidades $V_s > 1465$ m/s que sugiere la existencia de rocas moderadamente duras.

Línea sísmica LS06-IL: *realizada en el A.H. 20 de Diciembre e indica la presencia de suelos conformados por dos capas: la primera de 9 metros de espesor y velocidades V_s de 766 m/s que corresponden a suelos muy rígidos o rocas blandas. La segunda con velocidades V_s de 1562 m/s y 15 metros de espesor, así como el semiespacio con velocidades $V_s > 2482$ m/s, ambos sugieren la presencia de rocas duras.*

Línea sísmica LS07-IL: *realizada en el A.H. Bello Horizonte e indica la presencia de suelos conformados por dos capas: la primera de 7 metros de espesor y velocidades V_s de 693 m/s que corresponde a suelos muy rígidos o rocas blandas. La segunda con velocidades V_s de 1443 m/s y 16 metros de espesor que correspondería a rocas moderadamente duras. El semiespacio con velocidades $V_s > 2061$ m/s sugiere la presencia de rocas duras.*

Líneas sísmicas LS08-IL y LS19-IL: *realizadas en la Asoc. Mariscal Domingo Nieto (LS08) y en el A.H. Habidad (LS19) en Pampa Inalámbrica; indican la presencia de suelos conformados por una y dos capas sísmicas: la primera de 7 metros de espesor y velocidades V_s entre 826 a 1013 m/s que sugieren la presencia de rocas moderadamente duras. La segunda, presente en la línea LS08 con espesor de 16 metros y velocidades V_s de 1888 m/s. El semiespacio con $V_s > 2329$ m/s; ambos sugieren la presencia de rocas duras.*

Línea sísmica LS09-IL: *realizada en el terreno correspondiente a ESSALUD en Pampa Inalámbrica e indica la presencia de suelos conformados por una capa en superficie con velocidades de 832 m/s y 7 metros de espesor. La superficie de contacto y el semiespacio con velocidad $V_s > 1216$ m/s. Ambos sugieren la presencia de rocas moderadamente duras.*

Línea sísmica LS10-IL: *realizada en el terreno que pertenece a la municipalidad, próximo a la Asc. Villa Progreso. En superficie presenta una capa sísmica de 4 metros de espesor y velocidades V_s 489 m/s que sugiere la existencia de suelos rígidos. El semiespacio con $V_s > 586$ m/s sugiere la presencia de suelos muy rígidos o rocas blandas.*

Línea sísmica LS11-IL: realizada en la Asoc. Villa los Arenales e indica la presencia de suelos conformados por una capa en superficie con velocidades Vs de 307 m/s y 11 metros de espesor que sugieren la existencia de suelos rígidos. La superficie de contacto con el semiespacio presenta velocidades Vs > 1177 m/s sugiere la existencia de rocas moderadamente duras.

Línea sísmica LS12-IL: realizada a espaldas de la I.E.I. N° 341 en Pampa Inalámbrica. Indica la presencia de suelos conformados por dos capas: la primera de 7 metros de espesor y velocidades Vs de 421 m/s que sugiere la presencia de suelos rígidos. La segunda, con espesor de 18 metros y velocidades Vs 1012 m/s que sugiere la existencia de rocas moderadamente duras. La superficie de contacto con el semiespacio presenta velocidades Vs > 1726 m/s que sugiere la presencia rocas duras.

Línea sísmica LS14-IL: realizada en la Cooperativa Artesanal en Pampa Inalámbrica. En superficie define la presencia de una capa conformada por suelos con velocidades Vs de 550 m/s y 3 metros de espesor. La superficie de contacto con el semiespacio a velocidad Vs > 661 m/s. En ambos casos sugieren la existencia de suelos muy rígidos o rocas blandas.

Líneas sísmicas LS13-IL, LS15-IL, LS16-IL y LS18-IL: realizadas en el sector Santa Rosa (LS13), próximo a la UNAM (LS15), en las asociaciones Villa Miraflores (LS16) e Independencia (LS18). Indican la presencia de suelos conformados por dos capas: la primera de 4 a 5 metros de espesor y velocidades Vs entre 265 a 343 m/s que sugieren la presencia de suelos moderadamente rígidos. La segunda capa, con velocidades Vs entre 445 a 465 m/s y espesores entre 7 a 14 metros, compuesta por suelos rígidos. La superficie de contacto con el semiespacio presenta velocidades Vs > 577 m/s, lo cual sugiere la presencia de suelos muy rígidos o roca blanda.

Línea sísmica LS17-IL: realizada en la Asoc. Casa Huerto Gana Perú en Pampa Inalámbrica. Indica la presencia de suelos conformados por dos capas: primera de 4 metros de espesor y velocidades Vs 277 m/s que corresponde a suelos moderadamente rígidos. La segunda, presenta una velocidad Vs de 539 m/s y 9 metros de espesor y el semiespacio con Vs > 682 m/s, ambos sugieren la existencia de suelos muy rígidos o rocas blandas.

En la Tabla 5, se presenta el resumen de los valores de velocidad de ondas de corte Vs para los diferentes perfiles de suelo de acuerdo a los valores indicados en la Tabla 1.

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

Superficie				Profundidad			
Línea Sísmica	N° DE CAPA						VS30 (m/s)
	1		2		Semiespacio		
	Vs (m/s)	Esp. (m)	Vs (m/s)	Esp. (m)	Vs (m/s)	Esp. (m)	
LS01-IL	471	7	937	17	1334	-	808
LS02-IL	482	4	815	7	1630	-	1073
LS03-IL	174	11	319	13	437	-	252
LS04-IL	1472	5	2004	-	-	-	1812
LS05-IL	548	4	768	9	1465	-	991
LS06-IL	766	9	1562	15	2482	-	1294
LS07-IL	693	7	1443	16	2061	-	1231
LS08-IL	1013	7	1888	16	2329	-	1652
LS09-IL	832	7	1216	-	-	-	1089
LS10-IL	489	4	586	-	-	-	574
LS11-IL	307	11	1177	-	-	-	571
LS12-IL	421	7	1012	18	1726	-	824
LS13-IL	291	4	463	14	600	-	473
LS14-IL	550	3	661	-	-	-	635
LS15-IL	295	4	465	7	650	-	514
LS16-IL	265	4	445	9	613	-	475
LS17-IL	277	4	537	9	682	-	561
LS18-IL	343	5	452	8	577	-	473
LS19-IL	826	7	1556	-	-	-	1286
Suelo blando ($V_s < 180$ m/s) Suelo moderadamente rígido (180 – 350 m/s) Suelo rígido (350 – 500 m/s) Suelo muy rígido o roca blanda (500 – 800 m/s) Roca moderadamente duro (800 – 1500 m/s) Roca Dura ($V_s > 1500$ m/s)							

La Figura 23, muestra el resultado obtenido para la línea sísmica LS01 y para otras líneas, ver Anexos.

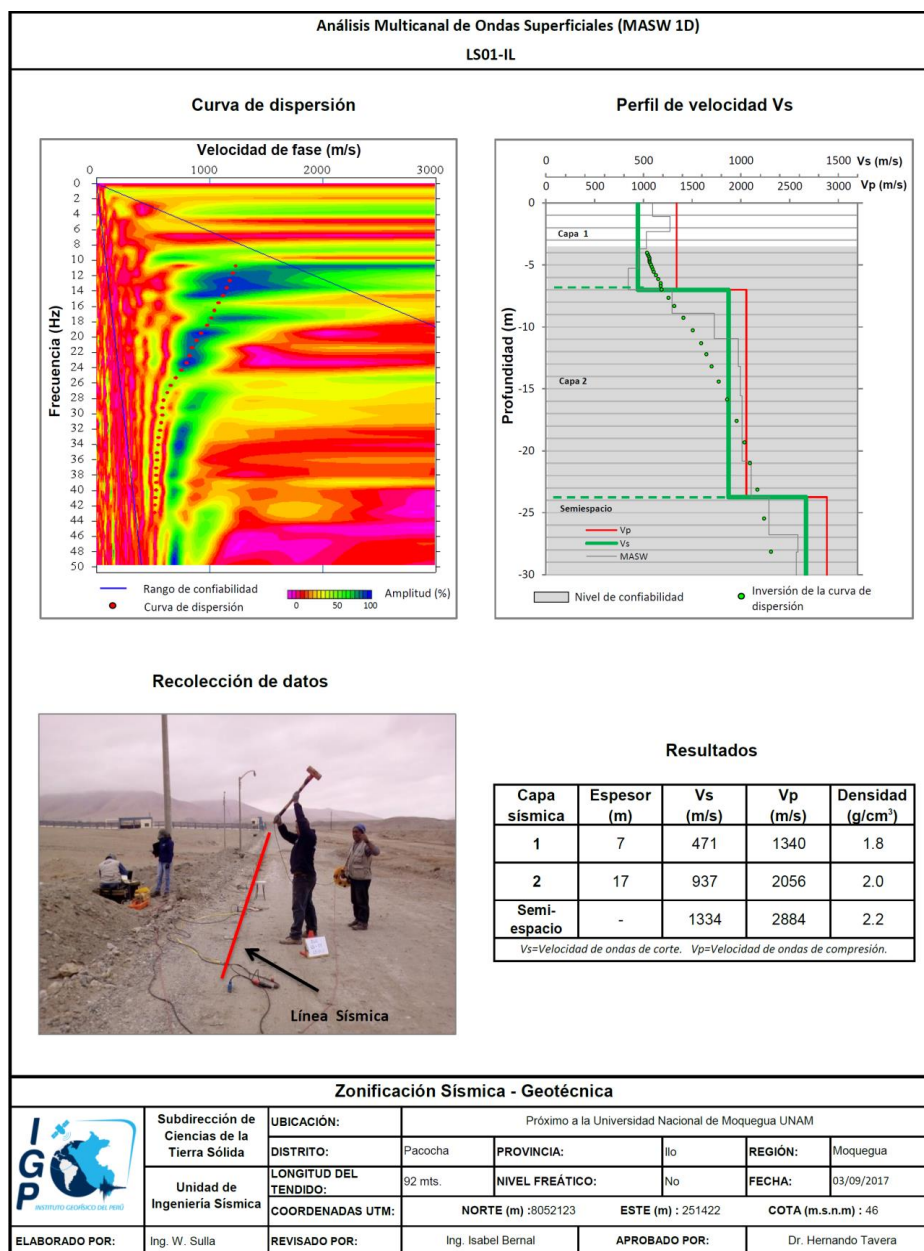


Figura 23: Resultados obtenidos con el método MASW para la línea sísmica LS01-IL.

Interpretación

Los resultados obtenidos para las áreas urbanas de las ciudades de Ilo y Pampa Inalámbrica definen la presencia de 2 capas sísmicas y un semiespacio (ver Tabla 5). El análisis de los resultados según cada capa sísmica y su correlación con la geología y geotecnia es descrita a continuación:

La zona norte del área urbana de Ilo (distrito de Pacocha) presenta suelos rígidos (V_s 471 a 482 m/s) en capas con espesores que varían entre 4 a 7 metros, y que suprayacen en profundidad, a rocas moderadamente duras (V_s = 815 a 937 m/s) a rocas duras. Estos suelos corresponden a depósitos aluviales con alto grado de compactación (Figura 24). Por otro lado, el sector ubicado en la margen derecha del río Osmore (Valle Pacocha) presenta una capa de suelos blandos (V_s = 174 m/s) de 11 metros de espesor depositada sobre otra capa de suelos moderadamente rígidos a rígidos (V_s = 319 a 437 m/s). La diferencia entre ambos sectores es debido al alto contenido de humedad que se observa en superficie (Figura 25).



Figura 24: Depósitos aluviales que cubren la roca intrusiva (LS06).

En la zona central de Ilo predomina la presencia de suelos muy rígidos en superficie con presencia de rocas blandas (548 a 768 m/s) en capas con espesores variables entre 7 a 13 metros, estando las de mayor espesor en la Asoc. Villa del Mar (LS05-IL). Estos suelos suprayacen a materiales más compactos o rocas moderadamente duras a rocas duras en profundidad (V_s > 1443 m/s) y que afloran en superficie en la margen izquierda del río Osmore (Asoc. Francisco Bolognesi). Estos resultados se correlacionan con las rocas intrusivas presentes en esta zona cubiertas por depósitos aluviales de poco espesor (Figura 25).

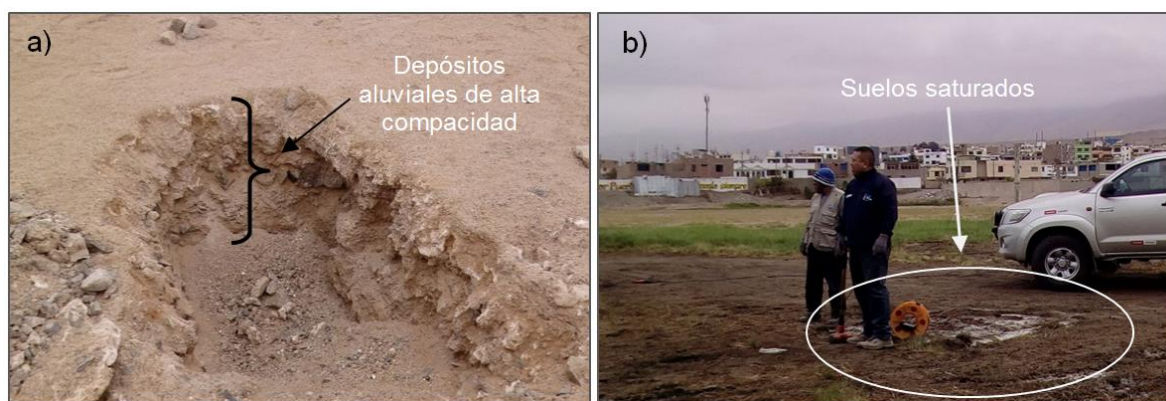


Figura 25: a) Depósitos aluviales que son observados en excavaciones próximos a la línea sísmica LS01-IL. b) Suelo saturado es observado en la margen derecha del río Osmore.

En el área urbana de Pampa Inalámbrica, se identifica la presencia de suelos con diferente grado de compactación. En primer lugar, los perfiles de suelo realizados en el extremo Suroeste de Pampa Inalámbrica (LS08, LS09 y LS19), considera la presencia de rocas moderadamente duras en superficie (V_s 826 a 1013 m/s) con capas de 7 metros de espesor que suprayacen en profundidad a rocas duras. En segundo lugar, en la parte central de Pampa Inalámbrica, los perfiles sugieren la presencia de suelos rígidos (V_s 421 a 489 m/s) con espesores que varían entre 7 a 11 metros (LS11-IL) y que suprayacen a rocas moderadamente duras. Conforme se avanza en dirección noreste, los suelos son moderadamente rígidos en superficie (V_s 265 a 353 m/s) y con espesores de 4 metros que suprayacen a suelos rígidos a muy rígidos con presencia de roca blanda en profundidad. Según la geología, en la zona de estudio existen suelos altamente compactos y constituidos por material aluvial presentes en dirección sur – suroeste de Pampa Inalámbrica y en dirección este – noreste, por suelos constituidos de arenas (Figura 26).

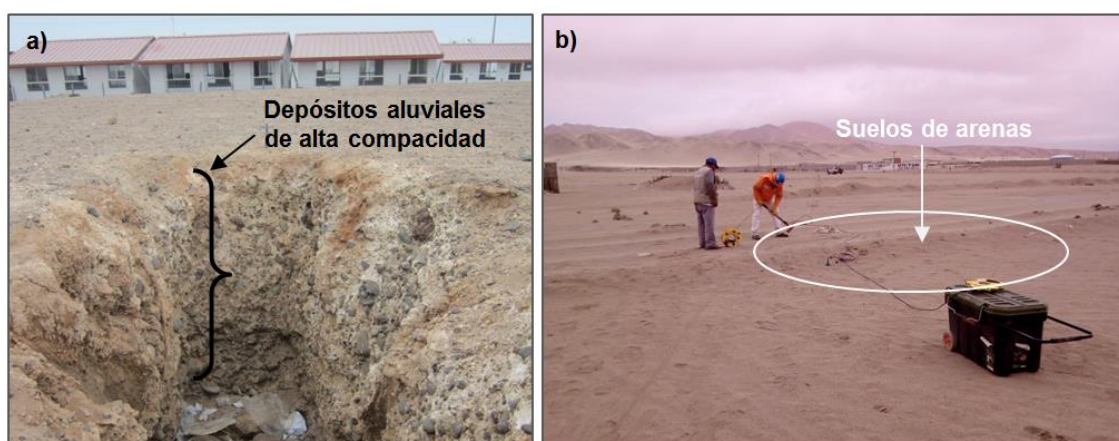


Figura 26: a) Depósitos aluviales altamente compactos al sur – suroeste y b) depósitos eólicos hacia al noreste de Pampa Inalámbrica.

3.3. Periodos Dominantes

Para presentar los resultados obtenidos con la técnica de 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 27, se muestra la distribución espacial de los valores de periodos dominantes para el área de estudio, los cuales han sido separados en dos grupos, en color negro para periodos dominantes principales y en gris, los periodos secundarios. Para ambos grupos, se muestra en color rojo los valores para periodos con amplitudes mayores a 5.

Los periodos de 0.1 a 0.3 segundos, se distribuyen de norte a sur, en Ilo cercado y en Pampa Inalámbrica en las asociaciones Gana Perú, Santa Rosa, Villa Los Arenales, Villa Progreso y Mcal. Domingo Nieto. Asimismo, los periodos de 0.4 a 0.5 segundos se distribuyen de manera dispersa en Pampa Inalámbrica. Los periodos con las mayores amplificaciones se presentan en la Asoc. Villa Progreso, en la ribera del río Osmore y en el extremo NO de Pacocha. Los periodos dominantes que caracterizan a los suelos están relacionados con las condiciones físico-dinámicas a través de la relación $T_0 = 4 H/V_s$, donde T_0 es el periodo dominante, H el espesor del estrato y V_s es la velocidad de onda de corte. Asumiendo, para Ilo cercado, Pacocha y Pampa Inalámbrica, velocidades de ondas de corte (V_s) promedio de 200, 300 y 450 m/s para la capa superficial y periodos de 0.2, 0.3 y 0.5 respectivamente, se estima espesores de 10, 20 y 60 metros para el estrato superficial. Las capas de menor espesor se encuentran en Ilo cercado y los de mayor espesor en Pampa Inalámbrica.

3.4. Estudios Eléctricos con la Técnica ERT

Los valores de resistividad del suelo es información útil para identificar aquellos suelos que presentan alto contenido de humedad y/o la profundidad del nivel freático. A continuación, se describe los resultados obtenidos para las líneas de tomografía eléctrica realizadas en el área de estudio:

Las líneas eléctricas LE01-IL y LE02-IL: realizadas en un extremo del estadio de Pacocha y en el Valle Pacocha, próximo al río Osmore (Figura 28). La línea LE01-IL presenta 3 horizontes: el primero compuesto por materiales resistivos ($> 500 \Omega.m$) de aproximadamente 10 metros de

espesor que engloban a materiales muy resistivos; el segundo horizonte presenta materiales medianamente resistivos con espesor de 20 metros y el tercer horizonte, engloba materiales bajos a muy bajos resistivos.

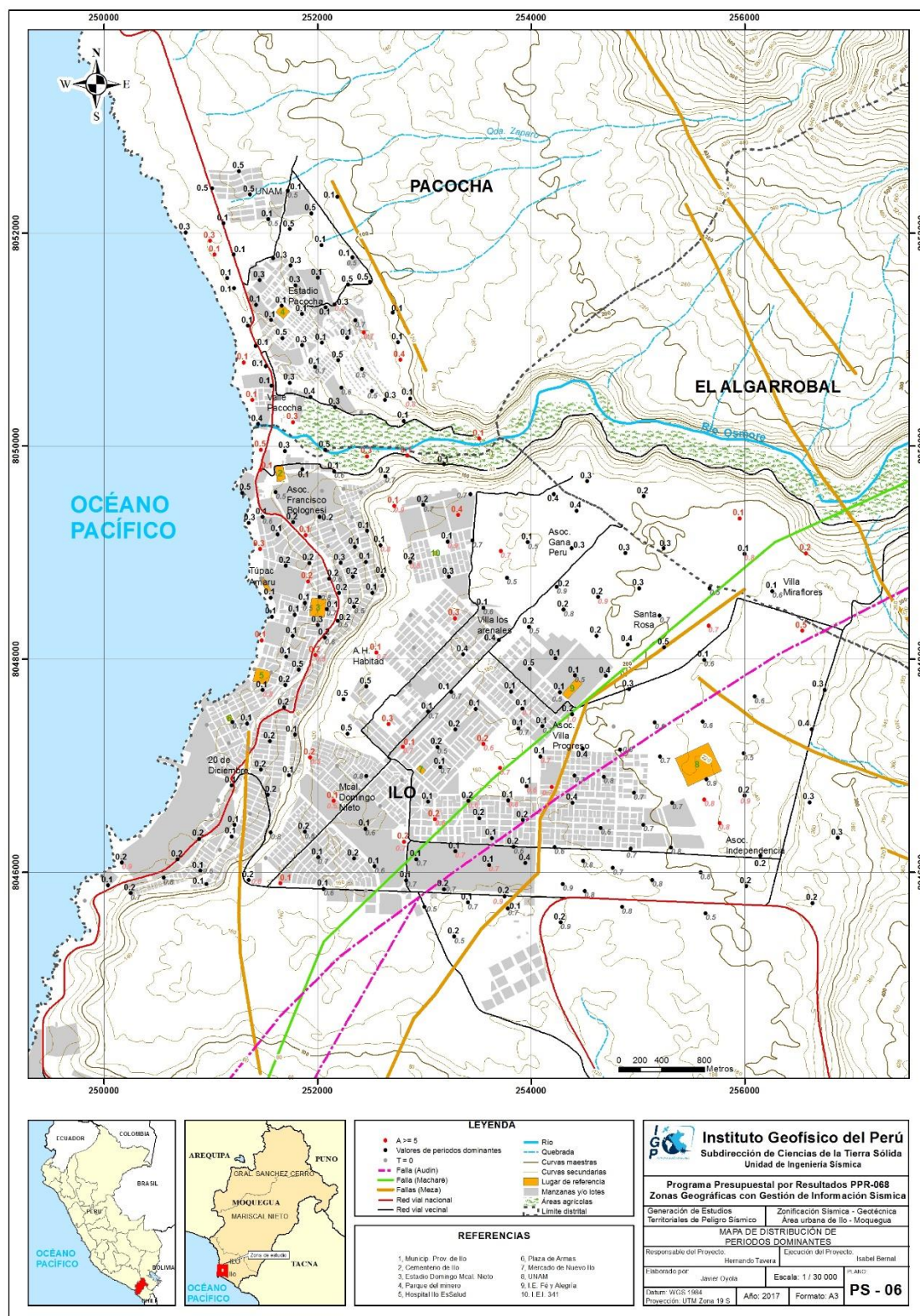


Figura 27: Mapa de la distribución espacial de los valores de periodos dominantes.

La línea **LE02-IL**: presenta predominio de materiales muy bajo resistivos ($< 20 \Omega.m$) en toda la línea, desde la superficie a profundidad, lo cual puede asociarse a la cercanía a la desembocadura del río Osmore y la proximidad con el mar. Asimismo, en las inmediaciones de la línea se encuentra un pozo de agua.

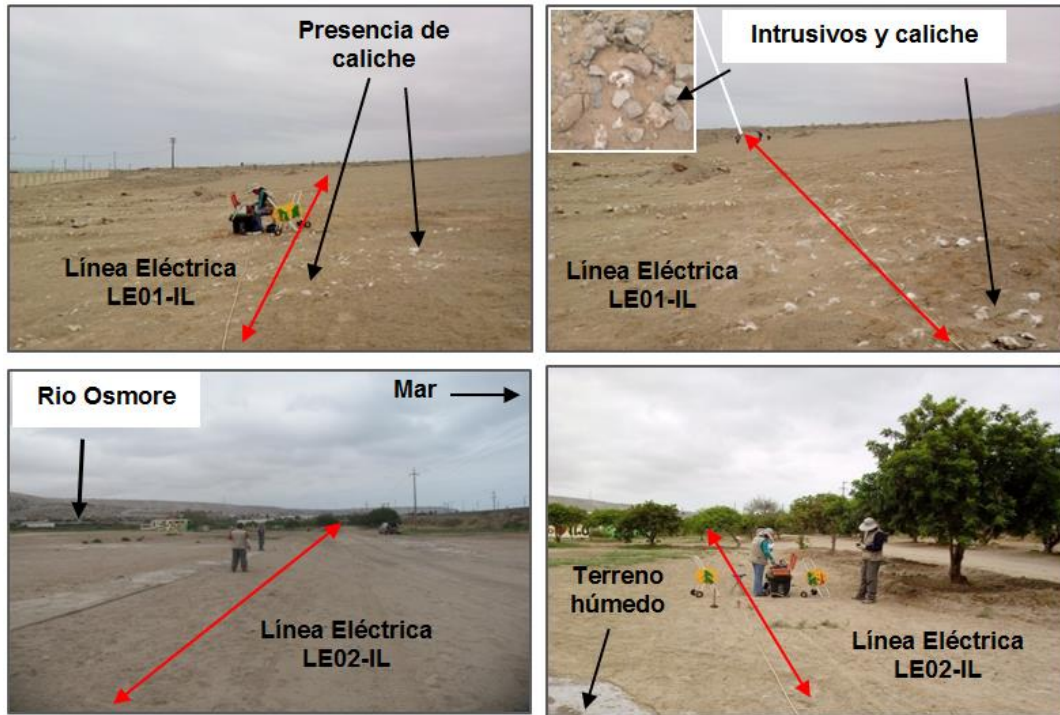


Figura 28: Vista de las líneas eléctricas LE01-IL y LE02-IL.

Las líneas eléctricas LE03-IL, LE04-IL y LE05-IL, realizadas en Villa del Mar, calle Guatemala y en la Av. Andrés Avelino Cáceres (Figura 29). La línea LE03-IL presenta 3 horizontes: el primero con resistividades $< 100 \Omega.m$; el segundo y tercer horizonte con resistividades entre 100 y 1500 $\Omega.m$. En la línea LE04-IL predominan los materiales bajo resistivos debido a la presencia de un pozo próximo a la zona. La línea LE05-IL presenta dos horizontes: el primero con resistividades $> 100 \Omega.m$ y el segundo con resistividades $< 100 \Omega.m$.

En general, estas líneas eléctricas indican el predominio de materiales bajo resistivos ($< 100 \Omega.m$), sugiriendo que estos valores se deben a su proximidad al mar; mientras que los materiales medianamente resistivos se presentan en menor porcentaje (ver Anexos).



Figura 29: Vista de las líneas eléctricas LE03-IL, LE04-IL y LE05-IL.

Por otra parte, la línea eléctrica LE06-IL realizada en Costa Azul, al norte de la Plaza de Ilo (Figura 30), presenta 3 horizontes: el primero compuesto por materiales que van desde los muy resistivos en superficie hasta los resistivos, todos dispuestos en forma paralela a la superficie y alcanzando espesores de 10 metros; el segundo horizonte está compuesto por materiales medianamente resistivos y el tercero, compuesto por materiales bajos a muy bajos resistivos.

Las líneas eléctricas LE07-IL, LE08-IL, LE09-IL, LE10-IL, LE12-IL y LE15-IL, realizadas en el terreno de ESSALUD, asociaciones Villa Progreso, Villa Miraflores y en la Cooperativa Artesanal (Figura 31).



Figura 30: Vista de las líneas eléctricas LE06-IL.

La ubicación de estas líneas fue para cubrir los trazos de la falla Chololo propuesto por Machare (2001) y Meza (2014). Los materiales presentes en superficie son resistivos que envuelven a otros muy resistivos distribuidos de manera paralela a la superficie y que pueden asociarse a la presencia de depósitos aluviales. Por debajo de estos, se encuentran materiales bajos a muy bajos resistivos. En las líneas LE07-IL y LE09-IL, se evidencio la presencia de discontinuidades que coinciden con los trazos de la falla Chololo ver Anexos).

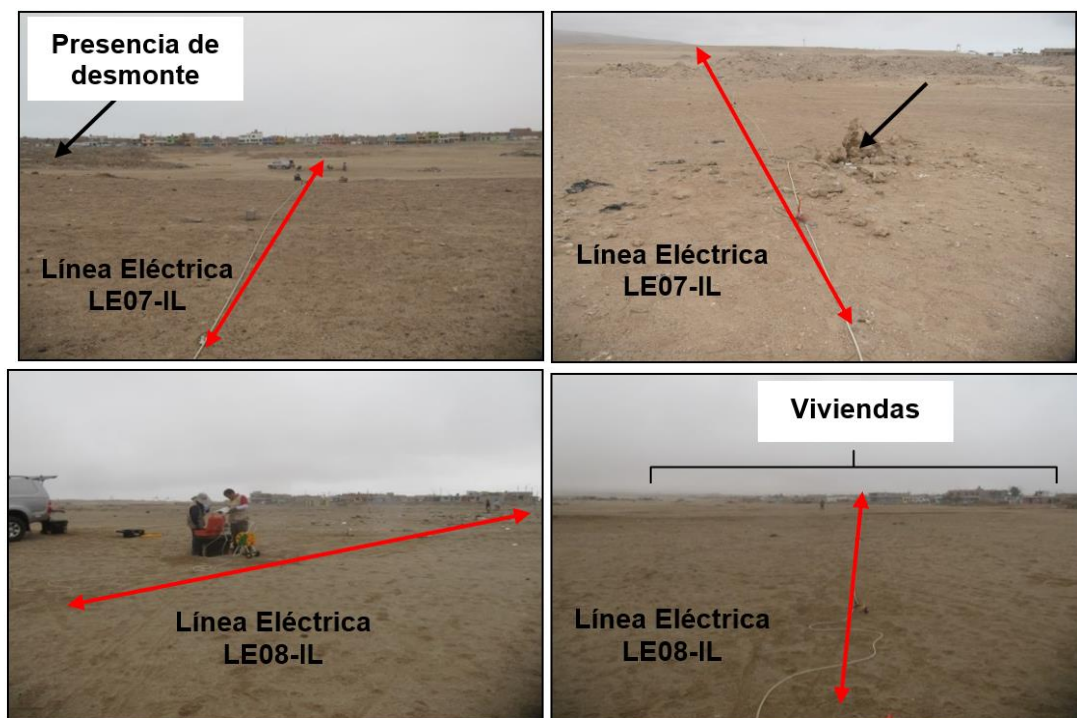


Figura 31: Vista de las Líneas eléctricas LE07-IL, LE08-IL LE09-IL LE10-IL, LE12-IL y LE15-IL.

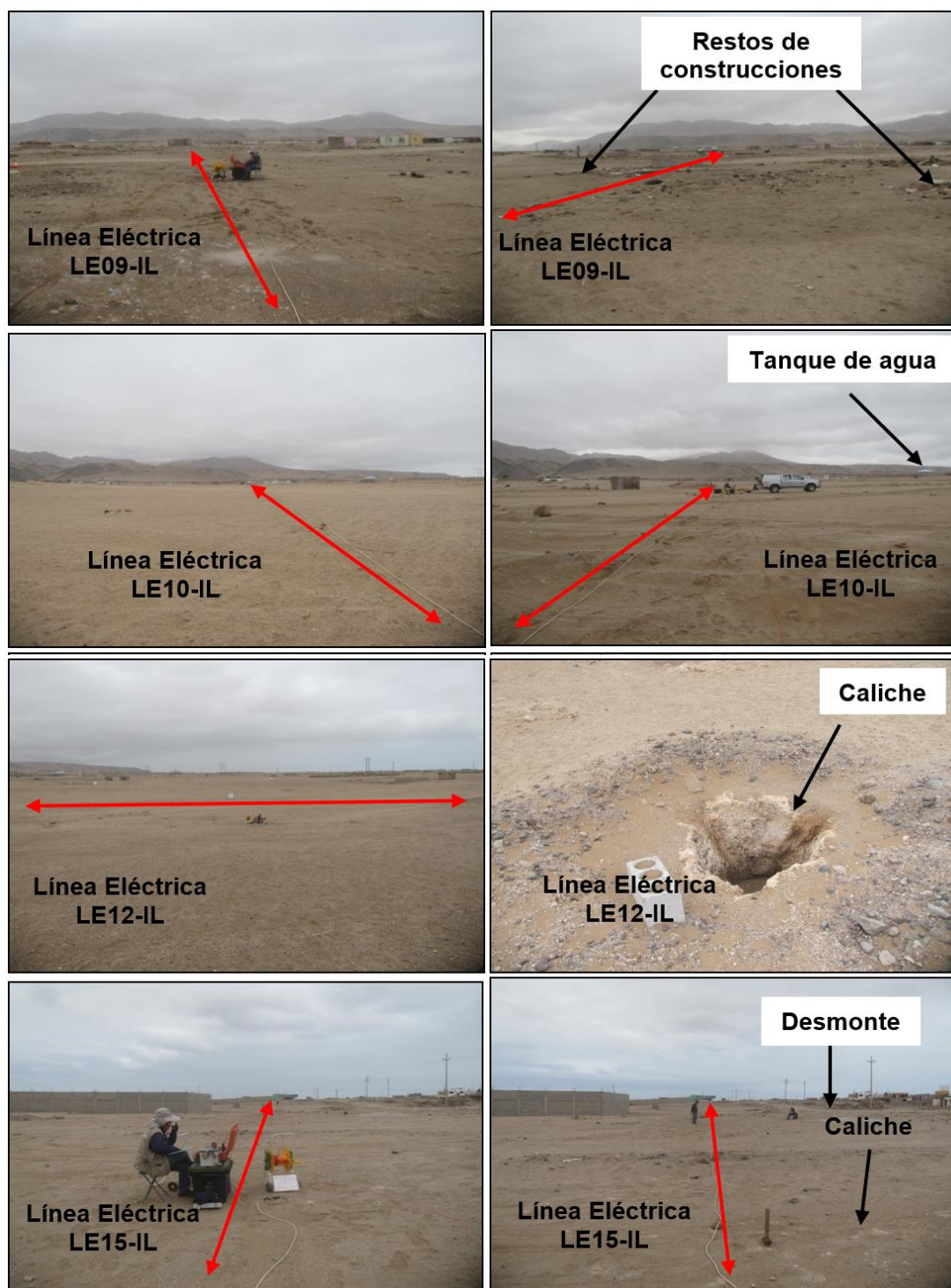


Figura 31: Continuacion.../Vista de las Líneas eléctricas LE07-IL, LE08-IL LE09-IL LE10-IL, LE12-IL y LE15-IL.

La línea eléctrica LE011-IL, realizada en el frontis de la UNAM en Pampa Inalámbrica (Figura 32), muestra el predominio de materiales resistivos en superficie ($500 \Omega.m$) que se extienden en profundidad.



Figura 32: Vista de las líneas eléctricas LE11-IL.

Las líneas eléctricas LE013-IL y LE014-IL: realizadas en la Asoc. Casa Huerto Gana Perú y a espaldas de la I.E. N° 341 en Pampa Inalámbrica (Figuras 33 y 34).

La línea LE013-IL presenta 3 horizontes: el primero con resistividades $>500 \Omega.m$ y un espesor aproximado de 10 metros que disminuye en dirección suroeste debido a la presencia del segundo horizonte (materiales medianamente resistivos). El tercer horizonte está compuesto por materiales bajos a muy bajos resistivos ($<100 \Omega.m$). En la línea LE014-IL se identifica 3 horizontes: el primero con resistividades $>500 \Omega.m$ que se extiende a lo largo de la línea; el segundo horizonte compuesto por materiales medianamente resistivos ($>100 \Omega.m$) y el tercer horizonte, engloba materiales bajos a muy bajos resistivos ($<100 \Omega.m$).



Figura 33: Vista de la línea eléctrica LE13-IL.

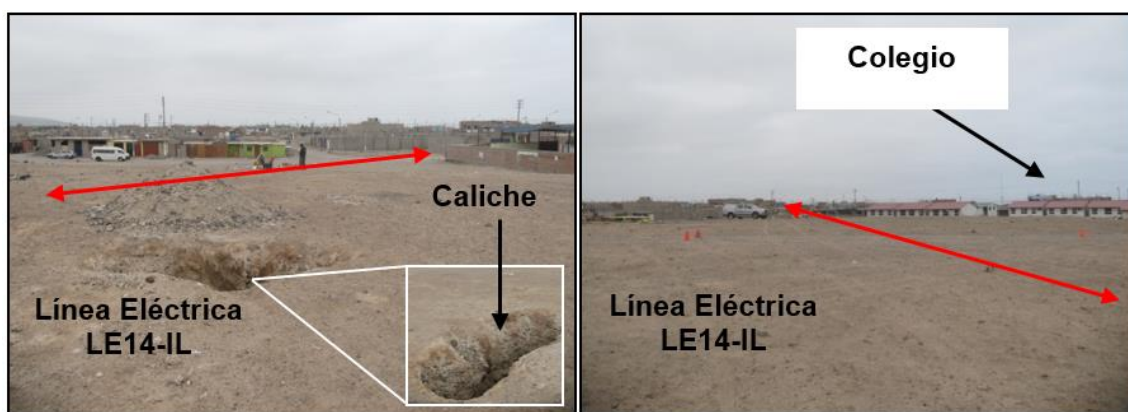


Figura 34: Vista de la línea eléctrica LE14-IL.

En la Figura 35, se presenta el resultado obtenido para la línea LE01-IL y para otras líneas, ver Anexos. En la Tabla 6, se muestra los resultados obtenidos.

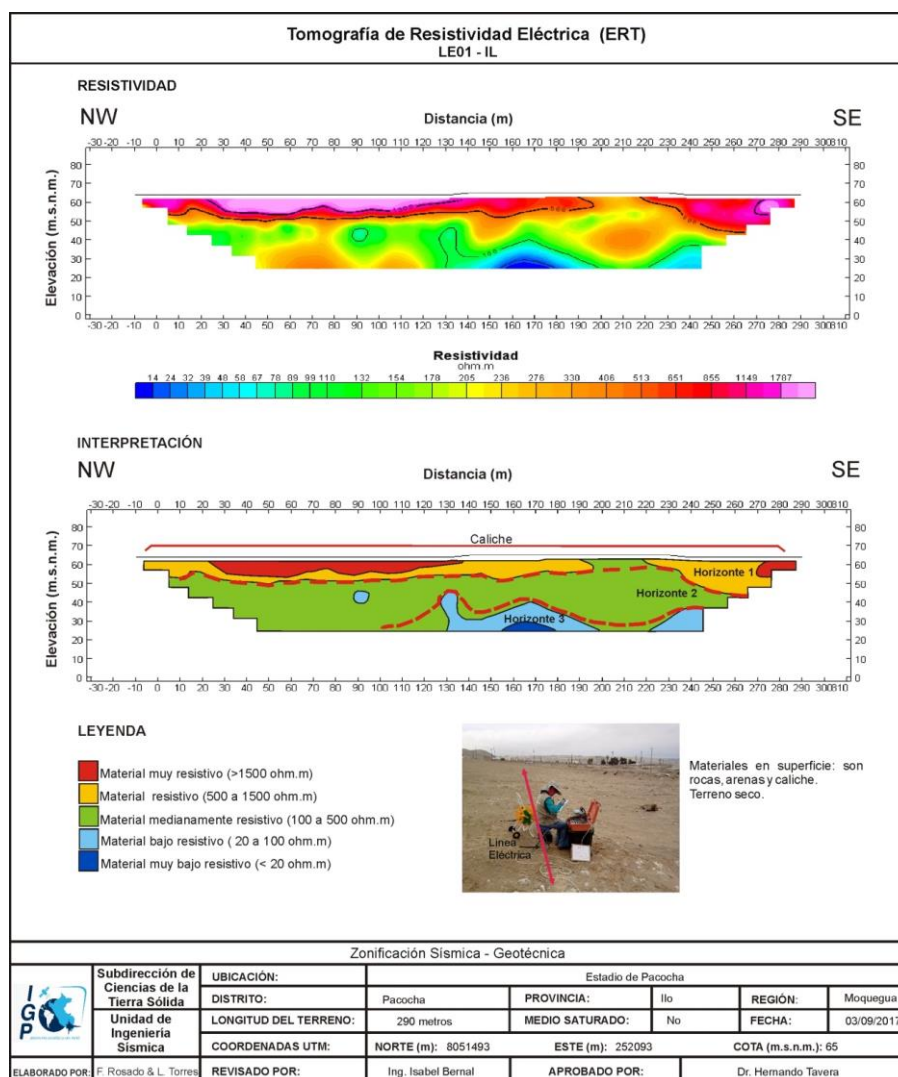


Figura 35: Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método de tomografía eléctrica para la línea LE01-IL

Tabla 6: Profundidad de medios saturados de las líneas eléctricas en las áreas urbanas de Ilo y Pampa Inalámbrica.

Línea Eléctrica	Orientación	Profundidad de alcance (m)	Horizontes geoelectricos	Saturación
LE01-IL	NO-SE	39	Horiz. 1 (500-1787 Ω .m)	NP
			Horiz. 2 (101-499 Ω .m)	NP
			Horiz. 3 (14-100 Ω .m)	P
LE02- IL	N-S	39		P
LE03- IL	NO-SE	39	Horiz. 1 (24- 100 Ω .m)	P
			Horiz. 2 (101-500 Ω .m)	NP
			Horiz. 3 (501-1149 Ω .m)	NP
LE04- IL	N-S	39		P
LE05- IL	NO-SE	39	Horiz. 1 (100-855 Ω .m)	NP
			Horiz. 2 (14-99 Ω .m)	P
LE06- IL	NE-SO	39	Horiz. 1 (500-1800 Ω .m)	NP
			Horiz. 2 (101- 490 Ω .m)	NP
			Horiz. 3 (10- 100 Ω .m)	P
LE07- IL	NO-SE	39		P
LE08- IL	NO-SE	39		P
LE09- IL	NO-SE	39		P
LE10- IL	SE-NO	39	Horiz. 1 (500 -1787 Ω .m)	NP
			Horiz. 2 (101-499 Ω .m)	NP
			Horiz. 3 (10-100 Ω .m)	P
LE11- IL	NO-SE	39		P
LE12- IL	SE-NO	39	Horiz. 1 (500-1800 Ω .m)	NP
			Horiz. 2 (101-500 Ω .m)	NP
			Horiz. 3 (10-100 Ω .m)	P
LE13- IL	NE-SO	39	Horiz. 1 (500-1149 Ω .m)	NP
			Horiz. 2 (101-499 Ω .m)	NP
			Horiz. 3 (10-100 Ω .m)	P
LE14- IL	NE-SO	39	Horiz. 1 (500-1787 Ω .m)	NP
			Horiz. 2 (101-499 Ω .m)	NP
			Horiz. 3 (10-100 Ω .m)	P
LE15- IL	NE-SO	39	Horiz. 1 (101-1787 Ω .m)	NP
			Horiz. 2(10-100 Ω .m)	P

De acuerdo a los resultados obtenidos, se concluye que en Ilo cercado predominan suelos saturados (LE02-IL y LE04-IL), estando el nivel freático a profundidades entre 1.5 y 2 metros; mientras que, en el área de Pacocha predominan suelos no saturados (ver Tabla 6). Geológicamente, la zona de estudio presenta depósitos eólicos, depósitos aluviales y depósitos fluviales, que por sus características de materiales no consolidados, pueden almacenar agua subterránea. Asimismo, la proximidad al mar, estaría ocasionando la contaminación del agua subterránea, a fenómeno conoce como intrusión marina.

En el área urbana de Pampa Inalámbrica, predominan suelos no saturados debido a la presencia de arenas, caliche y gravas secas. Las líneas realizadas a lo largo de trazos de la falla Chololo muestran discontinuidades que podrían definir su geometría en profundidad.

4. ZONIFICACIÓN SÍSMICA - GEOTÉCNICA

El mapa de zonificación sísmica – geotécnica para las áreas urbanas de las ciudades de Ilo y Pampa Inalámbrica, se elabora en función de la integración de los resultados obtenidos con los estudios geológicos, geotécnicos, sísmicos y geofísicos. De este modo, las características dinámicas del suelo y sus propiedades mecánicas, han permitido identificar en el área de estudio, de acuerdo a la Norma de Construcción Sismorresistente E.030, la existencia de suelos de Tipo S1, S2 y S4 que corresponden a suelos rígidos, medianamente rígidos y excepcionales respectivamente.

4.1. Integración de resultados

La aplicación de diferentes métodos geofísicos en el área de estudio ha permitido definir las características físicas del suelo. En el Valle Pacocha se ha identificado la presencia de suelos blandos (V_s de 174 m/s) saturados (resistividad < 20 ohm.m), que generan amplificaciones de hasta 5 veces; por lo tanto, corresponden a suelos potencialmente licuables frente a la ocurrencia de un sismo.

En la parte central de Ilo, se tiene valores de V_s de 548 m/s que corresponden a la presencia de suelos muy rígidos o rocas blandas con resistividades < 100 ohm.m para los primeros 20 metros de profundidad; además de la presencia de dos picos de frecuencias predominantes, que en conjunto, indican que en esta zona los suelos son muy complejos. La complejidad de los suelos fue visible durante la ocurrencia del sismo de Arequipa del 2001.

En el área urbana de la ciudad de Pampa Inalámbrica, el método sísmico sugiere la presencia de rocas moderadamente duras hacia su extremo suroeste; suelos rígidos en la parte central y suelos moderadamente rígidos en dirección este; además de valores de resistividad >500 ohm.m en superficie; además de la existencia de 2 picos de frecuencias predominantes, los que indican que los suelos en esta área son muy complejos. La presencia de un pico a bajas frecuencias (al Este de Pampa Inalámbrica) está relacionada con la presencia de depósitos aluviales y la presencia de dos picos de frecuencias, a heterogeneidades laterales o irregularidades inducidas por la presencia de la falla Chololo y ha variaciones de espesor según la columna geológica (Figura 36).

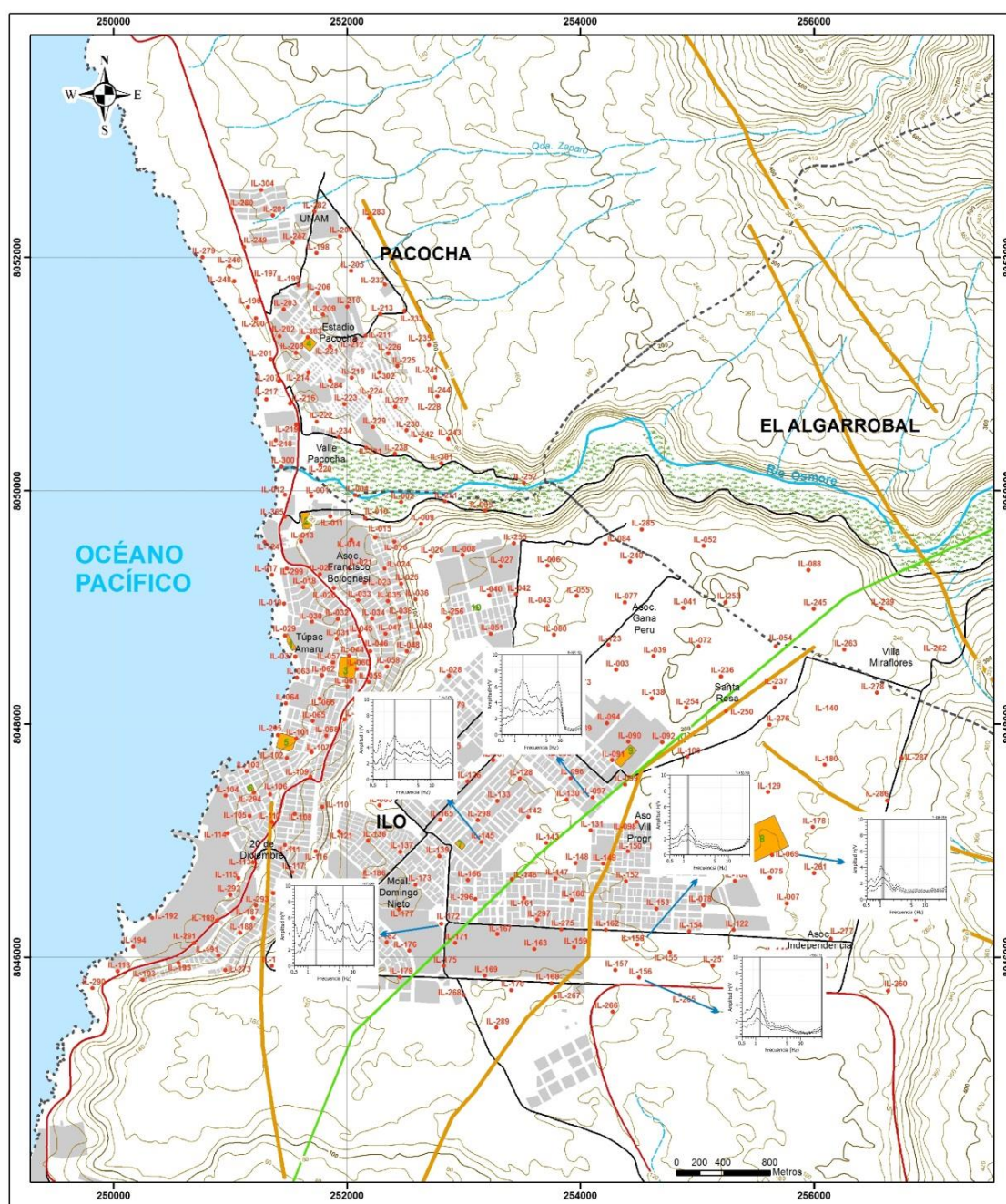


Figura 36: Frecuencias predominantes en dirección este donde se observa un solo pico de frecuencia predominante y hacia el oeste dos picos de frecuencias; esta diferencia puede deberse a la presencia de la falla Chololo.

La aplicación del método de resistividad eléctrica permitió identificar la presencia de discontinuidades entorno a la posible traza de la falla Chololo (Figura 37); que serían coherentes con la distribución espacial de los valores de H/V; uno y dos picos de frecuencias a ambos extremos de la traza que definirían la traza de la falla Chololo

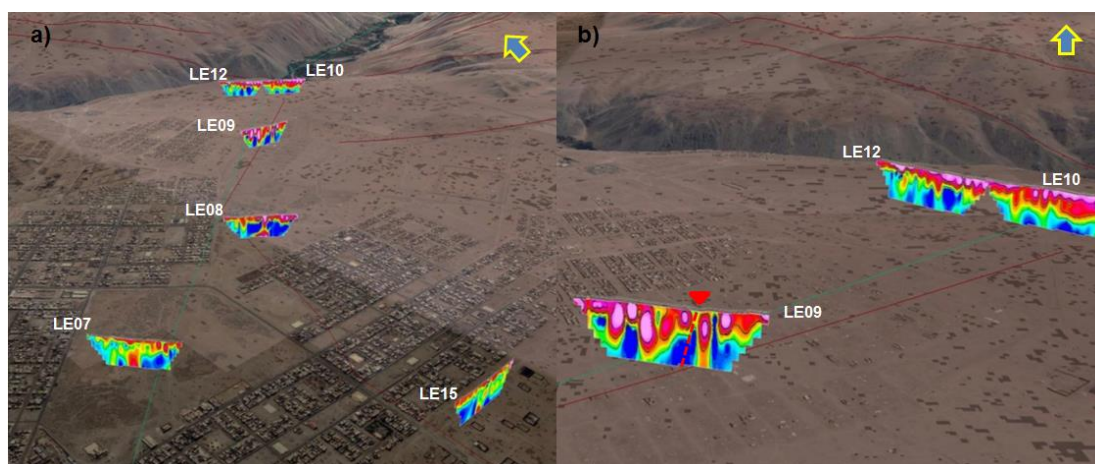


Figura 37: a) Distribución de las líneas de tomografía eléctrica sobre los trazos de la falla Chololo b) Línea LE09 donde la discontinuidad de las resistividades coincide con el trazo de falla.

4.2. Mapa de Zonificación Sísmica

El mapa de zonificación sísmica - geotécnica para las áreas urbanas de las ciudades de Ilo y Pampa Inalámbrica, considera el análisis, interpretación y correlación de los resultados obtenidos de los estudios sísmicos, geofísicos, geológicos, geomorfológicos y geotécnicos. Para el área de estudio, las características físicas y dinámicas del suelo han permitido identificar, de acuerdo a las consideraciones indicadas en la Norma de Construcción Sismorresistente E-030, la existencia de suelos de Tipo S1, S2 y S4. En la Figura 38, se sectoriza las áreas correspondientes a las áreas urbanas de Ilo cercado, Pacocha y Pampa Inalámbrica, siendo sus características las siguientes:

El área urbana de Ilo se ha identificado dos zonas con suelos Tipo S1 y S4; es decir, suelos semi-rígidos a rígidos y excepcionales:

- ZONA I: Conformada por suelos consolidados y constituidos por estratos de grava mal gradada; además de estar cubiertos por estratos de arenas mal gradadas de poco espesor. Esta zona presenta velocidades de ondas de corte V_s de 470 m/s para la capa más superficial y 700 m/s a una profundidad de hasta 30 metros, con periodos de vibración natural que varían entre 0.1 y 0.3 segundos. Además, los suelos en esta zona presentan un comportamiento rígido considerado como suelos Tipo S1 según la norma sismorresistente peruana.

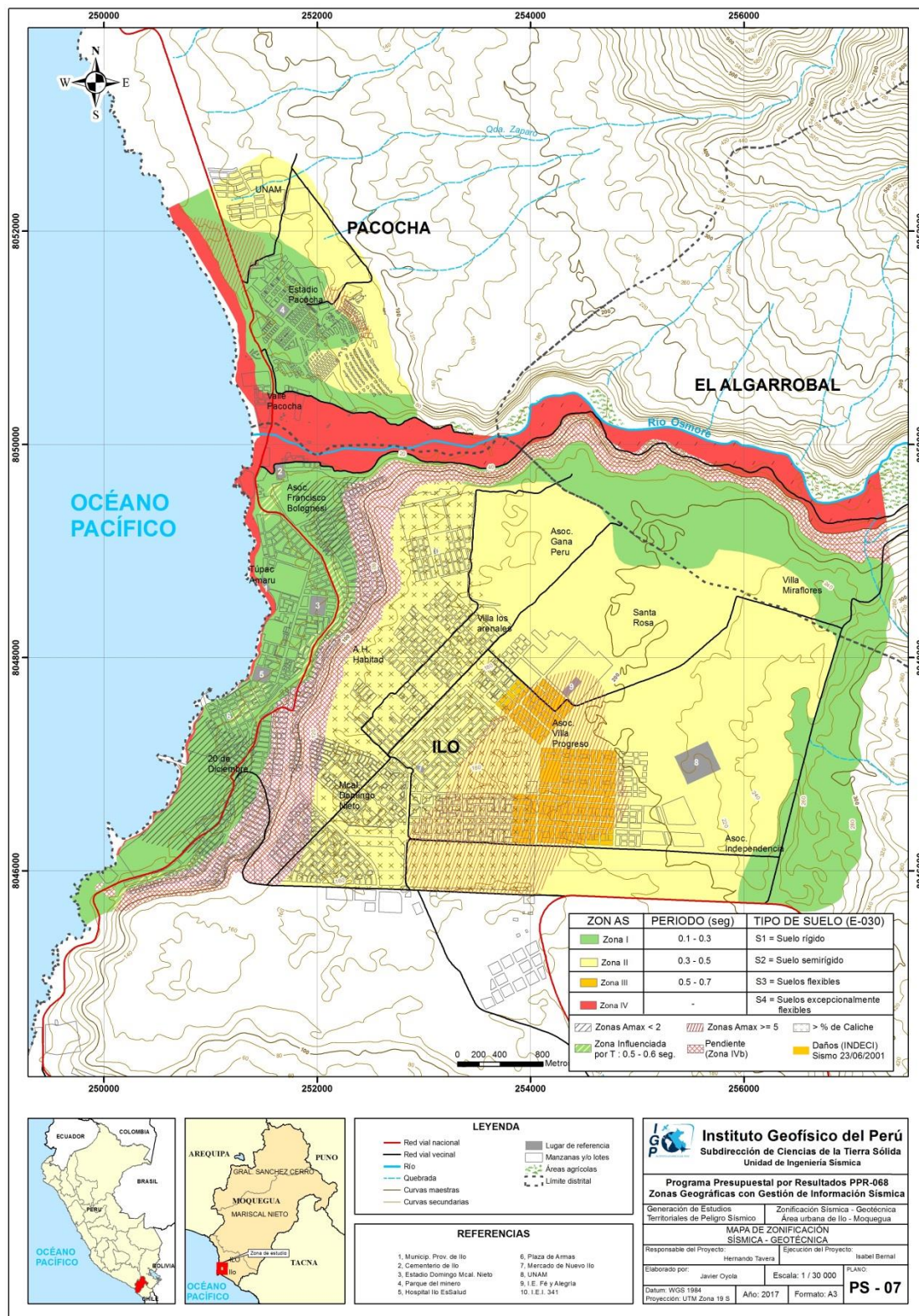


Figura 38: Mapa de Zonificación Sísmica-Geotécnica para las ciudades de Ilo y Pampa Inalámbrica.

Dentro de esta zona, se delimita con líneas inclinadas de color amarillo, áreas pequeñas donde los suelos muestran sensibilidad en un segundo rango de periodos, pero con bajas amplificaciones: al extremo norte y NO del Estadio Domingo Mcal. Nieto y próximo al Hospital de ESSALUD. En estas áreas se identificaron suelos conformados por arenas mal gradadas con limos y espesores que varían entre 7 y 13 metros considerados como suelos semi-rígidos. Los suelos a nivel superficial (<1 metro) presentan una capacidad de carga admisible menor a 1.0 kg/cm^2 .

En esta zona, las líneas inclinadas de color negro indican que los suelos son los más estables: sectores ubicados en las asociaciones Francisco Bolognesi y 20 de Diciembre.

-ZONAS II y III: Los suelos correspondientes a estas zonas no fueron identificados en el área estudiada.

ZONA IV, Esta zona corresponde a suelos cuyas características físicas y dinámicas son excepcionales, por lo que su comportamiento comprende a suelos Tipo S4. Involucra áreas ubicadas en el litoral y sobre el cauce del río Osmore, por ser una zona inundable con presencia de limos; además de presentar una alta probabilidad de sufrir licuación de suelos ante la ocurrencia de sismos. Son parte de esta zona, los sectores de pendiente que se encuentran al extremo este de Ilo cercado.

En el área urbana de Pacocha, se ha identificado tres zonas con suelos Tipo S1, S2 y S4; es decir suelos rígidos, semi-rígidos y excepcionales:

- ZONA I: Delimita la zona céntrica de Pacocha, conformada por estratos de grava mal gradada y cubiertos por suelos sedimentarios de poco espesor. Esta zona presenta velocidades de ondas de corte Vs de hasta 700 m/s hasta profundidades de 30 metros. Los periodos de vibración natural del suelo varían entre 0.1 y 0.3 segundos. En esta zona, los suelos tienen un comportamiento rígido y es considerado como suelos Tipo S1.

Dentro de esta zona, al este del Parque El Minero y con líneas en color rojo, se delimita a las áreas donde los suelos presentan amplificaciones relativas

mayores a 5 veces, lo cual evidencia la menor consistencia de los suelos a nivel superficial.

- **ZONA II:** Considera el área ubicada en el sector de la UNAM conformada por gravas mal graduadas cubiertas por suelos sedimentarios de más de 10 metros de espesor. Estos suelos tienen un comportamiento semi-rígido con periodos de vibración natural que varían entre 0.3 - 0.5 segundos y velocidad de propagación de las ondas de corte V_s , de 480 m/s, que corresponden a suelos Tipo S2 según la norma sismorresistente peruana. Asimismo, presenta una capacidad de carga admisible entre 1.0 – 2.0 kg/cm².

-**ZONA III:** Los suelos correspondientes a estas zonas no fueron identificados en el área estudiada.

-**ZONA IV:** Esta zona corresponde a suelos cuyas características físicas y dinámicas son excepcionales, por lo que su comportamiento corresponde a suelos Tipo S4. Involucra las áreas ubicada en el litoral y sobre el cauce del río Osmore.

En el área urbana de Pampa Inalámbrica, se ha identificado tres zonas con suelos Tipo S1, S2 y S4; es decir, suelos rígidos, semi-rígidos y excepcionales:

- **ZONA I:** Conformada por rocas y estratos de caliches cubiertos por suelos sedimentarios de poco espesor. Esta zona presenta velocidades de ondas de corte V_s de 300 m/s en la capa más superficial y 800 m/s a profundidades de hasta 30 metros. Presentan periodos de vibración natural que varían entre 0.1 y 0.3 segundos, así como un comportamiento rígido, siendo considerado como suelos Tipo S1. Además, los suelos presentan una capacidad admisible mayor de 2.0 Kg/cm². Esta zona está presente en dos sectores, hacia los extremos este y NE de las Asoc. Independencia y Villa Miraflores.

Dentro de esta zona, se delimita con líneas inclinadas en color amarillo, a los sectores cuyos suelos muestran sensibilidad a un segundo rango de periodos dominantes (0.5 a 0.8 seg.): extremo SO del área de estudio en la Urb. Mcal. Domingo Nieto. Asimismo, a lo largo de este sector (extremo oeste de Pampa Inalámbrica), se identifican sectores cuyos suelos contienen caliche a niveles superficiales.

- **ZONA II:** Conformada por estratos superficiales de caliche y arenas mal graduadas con espesores de hasta 10 metros, los cuales se hacen más compactos conforme aumenta la profundidad. Esta zona presenta velocidades de ondas de corte Vs de 250 a 500 m/s hasta 30 metros de profundidad, con periodos de vibración natural que varían entre 0.3 y 0.6 segundos. Presenta un comportamiento semi-rígido y es considerado como suelos Tipo S2. Asimismo, al extremo Oeste de la Asociación Villa Progreso, los suelos presentan una capacidad de carga admisible entre 2.0 – 3.0 kg/cm²; y al Este de dicha Asociación, de 1.0 - 2.0 kg/cm²; además de manera puntual se observa la presencia de dos zonas donde la capacidad de carga admisible es < 1.0 kg/cm². Esta zona considera el 70% del área urbana de la ciudad Pampa Inalámbrica. Asimismo, con líneas inclinadas en color rojo, se muestra las áreas donde los suelos presentan las mayores amplificaciones: Asoc. Villa el Progreso.

-**ZONA III:** Los suelos correspondientes a estas zonas no fueron identificados en el área de estudio.

-**ZONA IV:** Esta zona corresponde a suelos cuyas características físicas y dinámicas son excepcionales, por lo que su comportamiento comprende a suelos Tipo S4. Involucra las áreas ubicada en zonas de pendiente y sobre el cauce del río Osmore.

CONCLUSIONES

El estudio de Zonificación Sísmica - Geotécnica (Comportamiento Dinámico del Suelo) para las áreas urbanas de Ilo y Pampa Inalámbrica, ha permitido llegar a las siguientes conclusiones:

- Los resultados obtenidos de las razones espectrales H/V, indican que los suelos del área de estudio, responden en dos rangos de frecuencias F_0 y F_1 ($F < 2.0\text{Hz}$ y $F > 20\text{Hz}$). Las frecuencias F_0 (1.0 y 2.0 Hz), se distribuyen próximos al estadio Domingo Mcal. Nieto en Ilo cercado, al extremo Este de la zona céntrica de Pacocha y de manera dispersa en Pampa Inalámbrica. Las frecuencias F_1 se distribuyen de manera uniforme con valores entre 3 a 10 Hz, y mayores amplificaciones próximos al río Osmore y próximos a la Asoc. Villa Progreso en Pampa Inalámbrica.
- Los resultados obtenidos con el método MASW para el área de Ilo cercado permiten definir la presencia de 2 capas sísmicas y un semiespacio, a excepción de la Asoc. Francisco Bolognesi donde se define la presencia de una capa y el semiespacio. En la zona céntrica de Ilo se presentan suelos muy rígidos para la primera y segunda capa (V_s 548 a 768 m/s) con un espesor del orden de 13 metros. Asimismo, en la zona próxima al río Osmore (Valle Pacocha) se identifica la presencia de suelos blandos para la primera capa (V_s 202 m/s) con espesores del orden de 11 metros.
- En el área de Pampa Inalámbrica, se identifica la existencia de rocas moderadamente duras (V_s 826 a 1013 m/s) en superficie y suelos rígidos (V_s 421 a 489 m/s) a moderadamente rígidos (V_s 265 a 353 m/s), en dirección este y Noreste con espesores entre 4 y 5 metros que suprayacen a suelos rígidos y a muy rígidos en profundidad.
- Asumiendo para los suelos de las ciudades de Ilo y Pampa Inalámbrica las velocidades de ondas de corte (V_s) promedio de 200, 300 y 450 m/s para la capa superficial y periodos de 0.2, 0.3 y 0.5 respectivamente, se estima espesores de 10, 20 y 60 metros para el estrato superficial. Los menores espesores se presentan en Ilo cercado y los mayores en Pampa Inalámbrica.

- Según los resultados de tomografía eléctrica, en el cercado de Ilo predominan materiales muy bajo resistivos a bajo resistivos a niveles superficiales con nivel freático a partir de los 2 metros de profundidad. Al norte y sur de la Plaza de Armas de Ilo predominan en superficie, materiales resistivos a muy resistivos. En Pampa Inalámbrica predominan materiales resistivos a muy resistivos en superficie.
- Los resultados obtenidos para las áreas urbanas de Ilo y Pampa Inalámbrica han permitido identificar, según las características dinámicas del suelo, la existencia de Tres (3) zonas sísmicas correspondientes a suelos Tipo S1, S2 y S4; es decir suelos rígidos, medianamente rígidos y excepcionales respectivamente.

BIBLIOGRAFÍA

- Arbaiza, L. (2014). Administración Estratégica. Buenos Aires-Argentina, pp.83-167
- Audin, L., David, C., Hall, S., Farber D., Hérail, G. (2006) – Geomorphic evidences of recent tectonic activity in the forearc, Southern Perú.
- Audin, L., Lacan, P., Tavera, H., Bondoux, F. (2008) - Upper plate deformation and seismic barrier in front of Nazca subduction zone: The Chololo Fault System and active tectonics along the Coastal Cordillera, Southern Peru.
- Banco Central de Reserva del Perú (BCRP) (2016). Caracterización de Moquegua. Lima-Perú. Recuperado de:
<http://www.bcrp.gob.pe/docs/Sucursales/Arequipa/moquegua-caracterizacion.pdf>
- Bard, P-Y. (1995) Effects of Surface geology on ground motion: Recent results and remaining issues, In Proc. 10 European Conf. Earth. Eng., ed. Duma, Balkema, Rotterdam, 305-323
- Bard, P-Y y SESAME (2001) The SESAME project: an overview and main results. 13 World Conference on Earthquake Engineering Vancouver, B.C., Canada August 16, 2004 Paper No. 2207
- Belaústegui, S. (1999) - Pendientes del terreno y fundamentos del caudal máximo no erosivo. Hoja técnica N° 07. Buenos Aires - Argentina. 4 p.
- Beresnev, I.A., K.L. Wen, and Y.T. Yeh 1995a, "Nonlinear Soil Amplification: It's Corroboration in Taiwan. Bull, Seism. Soc. Am., Vol. 85, pp. 496-515
- Bernal, I. (2002) Microzonificación sísmica de la ciudad de Tlaxcala, Mexico. Tesis de Maestría en Ciencias, UNAM, pag. 130.
- Cahill & Isacks, (1992) - Seismicity and shape of the subducted Nazca Plate. Journal Geophys. Res., 97, 17503-17529.
- Crespo Villalaz Carlos (2004); Mecánica de Suelos y Cimentaciones, 5ta edición.
- Felícísimo, M. (1994) - Modelos digitales del terreno. Oviedo-España: Pentalfa. 222 p. ISBN: 84-7848-475-2. 222 p.
- Fidel, L., Zavala, B., Núñez, S. & Valenzuela, G. (2006) - Estudio de riesgos geológicos del Perú, Franja N° 4. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 29. 383 p.
- Flores-Estrella, H., Lomnitz, C. y Yussim S. (2004). "Estimación de velocidades de fase a partir del análisis de microtemores con el método SPAC", Geophysics, Vol. 24, N° 3, 438-445

- Gasulla, M.; Jordana, J.; Pallás, R.; Torrents, J.M. (1998). SubSurface resistivity meaSurements using square waveforms. IEEE Tansactions on Instrumentation and MeaSurement, 47(1): 74-77.
- Gutiérrez, M. (2008) - Geomorfología. Edit. Pearson/Prentice Hall, Madrid, 898 p. ISBN 97884832-23895.
- 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.
- Hartzel, S. H. (1992). Site response estimation from earthquake data. Bull. Seism. Soc. Am. 82, 2308-2327
- Hutchinson, J., N., (1968) - Mass Movement. In the Enciclopedia of Geomorphology (Fairbridge, R.W., ed., Reinhold Book Corp., New York). 668-696 p.
- Hutchinson, J., N., (1988) - General Report: Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology. Proceedings, Fifth International Symposium on Landslides, (Ed: Bonnard, C.). 1, 3-35 p. Rotterdam: Balkema.
- INEI. (2007). Censo Nacional de Poblacion y Vivienda. Lima- Perú. INEI. Recuperado de <http://censos.inei.gob.pe/cpv2007/tabulados/#>
- INGEMMET (2006) - Estudio geológico – geotécnico de la Región Suroccidental del Perú.
- Juaréz, B., & Rico, A., (1973) – Mecánica de suelos. Tomo II
- Lermo, J. y F.J. Chávez-García (1994a). Are microtremors useful in site response evaluation, Bull. Seism. Soc. Am. 84, 1350-1364 pp.
- Lermo, J. y F.J. Chávez-García (1994b). Site effect evaluation at Mexico City. Dominant period and relative amplification from strong motion and microtremors records, Soil. Dyn. & Earthq. Eng. 13, 413-423 pp.
- Loke, M.H. (2004). Tutorial 2D and 3D electrical imaging Surveys.
- Macharé, J., Benavente, C., Audin., Laurence. (2008) – Síntesis descriptiva del mapa neotectónico [Boletín C-40]
- Ministerio de Economía y Finanzas. (2017). Consulta de seguimiento de ejecución de Proyectos de Inversión. Lima – Perú. Recuperado de

http://apps5.mineco.gob.pe/bingos/seguimiento_pi/Navegador/default.aspx?y=2014&ap=ActProy

Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2015) -
https://www.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/mapas_viales.html

Meza, P., Chacón, S. (2014) – Implicancias de la falla Chololo en la Pampa Inalámbrica Ilo.

Municipalidad provincial de Ilo (2009), Plan de Desarrollo Concertado. Provincia de Ilo – región de Moquegua.

Municipalidad Provincial de Ilo. (2016). Memoria Anual 2016. Moquegua-Perú. Recuperado de <http://www.mpi.gob.pe/images/PUBLICACIONES/MEMORIA-MPI-2016-FINAL.pdf>

Narvaez (1964) - Geología de los cuadrángulos de Ilo y Locumba Hojas 36-t y 36-u.

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 geoeléctrica en corriente continua. Madrid: Ediciones Paraninfo.

Park, C.B. (2015). Data acquisition. Retrieved 23 June, 2015, from <http://www.masw.com/DataAcquisition.html>

Park, C.B. (2014). MASW for geotechnical site investigation. The Leading Edge, 32(6):656-662.

Park, C. B., Miller, R. D., Xia, J., & Ivanov, J. (2007). Multichannel analysis of Surface waves (MASW)—active and passive methods. The Leading Edge, 26 (1), 60–64.

Park, C. B., Miller, R. D. y Xia, J. (1999). Multichannel analysis of Surface waves Geophysics 64 800-8.

PNUD-INDECI (2001) – Evaluación de Peligros de la Ciudad de Ilo.

Perrone, A., Iannuzzi, A., Lapenna, V., Lorenzo, P., Piscitelli, S., Rizzo, E., and Sdao, F. (2004). Highresolution electrical imaging of the Varco d'Izzo earthflow (southern Italy), J. Appl. Geophys., 5 56, 17–29, doi:10.1016/j.jappgeo.2004.03.004

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
- SESAME European research project WP12 – Deliverable D23.12: (2004). Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations measurements, processing and interpretation.
- Socco, L.V., Boiero, D., Comina, C., Foti, S., y Wisen, R. (2008). Seismic characterization of an Alpine site. *Near Surface Geophysics*, 6(4):255-267.
- Suárez, D., J., (1998) – Estabilidad de Taludes en Tropicales. Instituto de Investigación sobre erosión y deslizamientos. Colombia. Ed. Ingeniería de Suelos Ltda. 550 p.
- Tavera, H. & Buforn, E., (2001) - Source Mechanism of Earthquake in Peru. *Journal of Seismology*, en prensa.
- Tavera, H., (2014) - Escenario sísmico en base a la intensidad máxima esperada en un probable sismo frente a la zona costera de Lima.
- Tarbut, E., D. Lutgens, F., K., (2005) Ciencias de la Tierra. Una introducción a la Geología Física Pretinche Hall. Cap16. 8a edición. 710 pp.
- Varnes, D.J., (1958) - Landslide types and processes in Eckel E.B., ed., *Landslides and Engineering Practice*, Highway Research Board Special Report 29, NAS- NRC Publication 544, Washington, D.C. 20-47 p.
- Varnes, D. J., (1978) - Slope Movement: Types and Proceses. In Scuster R. L. y Krizek, R. J., ed. *Landslides analysis and control*: Washington, D. C. National Academy Press, Transportation Research Board Special report 176. 9-33 p.
- Wyllie, D., C. & Norrish, N., I., (1996). "Stabilization of rock slopes". *Landslides investigation and mitigation*. Special report 247. Transportation Research Board. National research council, pp. 474-504.
- Xia, J., Miller, R.D., and Park, C.B., 1999, Estimation of near-Surface shear-wave velocity by inversion of Rayleigh wave: *Geophysics*, 64, 691–700.
- 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.

ANEXOS

ANEXOS

La documentación del presente Informe Técnico: “Zonificación Sísmica – Geotécnica de las áreas urbanas de las ciudades de Ilo y Pampa Inalámbrica”, se adjunta en un DVD.

1.- Información Geológica Geotécnica:

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

2.- Información Geofísica

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