

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

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



**ZONIFICACIÓN GEOFÍSICA – GEOTÉCNICA DE LA
CIUDAD DE ITE**

**Lima - Perú
2018**

Instituto Geofísico del Perú

Presidente Ejecutivo: Hernando Tavera

Director Científico: Danny Scipion

Autores

Isabel Bernal

Caracterización Geofísica de la ciudad de Ite

Juan Carlos Gomez

Caracterización Geológica y Geotécnica de la ciudad de Ite

Equipo de Evaluación *Geológica y Geotécnica*: Pilar Vivanco

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

Personal de apoyo: Augusto Cárdenas / Roberth Yupanqui

Personal administrativo: Marisol Enriquez

Este Informe ha sido producido por:

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

**ZONIFICACIÓN GEOFÍSICA – GEOTÉCNICA DE LA
CIUDAD DE ITE**

Distrito de Ite – Provincia de Jorge Basadre – Región Tacna

RESUMEN

En el marco del Programa Presupuestal por Resultados N°068: Reducción de la Vulnerabilidad y Atención de Emergencias por Desastres se ejecutó el proyecto “**Zonas Geográficas con Gestión de Información Sísmica**”, el mismo que tuvo como una de sus actividades la “**Generación de Estudios Territoriales de Peligro Sísmico**” obteniéndose como resultado final, la Zonificación Geofísica - Geotécnica de las áreas urbanas de las ciudades/localidades de Alto de la Alianza (distrito de Alto de la Alianza), Tacna (distrito de Tacna), Ciudad Nueva (distrito de Ciudad Nueva), Boca del Río (distrito de Sama), Ite (distrito de Ite), Ilo, Pampa Inalámbrica (capital de la provincia de Ilo), Moquegua (capital de la provincia del mismo nombre), Torata y Yacango (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 Geofísica – Geotécnica de los suelos de la ciudad de Ite”, 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

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

PARTE 3: Caracterización geofísica de la ciudad de Ite.

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS: Todo el material del presente informe es disponible en formato digital

1. INTRODUCCIÓN

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

- **Tacna**, distrito de Cercado, provincia y departamento de Tacna.
- **Alto de la Alianza**, distrito de Alto de la Alianza, provincia y departamento de Tacna.
- **Ciudad Nueva**, distrito de Ciudad Nueva, provincia y departamento de Tacna.
- **Boca del Río**, balneario del distrito de Sama, provincia y departamento de Tacna.
- **Ite**, distrito de Ite, provincia de Jorge Basadre y departamento de Tacna.
- **Ilo y Pampa Inalámbrica**, capital de la provincia de Ilo, departamento de Moquegua.
- **Moquegua**, capital de la provincia del mismo nombre, departamento de Moquegua.
- **Torata y Yacango**, distrito de Torata, provincia de Mariscal Nieto y departamento 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 Arequipa, 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.

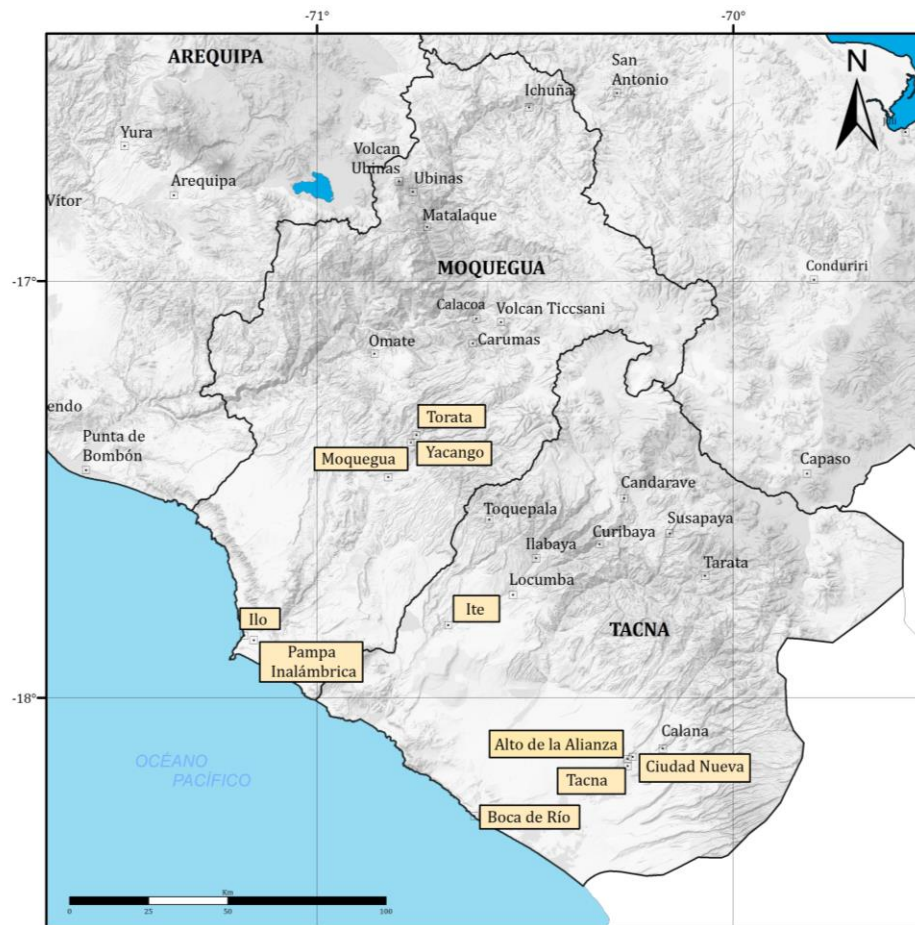


Figura 1: Distribución espacial de las ciudades intervenidas para los estudios de Zonificación Sísmica – Geotécnica de suelos.

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

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

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

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

1.1. Objetivo

El principal objetivo a cumplir en este estudio es obtener el mapa de Zonificación Geofísica - Geotécnica para la ciudad de Ite, provincia de Jorge Basadre, región de Tacna, 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 incas tuvieron una fuerte presencia en el litoral de Ite, no solo para aprovechar los recursos de las lomas, sino en la recolección de los recursos marinos. Posteriormente, en la época Republicana se suscita la irrigación de los terrenos eriazos de Ite en 1929, donde los ex plebiscitarios tacneños fueron los primeros colonos de estas tierras, quienes tuvieron que lidiar con las agrestes condiciones el suelo, agua y clima, que complicaron el avance en el desarrollo de la agricultura. Pocos años después, entran en escena los colonos arequipeños, los cuales instalaron los primeros cultivos; dentro de los que se puede mencionar el algodón, la alfalfa, la higuera, el maíz, etc.



Figura 2: Mapa de ubicación geográfica de la ciudad de Ite.

A finales de la década de los años cincuenta se empezó la construcción de la planta de enfriamiento de leche en Camiara por parte de la empresa Gloria S.A, la misma que empezó acopiar la producción de leche el 01 de julio de 1961 (Municipalidad de Ite, s.f., ver Figura 3).

El distrito de Ite es uno de los tres que conforman la provincia de Jorge Basadre, ubicada en el departamento de Tacna, bajo la administración del Gobierno Regional de Tacna, en el sur del Perú. Limita por el norte con los distritos de Ilo y Pocolay; al este con el distrito de Locumba; al sur con el Puerto Grau (Morro Sama); y por el oeste con el Océano Pacífico (Figura 2).

Ite está conformado por el centro urbano y los AA.HH. Pampa Baja, Pampa Alta y el Alfarillo. La zona en mención abarca un área de 35.467 km² aproximadamente de los cuales 21 km² (61% del área total) está conformado por el centro urbano, A.H. Pampa Alta, Pampa Baja y Alfarillo, así como áreas agrícolas. Finalmente, 13.610 km² (38%) corresponde a las zonas de humedales y el 1% es playa.



Figura 3: Vista panorámica de la iglesia San José y de la Plaza de Armas del distrito de Ite.

1.3. Accesibilidad y Clima

El acceso a la ciudad de Ite se realiza por la carretera Panamericana Sur, vía asfaltada en buen estado de conservación hasta la ciudad de Ilo (1091 km), luego se continúa por la costanera (recorrido de 94 km), finalmente, se dirige 4 km en dirección

este, hasta llegar a la municipalidad distrital de Ite. Fuente Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC).

Para determinar las condiciones climáticas en la ciudad de Ite, se ha tomado los datos referenciales de la estación Ite del SENAMHI, la cual se ubica a 200 m al sureste del centro urbano de la ciudad, en las coordenadas geográficas; Latitud: 17°51'50", Longitud: 70°57'57" y en cota 154 m.s.n.m (Figura 4). Según la información registrada en esta estación (período 2012-2017), Ite presenta clima seco y semi cálido, con una temperatura media mensual, que durante los meses de verano oscila 27.19 °C y 32.00 °C, mientras que, el mes más frío es junio con temperaturas de 11.70 °C en promedio (Tablas 1 y 2).



Figura 4: La estación meteorológica Ite se ubica a 200 m al sureste del centro urbano de la ciudad.

Tabla 1: Temperaturas máximas y mínimas medias mensuales, período 2012-2017, recopilados de la estación meteorológica Ite, para el área de estudio (SENAMHI, 2012).

Estación Ite												
Tipo Convencional-Meteorológica												
Departamento: Tacna				Provincia: Jorge Basadre					Distrito: Ite			
Latitud: 17°51'50"				Longitud: 70°57'57"					Altitud: 154 m.s.n.m.			
Temperaturas máximas y mínimas promedios registradas en la estación Ite durante el periodo 2012 - 2017												
Variable	Meses											
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
T° Max. Promedio (°C)	16.23	27.19	26.31	32	27.5	19.93	18.52	18.34	19.07	20.52	22.42	24.36
T° Max. Promedio (°C)	20.33	20.78	19.82	17.76	16.19	11.7	13.44	13.42	14.24	15.44	16.9	18.66

Tabla 2: Precipitaciones mensuales, período 2012-2017, recopilados de la estación meteorológica Ite, para el área de estudio (SENAMHI, 2012).

Estación Ite												
Tipo Convencional-Meteorológica												
Departamento:		Tacna		Provincia:	Jorge Basadre			Distrito:		Ite		
Latitud:		17°51'50"		Longitud:	70°57'57"			Altitud:		154 m.s.n.m.		
Precipitaciones promedios registradas en la estación Ite durante el periodo 2012 - 2017												
Años	Meses											
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
2012	0	0	0	0.3	0	0	4.2	2	1.3	0.7	0	2.7
2013	0	0	0	0	0	0	0	0.3	1.9	0	0	0.4
2014	0	0	0	1	0	3.2	1	0.3	2.8	2.1	0.8	2.4
2015	0	0.2	0	0	0	0	1	10	1.3	6.6	0	0.9
2016	1.4	0.2	0	0	0	0.8	2	0.2	0	0.8	0	0

1.4. Economía

Las principales actividades del distrito de Ite, son: Agricultura al por menor (ají, cebolla y maíz), ganadera (vacuno, bovino y avícola), así como, la producción de queso y leche. Sin embargo, la ciudad de Ite es considerada zona de extrema pobreza. El distrito de Ite presenta dos actividades que son la base económica del lugar, dejando de lado los ingresos por concepto de canon y regalías mineras, siendo el sector más importante la agricultura, (INEI, 2007). Presenta una PEA (Población Económicamente Activa) de 1720 pobladores, constituyendo el 52% de la población total de la localidad (3299 habitantes).

1.5. Estudios previos

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

- Estudio Geológico-Geotécnico Ite Vía TA-101 (2016), En este informe se plantea la existencia de depósitos del Holoceno (aluviales y fluvio-aluviales). Los depósitos aluviales constituidos por cantos rodados de 5 a 30 cm de diámetro, englobados en matiz areno-arcillosa. Estos han sido depositados a lo largo del cauce de las quebradas Agua Salada, Trampillas y Honda y valles principal río Locumba a manera de terrazas. Se identifican en algunos tramos de la vía TA-101 entre las

progresivas 8+000 al 9+000 en la desembocadura de la quebrada Trampillas y entre las progresivas 23+200 al 30+329. Los depósitos fluvio-aluviales conformados por gravas con lentes de arenas y capas de arcilla con clastos subredondeados de color gris, conglomerados polimícticos e matriz areno-limosa. Según el estudio realizado por Barriga se ha identificado que el espesor probable de estos depósitos en Pampa Baja es de 30 m. aproximadamente y en Pampa Alta de 40 m. aproximadamente. Asimismo, se menciona un fallamiento perpendicular a la línea de costa de orientación noreste a suroeste el cual produjo fallas perpendiculares a la línea de costa, con bloques levantados y bloques hundidos. Estas fallas son El Abra que tiene como bloque levantado al Cerro Puite con 1,600 m.s.n.m. al noroeste y por el sureste el bloque levantado, el Cerro Morrito con 950 m.s.n.m.; el Cerro Meca Grande con 1,000 m.s.n.m.; entre estos bloques se encuentran otros dos bloques hundidos definidos por los Cerros Alto Grande y Cerro del Abra, separados por la falla de Ite donde se ha emplazado el curso inferior del río Locumba.

- Municipalidad Distrital de Ite (2016) - Estudio de Mecánica de suelos para el proyecto PIP: Mejoramiento y Ampliación de los servicios del Complejo Recreacional Humedales de Ite, distrito de Ite, provincia Jorge Basadre-Tacna. Concluye que: en las calicatas C-1, C-2 y C-3 realizadas se han encontrado suelos tipo arena limosa (SM) a una profundidad de 1.50 m. con capacidad de carga admisible entre 2.65 a 2.75 kg/cm², presencia leve de sulfatos y cloruros. Del cálculo de licuación de suelos se determinó que esta zona no presenta potencial de licuación de suelos. Además, en este estudio se elaboró el análisis de peligro sísmico el cual señala una aceleración máxima del terreno de 370.5 gals en un período de retorno de 50 años.
- Municipalidad Distrital de Ite (2014) - Plan de Desarrollo Concertado al 2021. Plantea que el distrito de Ite cuenta con 16 centros poblados entre los que destacan los centros poblados de Ite y Villa Militar el Edén. Además indica la existencia de fallas geológicas en dirección noroeste a sureste. La Falla el Abra, corre por el flanco suroriental de los cerros Puite y el Papal. Está indicada por una escarpa de más de 15 km de largo con alturas próximas de 300 m. La escarpa se encuentra modificada por efecto de la erosión y está cubierta parcialmente por material detrítico su continuidad hacia el suroeste no ha sido observado pero se supone que sigue el curso de la quebrada Tacahuay, su extremo opuesto termina en el borde de la planicie costanera.

Falla Alto chilenos, queda evidenciada por una escarpa alineada de 8 km de largo con un rumbo S30°W, la altura de la escarpa varía de 80 a 100 m. La falla disloca sólo rocas intrusivas, el bloque levantado es del lado noroeste, el lado opuesto es una depresión cubierta por material detrítico.

La ocurrencia de eventos (inundaciones) es muy baja y está vinculada a las precipitaciones excepcionales, generalmente asociadas al fenómeno El Niño que ocasiona el desborde lateral de los ríos. El sector susceptible a peligros por inundación lo constituyen los sectores colindantes al río Locumba al sufrir inundaciones en períodos de lluvia cuando se eleva notablemente el caudal. Se tiene registrado inundaciones en los años 1950, 1982, 1983, 1998, 2001 que ocasionaron serios daños a las zonas agrícolas, infraestructura de riego, puentes y vías de comunicación en todo el trayecto del río Locumba. Se tiene identificado zonas de inundación por el desborde como: Puente Cambiara y en la parte baja de Ite.

Además, señala que, los centros poblados como Pampa Alta y la Pampa Ite sur son zonas de peligro a flujos de detritos. Cuando se tiene flujos de detritos excepcionales se tiene la presencia usualmente de bloques que evidencia la capacidad de arrastre de los flujos, afectando zonas agrícolas, vías de comunicación. Asimismo, el distrito cuenta con el recurso hídrico por estar integrado a la cuenca del río Locumba, que tiene una extensión de 5879 km², recorre 170 km, descarga 2.5 m³/s, riega 7162 ha. y presenta excedentes hídricos de 0.795 m³/s equivalente a un volumen de 25.06 mm³/año.

- Acosta (2012) - Geología de los cuadrángulos de La Yarada, Tacna y Huaylillas Hojas 37-u, 37-v y 37-x. Contiene: Interpretación tectónica y estratigráfica, de los importantes episodios sucedidos durante el Mesozoico y Cenozoico. En la zona de estudio se han reconocido depósitos del Cenozoico como son: aluviales (Qh-al, Qpl-al) y marinos (Qh-m). Los primeros sobre los cuales se asienta la población de Ite, provenientes de conos de deyección, mientras que, los segundos, conformados por arenas gruesas, vetillas de yeso y restos calcáreos. Además, cuerpos intrusivos Súper Unidad Ilo (Ki-il/gr-di) constituido por granodioritas y dioritas. Características geomorfológicas de las zonas de estudio, se han identificado cinco unidades geomorfológicas regionales o unidades morfoestructurales: Faja Litoral, Cordillera de la Costa, Planicies Costaneras, ladera oeste de la Cordillera Occidental y Cordillera Occidental.

- Ministerio de Vivienda, Construcción y Mantenimiento (2012) - Plan de Acondicionamiento Territorial de la Provincia de Jorge Basadre PAT-JB, 2012-2021. Cita que, la ciudad de Ite cuenta con 1,877 ha de producción agrícola y bajo riego llega a 1,646 ha. Asimismo, menciona la existencia de quebradas secas, las cuales recorren aproximadamente 10 km desde la cabecera de la cuenca hasta desembocar en el Océano Pacífico, sólo se activan en períodos lluviosos. La principal quebrada se denomina Agua Salada. Otra fuente hídrica lo constituye el río Locumba que recorre de este a oeste, con una longitud de 170 km, su cuenca abarca 5900 km². Nace en los deshielos de la cordillera de los Andes y desemboca en el océano Pacífico originando una zona pantanosa llamada “Los humedales de la bahía de Ite” o denominada Playa Inglesa.
- Municipalidad Provincial Jorge Basadre (2012) - Estudio de Geológico del Distrito de Ite en el marco de la Zonificación Económica. Señala que, toda la estratigrafía, estructuras, magmatismo, mineralización y sismicidad de la Cordillera de los Andes y del Territorio Peruano son directa e indirectamente el resultado de la subducción de la Placa de Nazca por debajo de la Placa Sudamericana. La secuencia estratigráfica de la zona estudiada, incluye rocas cuyas edades van desde el cenozoico hasta el Holoceno, entre las que afloran:

La Formación Sotillo se encuentra descansando sobre una superficie de erosión en forma discordante encima del Grupo Toquepala e infrayace en discordancia debajo de la formación Millo. Los afloramientos de esta unidad, se ubican en la parte norte del distrito. Tiene un espesor de 200 metros y sus inclinaciones varían entre 5° y 20°. La litología consiste principalmente de areniscas finas y conglomerádicas de coloraciones grises, blancas, amarillas y rojizas, con predominio de estas últimas. Los sedimentos se encuentran semiconsolidados y tienen un alto contenido de material feldespático.

La Formación Moquegua, la cual se expone en el valle del río Locumba y en general en los cortes de las numerosas quebradas secas, las condiciones deposicionales de la formación Moquegua fue variada desde una facies continental lacustre a otra continental de carácter fluvial con aportes intermitentes de productos volcánicos; La litología consiste principalmente en una serie de capas continentales, compuestas por arcillas, areniscas, conglomerados, areniscas tufáceas y tufos de color rojizo a blanco amarillento.

La Formación Huaylillas, formada principalmente por tobas riolíticas y riodacíticas de colores claros (blanco, crema a rojizo), compuesta de feldespatos fragmentados, cantidades variables de granos de cuarzo, vidrio, biotita, (matriz: 60% de la roca); se observa en forma de afloramientos en Cerro La Aurora, Cerro Chapalia, Cerro Las Yeseras, Cerca de la Quebrada El Pedregal, algunos afloramientos por la zonas de Pampas de Toro Muerto y Pampa Gallinazos.

La Formación Millo consiste de conglomerados, areniscas tufáceas y lentes de tufos retrabajados. Exposiciones de esta unidad se encuentran, en el límite NO del distrito en Quebrada Honda, la litología consiste de conglomerados moderadamente consolidados, compuestos, en proporción variable, de clastos gruesos más o menos redondeados de intrusivos, cuarcitas y volcánicos.

Asimismo, menciona que, durante el Cuaternario, en la zona de estudio se formaron los siguiente depósitos: depósitos de aluviales, fluviales, fluvioaluviales, constituyen el suelo de la mayor parte de las llanuras, depresiones y quebradas del valle de Locumba y de Cinto, así como de algunos afloramientos en las pampas de cuchillas, pampa toro muerto y otras.

En la parte de geodinámica externa, presenta un análisis de la evaluación, así como de las medidas necesarias para evitar o mitigar los peligros geológicos existentes, de igual forma indica la necesidad de analizar los factores que condicionan la estabilidad de los taludes y aquellos que se consideran desencadenantes de los movimientos. La susceptibilidad de que se produzcan en mayor o menor grado, estará condicionado por la estructura geológica, las características litológicas, condiciones hidrogeológicas y la morfología del área estudiada; una variación de alguna de estas condiciones, producida ya sea por causas naturales o factores antrópicos, produciría el desencadenamiento o inestabilidad de una masa de terreno. La zona de estudio presenta problemas por desborde de la quebrada Agua Salada, estas circunstancias, afectan a los pobladores y la agricultura del lugar de 09 juntas vecinales como son: Pampa Alta, Casa Blanca, Nuevo ITE, El Mirador, Las Vilcas, Pampa Baja, Rural San Isidro, Alfarrillo y Villa Edén; y 02 asociaciones de vivienda como son: Asociación Vivienda San Isidro y el anexo de Alto Camiara. Huaycos en a 30 km al noreste en la localidad de Locumba, colmatan el cauce del río y podrían generar inundaciones en la ciudad de Ite afectando terrenos de cultivo.

En la parte de geodinámica interna, abarca en primer lugar las generalidades, donde se realiza un análisis sobre la ocurrencia histórica de sismos en tiempo y distribución epicentral, se encuentra representada en los sismos disponibles para el área de estudio muestra la distribución de los sismos para el periodo 1964 a 1998 espacio. En una primera aproximación se tiene que la sismicidad en un rango de profundidades superficiales ($h < 70\text{km}$) toman lugar continuamente a lo largo de la línea de costa conformando la porción más superficial de la subducción.

Desde un punto de vista tectónico, el sur del Perú es una de las regiones más activas de la Tierra y está sujeta a frecuentes fenómenos catastróficos, relacionadas con la interacción principalmente de las placas litosféricas de América del Sur y de Nazca, constituyendo una de las regiones de subducción más extensas en nuestro planeta.

- SK MINING PERU S.A.C. (2012) - Estudio para la Modificación de Impacto Ambiental Ite-Ilo. Indica que:

Existen cuerpos intrusivos de la Súper Unidad Ilo (Ki-il/gr-di) constituido por granodioritas y dioritas gabroide hasta granito, reconocidos por la presencia de diques en las rocas. Las observaciones hechas en campo indican que estas rocas provienen de un magma de composición ácida, a partir del cual derivaron en formas más o menos diferenciadas los tres principales tipo de rocas.

Los suelos están constituidos por arenas de color marrón, a partir de materiales erosionados de las rocas existentes y de la acumulación por la acción eólica.

Se extrajo una muestra en el punto 276873 E y 8035437 N, la cual se analizó en el Laboratorio de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional Agraria La Molina, 2010, el resultado fue 60.56 % de arena, 24.27% de limo y 15.17% de arcilla, textura franco arenosa.

En el caso de la instalación del servicio de protección contra inundaciones en la quebrada Agua Salada en el distrito de Ite - Jorge Basadre – Tacna, obra ejecutada desde 30-08-2014 al 04-06-2015, con un costo de S/ 9,574,339.46, como medida de mitigación se realizó una evaluación hidrológica en la cual se determinó instalar un total de 4,570 metros lineales de obras civiles de defensas

ribereñas en la quebrada Agua Salada, que de acuerdo a la topografía de las laderas, tipo de suelo, gradiente y ancho de cauce actualmente existentes, además se propuso 03 tipos de intervención con diferentes secciones de tramos variados con sus propias características. Para la descripción de los costos evitados se ha realizado el estudio de máximas avenidas para cada periodo de retorno y el estudio geotécnico para determinar el área inundable. Para el presente proyecto se ha considerado un periodo de retorno de 100 años.

- Iburcea (2011) - Estudio de Contaminación por Metales Ecotóxicos en Sedimentos en la Bahía Ite, Tacna. Señala que, el agua que alimenta los humedales proviene de las filtraciones de la represa Quebrada Honda (49 km al noreste de Ite), formada por una playa artificial de relaves mineros, metales como Zinc, Arsénico, Plomo, Hierro, Mercurio, Cobre y Cadmio, que generan las minas Cuajone y Toquepala a 80 km al noreste de Ite.
- Vizcarra & Klever, (2008) - Los Humedales de Ite un Potencial Ecoturístico, Organización de Gestión de Destino Turístico Tacna (OGD TUR TACNA). Plantea que hasta hace algunos años los relaves mineros que cubren las playas de Ite, en el extremo norte del departamento de Tacna, simbolizaron el estrago ecológico que puede causar la actividad minera. Y no era para menos; justo en la desembocadura del río Locumba se extienden aproximadamente 1 700 hectáreas (según SPCC) cubiertas de relaves esparcidos a lo largo de 12 kilómetros paralelos al litoral, con casi 2 kilómetros de ancho, ganado al mar, y un poco más de 12 metros de profundidad. Frente a las terrazas del programa de Irrigación de Terrenos Eriazos (ITE), se extendía un enorme desierto que se perdía a la vista mostrando manchas rojizas y verduscas producidas por la oxidación del relave. Hacia el oeste se lograban ver las olas del mar rompiendo contra las nuevas “playas” de residuos producidos en las lejanas minas de Toquepala y Cuajone, ubicadas en las serranías de Tacna y Moquegua. Además indica la existencia 5 tipos de ambientes siendo los principales:

Lagunas superficiales y orilla fangosas (LO): Cuerpos de agua lénticos, de formas irregulares, se encuentran distribuidas paralelos al mar y con una profundidad máxima de 2 m, con presencia de peces entre las que destaca la liza y el gupi, presenta charopitas en su lecho de aspecto fangoso. Las aguas libres son preferidas por especies de familias Charadriidae, Recurvirostridae, entre otros.

Gramadal y praderas pantanosas (GP): Caracterizados por pastos y hierbas como grama salada, grama dulce y verdoalgas asociadas a juncos de baja altura. Se encuentran conformando la mayor parte de los humedales en la parte norte se ubica a las faldas del acantilado y en la parte sur al lado oeste de la carretera Costanera. El lugar es preferido por especies de familias Ardeidae, Charadriidae, entre otros.

2. CONDICIONES LOCALES DE SITIO

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

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

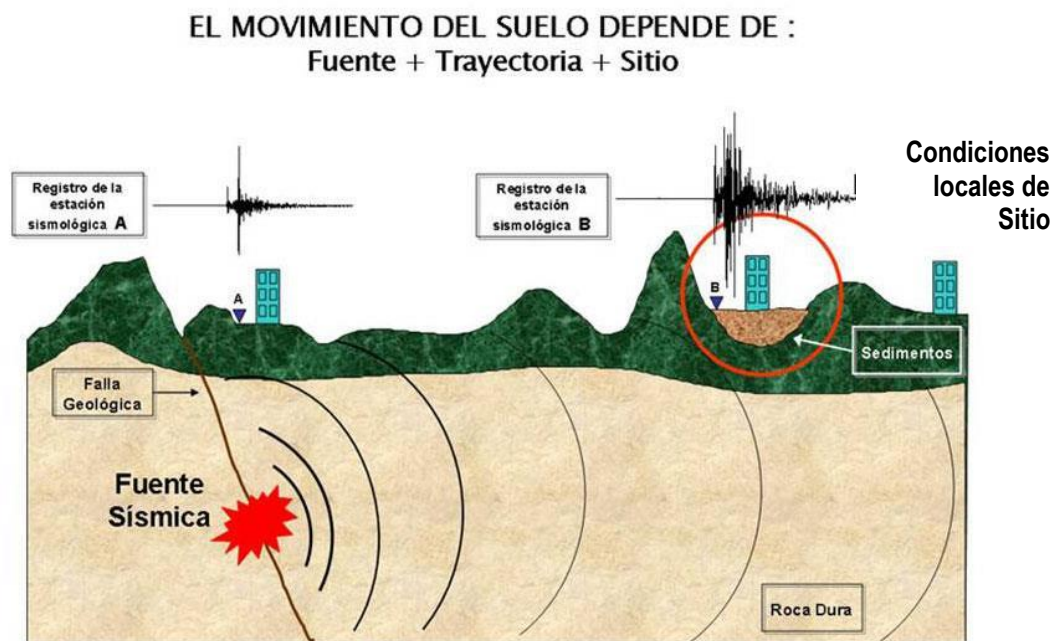


Figura 5: Las condiciones locales de sitio controlan la amplificación del sacudimiento del suelo, puesto en evidencia con la amplitud del registro sísmico obtenido sobre roca y sedimentos.

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 Geofísica - Geotécnica que debe constituirse como el documento más importante en las tareas y programas de gestión del riesgo ante la ocurrencia de sismos.

2.1. La Norma Técnica E.030

En el Perú, la construcción de obras civiles de cualquier envergadura debe considerar la Norma Técnica E.030 “Diseño Sismorresistente” del Reglamento Nacional de Edificaciones, modificada según Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda. Básicamente, esta norma considera los perfiles de suelos en función de sus propiedades mecánicas, tomando en cuenta la velocidad promedio de propagación de las ondas de corte, o alternativamente, para suelos granulares, considera el promedio ponderado de los N_{60} obtenidos mediante un ensayo de penetración estándar (SPT), o el promedio ponderado de la resistencia al corte en condición no drenada S_u para suelos cohesivos. Se estable 5 perfiles (Tabla 3):

- **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 3: Clasificación de los perfiles de suelo según la norma E.030.

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

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

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

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

Dónde:

di = espesor de cada uno de los estratos n .

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

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

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

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

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

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

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

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

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

CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA DE LA CIUDAD DE ITE

CONTENIDO

1. METODOLOGÍA
2. GEOMORFOLOGÍA
 - 2.1. Base topográfica
 - 2.2. Modelo digital de Elevación (MDE)
 - 2.3. Pendientes
 - 2.3.1. Clasificación del grado de pendientes
 - 2.4. Unidades geomorfológicas
3. GEOLOGÍA
 - 3.1. Geología regional
 - 3.1.1. Geología histórica
 - 3.1.2. Geología estructural
 - 3.2. Geología local
4. GEODINÁMICA
 - 4.1. Procesos de geodinámica interna
 - 4.2. Procesos de geodinámica externa
 - 4.3. Zonas susceptibles a procesos geodinámicos
5. ASPECTOS GEOTÉCNICOS
 - 5.1. Exploraciones a cielo abierto (Norma ASTM D420)
 - 5.1.1. Descripción de calicatas
 - 5.2. Densidad del suelo in-situ (Norma ASTM D1556)
 - 5.3. Exploraciones con posteadora manual (Norma ASTM D1452)
 - 5.4. Ensayos de penetración dinámica ligera (DPL, Norma DIN 4094)
 - 5.4.1. Correlación entre “N” DPL y el “N” SPT (ASTM D1586)
 - 5.4.2. Cálculo del ángulo de fricción interna
 - 5.5. Clasificación de suelos SUCS
 - 5.6. Ensayos de corte directo (Norma ASTM D-3080)
 - 5.7. Capacidad de carga admisible
 - 5.7.1. Carga última
 - 5.7.2. Tipos de capacidad de carga admisible

1. METODOLOGÍA

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

- ✓ **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), con la finalidad de delimitar la zona estudio. Asimismo se realizó la recopilación de información geológica regional y local existente (boletines geológicos, informes técnicos, entre otros).
- ✓ **Campo I:** Se realizó el cartografiado de las unidades geomorfológicas y litológicas aflorantes a escala 1:20,000. Asimismo, se identificó y delimitó los eventos geodinámicos relacionados a caídas de rocas por la actividad antrópica, debido a la construcción de una vía de acceso entre Pampa Alta y AAH. Las Vilcas e inundaciones (desborde de la quebrada Agua Salada).
- ✓ **Campo II:** Elaboración de ensayos geotécnicos los cuales se detallan a continuación:

Elaboración de calicatas: Éstas se realizaron a una profundidad promedio de 2.70 m. En Ite se realizaron 06 calicatas distribuidas en el centro urbano y zonas de expansión urbana.

Ensayos de penetración dinámica ligera (DPL), estos se realizaron con el fin de determinar la resistencia de los suelos al ser penetrados. En Ite se llevaron a cabo 08 DPL.

Ejecución de auscultaciones haciendo uso de posteadora, estas se distribuyeron en zonas intermedias a la ubicación de las calicatas más próximas, con el fin de determinar el tipo de suelo. En el área de estudio se llevaron a cabo 11 posteos.

2. GEOMORFOLOGÍA

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

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

2.1. Base topográfica

Se obtuvo a partir de un levantamiento fotogramétrico realizado en la ciudad de Ite, abarcó un área de 682 ha. Este trabajo se realizó con el propósito de obtener la representación digital del relieve que conforman las unidades: terraza, loma, entre otros. Para la ejecución del levantamiento, se utilizó un vehículo aéreo no tripulado (VANT) para realizar las mediciones de la superficie del terreno, la metodología y los parámetros empleados en el levantamiento fotogramétrico se presentan en el Anexo.

A partir, del levantamiento fotogramétrico, se obtuvo un plano topográfico a escala 1:20,000 que contiene curvas de nivel (líneas que unen puntos con igual altitud) con resolución espacial de 5 m (Figura 1).

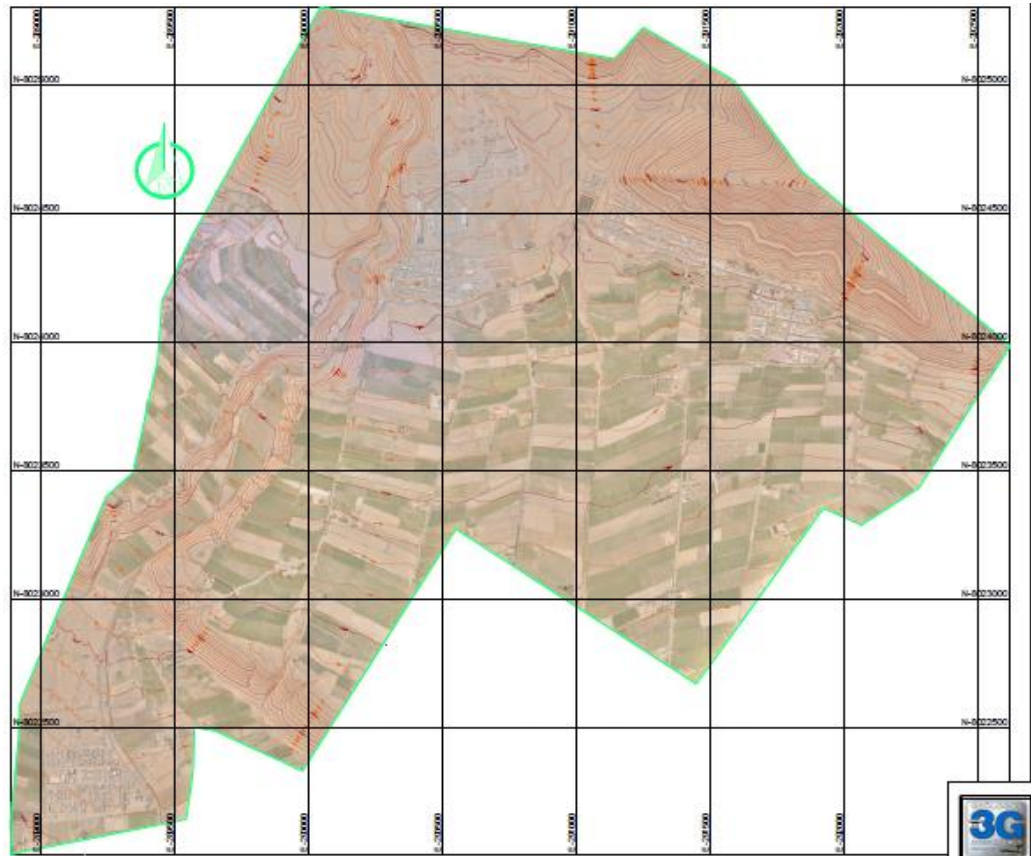


Figura 1: Fotogrametría (Topografía-ortofoto de la ciudad de Ite-Tacna).

2.2. 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 Ite, se tomó en cuenta el uso de herramientas SIG sobre las curvas de nivel diseñadas anteriormente, obteniendo como resultado la representación digital de la superficie del terreno de la localidad, que cubre un área de 4.9 km² aproximadamente para un formato de impresión tamaño A3 (Figura 2).

En base al MDE elaborado de la ciudad de Ite se ha reconocido que la zona urbana (Pampa Alta, Pampa Baja, A.H. Las Vilcas y Alfarillo) se asienta sobre dos terrazas que comprenden altitudes máximas de 50 y 245 m.s.n.m.; mientras que, al norte del centro urbano las elevaciones oscilan 245 y 635 m.s.n.m.

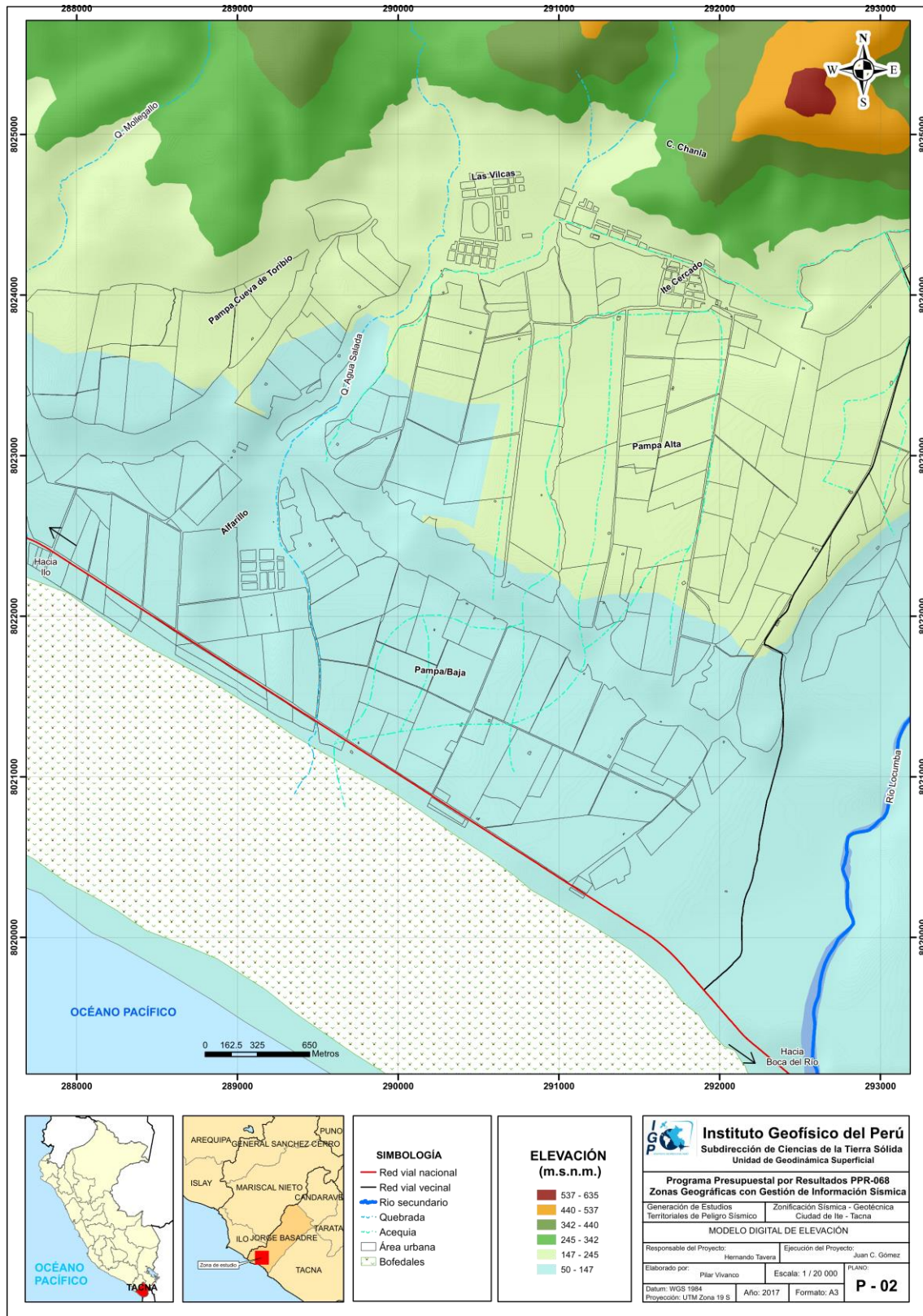


Figura 2: Mapa de modelo digital de elevación de la ciudad de Ite y alrededores

2.3. Pendientes

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

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

2.3.1. Clasificación del grado de pendientes

Para la clasificación de los rangos de pendientes se usó como base el informe: “Estudio de riesgos geológicos del Perú – Fidel, 2006 (Tabla 01). La mayor parte de la ciudad de Ite se encuentra asentada sobre terrazas que presenta pendientes menores a 10° promedio, incrementando hacia el norte entre los 10° - 45 ° (zona de lomas), ver Figura 3.

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

2.3. Unidades geomorfológicas

Estas unidades son generadas por procesos morfogenéticos de carácter endógeno (internos) y exógenos (externos) que dan lugar a características físicas como relieves positivos y negativos.

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

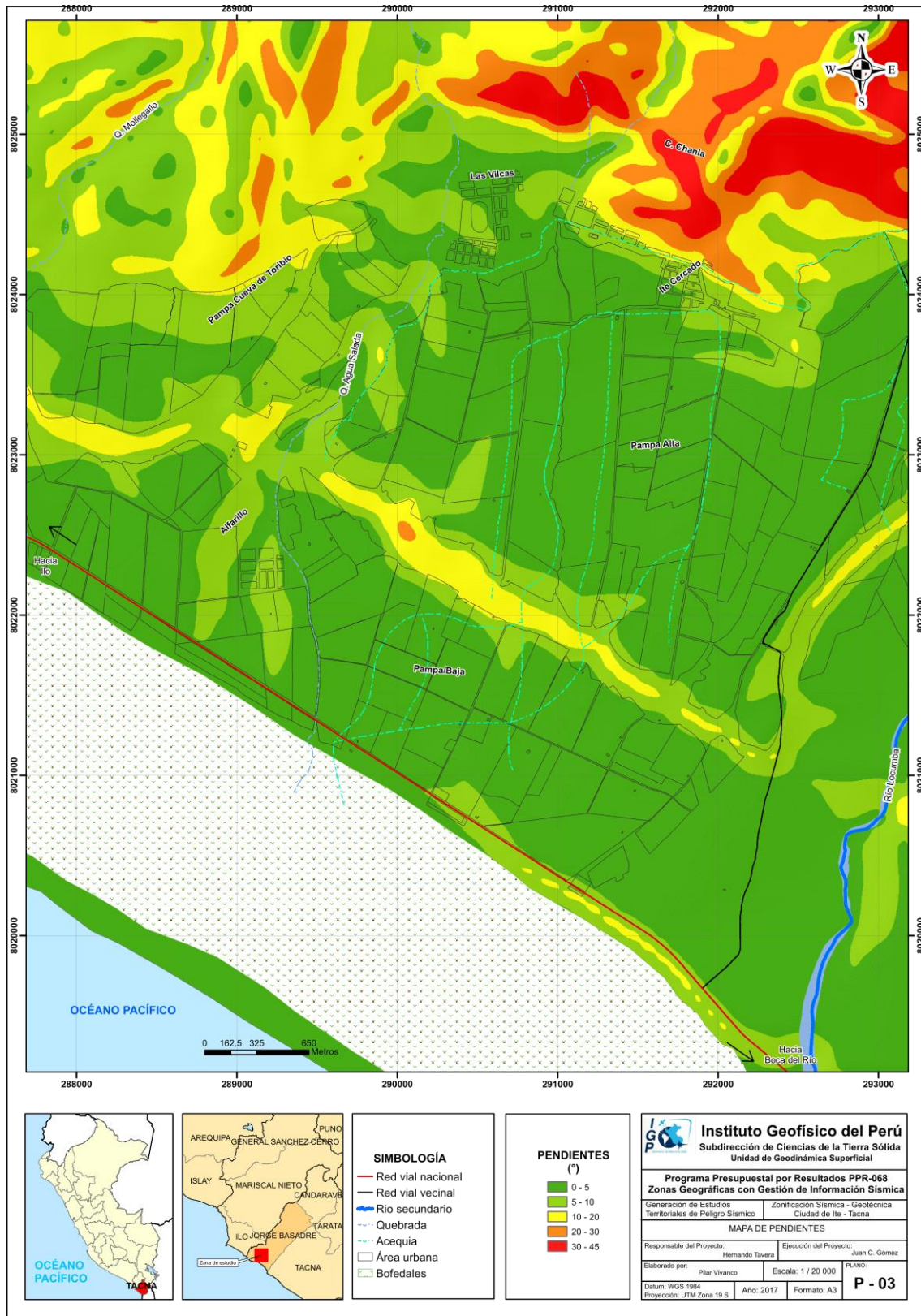


Figura 3: Mapa de pendientes del terreno de la ciudad de Ite y alrededores.

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, tectonismo, entre otros, generan geoformas de origen estructural.

En base a las características físicas de las geoformas y su origen, en el distrito de Ite, se cartografiaron cuatro unidades: lecho fluvial, loma, playa y terraza, Tabla 2 y Figura 4.

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

GEOMORFOLOGÍA PATRÓN			
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		ORIGEN	UNIDAD GEOMORFOLÓGICA
Pendiente	< 35°	Denudacional	Lecho fluvial
Altura	< 300 m		Loma
Geometría	Alargada		
Drenaje	Dendrítico		
Pendiente	< 5°	Depositacional	Playa
Geometría	Irregular		
Drenaje	Variable		
Geometría	Redondeada		Terraza aluvial
	Alargada		Terraza fluvial

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 Locumba se desplaza con dirección de este a oeste, el ancho promedio del cauce llega a medir 61 m, en donde se han depositado gran cantidad de materiales de origen fluvial (gravas y arenas medias a gruesas). Abarca el 1% de la zona de estudio (Figura 5).

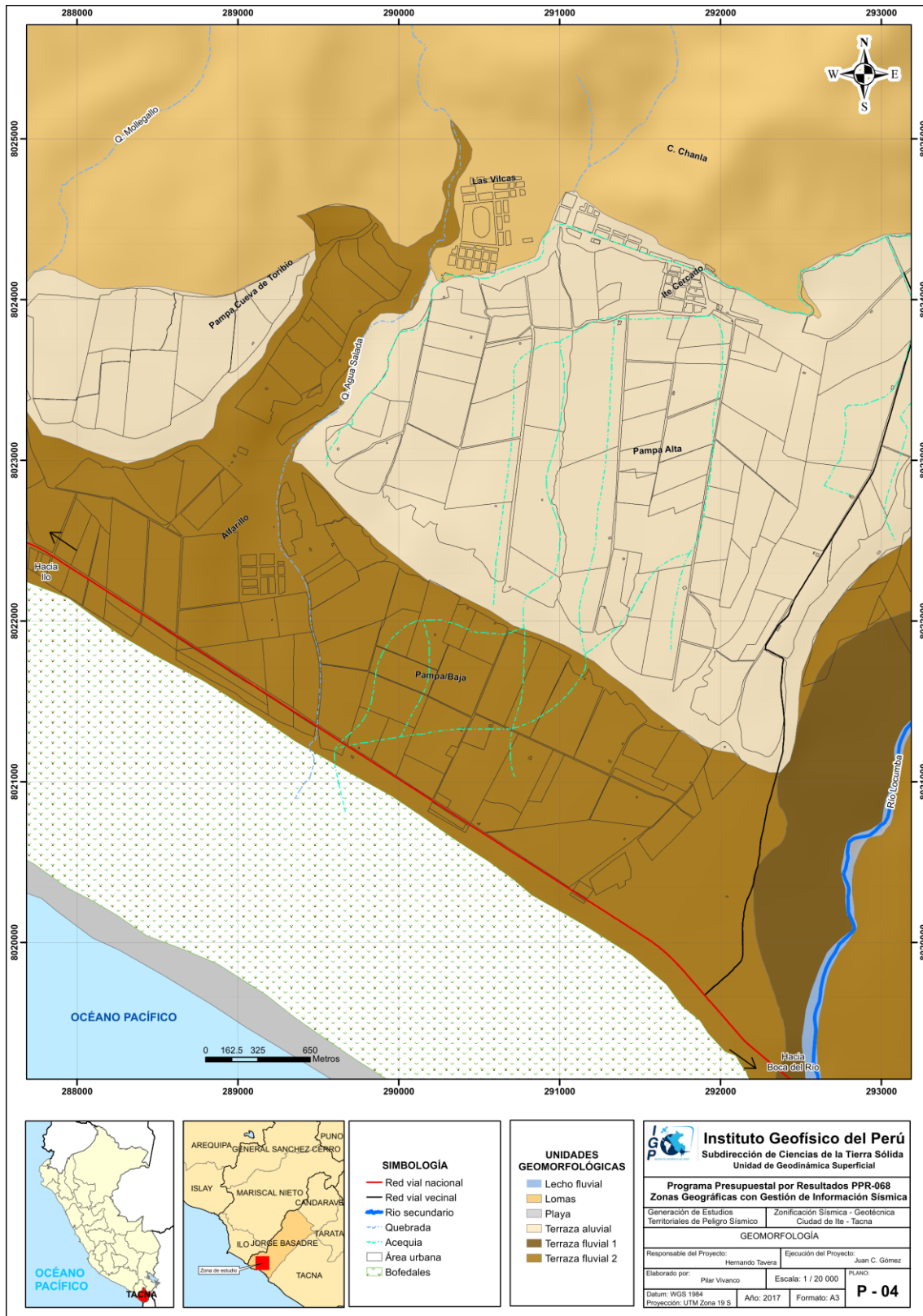


Figura 4: Mapa geomorfológico para la ciudad de Ite y alrededores.



Figura 5: Lecho fluvial del río Locumba.

Loma: Esta geoforma presenta pendientes menores a 35°, altura menor a 300 m., geometría alargada, drenaje dendrítico y un origen denudacional. Recientemente, han sido modeladas (redondeadas y/o cubiertas por mantos de arenas) por la acción del viento (erosión eólica), escorrentía de las aguas superficiales y la actividad antrópica. La unidad loma ocupa el (24) % de la zona de estudio. Esta unidad se ha identificado a 20 m al noreste de la ciudad de Ite (Figura 6).



Figura 6: Loma al noreste de la ciudad de Ite.

Playa: Superficie plana adyacente al litoral costero, cuyo relieve presenta pendientes menores a 5° . Se caracteriza por tener geometría irregular (alargada y/o recta) y de drenaje variable. El proceso que la origina es del tipo depositacional. Se extiende a lo largo de 7.5 km aproximadamente, el ancho de ésta es de 0.27 km, puesto que en esa dirección se produce la dinámica erosiva y de sedimentación. Abarca el 1% de la ciudad en mención (Figura 7).



Figura 7: La unidad playa al suroeste de la ciudad de Ite.

Terraza aluvial: Superficies horizontales o ligeramente inclinadas, cuyo relieve presenta pendientes menores a 7° . Generalmente se encuentra conformada por materiales heterogéneos (clastos angulosos a subredondeados envueltos en una matriz areno-limosa) principalmente de origen intrusivo. Sobre esta unidad se asienta el sector Pampa Alta. Abarca el 33 % del área de estudio (Figura 8).

Terraza fluvial: Las terrazas fluviales de la ciudad de Ite son superficies planas y horizontales, cuyo relieve presenta pendientes menores a 5° . Están conformadas por clastos y gravas redondeadas con matriz areno-limosa, de origen volcánico e intrusivo, transportados por la dinámica del río Locumba. Se han identificado dos terrazas fluviales en la ciudad de Ite. La terraza 1 que está en proceso de depositación, tiene un espesor de 1.00 m aproximadamente y la más antigua, terraza 2, sobre la cual se asienta el A.H. Pampa Alta, presenta un espesor de 12 m. Abarca el 41 % del área de estudio (Figura 9).



Figura 8: Terraza aluvial sobre la cual se asienta el sector Pampa Alta.

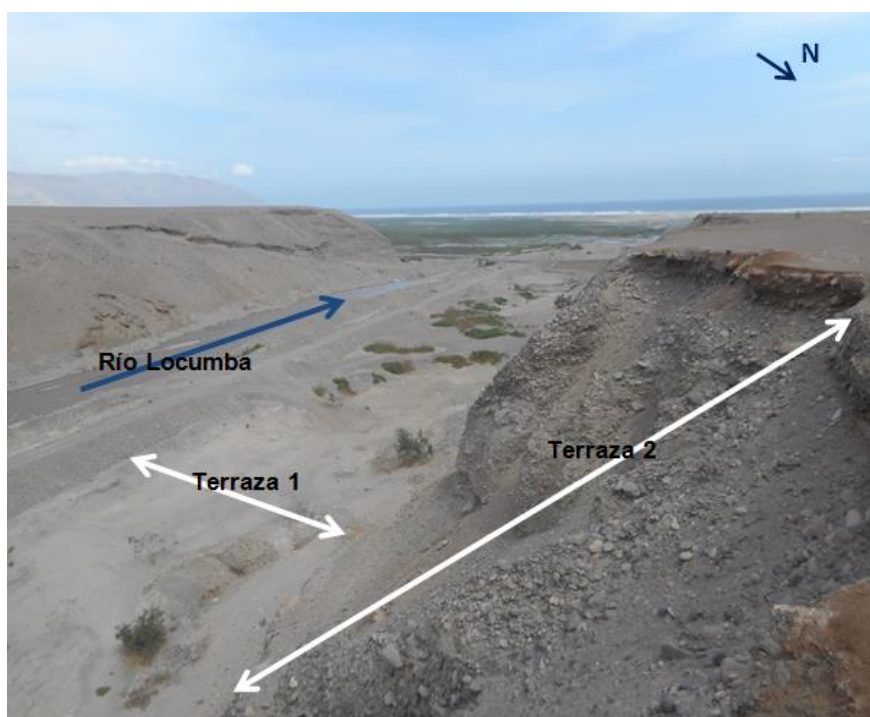


Figura 9: Terrazas fluviales 1 y 2 en ambas márgenes del río Locumba.

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

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

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

3.1. Geología regional

El marco geológico región al 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, 2012) a escala 1:50,000. En esta, se describen las unidades litológicas aflorantes cuyas edades se encuentran desde el Cretáceo Inferior (145 Ma) hasta el Cuaternario Reciente.

3.1.1. Geología histórica

Según Acosta (2012), hace 252 millones de años (Ma), a fines del Triásico e inicios del Jurásico Inferior (201 Ma) en la Cordillera de la Costa se produce la depositación de una serie volcano sedimentaria, formación Chocolate. Durante, en el Jurásico Medio, ocurrió la sedimentación dando origen a rocas calizas, areniscas y conglomerados de la formación Socosani que corresponden a un medio somero, seguidas de areniscas y lutitas de la formación Puente-Cachios del Grupo Yura.

Posteriormente, a fines del Cretáceo (125 Ma) e inicios de Paleoceno (61 Ma) la zona de la Cordillera de la Costa emerge hacia el este y continúa la depositación de conglomerados y areniscas continentales de la formación Moquegua Superior, a los que suprayacen niveles ignimbríticos de la formación Huaylillas.

A partir del Mioceno (23 Ma) se inicia el socavamiento de las zonas costeras y se produce el levantamiento acelerado de la Cordillera Occidental. Finalmente, se encuentran los depósitos Cuaternarios como son aluviales (Qh-al, Qpl-al) y marinos (Qh-m), conformados por conglomerados arenas. Los primeros sobre los cuales se asienta la población de Ite, provenientes de conos de deyección, mientras que, los segundos, conformados por arenas gruesas, vetillas de yeso y restos calcáreos.

Además, se ha observado la presencia de cuerpos intrusivos (granodioritas y dioritas) que conformar la Súper Unidad Ilo.

3.1.2. Geología estructural

Los eventos de deformación y metamorfismo produjeron el plegamiento de las estratificaciones andinas y fallamientos en bloques evidenciados en esta parte de la costa.

A continuación se detallan las estructuras resultantes de dichos eventos

geológicos:

Zona de fallas: Las fallas geológicas pueden afectar grandes extensiones de paquetes de rocas y materiales, cambiando la geomorfología de la superficie. En la Síntesis Descriptiva del Mapa Neotectónico (Macharé et al, 2008), se describe la falla Altos Chilenos; mientras que, la falla El Abra es descrita en el Plan de Desarrollo Concertado Distrital al 2021 (Figura 10):

Falla El Abra, extiende por el flanco suroriental de las lomas Puite y el Papal. La escarpa tiene 15 km de longitud, la cual se encuentra modificada por efecto de la erosión y cubierta parcialmente por material detrítico. Su rumbo S 42° O, se supone que sigue el curso de la quebrada Tacahuay y termina en el borde de la planicie costanera. Esta falla se encuentra a 14 km en dirección norte de la ciudad de Ite.

Falla Altos Los Chilenos, tiene una escarpa a lo largo de 8 km, con rumbo S 30°O y atraviesa rocas intrusivas, levantando el bloque del lado noreste. La falla disloca rocas intrusivas, el bloque levantado se encuentra hacia el noroeste. Esta falla se encuentra a 9 km al sur de la ciudad de Ite.



Figura 10: Imagen satelital y fallas inferidas en la sur del Perú (INGEMMET, 2000).

3.2. Geología local

Consistió en el reconocimiento y cartografiado de las unidades litológicas aflorantes en la ciudad de Ite a escala 1:20,000, abarcando un área de 35 km² aproximadamente. A continuación, se describen estas unidades (Figuras 11 y 12).

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOSTRATIGRÁFICAS	SÍMBOLO	LITOLOGÍA
Cenozoico	Cuaternario	holoceno	Depósitos Aluviales	Qh-al	GRAVAS REDONDEADAS Y SUB-REDONDEADAS EN MATRIZ ARENO-LIMOSA
			Depósitos Coluviales	Qh-co	CLASTOS MAYORES A 3" DE DIAMETRO ANGULOSOS EN MATRIZ LIMOSA
			Depósitos Marinos	Qh-m	ARENAS DE GRANO GRUESO CON INTERCALACIONES DE CALCÁREOS
	Cretáceo	superior	Súper Unidad ILO	Ki-il-gd/di	GRANODIORITAS Y DIORITAS

Figura 11: Columna cronolitoestratigráfica de la zona de estudio.

Súper Unidad Ilo: Constituye uno de los emplazamientos más antiguos del Batolito de la Costa, son rocas intrusivas que, por su origen ácido, se solidificaron en granodioritas y dioritas. Estos se identificaron a 80 m al norte del centro urbano de Ite (Figura 13).

Depósitos Cuaternarios: Suprayaciendo al substrato rocoso conformado por rocas intrusivas, se encuentran los depósitos Cuaternarios de edad Holocena, principalmente de origen aluvial, coluvial, fluvial y marino. Las características de estos materiales se describen a continuación:

Depósitos aluviales: Los depósitos aluviales están constituidos por gravas subredondeadas a angulosas de 2" de diámetro y arenas de grano fino a medio, color gris, los cuales son acarreados por el río Locumba provenientes del frente Occidental, sobre los cuales se asienta la parte urbana de la ciudad de Ite, con un espesor de 5 m (Figura 14).

Depósitos coluviales: Conformados por conglomerados no consolidados, con clastos mayores a 4" de diámetro, angulosos, de naturaleza intrusiva. Éstos se observaron en la ladera de la loma ubicada al norte del centro urbano de Ite (Figura 15).

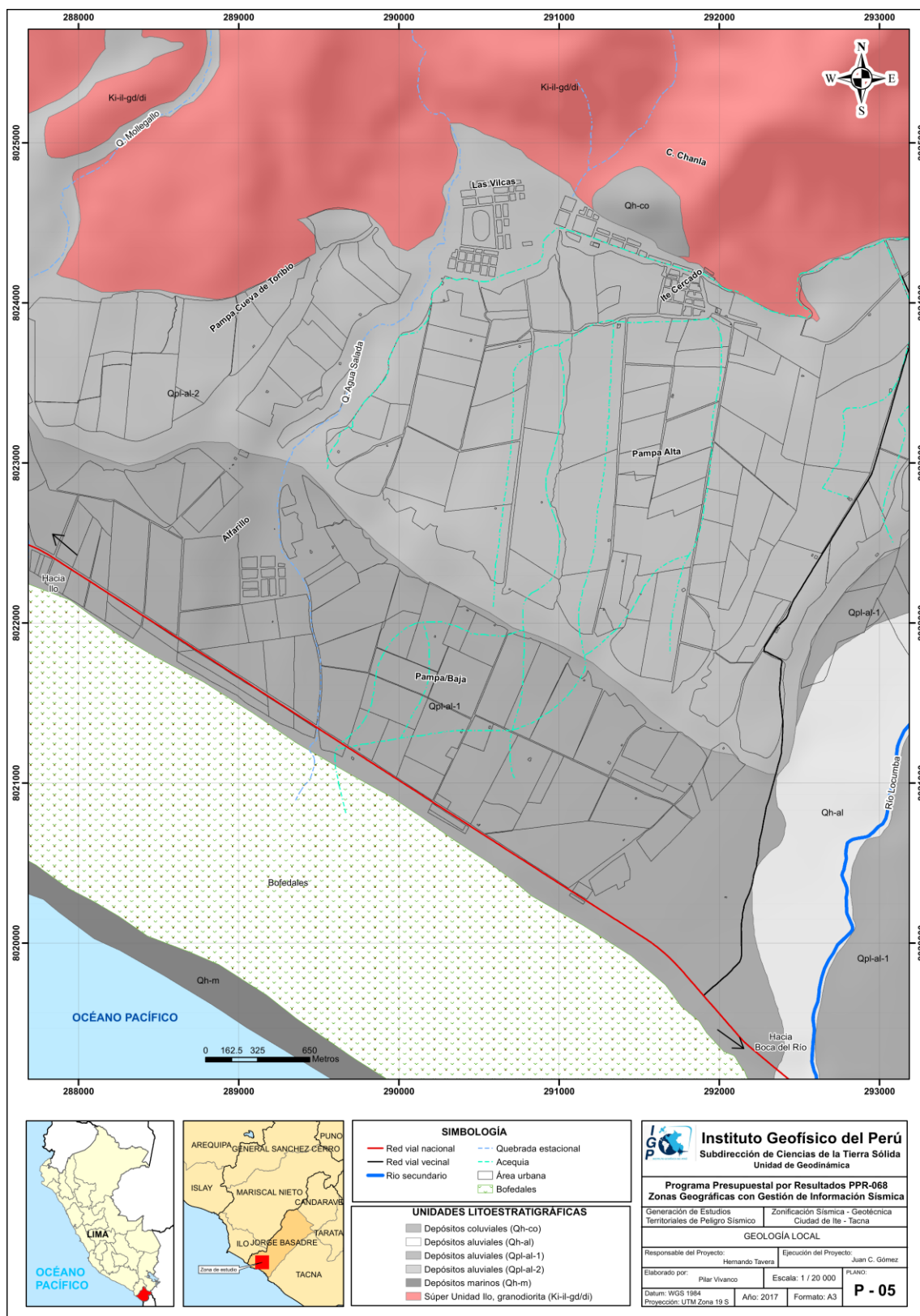


Figura 12: Mapa de geología local para la ciudad de Ite y alrededores.



Figura 13: Afloramientos de roca intrusiva (granodiorita) de la Súper Unidad Ilo del Cretáceo Inferior, al norte de la ciudad de Ite.

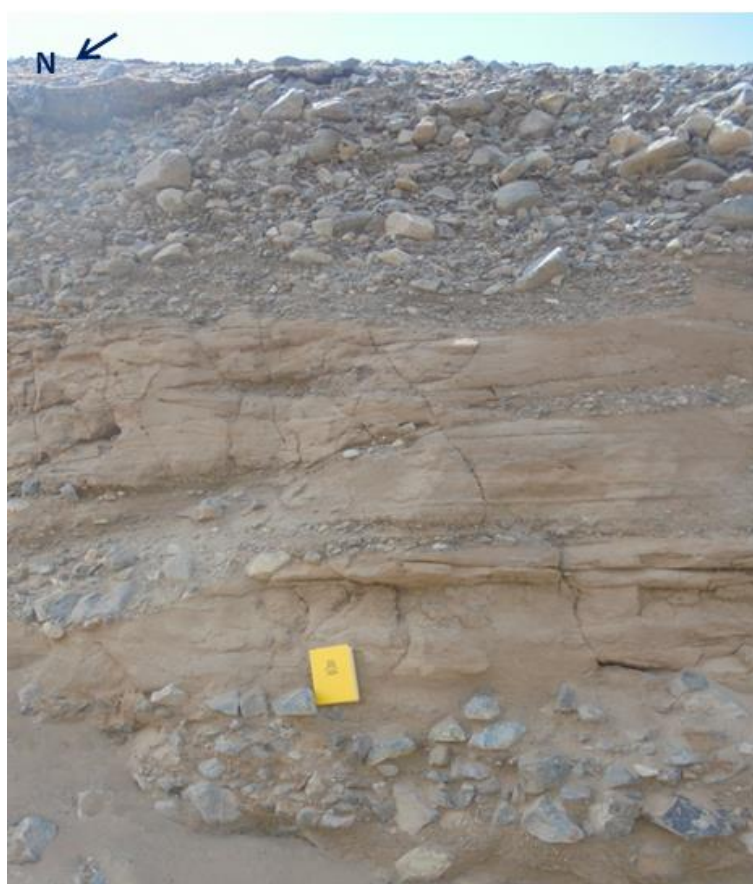


Figura 14: Depósitos aluviales, margen derecha de la quebrada Agua Salada.



Figura 15: Material coluvial en las laderas de la loma ubicada al norte de Ite.

Depósitos fluviales 1 y 2: Los materiales sobre los cuales se desarrolla la agricultura y ganadería en la ciudad de Ite, están conformados por gravas redondeadas y limos que han sido transportados por la dinámica y evolución del curso y cauce actual del río Locumba. Este depósito está constituido por estrato areno limoso en la parte superior seguido de gravas redondeadas en matriz areno limosa de hasta, de hasta 10 m de espesor. Se han identificado a 1 km al sureste del A.H. Pampa Baja-Ite (Figura 16).

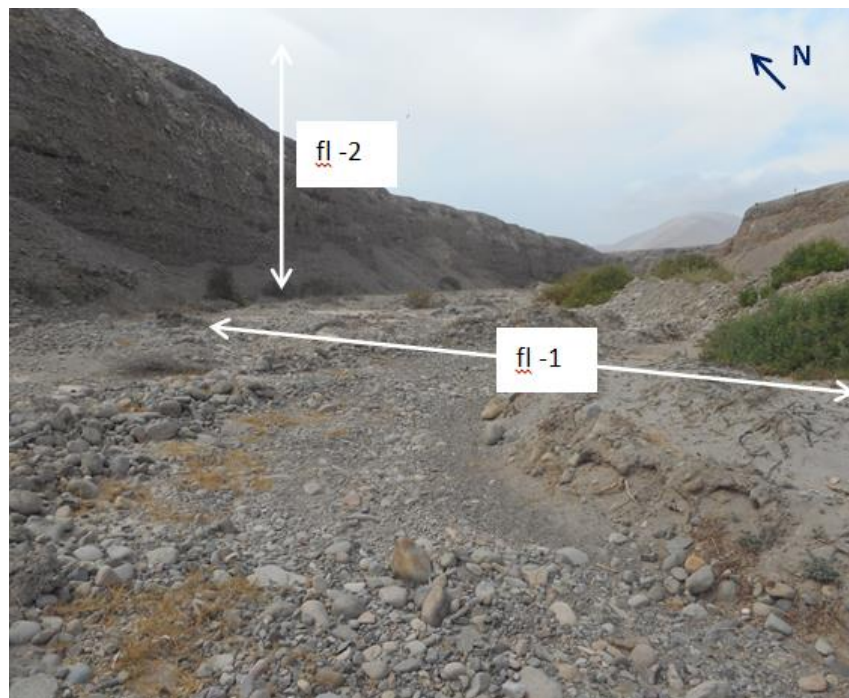


Figura 16: Depósitos fluviales 1 y 2, ubicado a 1 km al sureste del A.H. Pampa Baja-Ite, cauce del río Locumba.

Depósitos marinos: Conformados por arenas medias a gruesas, con presencia de material calcáreo (conchuelas), se observan en la zona costera de Ite, en una longitud 7.5 km aproximadamente.

4. GEODINÁMICA

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

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

4.1. Procesos de geodinámica interna

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

4.2. Procesos de geodinámica externa

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

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

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

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

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

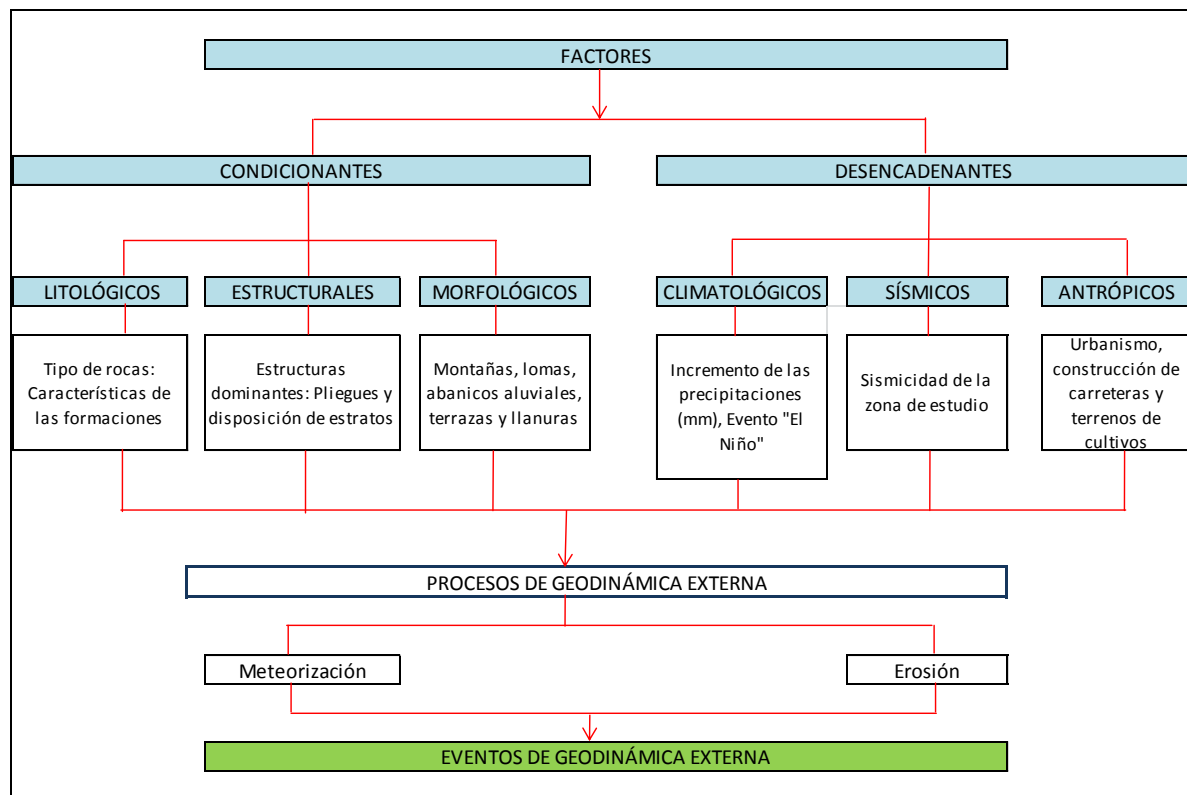


Figura 17: Factores asociados a procesos de geodinámica externa que contribuyen a la ocurrencia de eventos geodinámicos.

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, (Brusi, 2013), como: 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 18).

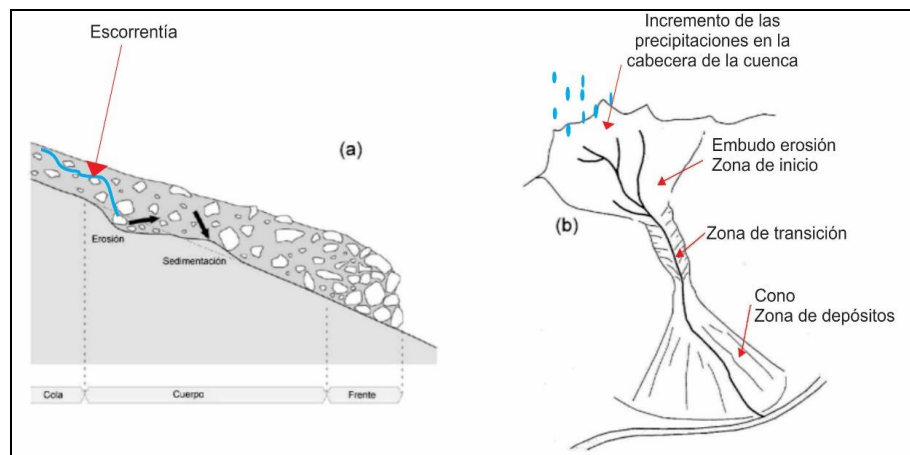


Figura 18: a) Proceso de erosión por las aguas de escorrentía y acumulación de material. b) Vista frontal de la cuenca y desarrollo del evento en cabecera de la cuenca por incremento de las precipitaciones, zona de transición (zona de almacenamiento de material y la deposición del material), modificado del GITS (Grupo de investigación de transportes de sedimentos).

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

Cuando las lluvias superan el promedio normal de precipitación (mayor al 50%) de una zona se le denominan lluvias extraordinarias o tormenta extrema. Estas al desarrollarse generan crecidas causando inundaciones de las áreas circundantes al río, esta anomalía es conocida como un evento hidrometeorológico (Figura 19).

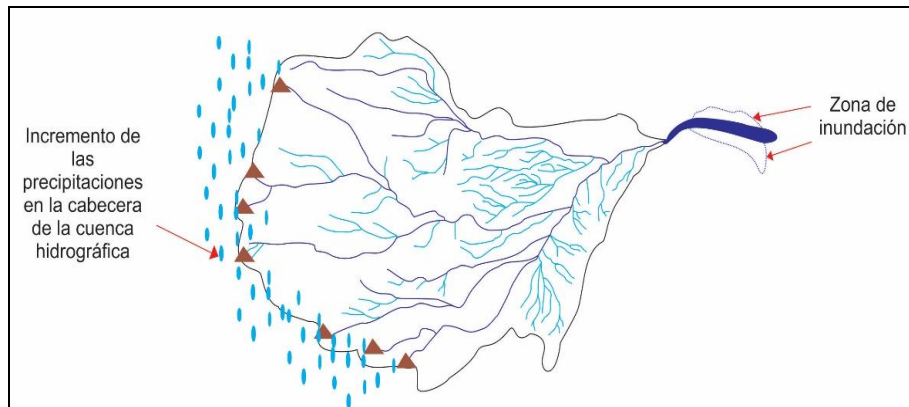


Figura 19: Inundación por incremento de las precipitaciones en la cabecera de la cuenca hidrográfica.

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 sean rocas y suelos (divididos en detritos y tierras).

Asimismo, Wyllie & 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 resultado del debilitamiento de la masa de roca, debido a la fragmentación y a la ausencia de soporte lateral, produciendo un deterioro en la estructura del talud por la acción de la meteorización. En este caso

se forman prismas o pequeñas placas con dimensión mínima de 50 mm, que caen por gravedad (Figura 20).

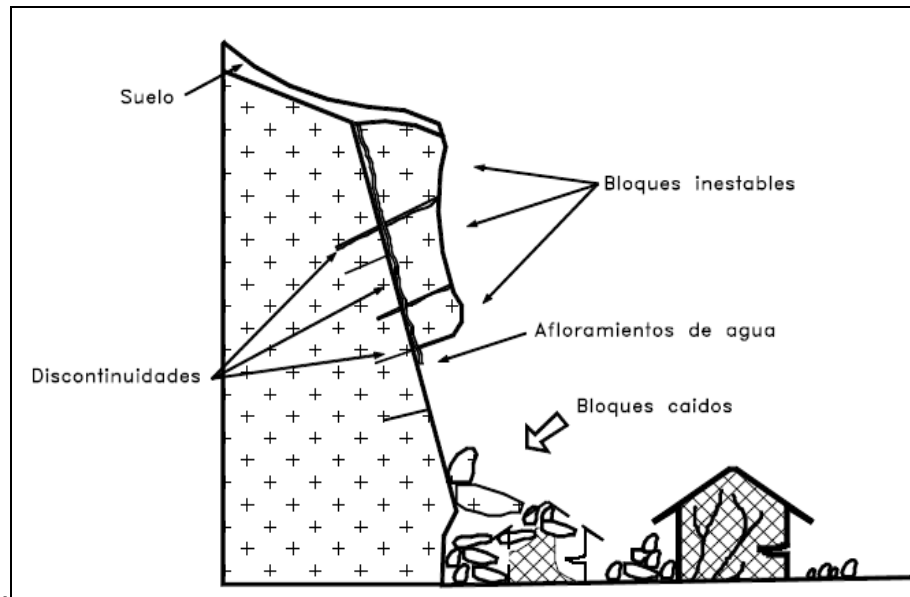


Figura 20: Proceso de caída de rocas. Fuente: Suárez (1998).

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

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

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

En la ciudad de Ite existen dos tipos de eventos geodinámicos (Figura 21) y según los procesos y factores que intervienen, se han clasificado de la siguiente manera:

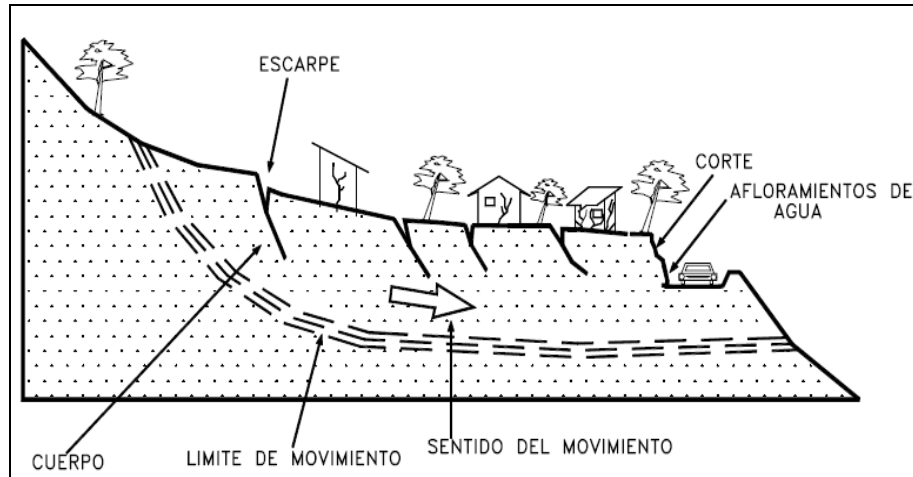


Figura 21: Deslizamiento en laderas (Suárez, 1998).

En la ciudad de Ite, existen cuatro tipos de eventos geodinámicos, ver Figura 22. Los cuales según el proceso y factores que intervienen, se han clasificado de la siguiente manera: a 1km al este, se han reconocido flujos de detritos.

Flujos de detritos: Son eventos extremadamente 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 han formado una terraza aluvial sobre la cual se asienta el A.H. Pampa Alta (Figura 23).

Además, a 15 km al este de Ite, en el sector Sopladera discurre la quebrada Honda que desemboca en la margen derecha del río Locumba y en la cual se producen flujos de detritos y lodos la actividad ganadera del sector. Los últimos eventos ocurrieron en el 2001, 2016 y 2017-03 (Figura 24).

Inundaciones: Las inundaciones se produjeron en los años 1950, 1982, 1983, 1998, 2001, que ocasionaron daños a las zonas agrícolas, infraestructura de riego, puentes y vías de comunicación. En la ciudad de Ite se tienen identificadas zonas de inundación por el desborde del río Locumba como son: Puente Cambiara y sector Honda ubicado a 16 km al este de la ciudad en mención.

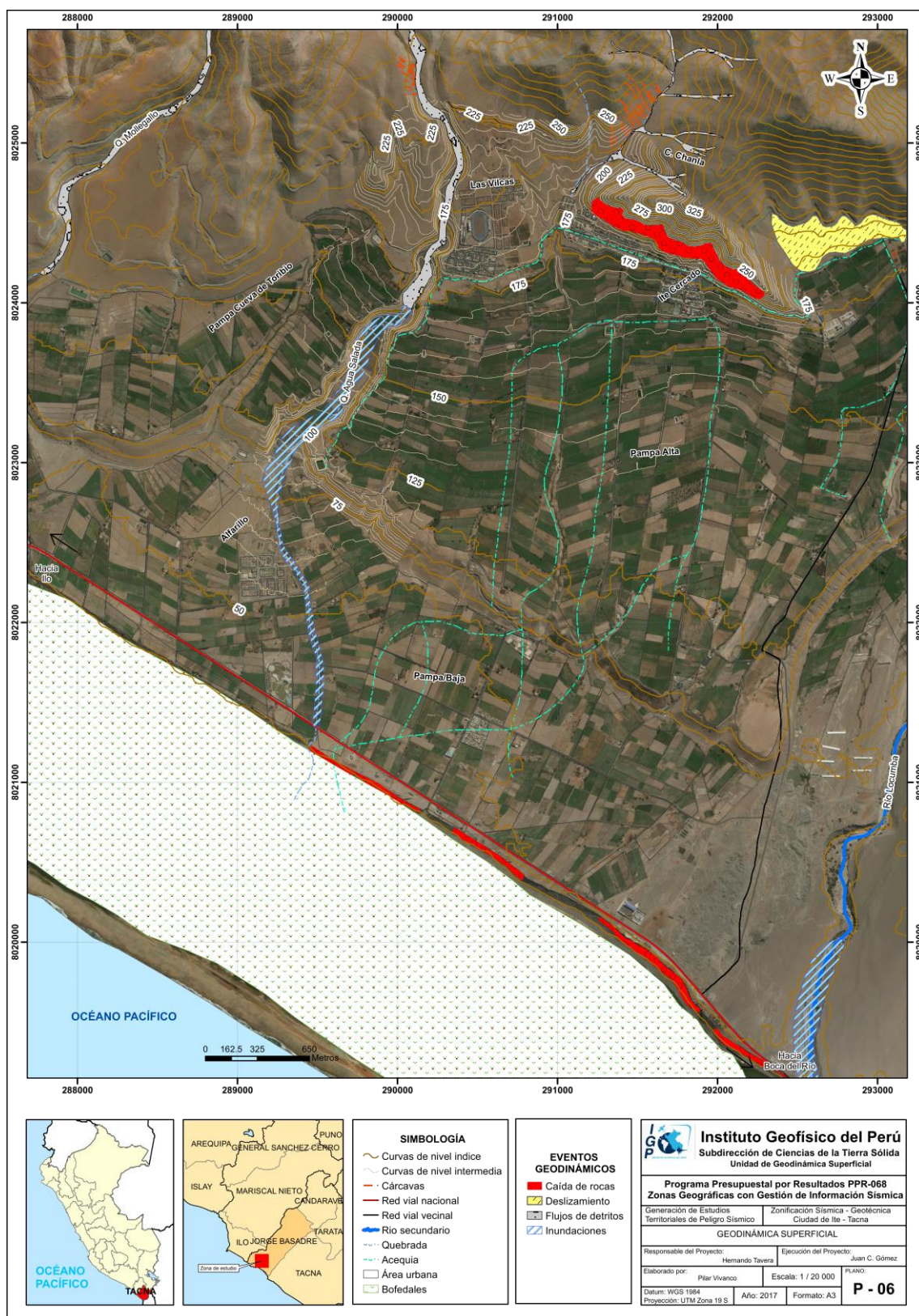


Figura 22: Mapa de eventos geodinámicos en la ciudad de Ite.



Figura 23: Flujos de detritos a 1 km al este de la ciudad de Ite.



Figura 24: Flujos de detritos en la quebrada Honda, sector Sopladera.

Asimismo, en el año 1998 ocurrió el desbordamiento de la quebrada Agua Salada que atraviesa el área de estudio. Al producirse este escenario hidrometeorológico, las viviendas asentadas en las inmediaciones del cauce (A.H. Alfarillo) fueron afectadas. Actualmente, existen gaviones en ambas márgenes de la quebrada con la finalidad de evitar la erosión y el desborde, sin embargo se estima que en una avenida extrema combinado con un flujo de detritos aguas arriba, esta se desbordaría (Figura 25).

Otra zona, se ubica en la desembocadura del río Locumba a la altura del puente Ite y afecta la carretera Costanera Sur (Figura 26).



Figura 25: Gaviones en ambas márgenes de la quebrada Agua Salada a la altura del A.H. Alfarillo.

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). Se observó en las laderas ubicadas a 50 m. al norte de la ciudad de Ite (Figura 27).



Figura 26: Zona a inundarse por desborde del río Locumba, carretera Costanera a la altura del puente Ite.

Deslizamientos: Se suscitan en la carretera Ite-Moquegua, km 790, a 1.5 km al noreste del centro urbano de Ite. La inestabilidad de la ladera se debe a la presencia de material (clastos angulosos en matriz arcillo-limosa, que al entrar en contacto con el agua de escorrentía se satura y por sobrecarga se desliza (Figura 28).



Figura 27: Caída de rocas a 50 m. del centro urbano de Ite.



Figura 28: Deslizamientos en la carretera Ite-Moquegua km 790 a 1.5 km al noreste de Ite.

4.3. Zonas susceptibles a procesos geodinámicos

La susceptibilidad está referida a la probabilidad de que suceda un evento geodinámico durante un período de tiempo en un sitio dado (Hauser, 1985 y 1993; Sepúlveda, 2000). Es la mayor o menor predisposición a que un proceso geodinámico suceda u ocurra sobre determinado espacio geográfico y tiempo, lo cual depende de los factores: litología, tectonismo, agentes geológicos y actividad humana (taludes de corte). La identificación y delimitación de zonas afectadas por procesos de geodinámica externa, ha permitido reconocer zonas probables a la ocurrencia de estos (Figuras 29, 30 y 31).



Figura 29: Zona susceptible a caída de rocas debido a la meteorización del afloramiento.



Figura 30: Zona susceptible a deslizamiento.

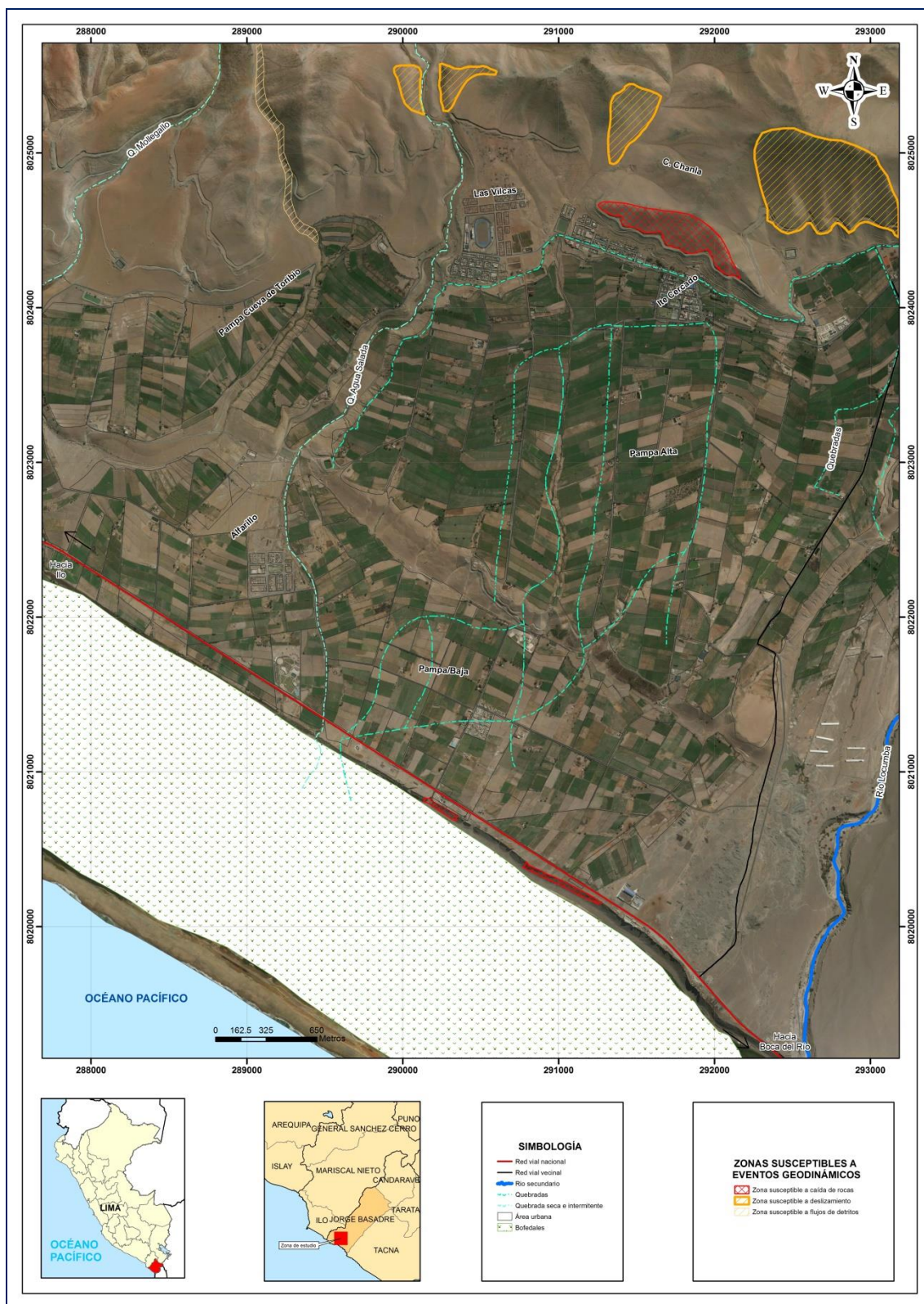


Figura 31: Zonas susceptibles a movimientos en masa.

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 32).

Cabe destacar que, en algunas ciudades se presentan materiales eólicos (arenas), cuyo aporte se debe, principalmente a las corrientes de aire que proviene del Océano Pacífico.

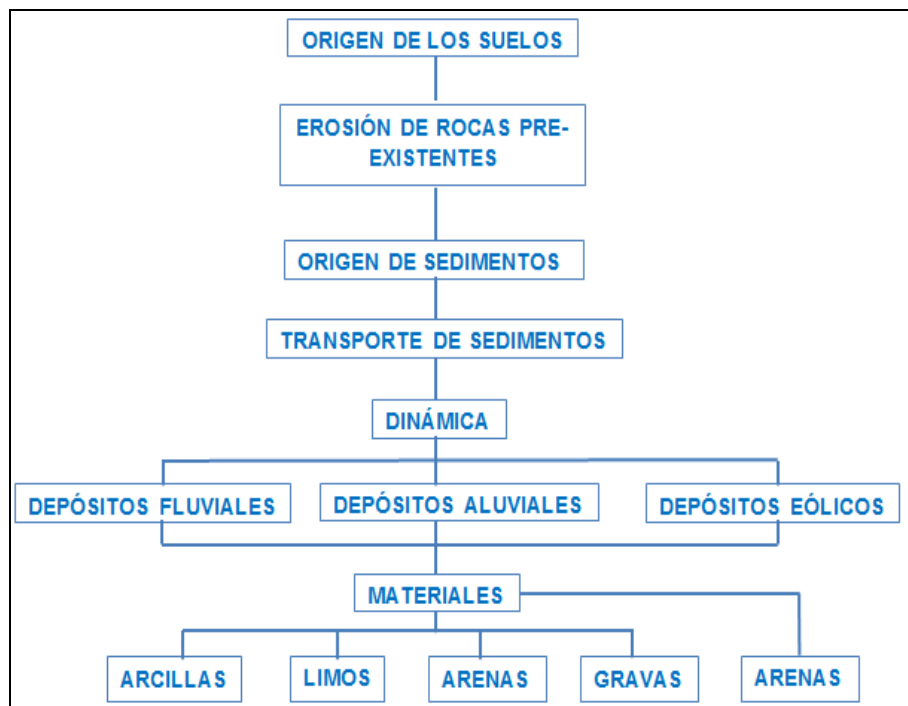


Figura 32: Diagrama del origen de los suelos.

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 la ciudad de Ite, se realizó el estudio geotécnico que consistió en la elaboración de calicatas, densidad de campo, posteos y ensayos de penetración dinámica ligera (DPL), y cuya distribución espacial se muestra en la Figura 33.

Asimismo, de las calicatas se extrajeron seis (06) muestras de las cuales dos (02) fueron enviadas al laboratorio de suelo y las otras cuatro (04) se analizaron en el IGP, con el fin de realizarles ensayos geotécnicos como: granulometría, plasticidad, corte directo y el cálculo de la capacidad portante de los suelos, a continuación se detallan los mismos:

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

Es un método de exploración directo que consiste en realizar una excavación en el terreno para la observación del suelo a cierta profundidad (aproximadamente 3.00 m.), a fin de describir los estratos que lo conforman, así como, extraer muestras para la realización de ensayos y análisis. Estas calicatas son realizadas con maquinaria (retroexcavadora) o de forma manual (Figura 34).

El procedimiento de campo incluyó las siguientes actividades:

Reconocimiento de la zona de estudio: Las exploraciones se ubicaron de tal manera que se distribuyan de forma geométrica uniforme en la ciudad de Ite, en base al análisis visual de las características del terreno, accesibilidad y lugares apropiados donde ubicarlas.

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

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

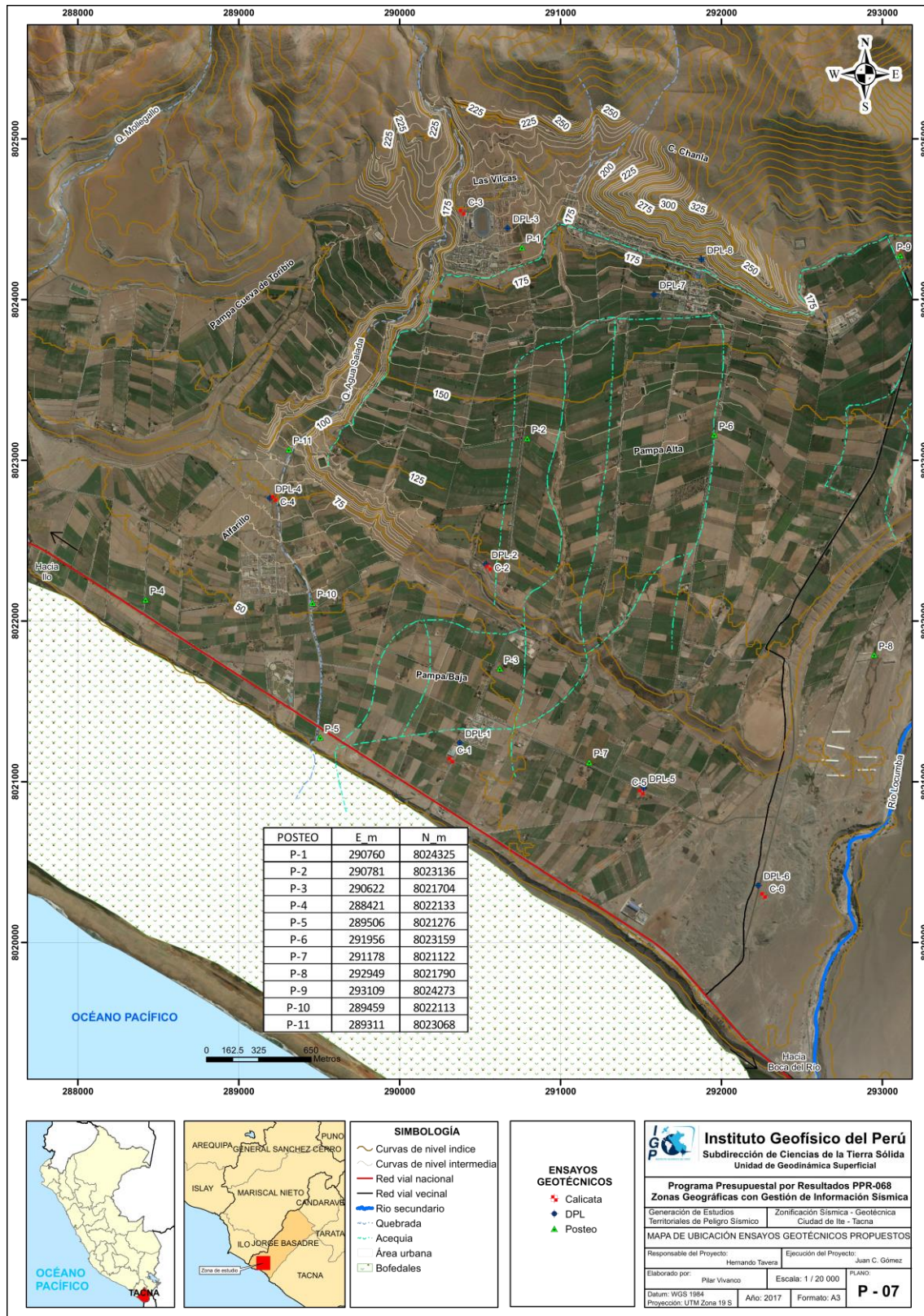


Figura 33: Mapa de distribución de calicatas, posteos y DPL en la ciudad de Ite.



Figura 34: Calicata CI-06 ubicada en Pampa Baja.

5.1.1. Descripción de calicatas

Una vez terminada la excavación de la calicata, se procede a describir el perfil estratigráfico del subsuelo, para ello se han elaborado 08 fichas de descripción de calicatas, las mismas que se adjuntan en los anexos de Geotecnia. Las excavaciones realizadas se localizan en las siguientes coordenadas UTM (Tabla 3 y Figura 33).

Tabla 3: Ubicación de calicatas (NP, no presenta nivel freático).

Calicata	UTM Este (m)	UTM Norte (m)	Elevación (m.s.n.m.)	Profundidad (m)	Nivel Freático a (m)
CI-1	290318	8021135	23	2.00	N.P.
CI-2	290552	8022332	105	2.50	N.P.
CI-3	290388	8024543	192	3.00	N.P.
CI-4	289220	8022762	62	3.00	N.P.
CI-5	291502	8020935	41	3.00	N.P.
CI-6	292261	8020293	44	3.00	N.P.

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 a fin de obtener una relación entre la masa de este y el volumen que ocupa la arena del cono (arena calibrada).

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

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

Extracción de la muestra de suelo del agujero elaborado anteriormente y pesado de este material extraído.

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 (Figura 35).



Figura 35: Ensayo de densidad del suelo in-situ en la calicata CI-02.

A continuación, en la Tabla 4 se presentan los resultados de dos calicatas y sus respectivas fichas de densidad se han adjuntado en los anexos.

Tabla 4: Resultado de densidades in – situ.

Calicata	Muestra	Profundidad (m)	Densidad Húmeda (gr/cm ³)	Densidad Seca (gr/cm ³)
CI - 02	DC-I- 02	2.50	1.63	1.62
CI - 06	DC-I- 06	3.00	1.83	1.62

En base a la Tabla 5, los suelos de la ciudad Ite presentan rangos de densidad entre 1.83 – 1.62 gr/cm³, es decir, los materiales identificados en las calicatas (C-2 y C-6) son arenas sueltas a medio densas.

Tabla 5: Valores típicos de densidad de suelos (CISMID, 2016).

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

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

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

Se hace mención que, la posteadora presenta restricciones en suelos con presencia de gravas y gravillas (las cucharas saca muestras se entrapan con este tipo de suelos).

El procedimiento seguido para la toma de muestras de suelo es como sigue: con la posteadora se penetra el subsuelo desde la superficie de tal manera que, se gira manualmente el equipo ejerciendo presión sobre el suelo, a medida que se va incrementando la profundidad, se va añadiendo varillas a fin de obtener muestras con las cucharas acopladas en el extremo. Estas exploraciones fueron distribuidas entre las calicatas; es decir, en lugares donde no existía información geotécnica, lo cual permitirá tener una mejor caracterización de los suelos de la ciudad de Ite (Figuras 33 y 36). A continuación, en la Tabla 6 se muestra los resultados obtenidos y para el detalle ver anexos.



Figura 36: Ensayo con posteadora manual.

Tabla 6: Ubicación de posteos y clasificación de suelos SUCS (NP, no presenta datos).

Posteo	UTM Este (m)	UTM Norte (m)	Elevación (m.s.n.m.)	Profundidad (m)	Tipo de suelo	Nivel freático encontrado a (m)
P-1	290760	8024325	177	0.50	SP	N.P.
P-2	293130	8024184	128	0.60	SP	N.P.
P-3	290622	8021704	39	2.50	SM	N.P.
P-4	288421	8022133	25	2.30	SM	N.P.
P-5	289506	8021276	25	1.00	SM	N.P.
P-6	291956	8023159	121	1.20	SP	N.P.
P-7	291178	8021122	39	0.30	GP	N.P.
P-8	292949	8021790	10	0.30	SM	N.P.
P-9	292964	8023872	149	1.80	SM	N.P.
P-10	289459	8022113	36	1.00	GM	N.P.
P-11	289311	8023068	77	0.50	SM	N.P.

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

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

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

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

Ubicación de ensayos: Se distribuyeron generalmente al costado y en puntos intermedios a algunas de las calicatas, a fin de obtener mayor información de la

resistencia del suelo en el área estudiada.

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

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

En la Tabla 7, se indica la ubicación de los ensayos de penetración dinámica ligera (DPL) realizados en las inmediaciones de la ciudad de Ite, ver Figura 37, la profundidad alcanzada y los datos obtenidos del ensayo (número de golpes y ángulo de fricción), en la profundidad comprendida entre 1.00 y 1.20 debido a que en este nivel se calculará los parámetros geotécnicos (ángulo de fricción y cohesión) para el cálculo de la capacidad portante (admisible). La ficha del ensayo se adjunta en los anexos.

Tabla 7: Ubicación de ensayos de penetración dinámica ligera (DPL) y parámetro obtenidos.

DPL	UTM Este (m)	UTM Norte (m)	Elevación (m.s.n.m.)	Profundidad Total (m)	Número de golpes	Φ
DPL-01	290374	8021243	28	0.65	19	33
DPL-02	290537	8022354	106	0.72	9	29.60
DPL-03	290671	8024445	184	0.30	26	35
DPL-04	289194	8022765	60	0.60	4	27.60
DPL-05	291517	8020961	50	0.52	12	30.70
DPL-06	292229	8020356	46	1.70	26	35
DPL-07	291582	8024032	151	1.30	40	38.50
DPL-08	291876	8024250	183	0.65	31	36.30

En dos ensayos DPL (06 y 07) se ha logrado alcanzar una profundidad entre 1.32 m. y 1.70 m. mientras que en el resto de ensayos la profundidad alcanzada es mínima (0.30 m) debido a la presencia de materiales granulares, conformados por gravas y arenas de grano grueso con alta resistencia a la penetración.



Figura 37: Ensayo de penetración dinámica ligera (DPL-8).

Asimismo, la profundidad alcanzada a través de la elaboración de estos ensayos permitió inferir que los suelos ubicados en el A.H. Alfarillo y en las inmediaciones del centro urbano presentan consistencia media a baja (DPL 01, 04, 07 y 08). Finalmente, en el sector Las Vilcas y Pampa Baja (DPL 02, 03, 05 y 06), presentan compacidad media por la presencia de materiales con gravas y contenido de sal.

5.4.1. 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}), a fin de determinar el ángulo de fricción interna corregido y posteriormente, calcular la capacidad de carga admisible.

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

5.4.2 Cálculo del ángulo de fricción interna

Para determinar el ángulo de fricción interna de los suelos de cimentación, existen diversas fórmulas empíricas propuestas por diversos autores, por mencionar algunos autores tenemos: Dunham, Osaki (1959), Muromachi (1974), Peck (1974), Das (1995) y Katanaka - Uchida (1996). Para el caso de la ciudad de Ite, se empleó la relación experimental propuesta por OSAKI (1959), debido a que, es la más usada internacionalmente y sus resultados son conservadores, respecto a los otros autores antes mencionados (Tabla 8).

Tabla 8: Cálculo del ángulo de fricción interno, usando valores del SPT.

ENSAYO	N_{SPT} corregido	Ángulo de fricción interna (Φ_{NSPT})	N_{SPT} corregido	Ángulo de fricción interna (Φ_{NSPT})
DPL-06	16.94	33.40	15.73	32.70
DPL-07	20.08	35.00	---	---
Profundidad del ensayo	1.00 m -1.20 m		1.30 m - 1.50 m	

De acuerdo a los datos de la Tabla 8 y la Tabla 9, los suelos identificados de la ciudad de Ite son granulares (arenas de grano medio a grueso), el ángulo de fricción varía de 32.70° a 33.40° entre 1.00 m. – 1.20 m. y 35° a entre 1.30 m. – 1.50 m., por tanto los

suelos poseen compacidad relativa media.

Tabla 9: Compacidad relativa de los suelos y ángulo de fricción interna en base al N_{SPT} (Adaptado de Crespo V. 2014).

Compacidad Relativa de Suelos Granulares			Consistencia en Suelos Cohesivos		
Valor de N_{SPT}	Compacidad Relativa	Angulo de fricción interna (ϕ)	Valor de N_{SPT}	Consistencia	Angulo 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°

Finalmente, se adjunta en los anexos, la ficha resumen de cada uno de los ensayos realizados en campo y sus respectivos valores de ángulo de fricción interna (Figura 38).

5.5. Clasificación de Suelos SUCS

En base a la información geotécnica recopilada de las calicatas, posteos y DPL, realizados en la ciudad de Ite, los resultados obtenidos de los ensayos granulométricos y de plasticidad, se ha identificado 05 tipos de suelos, los mismos que han sido agrupados haciendo uso del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), ver Tabla 10 y Figura 39.

Suelo tipo SP: Arena mal graduada con gravas con 1.13 % contenido de humedad, constituyen suelos semicompactos, no presentan plasticidad (debido a la escasa presencia de material fino). Abarcan el 25 % de la zona de estudio y se identificaron en el A.H. Las Vilcas y Pampa Baja en las calicatas (C-03, C-05 y C-06), así como en los posteos (P-1, P-02 y P-03) y Pampa Alta en el posteo (P-06).

Suelo tipo SM: Arena con limo, con contenido de humedad de 1.58 %, por lo cual se considera que su capacidad de retención (permeabilidad) es baja, son suelos semicompactos a sueltos, no presentan plasticidad. Estos suelos se reconocen en el sector Pampa Alta en la calicata(C-02) y posteos (P-04, P-05, P-08 y P-09) ocupando el 48 % del área de estudio.

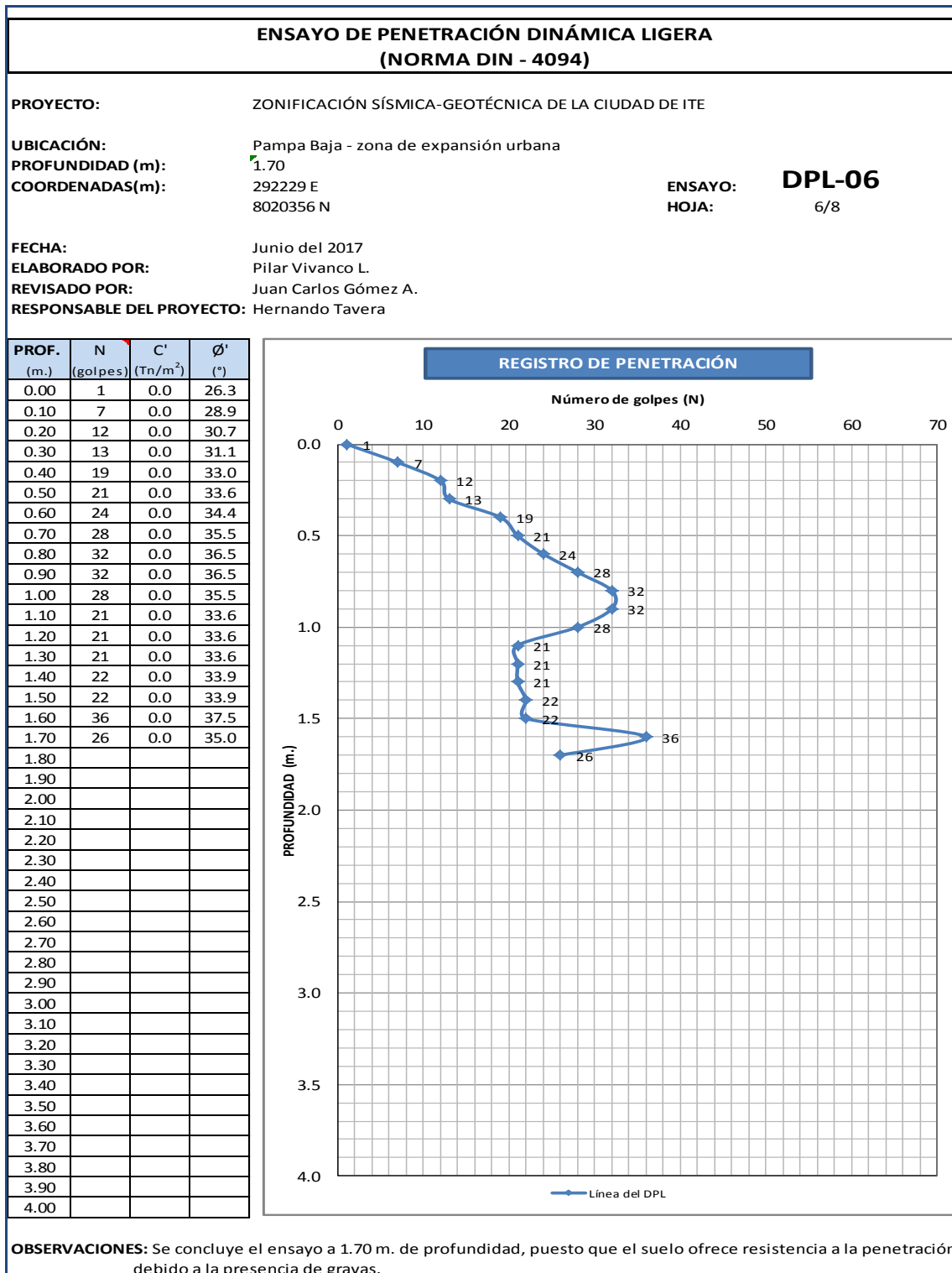


Figura 38: Diagrama de correlación entre el número de golpes del DPL y el número de golpes del SPT y el cálculo de ángulo de fricción interna.

Tabla 10: Clasificación SUCS de los suelos de las seis (06) calicatas elaboradas en la ciudad de Ite.

Calicata	Profundidad (m)	Nivel freático a (m)	Gravas % (>4.76 mm)	Arenas % (>0.074 mm, <4.76 mm)	Finos % (<0.074 mm)	Límite Líquido (%)	Límite Plástico (%)	Índice Plástico	Contenido de Humedad (%)	Clasificación SUCS	Denominación
C - 01	2.00	N.P.	82.00	16.50	1.50	N.P.	N.P.	N.P.	1.40	GP	Grava mal graduada con arena
C - 02	2.50	N.P.	9.00	77.7	13.25	N.P.	N.P.	N.P.	0.55	SM	Arena limosa
C - 03	3.00	N.P.	38.9	58.2	2.97	N.P.	N.P.	N.P.	2.23	SP	Arena mal graduada
C - 04	3.00	N.P.	57.8	39.9	2.26	N.P.	N.P.	N.P.	2.19	GP	Grava mal graduada con arena
C - 05	3.00	N.P.	45.00	57.60	1.93	N.P.	N.P.	N.P.	2.43	SP	Arena mal graduada
C - 06	3.00	N.P.	7.80	88.50	2.43	N.P.	N.P.	N.P.	17.4	SP	Arena mal graduada

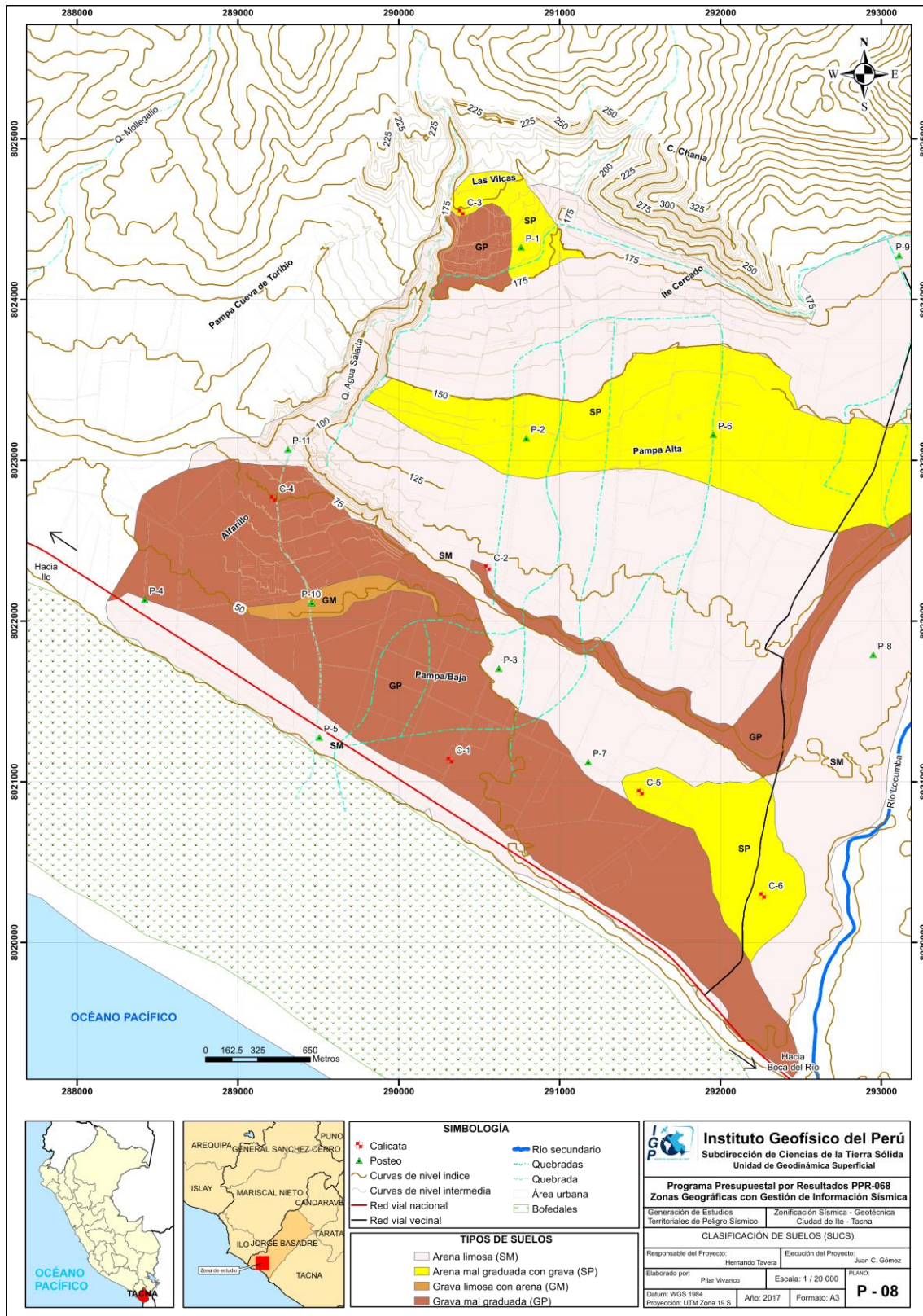


Figura 39: Mapa de clasificación SUCS para los suelos de la ciudad de Ite.

Suelo tipo GP: Conformado por gravas mal graduadas, el contenido de humedad varía de 1.40 a 2.23 %, constituyen suelos con grado de compactación medio, no presentan plasticidad (debido a la escasa presencia de material fino). Los suelos que pertenecen a este tipo ocupan el 25 % de la zona de estudio y se han identificado en el A.H. Alfarrillo en las calicatas (C-04) Pampa Baja (C-01 y C-04) y en los posteos (P-07).

Suelo tipo GM: Conformado por gravas mal graduadas con contenido de limo, constituyen suelos con grado de compactación medio a bajo, no presentan plasticidad. Los suelos que pertenecen a este tipo ocupan el 2 % de la zona de estudio y se han identificado en el A.H. Afarillo en el posteo (P-10).

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.

De las seis (06) muestras extraídas de campo, dos (02) se enviaron al laboratorio de suelos y las restantes se analizaron en el IGP. Los resultados del ensayo se adjuntan en el Tabla 11.

De los resultados obtenidos anteriormente se evidencia que, los suelos presentan cohesión baja ($0.06 - 0.12 \text{ kg/cm}^2$) y los valores del ángulo de fricción interna comprenden valores entre 23° y 27° aproximadamente. Propiedades características suelos granulares (arenas mal graduadas con contenido de gravas y finos).

Tabla 11: Valores obtenidos del ensayo de corte directo (NP, no presenta datos).

Muestra	Ángulo de fricción Interna del Suelo (ϕ)	Cohesión aparente del suelo (Tn/m^2)	Densidad Natural (Tn/m^3)
C-01	---	---	---
C -02	26.63	0.06	1.63
C -03	23.90	0.12	1.90
C -04	---	---	---
C -05	23.95	0.12	1.94
C -06	23.89	0.10	1.83

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

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

5.7.1. Carga última (q_u)

Es la presión última por unidad de área de la cimentación soportada por el suelo, en exceso de la presión causada por el suelo alrededor al nivel de la cimentación (Amézquita, et al). Para determinar la carga última se usaron los resultados de los ensayos de corte directo y en base al N_{SPT} (ángulo de fricción y la cohesión), datos que se usaran con la fórmula general de Terzaghi (1943), a través de la siguiente expresión (Tabla 13):

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

Donde:

C: cohesión

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

N_c , N_q , N_γ : Factores de carga, Tabla 12.

Tabla 12: Tabla de factores de carga, modificado por Terzaghi (Braja, 2007).

TERZAGHI (según Kumbhojkar, 1993)				Modificado por TERZAGHI			
Ángulo Fi	Nc	Nq	Ng	Ángulo Fi	Nc	Nq	Ng
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, así como también para profundidad de cimentación de 1.50 m y ancho de zapata de 1.00 m. Los resultados de capacidad de carga admisible de los 04 tipos de suelos analizados se presentan en las Tablas 13 y 14.

Tabla 13: Capacidad de carga admisible de dos (04) muestras extraídas en la ciudad de Ite.

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)
CI-01	8.18	2.73	10.96	3.65
CI-02	2.25	0.75	2.77	0.92
CI-03	2.95	0.98	3.66	1.22
CI-04	5.76	1.92	7.79	2.60
CI-05	2.81	0.94	3.48	1.16
CI-06	2.53	0.84	3.00	1.00
DIMENSIONES DE CIMENTACIÓN	Profundidad: 1.00 m y ancho:1.00		Profundidad: 1.50 m y ancho:1.00	

Tabla 14: Capacidad de carga admisible en base a los ensayos de DPL en la ciudad de Ite.

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 - 06	3.32	1.11	10.83	3.61
DPL - 07	6.73	2.24	----	----
DIMENSIONES DE CIMENTACIÓN	Profundidad: 1.00 m y ancho:1.00		Profundidad: 1.50 m y ancho:1.00	

De los resultados citados anteriormente y tomando en cuenta la Tabla 15, se ha determinado que, la zona urbana de la ciudad de Ite 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.

Tabla 15: Rango de capacidad de carga admisible.

Capacidad Carga Admisible (kg/cm ²)	Denominación
< 1.0	Muy Baja
1.0 - 2.0	Baja
2.0 - 3.0	Media
> 3.0	Alta

5.7.2. Tipos de capacidad de carga admisible

En la localidad de Ite se han identificado los siguientes tipos de capacidad de carga admisible (Figura 40):

Capacidad de carga admisible muy baja: Comprende rangos de capacidad de carga admisible menores a 1.00 kg/cm^2 , se encuentran representado por los tipos de suelos arena limosa (SM) hasta una profundidad de 1.50 m. Representan el 60% de la ciudad de Ite, se han identificado en Pampa Baja.

Capacidad de carga admisible baja: Comprende rangos de capacidad de carga admisible entre $1.00 - 2.00 \text{ kg/cm}^2$, se encuentran representado por los tipos de suelos gravas limosas (GM). Arenas mal graduadas (SP), arenas arcillo-limosas (SP-SM), con grado de compactación bajo hasta 1.50 m de profundidad. Representa el 10 % del área de estudio. Se identificaron en los suelos del sector Pampa Alta, Pampa Baja, A.H. Alfarillo y en el centro urbano hasta una profundidad de 1.00 m.

Capacidad de carga admisible media: Comprende rangos de capacidad de carga admisible entre 2.00 y 3.00 kg/cm^2 , se encuentra representado por el tipo de suelos arenas mal graduadas a partir de una profundidad de 1.50 m. Se han identificado en el A.H. Alfarillo, abarcan el 5% de la zona de estudio.

Capacidad de carga admisible alta: Comprende rangos de capacidad de carga admisible $>3.00 \text{ kg/cm}^2$, se encuentra representado por el tipo de suelos arenas (SP) con grado de compactación medio a partir de 1.50 m. de profundidad y por gravas mal graduadas (GP). Representa menos del 15% del área de estudio. Se identificó en el sector Pampa Baja (zona de expansión).

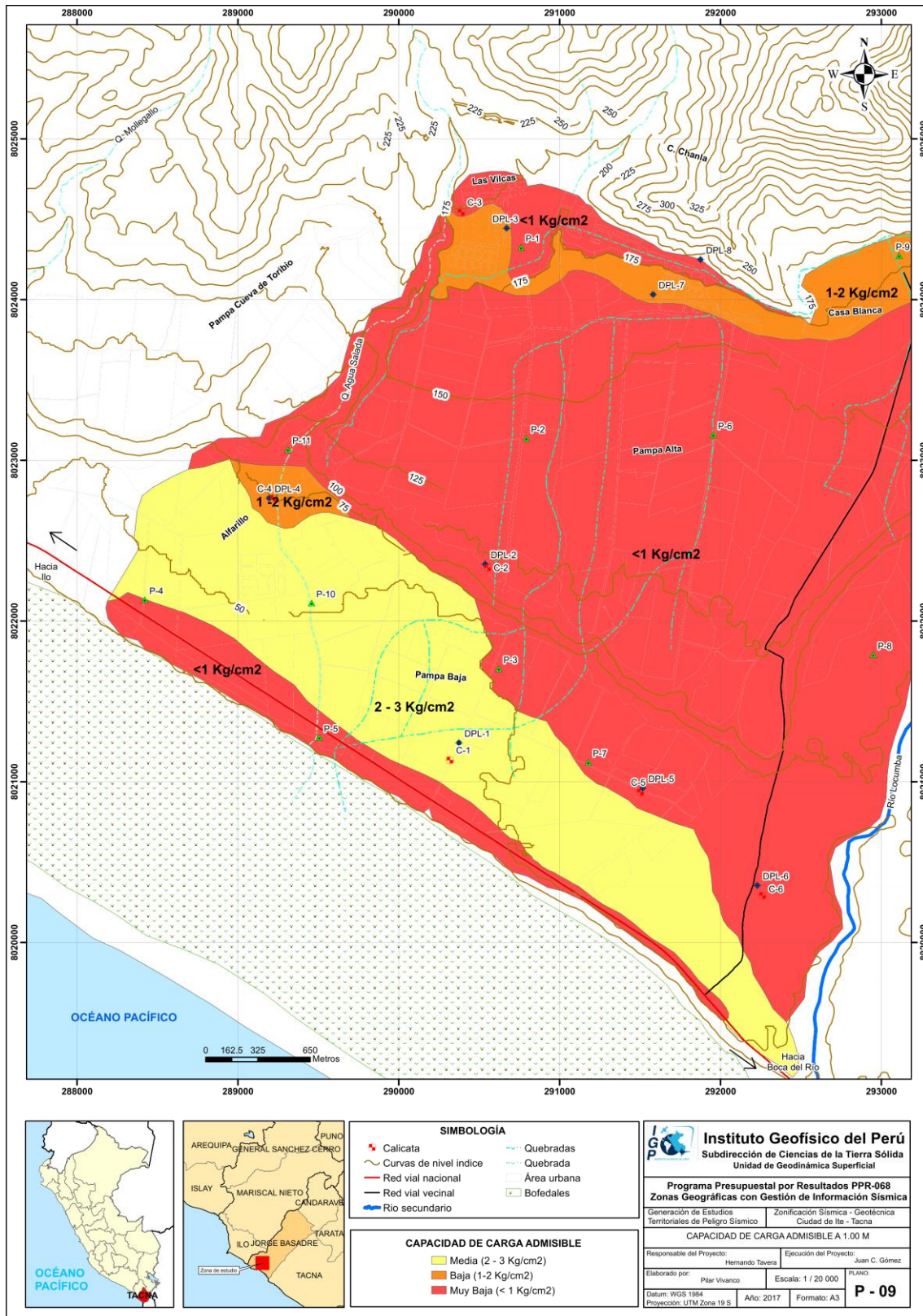


Figura 40: Mapa de capacidad de carga admisible a una profundidad de 1 metros para la ciudad de Ite.

CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA DE LA CIUDAD DE ITE

CONTENIDO

1. METODOLOGÍA

- 1.1. Razones espectrales (H/V)
- 1.2. Análisis multicanal de ondas superficiales (MASW)
- 1.3. Tomografía de resistividad eléctrica (ERT)

2. RECOLECCION DE DATOS

- 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 INTERPRETACION

- 3.1. Estudio sísmico con la Técnica H/V
- 3.2. Perfiles de velocidad de ondas de corte Vs
- 3.3. Periodos dominantes
- 3.4. Estudio eléctrico con la Técnica ERT

4. ZONIFICACION GEOFISICA

- 4.1. Mapa de Zonificación Geofísica – Geotécnica

CONCLUSIONES

1. METODOLOGÍA

Para obtener el Mapa de Zonificación Geofísica – Geotécnica para el área urbana de la ciudad e Ite se ha seguido la siguiente metodología.

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. Para la aplicación de esta técnica se obtiene registros de vibración ambiental y se procede a construir las razones espectrales H/V que consiste en obtener el cociente de los espectros de Fourier de las componentes horizontales entre la vertical (Nakamura, 1989), a fin de identificar las frecuencias predominantes y amplificaciones máximas relativas que caracterizan al tipo de suelo presente en el área de estudio. Estas características son definidas por las condiciones geológicas y geomorfológicas de las primeras decenas de metros por debajo de la superficie. Debe entenderse que la variación de las propiedades físicas de cada capa estratigráfica superficial de diferente espesor, geometría y composición litológica, causaran o no, la amplificación de las ondas sísmicas incidentes, propiedad que es utilizada para conocer las características físicas del suelo.

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

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

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

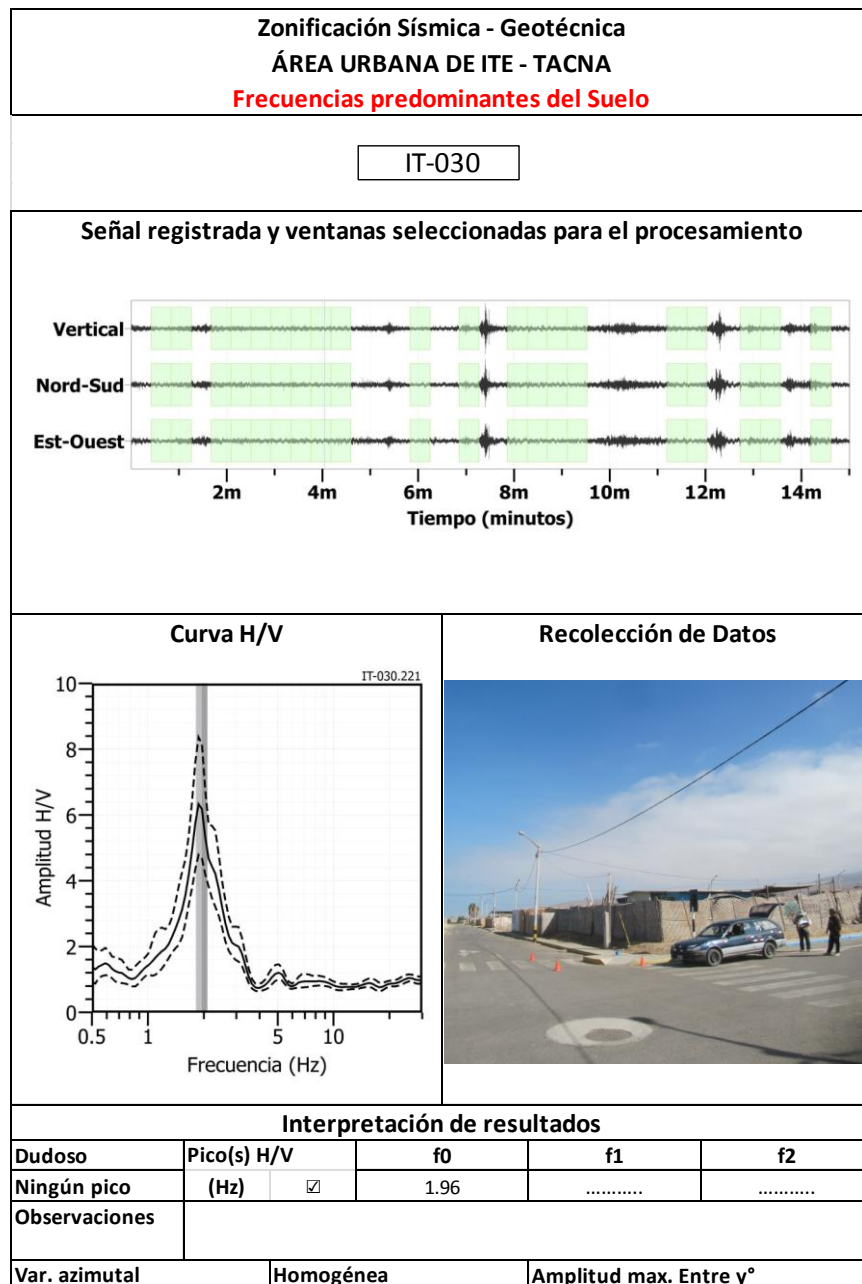


Figura 1: Ejemplo de la ficha H/V para el punto IT-030 en la cual se recopila la información registrada y analizada. Arriba, señal registrada; Medio; razón espectral (H/V) en línea gruesa y su desviación estándar en línea discontinua y Abajo; resultados.

Interpretación: Para la interpretación de los resultados se dispone de mapas geológicos, geomorfológicos a fin de correlacionar resultados; en el análisis de la información 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).

1.2. Análisis Multicanal de ondas Superficiales (MASW)

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

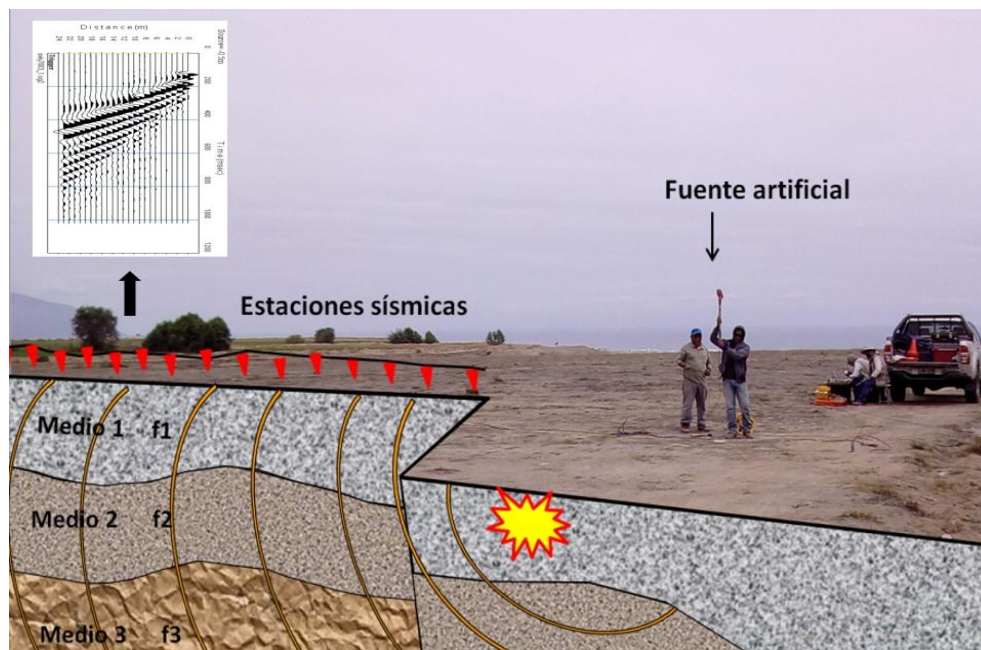


Figura 2: Generación de ondas Rayleigh con fuente artificial y su respectiva curva de dispersión.

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).

Procesamiento: Consiste en aplicar la transformada rápida de Fourier (FFT) en los registros sísmicos obtenidos para cada punto de disparo (Reynolds, 2011), lo cual permite la transformación de los datos 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 pertenecientes a un mismo perfil MASW son sometidas de forma individual a un proceso matemático de inversión con el fin de obtener los perfiles Vs en una dimensión (1D), para ello se considera como parámetros de entrada la profundidad (30 m) y el número de capas (15 capas). Finalmente, los perfiles Vs son promediados obteniendo un perfil unidimensional 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 3, 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 Vs (línea verde) que considera el promedio final de los perfiles obtenidos post inversión, los círculos de color verde representa la inversión de la curva de dispersión del dominio de frecuencia a profundidad. Esta curva permite verificar el nivel de confiabilidad o la profundidad mínima y máxima de investigación (área sombreada), en este caso; el perfil presenta una capa sísmica y un semiespacio, donde, el nivel de confiabilidad es de 2 a 30 metros de profundidad.

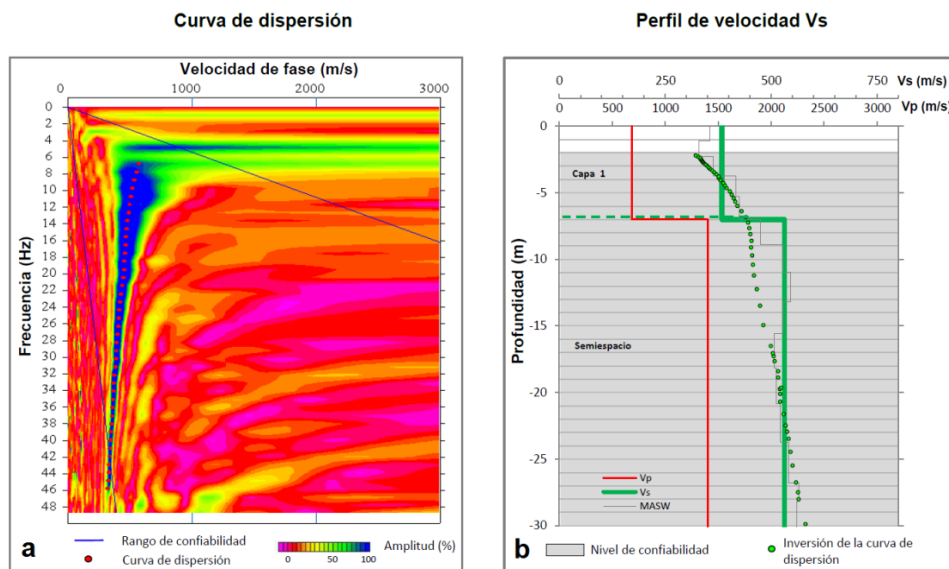


Figura 3: a) Curva de dispersión y b) perfil de velocidad obtenido a partir del ensayo realizado en la Av. Mariano Ignacio Prado.

Interpretación: Para el análisis e interpretación de los resultados obtenidos en este ítem 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 con colores, los cuales son mostrados en la Tabla 1.

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

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

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

1.3. Tomografía de Resistividad Eléctrica (ERT)

La tomografía eléctrica permite obtener información sobre las propiedades físicas del subsuelo mediante la evaluación del parámetro de resistividad al paso de la corriente eléctrica. Esta propiedad permite conocer la distribución de los valores de la resistividad del subsuelo, define o delimita los diferentes estratos del con mayor o menor contenido de agua, sales disueltas presentes en las fracturas de las rocas y en la porosidad del suelo.

La tomografía eléctrica es un método convencional que se basan en introducir en el terreno, un campo eléctrico de corriente continua mediante dos electrodos de corriente (A y B) conectados a un miliamperímetro, mientras que con los otros dos electrodos (M y N), que están conectados a un milivoltímetro donde se medirá cual es la diferencia de potencial eléctrica ΔV entre esos dos puntos (Figura 4).

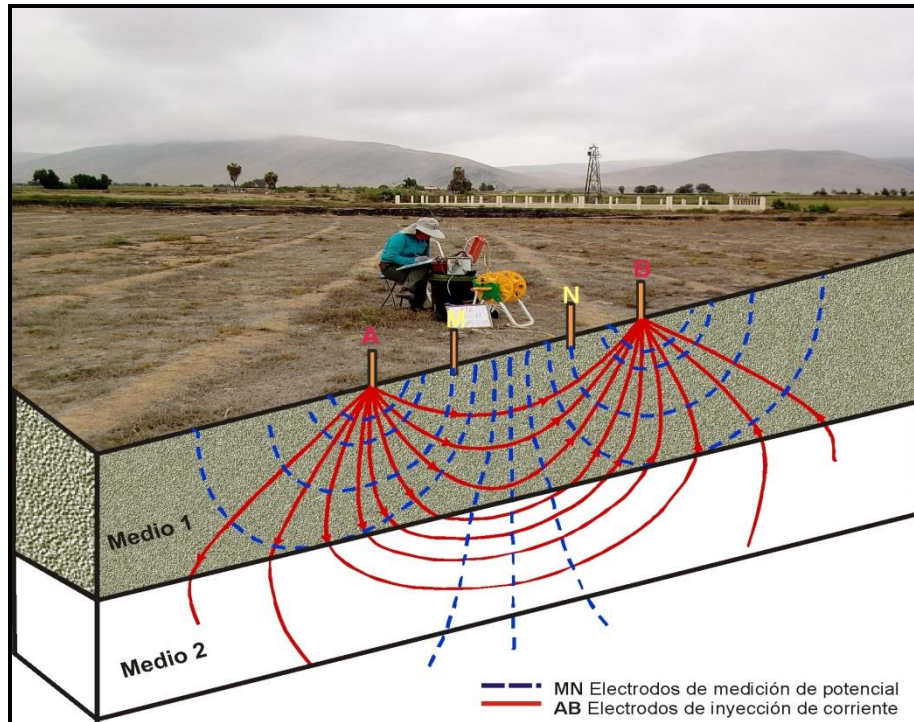


Figura 4: Principio del método de resistividad (LE05-IT).

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 7. La profundidad de investigación depende de la separación entre electrodos, por ejemplo con una separación de electrodos de 1 metro, tendríamos 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.

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

Finalmente, los resultados son presentados mediante Sección de Resistividad 2D (Resistividad) que relacionan la distancia - profundidad con la distribución de la resistividad real del subsuelo y secciones de interpretación donde se detallan las posibles estructuras que conforman el subsuelo, las zonas saturadas, los cambios de litología que

podiera existir y otras estructuras que sean de utilidad para el cliente o interesado del estudio.

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

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

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

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

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

- Bajo Resistivo (color celeste): Comprende valores entre los 20 y 100 ohm.m. Según Loke (2001), estas resistividades corresponden a suelos saturados de agua y su variación depende de la relación existente entre la resistividad, porosidad y la

permeabilidad de los materiales. 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.

Para el presente estudio se han resumido el rango de resistividades en la Tabla 2.

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

2. RECOLECCION DE DATOS

En este estudio se ha realizado la aplicación de métodos sísmicos y geofísicos, para lo cual se han utilizado diferentes tipos de registros y arreglos. Para aplicar la técnica de razones espectrales (H/V) se utiliza registros de vibración ambiental, mediante los arreglos sísmicos lineales (MASW) se obtiene registros sísmicos y los métodos eléctricos (ERT) los valores de resistividad del suelo. A continuación se describe brevemente la toma de datos.

2.1. Registro de vibración ambiental H/V

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



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

Para la aplicación de esta técnica se procedió, sobre el mapa catastral de la ciudad de Ite, a definir la distribución y el número de puntos para el registro de vibraciones ambientales teniendo en cuenta la información geológica y geomorfológica de la zona de estudio. Cada uno de los puntos de registro de vibración ambiental obtenidos en campo, tienen una duración de 15 minutos, lo cual permite disponer de buena cantidad de información para su posterior análisis. En el área urbana de Ite, se consideró 100 registros de vibración ambiental obtenidos de manera puntual, distribuidos según la Figura 6.

En la Figura 7, se muestra la disposición del equipo sísmico al momento del registro de información, además de ejemplos de señales de vibración ambiental. La señal

registrada en el punto IT-78 presenta bajos niveles de ruido; mientras que, la señal en IT-48 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.

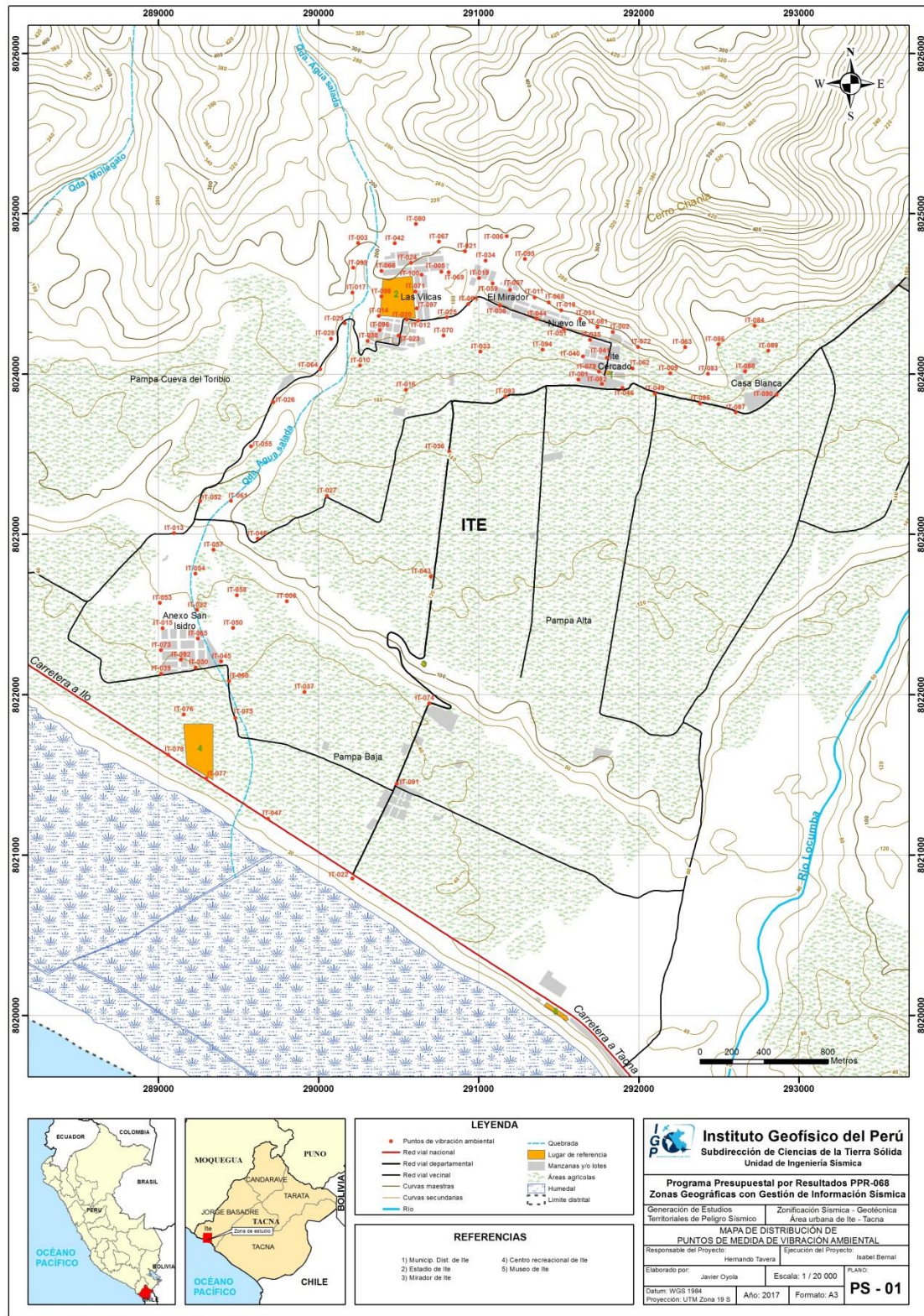
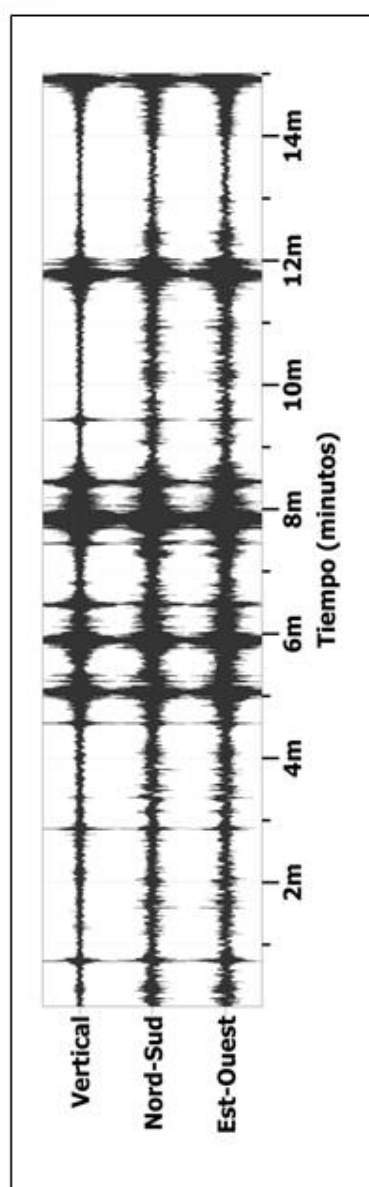


Figura 6: Mapa catastral del área urbana de Ite con la distribución de puntos donde se tomaron los registro de vibración ambiental.

IT - 78



IT - 48

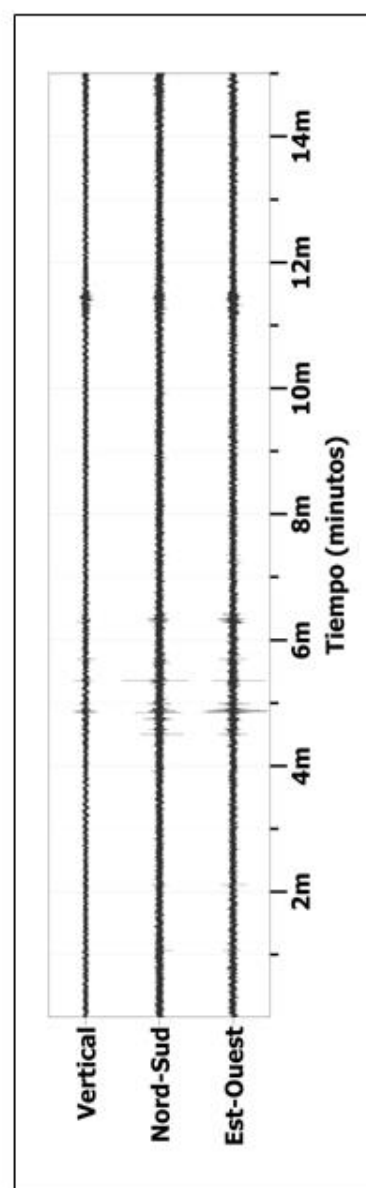


Figura 7: Ejemplos de la disposición del equipo sísmico para el registro de vibraciones ambientales. Ejemplos de registros de vibración ambiental obtenidos sobre una zona con ruido transitorio (IT-78) y otro con ruido de fondo constante (IT-48). Obsérvese las diferentes amplitudes de la señal registrada 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, ver Figura 8. Los parámetros de registro, tales como la geometría del tendido, espaciamiento entre geófonos, fue variable ya que dependió de la geomorfología de la zona de estudio y accesibilidad. La frecuencia de muestreo fue de 4000 Hz (0.25 ms) con un pre-trigger de -0.1s y una longitud de registro de 2 segundos.



Figura 8. Equipos utilizados en la toma de datos de MASW realizado en la Asoc. Los Ajizales.

En el distrito de Ite se realizó 08 arreglos sísmicos; en la Figura 9, se presenta el mapa con la distribución espacial de las líneas sísmicas codificadas como: LS01-IT, LS02-IT,... y en la Tabla 3 se presentan las coordenadas de cada línea.

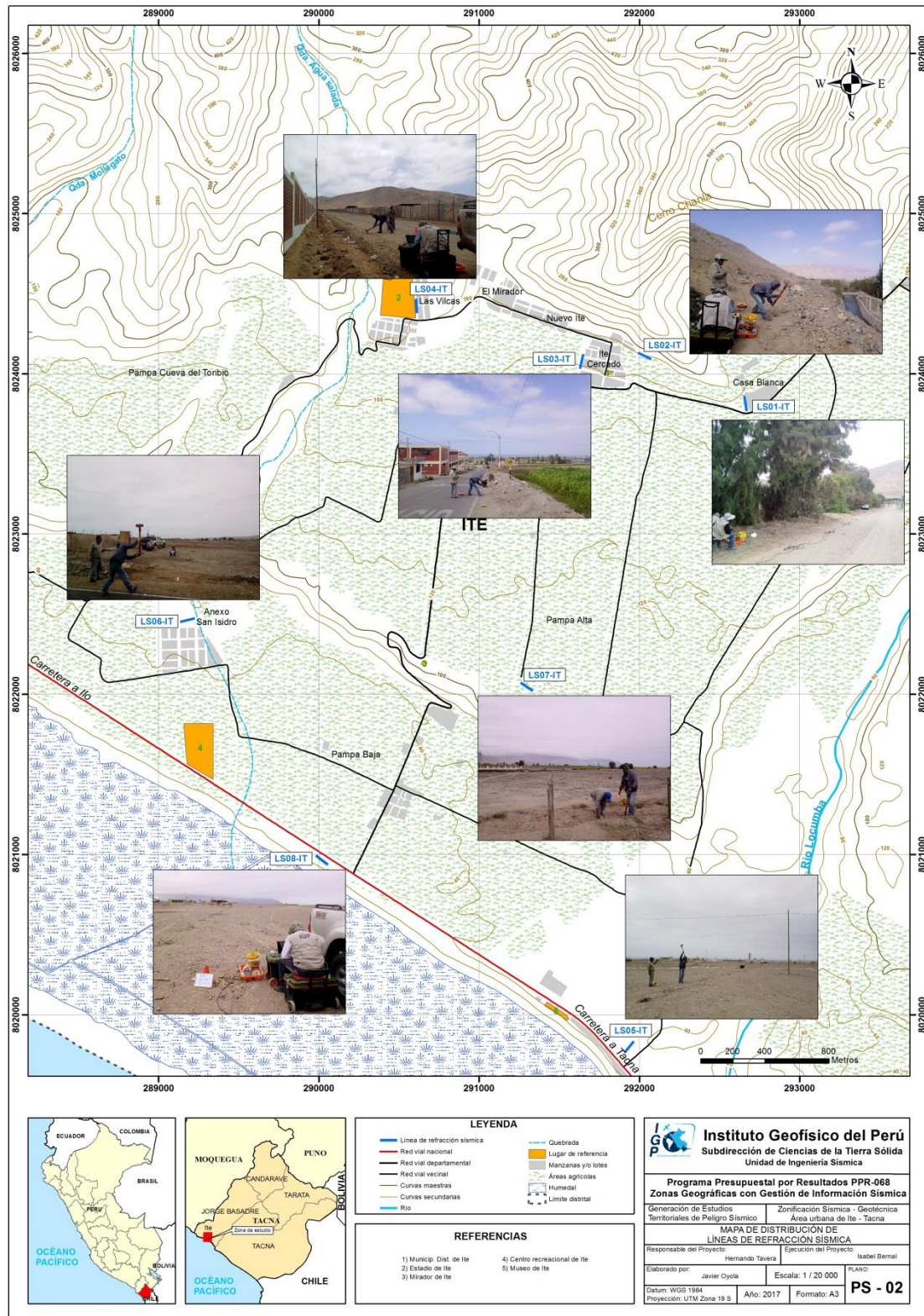


Figura 9: Mapa del distrito de Ite y distribución espacial de las líneas sísmicas codificadas como: LS01-IT,..., LS08-IT.

Tabla 3: Coordenadas y características de las Líneas Sísmicas realizadas en Ite.

Línea Sísmica	Este (m)	Norte (m)	Cota (m)	Espaciamiento entre geófonos (m)	Longitud total (m)
LS01-IT	292654	8023862	161	4	92
	292669	8023767	157		
LS02-IT	292073	8024090	188	4	92
	291992	8024131	186		
LS03-IT	291649	8024123	158	4	92
	291629	8024032	152		
LS04-IT	290606	8024468	192	4	92
	290611	8024378	188		
LS05-IT	291964	8019833	48	4	92
	291908	8019761	47		
LS06-IT	289134	8022451	53	4	92
	289226	8022473	55		
LS07-IT	291335	8022021	111	4	92
	291259	8022072	112		
LS08-IT	290055	8020936	32	4	92
	289982	8020993	32		

Durante su adquisición se visualiza los datos sísmicos (sismogramas), a fin de verificar la calidad de la data y el nivel de ruido, tal como se observa en la Figura 10. 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 sentido geológico y completan la finalidad del estudio. El procesamiento de la información de MASW fue realizado en el programa de computación Seislmager.

En la Figura 11, como ejemplo se muestra la disposición del equipo y el registro sísmico obtenido para la línea sísmica LS06-IT, ubicado en el anexo San Isidro. 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 6 metros al final de la línea sísmica.

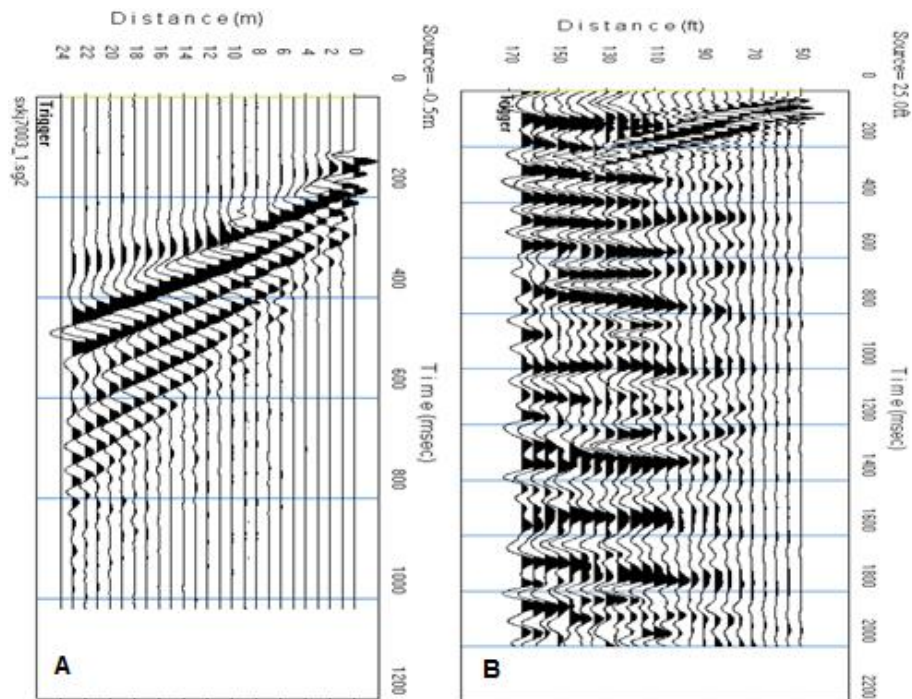


Figura 10: a) Registro sísmico con bajo contenido de ruido ambiental, es decir, alta calidad. b) Registro sísmico con alto contenido de ruido ambiental.

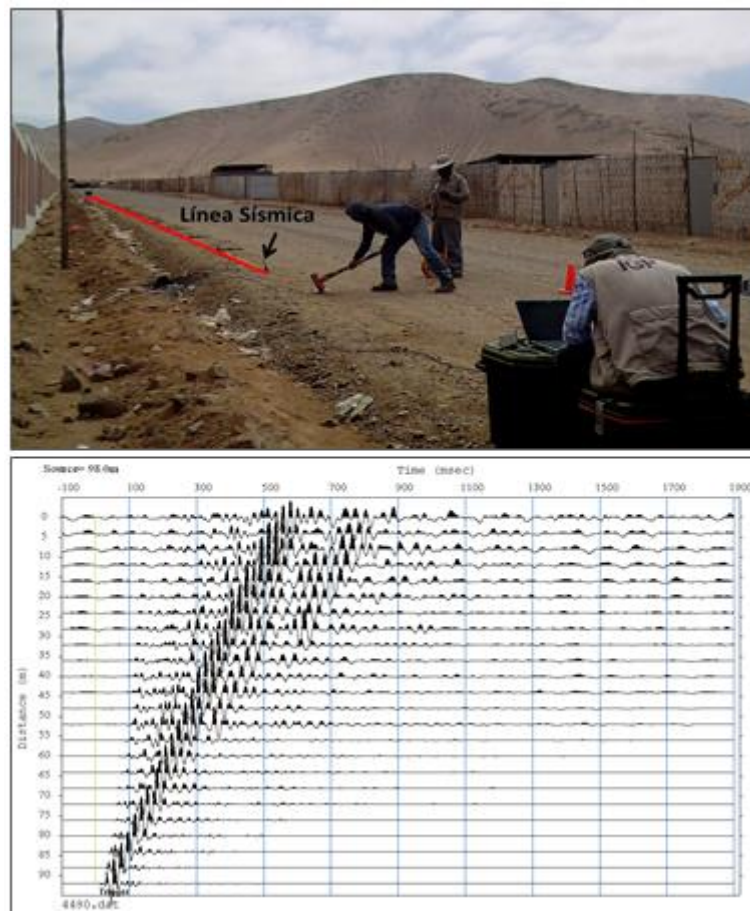


Figura 11: Disposición del equipo de adquisición por el método de MASW y el registro sísmico obtenido.

2.3. Registro de la Resistividad del suelo ERT

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

En el distrito de Moquegua se realizó 06 líneas de tomografía eléctrica (Figura 12) con el dispositivo polo-dipolo y la distribución de 30 electrodos. Para las líneas se consideró un espaciamiento de 10 metros, entre cada electrodo sobre un tendido longitudinal que variaba de 230 y 290 metros lo cual permitió tener alcances en profundidad del orden de los 40 metros.

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) realizadas en Ite.

Línea Eléctrica	Este (m)	Norte (m)	Cota (m)	Espaciamiento entre electrodos (m)	Longitud total (m)
LE01-IT	292202	8024043	201	10	290
	291932	8024162	193		
LE02- IT	291614	8023928	164	10	230
	291661	8024161	180		
LE03- IT	290585	8024674	209	10	290
	290609	8024382	195		
LE04- IT	289010	8022422	57	10	280
	289023	8022131	47		
LE05- IT	291414	8022084	116	10	290
	291133	8021990	112		
LE06- IT	289883	8021065	32	10	290
	290136	8020903	33		

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



Figura 12: Mapa del área urbana de Ite y la distribución espacial de las líneas de tomografía eléctrica codificadas como: LE01-IT, ..., LE06-IT.

- ✓ 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 13, se tienen la disposición de equipo eléctrico en campo y un ejemplo de la distribución de valores de resistividad en profundidad.

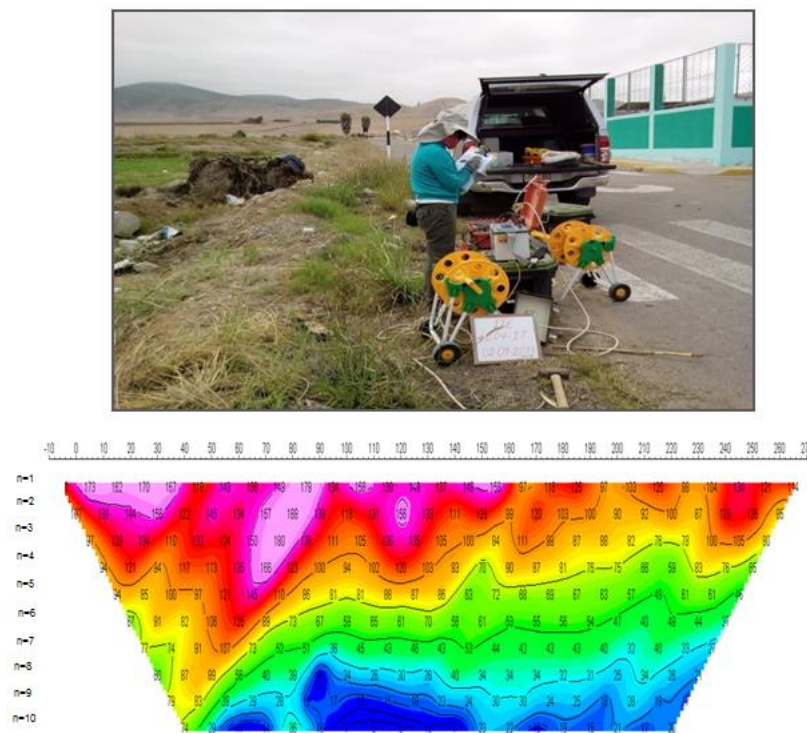


Figura 13: Disposición del equipo de adquisición por la técnica de ERT (LE04-IT) y el registro eléctrico obtenido en campo.

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 el área urbana de Ite.

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 100 puntos (Figura 6), la relación espectral de 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. Los resultados obtenidos de las razones espectrales H/V, permite definir dos rangos de frecuencias F_0 ($F \leq 3.0$ Hz) y $F1$ ($F > 3.0$ Hz), en razón que en algunos puntos de medición sobresalen dos picos de frecuencias con amplificaciones similares, lo cual sugiere que la respuesta dinámica de estos suelo es complejo. A continuación, se describe y analiza la distribución espacial de las frecuencias predominantes identificadas en la ciudad de Ite.

- **Frecuencia predominante F_0 :** En la Figura 14, se muestra el mapa con la distribución espacial de los valores de F_0 , donde predominan valores de entre 0.91 y 2.94 Hz. Hacia el Sur en las terrazas fluviales 1 y 2, Pampa Baja y Pampa Alta, estos valores se distribuyen de manera uniforme y con amplificaciones mayores a 3 veces; mientras que, en la zona urbana de Ite correspondiente al C.P. Las Vilcas, Asoc. Viv. El Mirador y Asoc. Viv. Nuevo Ite, y Anexo Casa Blanca, F_0 se presenta de manera dispersa en el extremo Norte de la zona urbana Ite y sobre el Cerro Chanla.

En la Figura 15, se muestran ejemplos de razones espectrales para los puntos IT-022(B), IT-074(M) y IT-091(O), ubicados al sur del Mirador de Ite, próximos a los

humedales, los suelos bajo estos puntos responden a frecuencias de entre 1.19, y 1.10 y 1.09 Hz con amplificaciones 4.15, 3.53 y 5.35 veces respectivamente. Los resultados de los puntos B, M y O sugieren que los suelos en el lugar se encuentran poco consolidados, ubicados sobre depósitos aluviales y con presencia de medios húmedos por la cercanía al sector de los humedales de Ite.

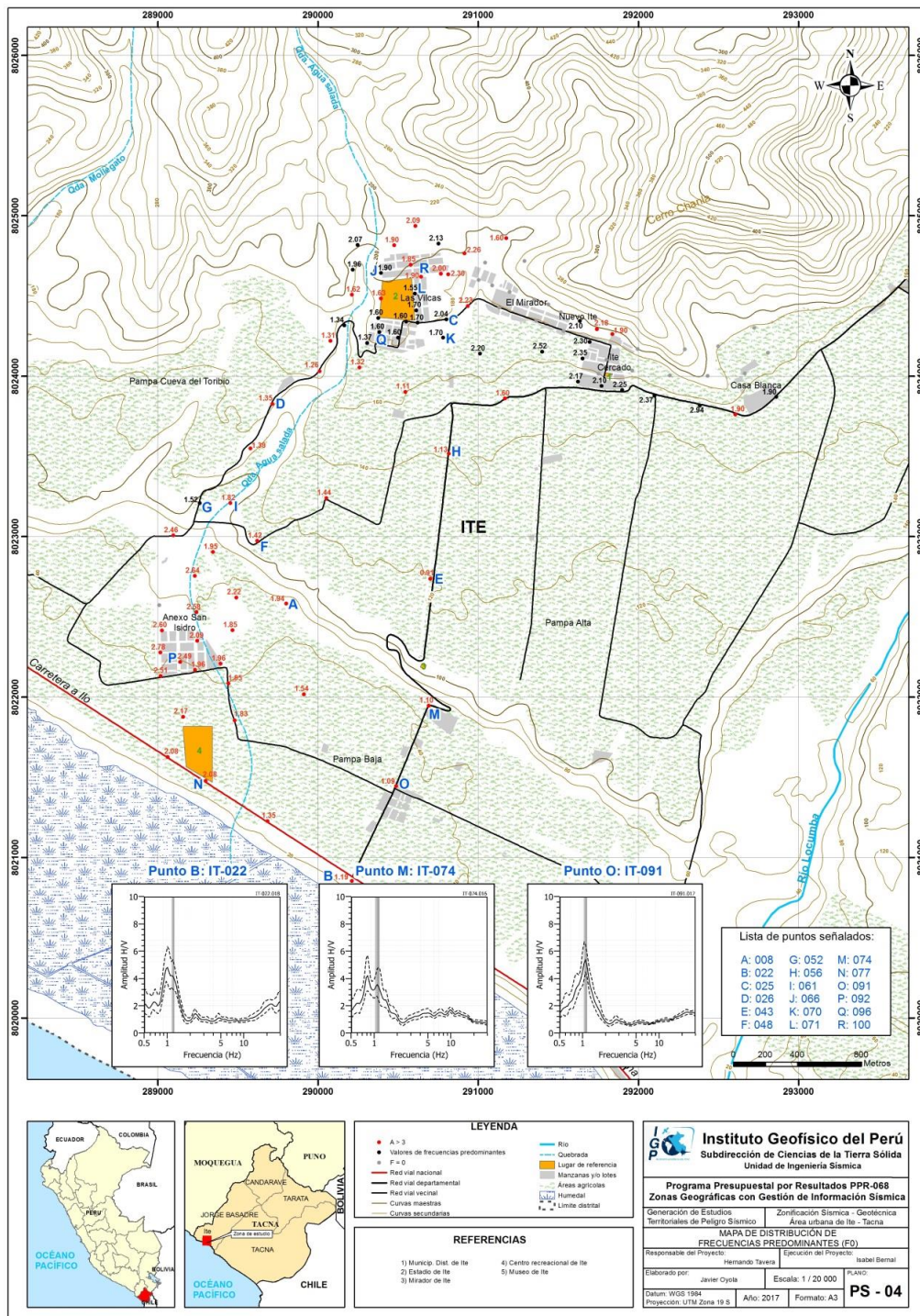


Figura 14: Mapa del área de estudio con la distribución espacial de las frecuencias predominantes F_0 ($F \leq 3.0\text{Hz}$). Las letras indican la ubicación de los gráficos que se están considerando en la Figura 15 como característicos de este rango.

Las razones (H/V) obtenidas para los puntos IT-008(A), IT-077(N) y IT-092(P), ubicados al sur de la zona urbana de Ite, en el Anexo San Isidro y en el Centro Recreacional de Ite, presentan frecuencias predominantes de 1.94, 2.08 y 2.49 Hz con amplificaciones de 4.51, 3.72 y 4.42 veces respectivamente. La mayoría presente una capa potente de material aluvial, en algunos puntos se adiciona un segundo pico con tendencia a mayores valores de frecuencia que representa a una capa superficial.

Los puntos IT-048(F), IT-052(G) y IT-061(I) ubicados al norte del Anexo San Isidro, próximos a la quebrada Agua Salada, presentan frecuencias predominantes de 1.42, 1.52 y 1.82 Hz con amplificaciones de 5.49, 2.99 y 3.24 veces respectivamente. Son pocos los puntos donde se identifica un solo pico que corresponda a F_0 , en la mayoría de puntos se adiciona un segundo pico con tendencia a mayores valores de frecuencia. Corresponde a la zona de transición de la terraza aluvial 1 a la terraza aluvial 2.

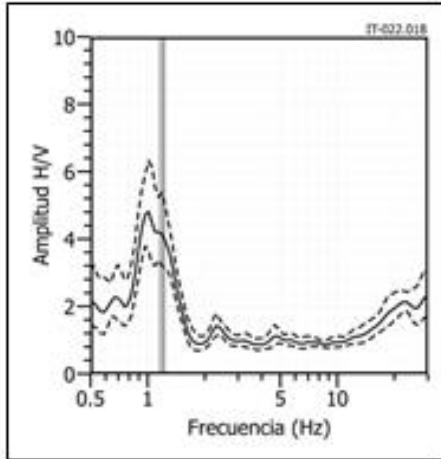
Los puntos IT-026(D), IT-043(E) y IT-056(H) se ubican en el sector de Pampa Alta, sector agrícola principalmente, presentan frecuencias predominantes de 1.35, 0.91 y 1.3 Hz con amplificaciones de 4.76, 5.74 y 5.29 veces respectivamente, esta zona presenta grandes valores de amplificación de la señal sísmica, lo que sugiere que los suelos son poco consolidados en superficie, correspondiendo a depósitos aluviales de las terrazas 1 y 2 poco consolidados desde superficie, siendo esta zona dinámicamente menos estable que la terraza aluvial 2.

Las razones (H/V) adquiridas para los puntos IT-070(K), IT-071(L) y IT-96(Q), ubicados al Sur del Estadio de Ite en el C.P. Las Vilcas, al oeste del área urbana de Pampa Alta, presentan frecuencias predominantes de 1.70, 1.55 y 1.60 Hz y amplificaciones de 2.48, 2.91 y 2.34 veces respectivamente, esta zona presenta capas de gran espesor de material poco consolidado, correspondiendo a depósitos aluviales.

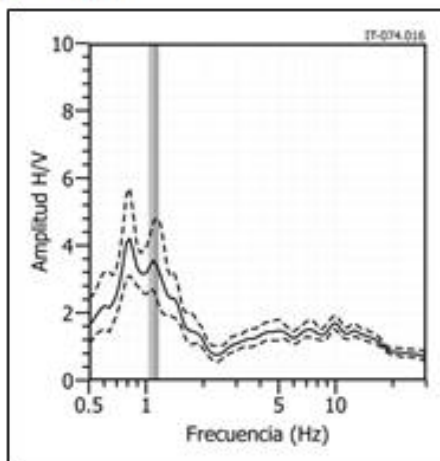
Asimismo, las razones espectrales (H/V) obtenidas para los puntos IT-025(C), IT-066(J) y IT-100(R) ubicados al Norte y al Este del Estadio de Ite, con frecuencias de 2.04, 1.90 y 1.90 Hz, presentan amplificaciones 2.57, 2.76 y 3.72 veces. Estos suelos son sensibles a una frecuencia mayor bien definida de 6.70 a 7.00 Hz con amplificaciones de hasta 2.23 veces, que corresponde a F_1 , asociado a material

de relleno poco consolidado. Excepto en el punto IT-025 donde el suelo presentaría una dinámica más estable.

IT - 022



IT - 074



IT - 091

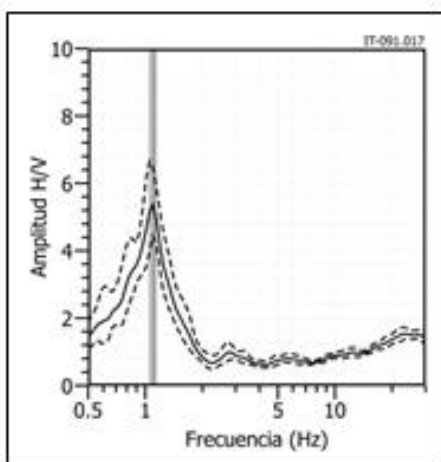
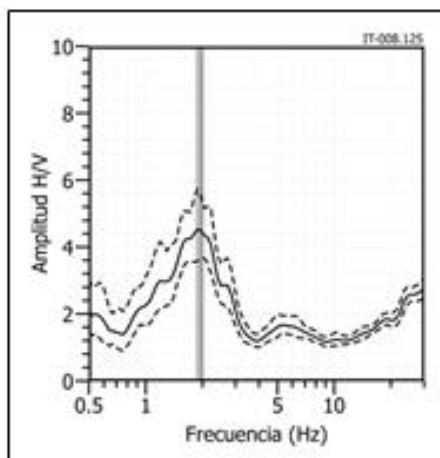
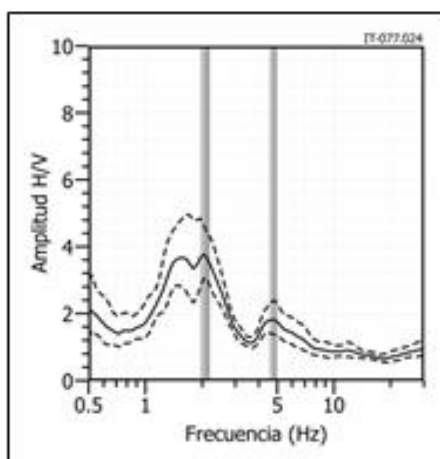


Figura 15: Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F_0 ($F \leq 3.0\text{Hz}$): Puntos IT-022(B), IT-074(M) y IT-091(O), ubicados en la zona urbana de Ite, al sur del Mirador de Ite en el sector de Pampa Baja. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

IT - 008



IT - 077



IT - 092

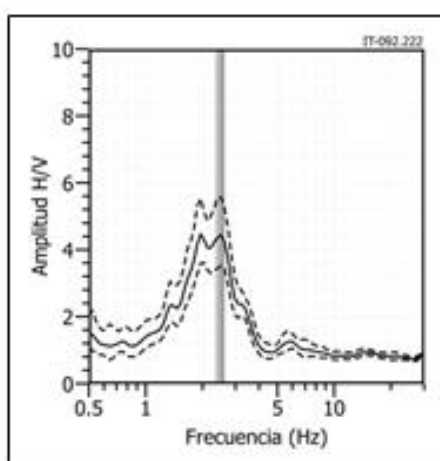
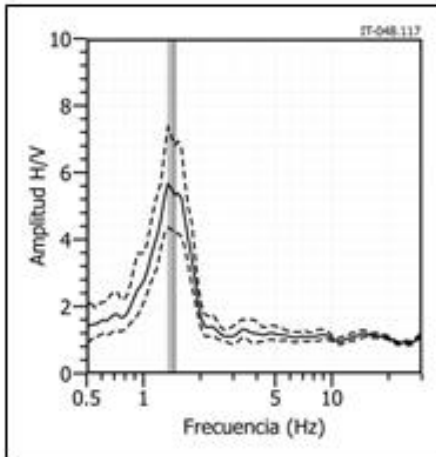
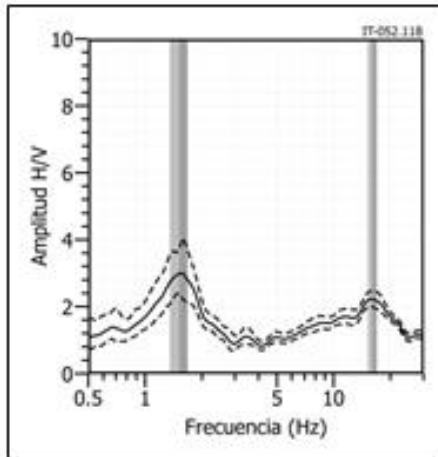


Figura 15: ...Continuación/ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F_0 ($F \leq 3.0\text{Hz}$): Puntos IT-008(A), IT-077(N) y IT-092(P), ubicados en la zona urbana de Ite, en los Anexos San Isidro y Pampa Baja. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

IT - 048



IT - 052



IT - 061

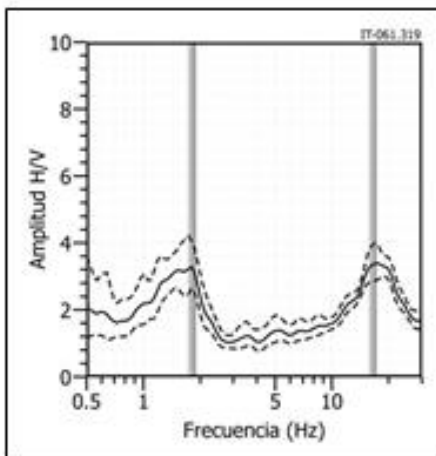
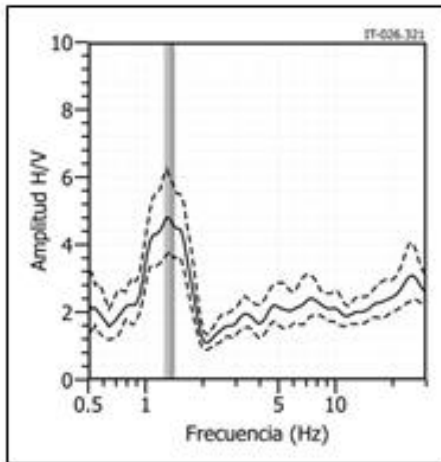
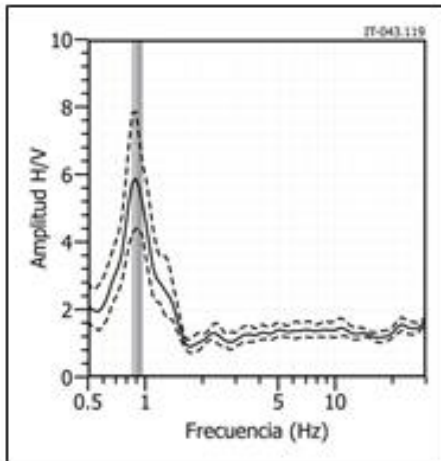


Figura 15: ...Continuación/ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F_0 ($F \leq 3.0\text{Hz}$): Puntos IT-048(F), IT-052(G) y IT-061(I), ubicados en la zona urbana de Ite, al Norte del Anexo San Isidro, por la Qda. Agua Salada. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

IT - 026



IT - 043



IT - 056

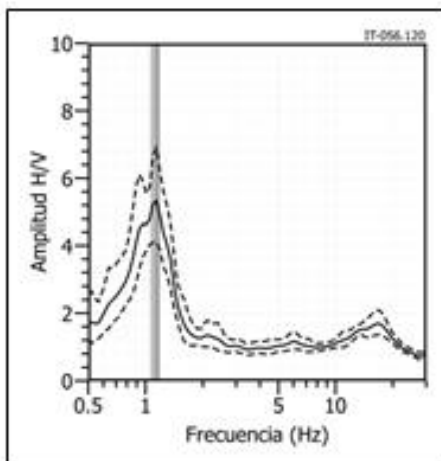
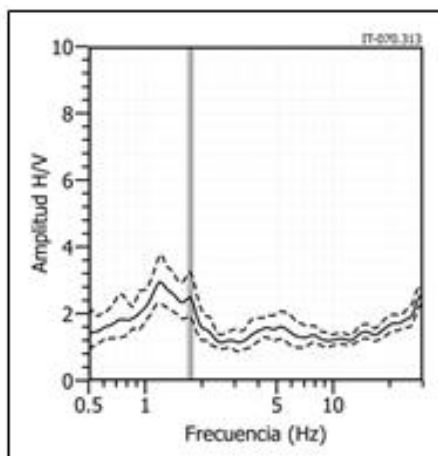
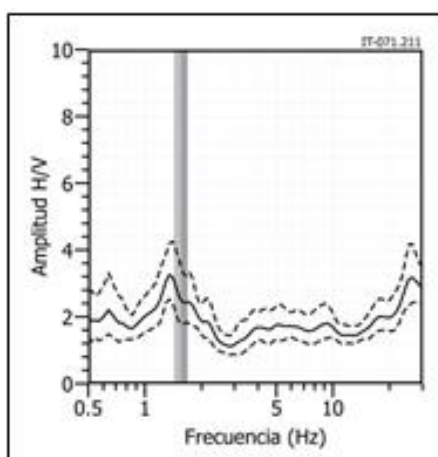


Figura 15: ...Continuación/ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F_0 ($F \leq 3.0\text{Hz}$): Puntos IT-026(D), IT-043(E) y IT-056(H), ubicados en la zona agrícola de Ite, en el Anexo Pampa Alta. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

IT - 070



IT - 071



IT - 096

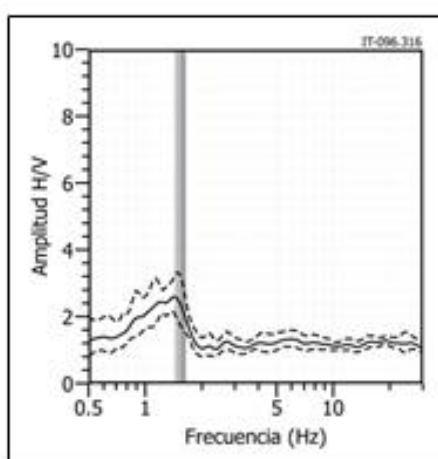
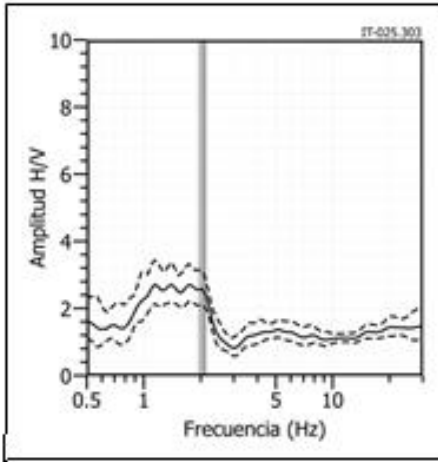
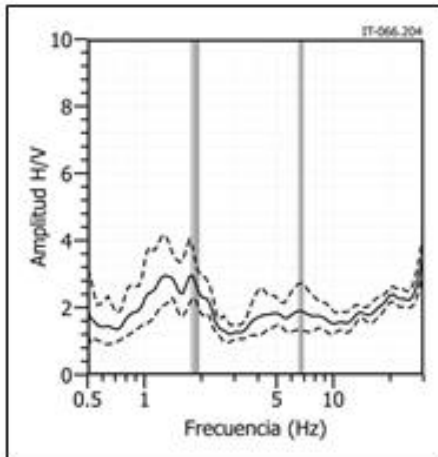


Figura 15: ...Continuación/ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F_0 ($F \leq 3.0\text{Hz}$): Puntos IT-070(K), IT-071(L) y IT-096(Q), ubicados en la zona urbana de Ite, en el extremo oeste del Anexo Pampa Alta y en el Anexo Las Vilca. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

IT - 025



IT - 066



IT - 100

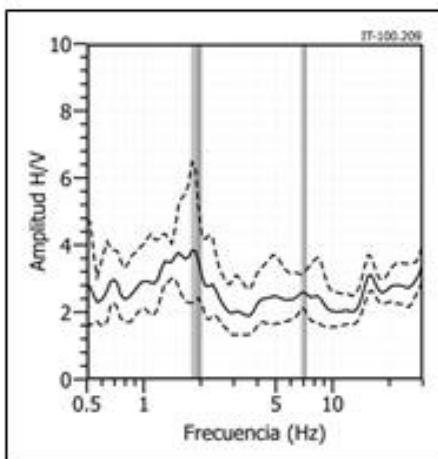


Figura 15: ...Continuación/ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F_0 ($F \leq 3.0\text{Hz}$): Puntos IT-025(C), IT-066(J) y IT-100(R), ubicados en la zona urbana de Ite, en el extremo oeste de los Anexos Pampa Alta y Las Vilca. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

- **Frecuencias predominantes F1:** En la Figura 16, se muestra la distribución espacial de las frecuencias predominantes F1 ($F > 3.0$ Hz). En el área urbana de Ite predominan frecuencias entre 3.2 a 11.5 Hz y en el piedemonte del cerro Chanla, frecuencias entre 10 a 24 Hz. Las amplificaciones mayores a 2 veces esta al norte del área urbana de Pampa Alta. En la Figura 17, se muestra ejemplos para este rango de frecuencias F1.

Las razones (H/V) para los puntos IT-009(A), IT-011(B) y IT-051(G), ubicados al norte de la zona urbana de Ite, presentan frecuencias predominantes de 23.34, 0.00 y 5.00 Hz con amplificaciones de 2.25, 0.00 y 1.20 veces respectivamente. IT-011 se ubica en el piedemonte del cerro Chanla, y su respuesta corresponde a suelos rígidos. Los resultados sugieren que los suelos se encuentran consolidados en comparación con el resto de los puntos analizados.

Los puntos IT-034(C), IT-035(D) y IT-085(J), ubicados en los A.H. El Mirador, A.H. Nuevo Ite y al oeste del Anexo Casa Blanca, IT-034 presenta frecuencia predominante de 5.00 Hz con amplificaciones máximas relativas de 1.68 veces respectivamente. Estos suelos son sensibles a una frecuencia menor bien definida de 2.3 a 2.9 Hz con amplificaciones de hasta 2 veces, que corresponde a F0.

Las razones (H/V) obtenidas para los puntos IT-041(E), IT-044(F) y IT-062(H) ubicados por el Ite cercado, A.H. Nuevo Ite y A.H. El Mirador, al norte del área urbana del Anexo Pampa Alta, próximo al Cerro Chanla, con frecuencias de 4.47, 4.30 y 7.00 Hz, presentan amplificaciones 1.71, 1.51 y 1.20 veces, hay presencia de grava, arenas y limos en esta zona.

Asimismo, los puntos IT-084(I), IT-086(K) y IT-088(L), ubicados en la parte norte del Anexo Casa Blanca al Este del área urbana del Anexo Pampa Alta, presentan un pico bien definido a frecuencias predominantes de 10.00, 11.51 y 10.00 Hz, con amplificaciones de 2.46, 2.01 y 2.45 veces, siendo esta zona dinámicamente más estable que las terrazas 1 y 2 de Ite, siendo los suelos consolidados en esta área.

La presencia de dos picos de frecuencia en algunas áreas de la ciudad de Ite evidencia la mayor complejidad en la respuesta de los suelos a pesar de presentar baja amplificación, a diferencia de suelos que presentan un pico bien definido con moderada amplificación que es el caso de la terraza aluvial 2 donde está ubicada

Pampa Alta, que a su vez evidencia una mayor flexibilidad de los suelos en este sector.

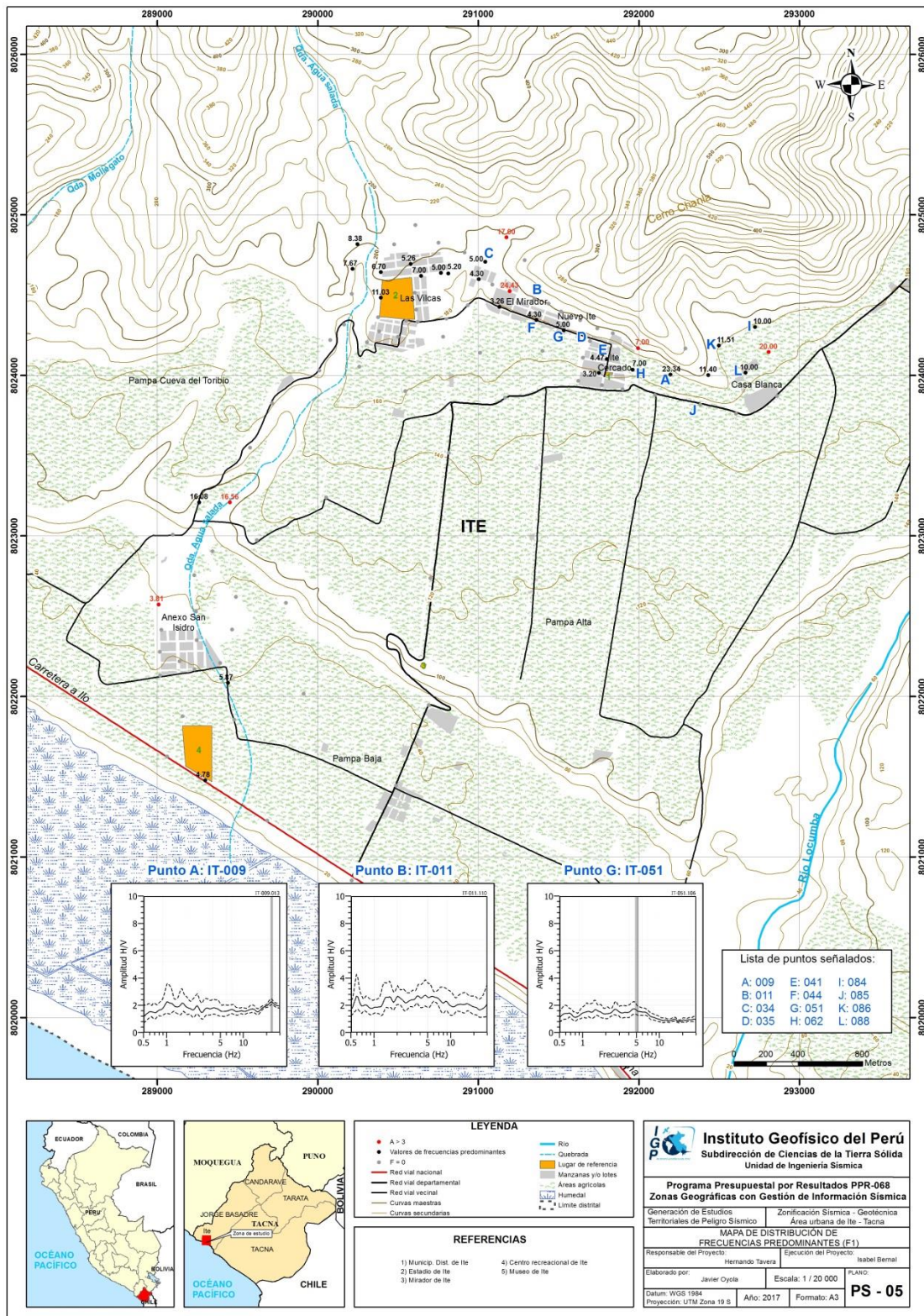
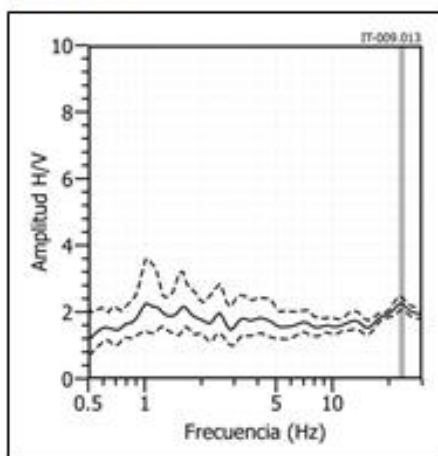
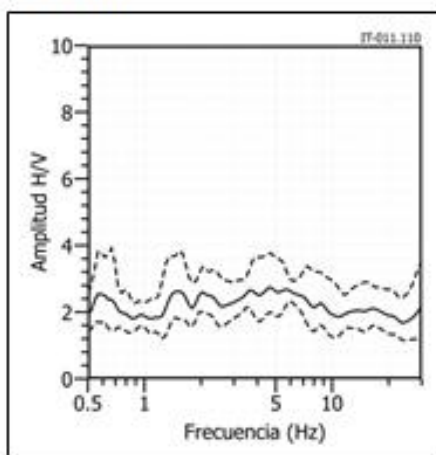


Figura 16: Mapa del área de estudio con la distribución espacial de las frecuencias predominantes F1 ($F > 3.0$ Hz). Las letras indican la ubicación de los gráficos que se están considerando en la Figura 17 como característicos de este rango.

IT - 009



IT - 011



IT - 051

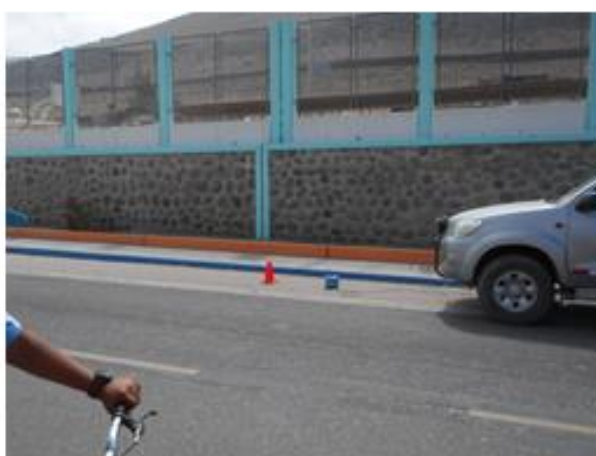
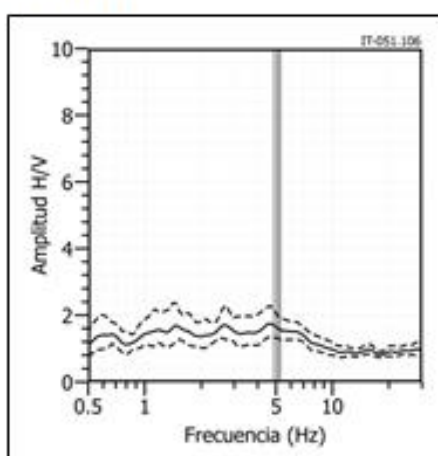
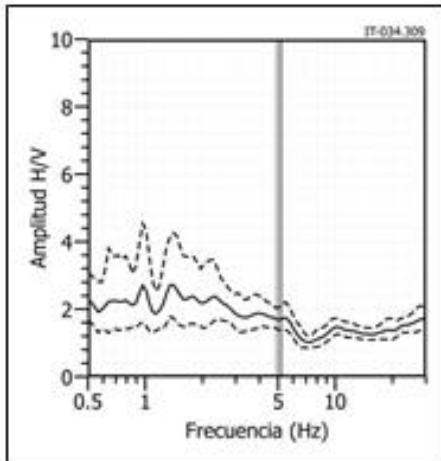
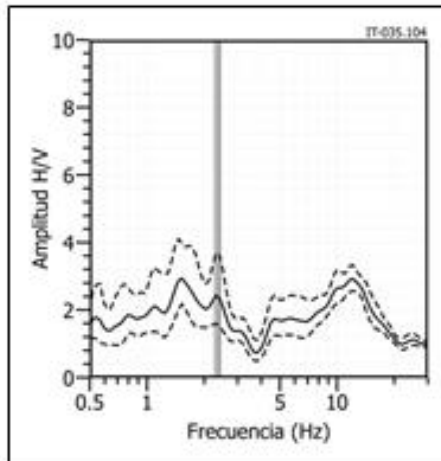


Figura 17: Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F1 ($F > 3.0\text{Hz}$): Puntos IT-009(A), IT-011(B) y IT-051(G), ubicados en la zona urbana de Ite, en el extremo norte. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

IT - 034



IT - 035



IT - 085

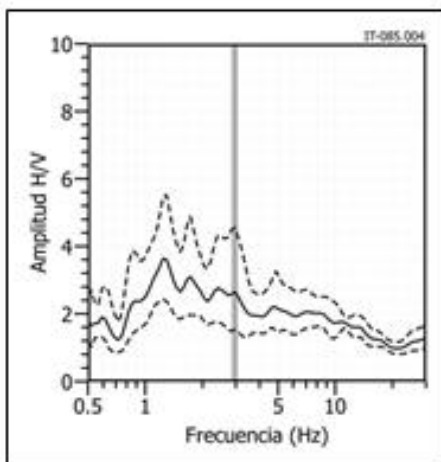
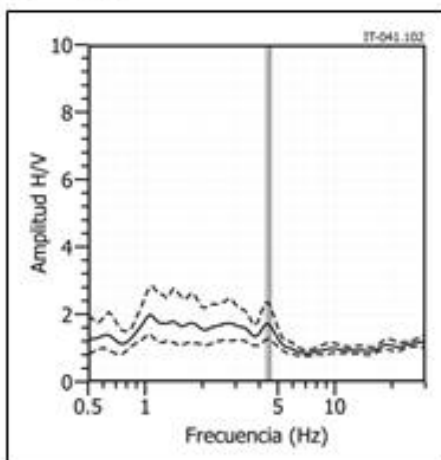
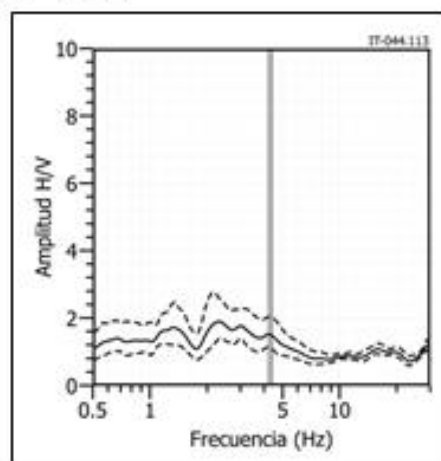


Figura 17: ...Continuación/ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F1 ($F > 3.0\text{Hz}$): Puntos IT-034(C), IT-035(D) y IT-085(J), ubicados en el extremo Norte y Oeste de la zona urbana del Anexo Pampa Alta. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

IT - 041



IT - 044



IT - 062

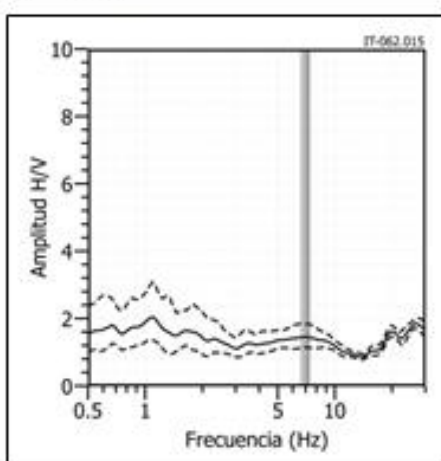
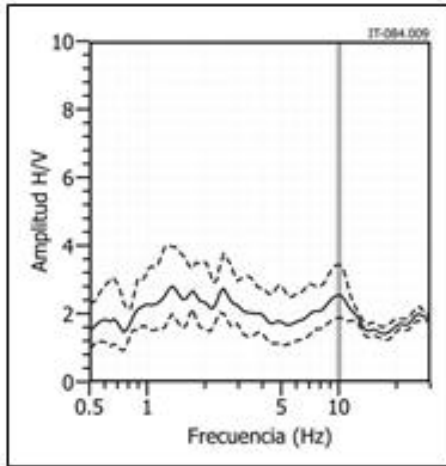
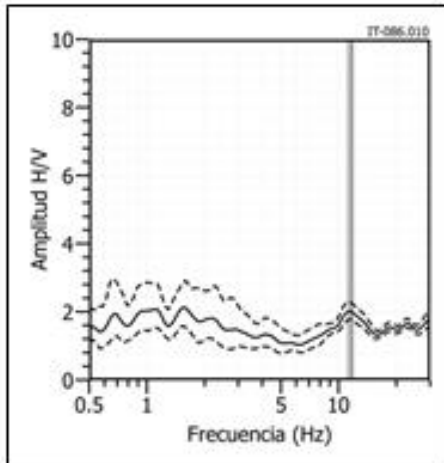


Figura 17: ...Continuación/ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F1 ($F > 3.0\text{Hz}$): Puntos IT-041(E), IT-044(F) y IT-062(H), ubicados en la parte central de la zona urbana del Anexo Pampa Alta. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

IT - 084



IT - 086



IT - 088

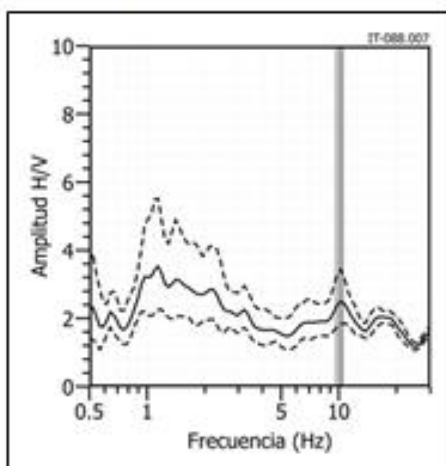


Figura 17: ...Continuación/ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F1 ($F > 3.0\text{Hz}$): Puntos IT-084(I), IT-086(K) y IT-088(L), ubicados en el extremo Este del Anexo Pampa Alta. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

El análisis de razones espectrales H/V ha permitido observar para la ciudad de Ite, la presencia de dos rangos de frecuencias: F0 (0.5-3.0 Hz) presentes en toda el área de estudio y en menor medida en el extremo norte y noreste del Anexo Pampa Alta y F1 (>3.0 Hz), presentes de manera uniforme en casi toda el área urbana del Anexo Pampa Alta, próximo al Cerro Chanla. Este rango presenta frecuencias de 3 a 11 Hz.

La zona de estudio presenta una geomorfología, geología y/o tipo de suelo variado, de ahí la diferente respuesta para las frecuencias de una zona a otra. Al noreste se encuentra el cerro Chanla con la presencia de intrusivos, siendo un material más consolidado, cubierto por arenas de poco espesor, aquí están ubicados los anexos El Mirador, Nuevo Ite, Cercado de Ite y Casa Blanca. En el resto de la zona en el anexo de Pampa Alta, corresponden a suelos poco consolidados y sensibles a amplificarse ante un evento sísmico. En el anexo de Pampa Baja existen suelos medianamente consolidados. La zona de los humedales de Ite, por la presencia de agua y arenas tiene un comportamiento especial ante la ocurrencia de sismos, tienden a ser suelos licuables.

Los suelos del área urbana de Ite y la zona agrícola entre la Quebrada Agua Salada y el Río Locumba, responden a una frecuencia predominante debido a la presencia de una capa cuyo espesor disminuye conforme tiende hacia el extremo Norte, estos corresponden a los depósitos aluviales 1 y 2, cuyo espesor es mayor en la zona próxima a los humedales de Ite (Carretera Costanera). Por otro lado, el Anexo Pampa Alta presenta una respuesta dinámica diferente a toda el área de estudio, los suelos responden a un solo pico de frecuencias que oscila entre 3 y 11Hz con bajas amplificaciones y representa al suelo más estable del distrito de Ite; es decir, presencia de materiales consolidados en profundidad como la granodiorita de la Súper Unidad Ilo. Además las zonas centro y sur presentan de moderadas a grandes amplificaciones (mayores a 4 veces), lo que sugieren la presencia de suelos poco consolidados y/o flexibles, como los depósitos aluviales de las terrazas 1 y 2, zonas de terreno agrícola.

3.2. Perfiles de velocidad de ondas de corte Vs

Los modelos de velocidad de propagación (Vs) son una información muy útil en materia de riesgo sísmico y reconocimiento general de la estructura y naturaleza del subsuelo. El procesamiento permitió llegar desde profundidades mínimas de 2 y 3 metros hasta los 30 metros para cada línea sísmica. Posicionados: las líneas LS02 y LS03 en el cercado y LS01, LS04, LS05, LS06, LS07 y LS08 en los anexos de Ite, en la zona urbana del área de estudio principalmente (Figura 9). A continuación, se describe los resultados

obtenidos agrupados según su similitud de velocidad V_s en el perfil sísmico y ubicación:

Línea sísmica LS01-IT: Ubicado en el anexo Casa Blanca (Figura 9). Indican la presencia de suelos conformados por dos capas: la primera, de 5 metros de espesor y velocidad V_s de 258 m/s que sugiere suelo moderadamente rígido. La segunda, con velocidad V_s de 627 m/s considera suelo rígido o roca blanda. La superficie de contacto con el semiespacio presenta velocidades $V_s > 980$ m/s que sugiere roca moderadamente duro.

Línea sísmica LS02- IT: Ubicado en el Cercado (Asoc. Los Ajizales), ver Figura 9. Indican la presencia de suelos conformados por una capa de 11 metros de espesor y velocidad V_s de 954 m/s que sugiere roca moderadamente duro. La superficie de contacto con el semiespacio presenta velocidades $V_s > 1553$ m/s que sugiere roca dura.

Líneas sísmicas LS03-IT, LS05-IT y LS06-IT: Realizado detrás del colegio José Carlos Mariátegui (LS03), frente del Museo de Ite (LS05) y ubicado en el anexo de San Isidro (LS06), ver Figura 9. Indican la presencia de suelos conformados por uno a dos capas sísmicas: la primera de 4 a 7 metros de espesor y velocidades V_s de entre 380 a 446 m/s sugieren suelos rígidos, la segunda, presente en las líneas LS03 y LS05 con velocidades V_s de entre 553 a 626 m/s y espesores desde 12 a 17 metros que, junto al semiespacio con $V_s > 531$ m/s sugieren a suelos muy rígido o roca blanda.

Línea sísmica LS04-IT: Ubicado en el C.P. Las Vilcas, ver Figura 9. Indican la presencia de suelos conformados por una capa en superficie con velocidad de 540 m/s y 9 metros de espesor y el semiespacio con velocidad $V_s > 727$ m/s, ambos sugieren suelo rígido o roca blanda.

Línea sísmica LS07-IT: Ubicado en el anexo Pampa Alta (Figura 9). Indican la presencia de suelos conformados por dos capas: la primera, de 2 metros de espesor y velocidad V_s de 238 m/s que sugiere suelo moderadamente rígido. La segunda, con velocidad V_s de 380 m/s y 5 metros de espesor considera suelo rígido. La superficie de contacto con el semiespacio presenta velocidades $V_s > 571$ m/s que sugiere suelo muy rígido o roca blanda.

Línea sísmica LS08-IT: Ubicado en el anexo Pampa Baja (Carretera Costanera Sur), ver Figura 9. Indican la presencia de suelos conformados por una capa de 4 metros de espesor y velocidad V_s de 246 m/s que sugiere suelo moderadamente rígido. La

superficie de contacto con el semiespacio presenta velocidades $V_s > 373$ m/s que sugiere suelo rígido.

En la Tabla 5, se resume los valores de velocidad de ondas de corte V_s para los distintos tipos de perfiles de suelo, según lo dispuesto en la Tabla 1 y en la Figura 18, se presenta los resultados de la línea sísmica LS01, siendo las líneas LS02 a LS08 mostrados en los anexos.

Tabla 5: Valores de espesor y V_s de las líneas sísmicas realizados en Ite 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-IT	258	5	627	10	980	-	565
LS02-IT	954	11	1553	-	-	-	1299
LS03-IT	380	4	553	12	703	-	574
LS04-IT	540	9	727	-	-	-	659
LS05-IT	446	7	626	17	767	-	578
LS06-IT	384	7	531	-	-	-	483
LS07-IT	238	2	380	5	571	-	479
LS08-IT	246	4	373	-	-	-	345

Suelo blando (Vs < 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 (Vs > 1500 m/s)

Finalmente, los resultados obtenidos definen 2 capas sísmicas y un semiespacio (Tabla 6). El análisis de los resultados según cada capa sísmica encontrado y su correlación geológica serán descritos a continuación:

Los suelos considerados como moderadamente rígidos (V_s 246 a 258), se encuentran en superficie en algunos anexos como: Casa Blanca, Pampa Alta y Pampa Baja (Figura 6). Con espesores de entre 2 a 4 metros puede deberse a la presencia de áreas de cultivo y como consecuencia la presencia de humedad. Por debajo presenta suelos rígidos a muy rígidos en profundidad emplazados en el anexo Casa Blanca, que conforme se dirige hacia los anexos de Pampa Alta y Pampa Baja aumenta el espesor; es decir, espesores que sobrepasan la profundidad investigada. Estos suelos corresponden a los depósitos aluviales de baja compactación, tal como muestra la Figura 19.

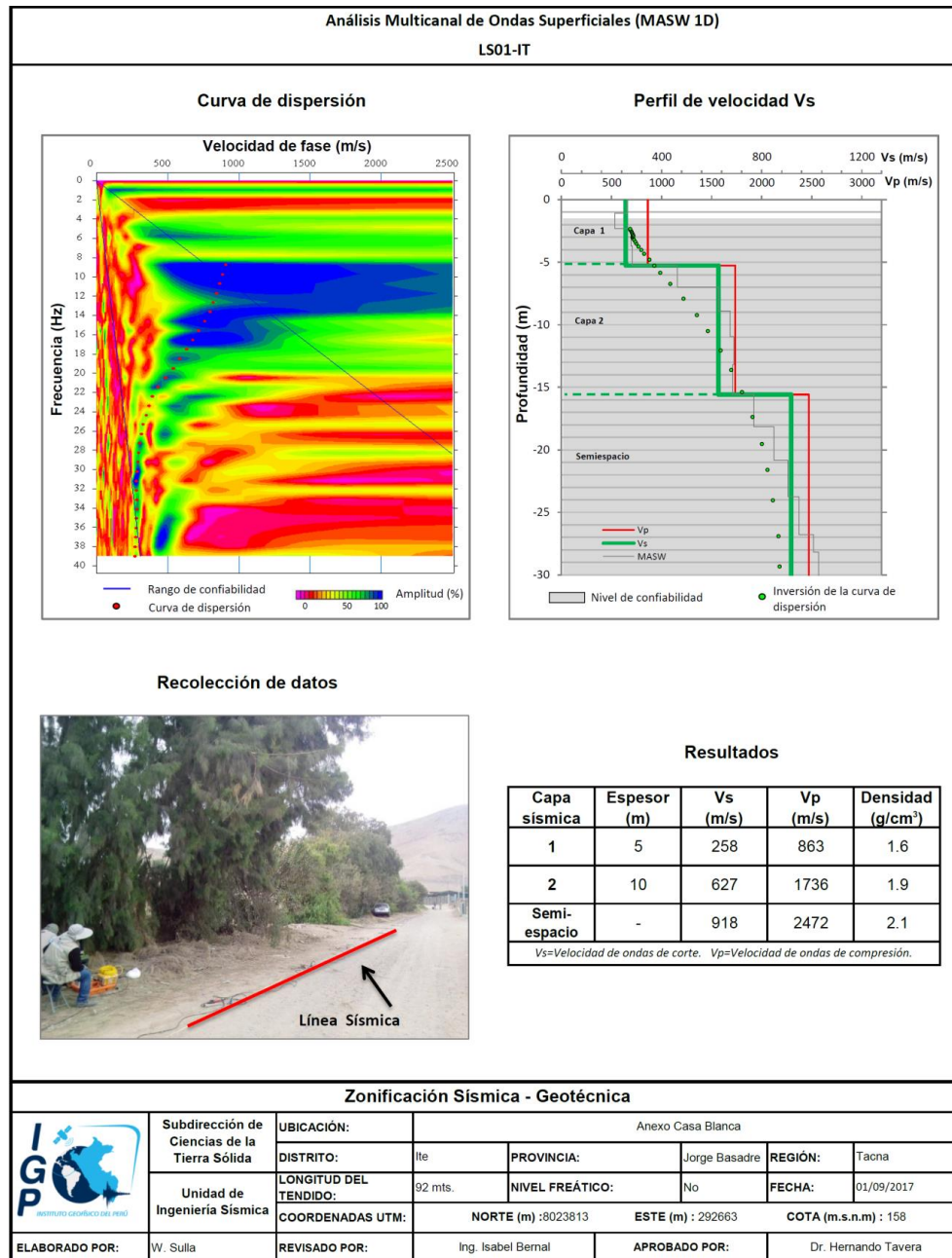


Figura 18: Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo LS01-IT.

En el Cercado de Ite, en el anexo San Isidro y en el sector ubicado Museo, presentan suelo rígidos en superficie (V_s 380 a 446 m/s) a muy rígidos en profundidad ($V_s > 531$ m/s), ambos con espesores mayores a los 30 metros corresponde al material aluvial con baja compactación en superficie, ver Figura 19.

A diferencia de los anexos descritos, el C.P. Las Vilcas presentan suelos muy rígidos desde la superficie que posiblemente alcance profundidades mayores de los 30 metros, este perfil de suelo corresponde también a los depósitos aluviales los cuales se encontrarían compactos desde la superficie.



Figura 19: Depósitos aluviales que son observados en la pendiente del talud, anexo Pampa Baja.

Por otro lado, al noreste del Cercado de Ite (Asoc. Los Ajizales) presenta roca moderadamente dura a dura en profundidad; es decir, la presencia de roca fracturada (granodiorita) en superficie cubiertos por delgadas capas de suelos coluviales, siendo a mayor profundidad la roca compacta. Este último, también se encuentra presente a profundidades mayores en el Anexo de Casa Blanca.

3.3. Periodos Dominantes

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 20, se muestra la distribución espacial de los valores de periodos dominantes en la ciudad de Ite, los cuales han sido separados en dos grupos, en color negro y rojo para periodos menores e iguales a 0.4 segundos y en gris y rojo claro los periodos mayores.

Dentro del primer grupo, los periodos con rango de 0.1 y 0.2 segundos, se distribuyen de manera casi uniforme sobre toda la zona urbana del Pampa Alta de Ite, en los Anexos Las Vilcas, San Isidro y en la zona agrícola de Pampa Baja y Pampa Alta se tiende periodos de hasta 0.6 segundos. Asimismo, el sector de la Quebrada Agua Salada y al sur del Mirador de Ite hacia los Humedales también presenta sensibilidad a periodos

de 0.7 y 0.9 segundos. Las mayores amplificaciones en ambos grupos de periodos se presentan por el curso de las quebradas que cruzan de Norte a Sur a los sectores de Pampa Alta y Pampa Baja, y sobre la carretera Costanera próximos a los humedales de Ite.

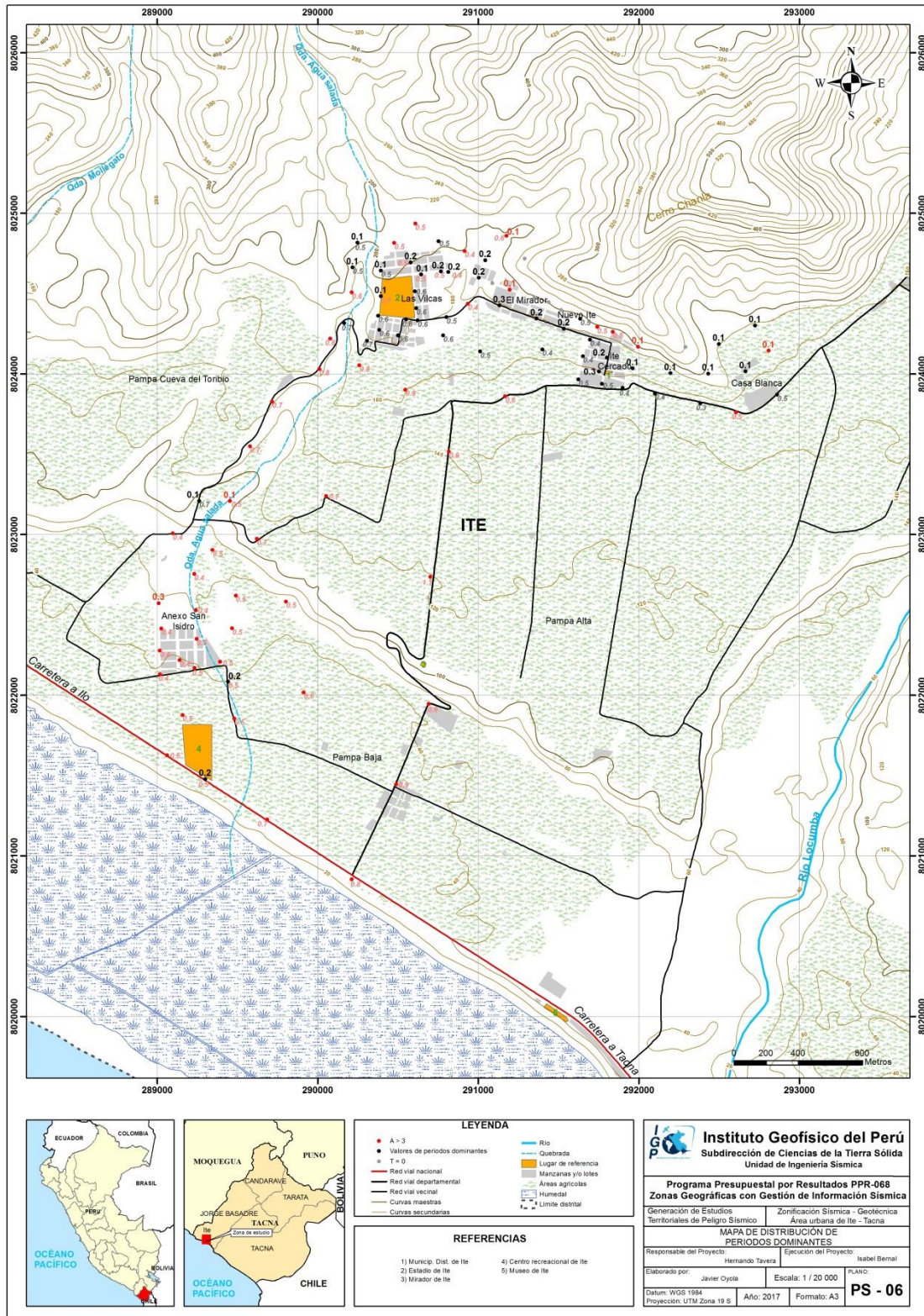


Figura 20: Mapa de la distribución espacial de los valores de periodos dominantes.

Los periodos dominantes que caracterizan los suelos de la ciudad de Ite están relacionados con las condiciones físico-dinámicas a través de la relación $T_0=4H/V_s$, donde T_0 es el periodo dominante, H el espesor del estrato y V_s es la velocidad de onda de corte. Asumiendo velocidades de 250 m/s y 620 m/s para las ondas de corte (V_s) y periodos de 0.5 y 0.8 segundos, se estiman capas superficiales con espesores de entre 4 y 17 metros. Estos valores para los espesores de las capas son confirmados con los modelos de velocidad y espesores de capas obtenidos con los arreglos sísmicos (ver punto 4.3). Del mismo modo, al considerar periodos de 0.3 y 0.6 segundos, los espesores de las capas del suelo varían entre 2 a 9 metros, cuyo espesor aumenta hacia el norte y será menor al sur.

En la ciudad de Ite, la distribución espacial de periodos mayores a 0.2 segundos sugiere la presencia en el subsuelo de una capa profunda de potencia considerable y los periodos menores, una capa superficial de menor potencia, el cual estará influenciado por un suelo más rígido con velocidades de 550 m/s y 1500 m/s para las ondas de corte (V_s) y periodos de 0.1 y 0.2 segundos con bajas amplificaciones se distribuyen en el área urbana de Pampa Alta, estos sugieren que los suelos son más compactos en comparación con el resto del área de estudio.

3.4. Estudio Eléctricos con la Técnica de ERT

A continuación, se describe los resultados obtenidos de las líneas de tomografía eléctrica realizados en el área urbana de Ite:

La línea eléctrica LE01-IT ubicada en la parte norte del área urbana de Ite, en el piedemonte del Cerro Chanla, en la Asoc. Los Ajizales, Anexo de Pampa Alta (Figura 12). Esta línea eléctrica no está saturada, los valores de resistividad que predominan son los medianamente resistivos (100 a 500 $\Omega.m$), en superficie se observa material fino como limos y arcillas que permite cierta permeabilidad, que se caracteriza por ser un material no consolidado. Existe afloramiento de roca intrusiva (granodiorita) y presencia de material calcáreo, el cual es asociado a los valores resistivos a muy resistivos (Figura 21).

Las líneas eléctricas LE02-IT, LE03-IT y LE05-IT, ubicadas en el cercado de Ite, al oeste de la Municipalidad distrital de Ite; así como en el Centro Poblado Las Vilcas, alado del estadio de Ite y la última en el Anexo Pampa Alta, próximo a la Planta de tratamiento, respectivamente (Figura 12). Estas tres líneas están ubicadas en el Sector de Pampa Alta (Figura 22).



Figura 21: Vista de la línea eléctrica LE01-ITL.

Estas líneas eléctricas fueron tomadas sobre el depósito aluvial 2 conformado por conglomerados poco consolidados, con una matriz areno limosa, y presentan dos medios geoelectricos: el primero conformado por material medianamente resistivo (100 a 500 $\Omega.m$) y en menor porcentaje, presente desde la superficie y en profundidad de forma aislada, sugiriendo correspondencia con material como conglomerados. Mientras que, el segundo es un medio conductivo, con materiales de baja a muy baja resistividad (<100 $\Omega.m$) que se presenta desde la superficie hasta profundidad, conteniendo mayor grado de saturación. En la línea LE02-IT, en mayor porcentaje presenta valores bajo resistivos, asociándose estos valores a medios saturados como los terrenos de cultivo de alrededor. La línea LE03-IT, el medio saturado se encuentra en menor porcentaje por la ausencia de terrenos de cultivo, así mismo el terreno en superficie ha sido compactado. Mientras que, la línea LE05-IT, adicionalmente a los terrenos de cultivo existe la planta de tratamiento y al noreste de la línea pasa una quebrada (cauce estacional) que presenta abundante vegetación. Estas líneas no presentan horizontes geoelectricos, únicamente medios saturados (ver Anexos).



Figura 22: Vista de las líneas eléctricas LE02-IT y LE03-IT.

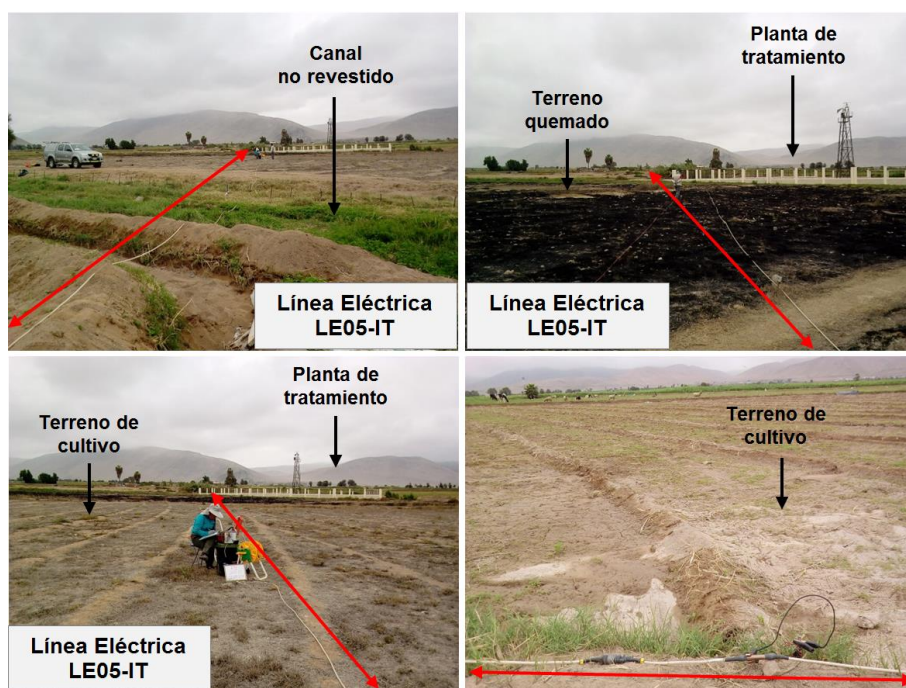


Figura 22. ... Continuación... / Vista de la línea eléctrica LE05-IT.

Por otra parte, las líneas eléctricas LE04-IT y LE06-IT (Figura 12) ubicada en el Anexo San Isidro y paralela a la carretera Costanera Sur (Figura 23), en el Anexo Pampa Baja, que corresponde al depósito aluvial 1.



Figura 23: Vista de las líneas eléctricas LE04-IT y LE06-IT.

En la línea LE04-IT, se definió dos horizontes geoelectricos donde el primer horizonte es el que presenta valores medianamente resistivos ($100 - 860 \Omega.m$), asociados a depósitos aluviales con presencia de gravas, arenas y limos; mientras que, en el segundo horizonte se tienen valores bajo resistivos a muy bajo resistivos ($< 100 \Omega.m$) relacionados a un mayor contenido de humedad en arenas limosas y gravas. La línea

LE06-IT, presenta dos horizontes geoelectricos, donde el material medianamente resistivo a muy resistivo ($> 100 \Omega.m$) asociado a gravas y a arenas cuarzosas; corresponden al primer horizonte, no saturado. El segundo horizonte corresponde a material bajo resistivo, correlacionado a una mayor permeabilidad de las arenas en profundidad. Por lo tanto, a partir de 20 metros de profundidad se presenta el medio saturado, teniendo contacto con el acuífero de Ite, siendo este de tipo “libre” y la presencia de agua salada por influencia de los Humedales de Ite, ver anexos.

En la Tabla 6, se ha realizado la clasificación de acuerdo a los rangos de resistividades de la Tabla 3, desde material muy bajo resistivo hasta muy resistivos y en la Figura 24 se presenta el resultado para la línea LE01–IT y los anexos, los resultados de las líneas restantes.

Tabla 6: Valores de resistividad obtenidos de las líneas eléctricas obtenidas en Ite (P, Presente; NP, No Presente).

Línea Eléctrica	Orientación	Profundidad de alcance (m)	Horizontes geoelectricos	Profundidad del horizonte saturado (m)	Saturación
LE01-IT	NW-SE	39			NP
LE02- IT	SW-NE	39			P
LE03- IT	N-S	39			P
LE04- IT	NW-SE	39	Horiz. 1 ($> 100 \Omega.m$)		NP
			Horiz. 2 ($< 100 \Omega.m$)	30	P
LE05- IT	NE-SW	39			P
LE06- IT	NW-SE	39	Horiz. 1 ($> 100 \Omega.m$)		NP
			Horiz. 2 ($< 100 \Omega.m$)	20	P

De acuerdo a los datos analizados podemos decir que los materiales saturados son los que predominan en profundidad y en superficie se ve una tendencia de material no saturado; a excepción de la zona Noreste de la Municipalidad Distrital de Ite por el cerro Chanla, línea LE01-IT, donde el material predominante es el medianamente resistivo, es decir, no saturado. Una compilación de la información se presenta en la Tabla 6.

La profundidad alcanzada en este método (39 metros) ha definido la presencia de medios saturados, en el depósito aluvial 2 (Pampa Alta) debido a la dinámica del acuífero de Ite, y al material poco consolidado. Según Barriga (2007), el nivel freático estaría a partir de 10 metros de profundidad, en el depósito aluvial 1 (Pampa Baja), el medio saturado se presenta a partir de 20 metros de profundidad y de acuerdo a Barriga (2007),

el nivel freático estaría a partir de 12 de profundidad. Es importante precisar que al tratarse de un acuífero libre, los residuos sólidos deben ser enterrados de forma adecuada, porque al entrar en contacto con medios permeables mal protegidos pueden ser grandes contaminantes.

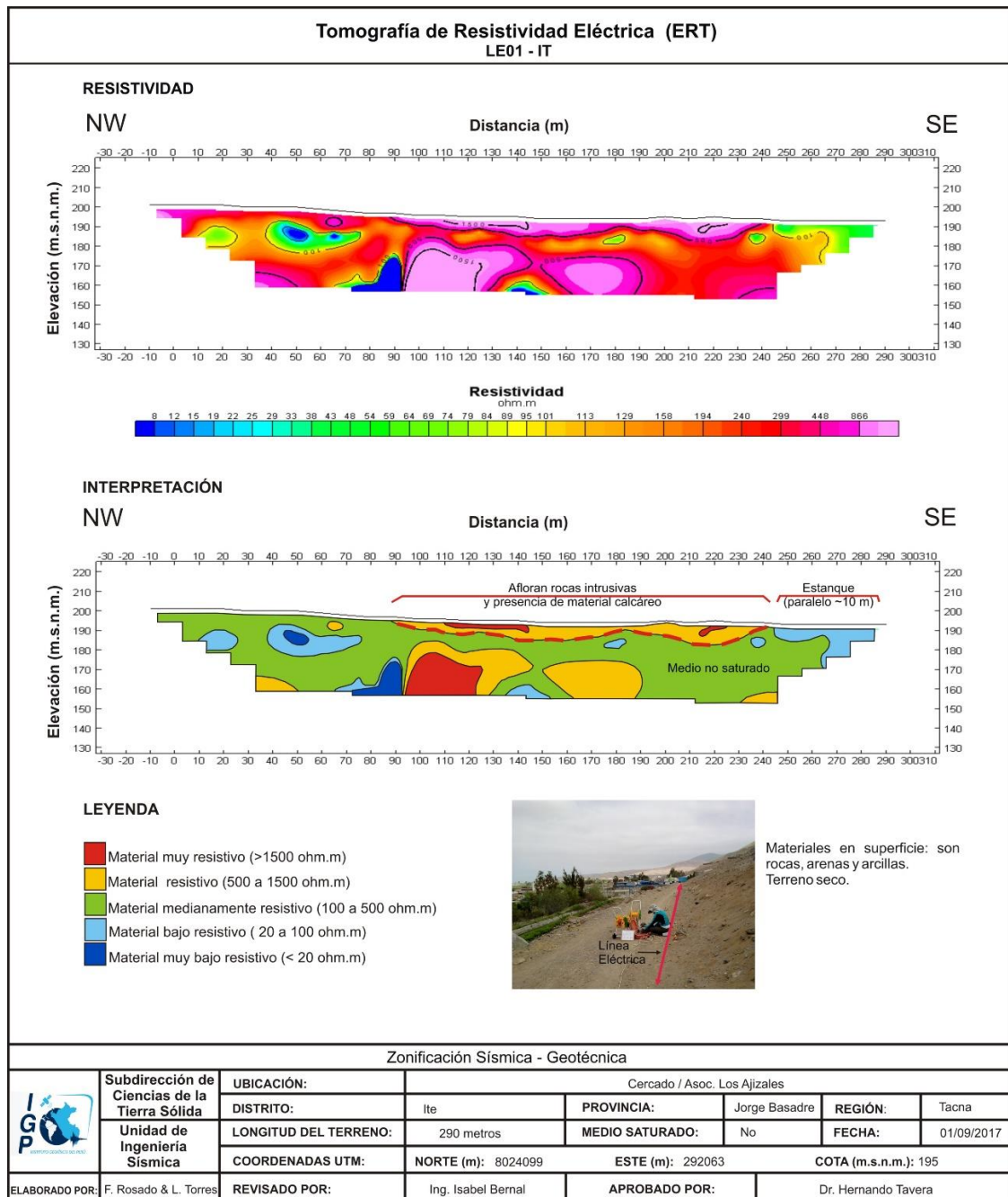


Figura 24: Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método de tomografía eléctrica para la línea LE01-IT.

Geológicamente Ite, presenta depósitos aluviales (1 y 2) conformado de material no consolidado como conglomerados en una matriz areno limosa que puede almacenar aguas subterráneas, presente en casi toda el área urbana y agrícola de Ite. Y en la zona

de las lomas (al Norte) existe la Super Unidad de Ilo conformada por rocas intrusivas (granodiorita), que se encuentran fracturadas a consecuencia del intemperismo y la actividad tectónica. En la cuenca del río Locumba se han encontrado acuíferos y acuitardos (Cotrina et al., 2009), con una permeabilidad media, pero la porosidad y las fracturas presentes crean condiciones favorables para medios saturados. El material que conforma el acuífero es cantos rodados de diversos tamaños, arenas y limos regularmente compactados y depositados en forma alternada, ubicándose el material más fino en las zonas más profundas del acuífero

Finalmente, en Ite existe un medio saturado en el depósito aluvial 1 a partir de 5 metros y el depósito aluvial 2 el nivel freático se presenta a partir de los 20 metros, influenciados por su proximidad a la zona de los humedales de Ite. Esto puede ser correlacionado con los estudios de hidrogeología realizados en la cuenca del río Locumba. Los principales problemas que afronta este acuífero es la contaminación de sus estratos al tratarse de un acuífero libre.

4. ZONIFICACION GEOFISICA - GEOTÉCNICA

El mapa de Zonificación Geofísica-geotécnica para el área urbana de Ite, considera el análisis, interpretación y correlación de los resultados obtenidos de los estudios sísmicos, geofísicos, geológicos, geomorfológicos y geotécnicos. Para el área urbana de Ite, 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, S3 y S4, este último considerado como excepcional.

4.1. Mapa de Zonificación Geofísica – Geotécnica

Según la Figura 25, para el área urbana de Ite, se propone la siguiente Zonificación Geofísica-Geotécnica:

- ZONA I: Delimita un área pequeña ubicada en el extremo N y NE del área de estudio (piedemonte del Cerro Chanla) hacia la parte norte de los anexos El Mirador, Nuevo Ite, Casa Blanca e Ite Cercado. Conformada por estratos de grava coluvial y aluvial que se encuentran a nivel superficial y cubiertos por depósitos de material fino (arena-limosa) con espesores de hasta 10 metros, en profundidad se encuentra la Súper Unidad Ilo, compuesta de roca intrusiva (granodiorita). Este suelo tiene un comportamiento semi-rígido a rígido, con periodos de vibración natural que varían entre 0.1 y 0.2 segundos y velocidades de propagación de onda de corte VS, entre 1200 y 1500 m/s, que corresponde a un dominio de suelos Tipo S1 según la norma sismorresistente peruana. Asimismo, presenta una capacidad de carga admisible de la capa superficial de material fino de entre 1.0 – 2.0 kg/cm².

- ZONA II: Delimita dos áreas, la primera desde el extremo NO del área de estudio (anexo Las Vilcas) hasta la parte sur de los anexos El Mirador, Nuevo Ite, Casa Blanca e Ite Cercado y la segunda ubicada al S y SO correspondiendo al anexo Pampa Baja. Conformada por estratos aluviales de clastos angulosos que se encuentran a nivel superficial (grava mal graduada, areno-limosa) con espesores que varían entre 4 y 7 metros, en profundidad se presentaría grava coluvial con espesores variables. Este suelo tiene un comportamiento de semi-rígido, con periodos de vibración natural que varían entre 0.3 y 0.5 segundos y velocidades de propagación de onda de corte Vs, entre 250 y 380 m/s, que corresponde a un

dominio de suelos Tipo S2 según la norma sismorresistente peruana. Asimismo, presenta una capacidad de carga admisible de la capa superficial de material fino de entre 1.0 – 3.0 kg/cm².

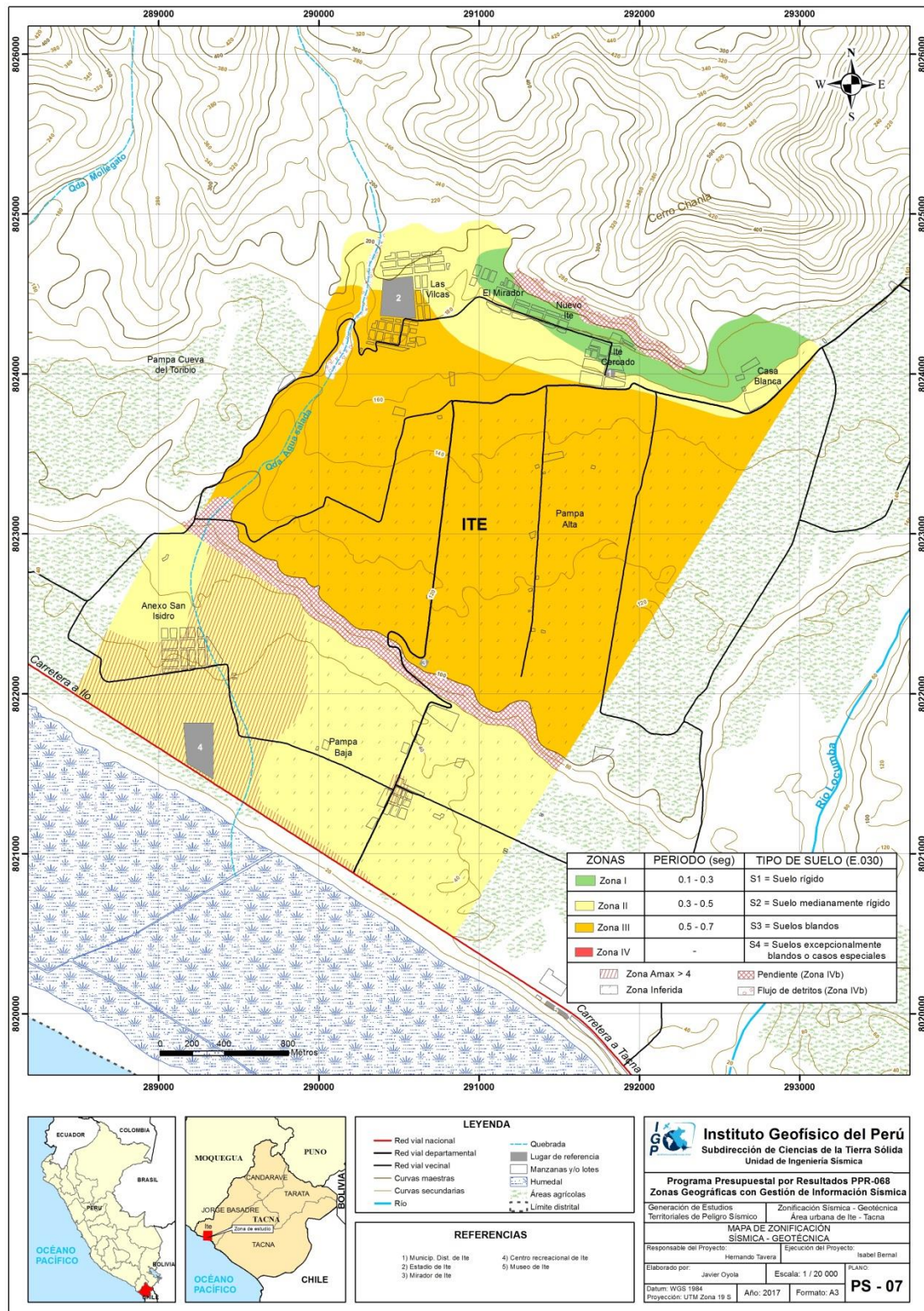


Figura 25: Mapa de Zonificación Geofísica - Geotécnica del área urbana de Ite.

Asimismo, con líneas inclinadas en rojo, se delimita la zona de mayor amplificación, ubicada en el anexo San Isidro (Pampa Baja), sugiriendo una menor consistencia de estos depósitos de material fino (grava-limosa con arena) como los re-transportados por la quebrada Agua Salada y depositados en sus alrededores.

- **ZONA III:** Ubicada en el anexo de Pampa Alta. Conformada por depósitos aluviales que se encuentran a nivel superficial (arena mal graduada con grava, arena-limosa) con espesores de hasta 7 metros, encontrándose en estado no compacto, subyaciendo a estos estratos se tiene grava coluvial con espesores variables. Este suelo tiene un comportamiento de suelos blandos, con periodos de vibración natural que varían entre 0.5 y 1.1 segundos y velocidades de propagación de onda de corte Vs, de 230 m/s, que corresponde a un dominio de suelos Tipo S3 según la norma sismorresistente peruana.

- **ZONA IV:** Esta zona corresponde a suelos cuyas características físicas y dinámicas son excepcionales, por lo que su comportamiento comprende a suelos Tipo S4. Aquí se considera el sector de Pendientes, en el extremo N (ladera del cerro Chanla) se han registrado caída de rocas y el sector entre la Pampa baja y alta del arae de estduio. Asi mismo, la zona de flujo de la Qda. Agua Salada.

CONCLUSIONES

El estudio de Zonificación Geofísica-Geotécnica (Comportamiento Dinámico del Suelo) para el área urbana de Ite, ha permitido llegar a las siguientes conclusiones y recomendaciones:

- Se han delimitado cinco unidades geomorfológicas: lecho fluvial, terraza aluvial, terraza fluvial 1 y 2, lomas y playa. El sustrato rocoso consta de rocas intrusivas, cuyos afloramientos se encuentran al este de la ciudad de Ite; mientras que, los depósitos del Cuaternario están conformados por materiales aluviales sobre los cuales se asienta la ciudad en mención y fluviales identificados en ambas márgenes del río Locumba.
- La geodinámica en la ciudad de Ite está representada por movimientos en masa (caída de rocas) en Pampa Alta, flujos de detritos que se desarrollan en el lado este del centro urbano de Ite e inundaciones en el A.H. Alfarillo. Asimismo, se ha identificado cuatro tipos de suelos: Arena mal graduada (SP), en el centro urbano, Pampa Baja y A.H. Las Vilcas, arena limosa (SM) con contenido de humedad de 1.58 %, identificados en el sector Pampa Alta y abarca el 48 % de la zona. Gravas mal graduadas (GP) el contenido de humedad varía de 1.40 a 2.23 %, se han identificado en el sector Pampa Baja así como en el A.H. Alfarillo y ocupan el 20 % de la zona de estudio. Gravas mal graduadas con limo (GM), identificadas en el A.H. Alfarillo, ocupan el 2% de la zona de estudio.
- Se ha determinado que los suelos sobre los cuales se asienta la ciudad de Ite presentan capacidad de carga admisible Baja en un 5% (entre 1 – 2 Kg/cm²), un 25% de la ciudad posee capacidad de carga admisible Media (entre 2 – 3 Kg/cm²) y finalmente el 70% restante es capacidad de carga admisible Alta.
- Los suelos de Ite responden a periodos de 0.1 y 0.2 segundos, los cuales se distribuyen de manera uniforme sobre el extremo Norte del área urbana de Ite, próximos al Cerro Chanla. Hacia el Oeste en el C.P. Las Vilcas predominan periodos de 0.4 a 0.6 segundos, asimismo en el Anexo Pampa Baja (depósito aluvial 1) y en el Anexo San Isidro. En el Anexo Pampa Alta con terrenos agrícolas, el periodo predominante es de 0.7 a 1.1 segundos. En general, las máximas amplificaciones se presentan hacia el extremo Oeste del área urbana de Ite, en el Anexo San Isidro y en el curso de la quebrada Agua Salada y las

quebradas intermitentes, al sur del Mirador de Ite. Los periodos dominantes que caracterizan a los suelos de Ite están relacionados con las condiciones físico-dinámicas a través de la relación $T_0=4H/V_s$, asumiendo velocidades de velocidades de 246 m/s y 345 m/s para las ondas de corte (V_s) y periodos de 0.4 y 0.6 segundos, se estima una capa superficial con espesores de entre 24 y 30 metros, asentada sobre un estrato más rígidos de entre 30 y 70 metros. Estos valores para los espesores de las capas son confirmados con los modelos de velocidad y espesores de capas obtenidos con los arreglos sísmicos

- Para el área de estudio se define la presencia de 2 capas sísmicas y un semiespacio. El Extremo Norte del área urbana de Ite se presenta roca moderadamente dura a roca dura para la primera capa (V_s 954 m/s) con espesor total de 11 metros, principalmente los anexos El Mirador, Nuevo Ite, Ite Cercado de Pampa Alta, próximos al Cerro Chanla. Hacia el extremo Noroeste y hacia el sur en los anexos de Pampa Alta y Pampa Baja predominan los suelos moderadamente rígidos a rígidos en superficie en donde la primera capa (V_s 238 a 446 m/s), con espesores de 4 a 7 metros se distribuye en toda el área de estudio y la segunda capa (V_s 380 a 626 m/s) con espesor total del orden de 5 a 17 metros a suelos muy rígidos (V_s 571 a 767 m/s) en profundidad.
- Los valores de velocidad promedio calculados para los primeros 30 metros de profundidad (V_{s30}), clasifican el área de estudio en dos tipos de suelo; con rangos de velocidad V_{s30} entre 345 a 483 m/s sugieren suelos rígidos emplazados mayormente al este (anexo San Isidro, Pampa Alta y Pampa Baja) y suelos muy rígidos (V_s 565 a 659 m/s) distribuidos en el resto del área de estudio.
- Asimismo, en los suelos de Ite predominan materiales medianamente resistivos a muy bajo resistivos en profundidad. En el extremo Norte del área urbana de Ite próximo al Cerro Chanla, predomina material medianamente resistivo a resistivo, correspondiendo a medios impermeables no saturados. En los anexos Pampa Alta y Pampa Baja emplazadas sobre depósitos aluviales se observan materiales poco saturados en superficie, excepto en la línea (LE05-IT) ubicada próxima a la Planta de Tratamiento y de una quebrada intermitente. Por lo tanto, el nivel freático en las líneas ubicadas en el Anexo Pampa Alta (depósito aluvial 2) compuestas de gravas y una matriz areno limosa la profundidad de investigación alcanzada (39 metros) no ha delimitado el nivel freático; mientras que, aquellas ubicadas en el Anexo Pampa Baja (depósito aluvial 1) el nivel freático se encontraría a partir de

15 y 30 metros de profundidad, además de estar influenciado por los humedales de Ite. El nivel freático que se presenta en Ite se debería a la infiltración de la parte alta de la cuenca del Río Locumba, así como a la infiltración de los canales de regadío no revestidos y de los Humedales de Ite.

- Los resultados obtenidos para el área urbana de Ite han permitido identificar, según las características dinámicas del suelo, sus propiedades mecánicas y el procedimiento establecido en la Norma E.030, la existencia de Cuatro (4) zonas sísmicas correspondientes a suelos Tipo S1, S2, S3 y S4 que comprenden a suelos rígidos, medianamente rígidos, blandos y excepcionales respectivamente. Asimismo, se define como caso especial los cauces de la quebrada Agua Salada y las quebradas estacionales, donde los periodos desde 0.5 a 0.9 presentan amplificaciones de hasta 8 veces; resultados que sugieren la presencia de suelo blando con una respuesta dinámica compleja ante la ocurrencia de sismos

BIBLIOGRAFIA

- Acosta (2012) Geología de los cuadrángulos de La Yarada, Tacna y Huaylillas Hojas 37-u, 37-v y 37-x. Serie A: Carta Geológica Nacional. Boletín N° 145. Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico-INGEMMET.
- Banco Central de Reserva del Perú (BCRP). (2016). Caracterización de Tacna. Lima-Perú.
- Bard, P-Y y SESAME (2001) The SESAME project: an overview and main results. 13 World Conference on Earthquake Engineering Vancouver, B.C., Canada August 16, 2004 Paper No. 2207.
- Bard, P-Y. (1995) Effects of surface geology on ground motion: Recent results and remaining issues, In Proc. 10 European Conf. Earth. Eng., ed. Duma, Balkema, Rotterdam, 305-323
- Beláustegui, 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. (2006) MicroZonificación Geofísica de la ciudad de Tlaxcala, Mexico. Tesis de Maestría en Ciencias, UNAM, pag. 130.
- Braja Das, 2007: Principles of Foundation Engineering, Seven Edition, pág. 133-180.
- Brusi, D., et al (2013) Enseñanza de las Ciencias de la Tierra. ISSN: 1132-9157. Pág. 181-194.
- Cahill & Isacks (1992) Seismicity and shape of the subducted Nazca Plate. Journal Geophys. Res., 97, 17503-17529.
- CENEPRED, 2013. Manual para la Evaluación de Riesgos originados por fenómenos naturales. Centro de Evaluación y Prevención de Desastres.
- Crespo V., C., (2004). Mecánica de Suelos y Cimentaciones, 5ta edición.

- Felícísimo, M. (1994). Modelo Digitales del Terreno, Oviedo-España: Pentalfa 222 p. ISBN: 84-7848-475-2 p.
- Fídel, 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.
- GITS-Grupo de Investigación de Transporte de Sedimentos.
- Gutiérrez, M. (2008) Geomorfología. Edit. Pearson/Prentice Hall, Madrid, 898 p. ISBN 97884832-23895.
- Hartzel, S. H. (1992). Site response estimation from earthquake data. Bull. Seism. Soc. Am. 82, 2308-2327
- Harvey, A., M., 1987. Patterns of Quaternary aggradational and dissectional landform development in the Almeria region, southeast Spain: a dry-region tectonically-active landscape. Die Edre 118, 193-215
- 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.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática, (2007) XI censo de Población y VI de Vivienda. Recuperado de <http://censos.inei.gob.pe/cpv2007/tabulados/>

Instituto Nacional de Estadística e Informática, (2007) Censo Nacional de Población y Vivienda. LimaPerú. INEI. Recuperado de <http://censos.inei.gob.pe/cpv2007/tabulados/#>

Instituto Nacional de Estadística e Informática, (2007) Departamento de Tacna. Tacna-Perú. INEI. Recuperado de <https://www.inei.gob.pe/prensa/noticias/departamento-de-tacna-cuenta-con-una-poblacion-de-346-mil-habitantes-9270/>

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.

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) - <http://renac.mtc.gob.pe/inventariovial/default2.aspx>.

Ministerio de Vivienda, Construcción y Mantenimiento (2012) Plan de Acondicionamiento Territorial de la Provincia de Jorge Basadre PAT-JB, 2012-2021.

Municipalidad de Ite. (2015) Presupuesto institucional de apertura 2015. Tacna – Perú. Recuperado de http://www.muniite.gob.pe/web_transparencia/PIA-2015.pdf

Municipalidad de Ite. Reseña histórica. Tacna – Perú. Recuperado de <http://www.muniite.gob.pe/web/distrito/historia>

Municipalidad distrital de Ite (2014) Plan de Desarrollo Concertado al 2021.

Municipalidad Provincial Jorge Basadre (2012) Estudio de Geológico del Distrito de Ite en el marco de la Zonificación Económica.

Nakamura Y. (1989). A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. Quaterly Report Railway Tech. Res. Inst., 30-1, 25-30.

Orellana, E. (1982). Prospección geoelectrica en corriente continua. Madrid: Ediciones Paraninfo.

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

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

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

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

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

Pike, R. J., I. S. Evans, and T. Hengl. 2009. Geomorphometry: A brief Guide. Dev. Soil Sci. 33: 3-30.

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

Sepúlveda, S.A., (2000) Metodología de Evaluación del Peligro de Flujos de Detritos en

Ambientes Montañosos. Revista Comunicaciones, Departamento de Geología, Universidad de Chile, No.51, p. 3-28.

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), (2017). <http://www.senamhi.gob.pe/>

SESAME European research project WP12 – Deliverable D23.12: (2004). Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations measurements, processing and interpretation.

SK MINING PERU S.A.C. (2012) Estudio para la Modificación de Impacto Ambiental Ite-Ilo Iburcea (2011) Estudio de Contaminación por Metales Ecotóxicos en Sedimentos en la Bahía Ite, Tacna.

Socco, L.V., Boiero, D., Comina, C., Foti, S., y Wis_en, R. (2008). Seismic characterization of an Alpine site. Near Surface Geophysics, 6(4):255-267.

Suárez, D., J., (1998) – Estabilidad de Taludes en Tropicales. Instituto de Investigación sobre erosión y deslizamientos. Colombia. Ed. Ingeniería de Suelos Ltda. 550 p.

Tarbuck, E., D. Lutgens, F., K., (2005) Ciencias de la Tierra. Una introducción a la Geología Física Pretince Hall. Cap16. 8a edición. 710 pp.

Varnes, D. J., (1978) Slope Movement: Types and Proceses. In Scuster R. L. y Krizek, R. J., ed. Landslides analysis and control: Washington, D. C. National Academy Press, Transportation Research Board Special report 176. 9-33 p.

Varnes, D.J., (1958) Landslide types and processes in Eckel E.B., ed., Landslides and Engineering Practice, Highway Research Board Special Report 29, NAS-NRC Publication 544, Washington, D.C. 20-47 p.

Vizcarra & Klever, (2008) Los Humedales de Ite un Potencial Ecoturístico, Organización de Gestión de Destino Turístico Tacna (OGD TUR TACNA).

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. & Valenzuela, C. (1990) Soil geographic database: structure and application examples. *ITC Journal*, 1990(3), 270-294.

ANEXO

La información que se detalla en este informe es adjuntada en formato digital.

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

