

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

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



ZONIFICACIÓN SÍSMICA – GEOTÉCNICA DE LA CIUDAD DE TALARA

Instituto Geofísico del Perú

Presidente Ejecutivo: Dr. Hernando Tavera

Director Científico: Dr. Danny Scipion

Autores

Isabel Bernal

Caracterización Sísmica - Geofísica de la Ciudad de Talara

Juan Carlos Gomez

Caracterización Geológica- Geotécnica de la Ciudad de Talara

Equipo de Evaluación Geológica y Geotécnica: Segundo Ortiz/ Pilar Vivanco/ Víctor Alarcón /
Mariana Vivanco/ Héctor Lavado/ Giovana Gutiérrez/ Belinia Baez

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

Personal de apoyo: Augusto Cárdenas / Roberth Yupanqui

Personal administrativo: Marisol Enriquez/ Esther Campos

Este Informe ha sido producido por:

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

ZONIFICACIÓN SÍSMICA – GEOTÉCNICA DE LA CIUDAD DE TALARA

(Provincia de Talara – Región Piura)

Lima - Perú
Abril, 2020

RESUMEN

*En el marco del Programa Presupuestal por Resultados N°068: Reducción de la Vulnerabilidad y Atención de Emergencias por Desastres se ejecutó el proyecto “**Zonas Geográficas con Gestión de Información Sísmica**”, el mismo que tuvo como una de sus actividades la “**Generación de Estudios Territoriales de Peligro Sísmico**” obteniéndose como resultado final, la Zonificación Sísmica - Geotécnica de las áreas urbanas de las ciudades/localidades de Talara (distrito Pariñas), La Arena (distrito La Arena), La Unión (distrito La Unión), Morropón (distrito Morropón), Máncora (distrito de Mancora), Las Lomas (distrito Las Lomas), Querecotillo (distrito de Querecotillo) y Tambo Grande (distrito de Tambo Grande).*

Estos estudios permiten conocer el Comportamiento Dinámico de los Suelos a partir de la recolección de datos de campo utilizando técnicas geofísicas, sísmicas, geológicas y geotécnicas.

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

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

INDICE

RESUMEN

PARTE 1: Presentación

1.- INTRODUCCIÓN

1.1. Objetivo

1.2. Historia

1.3. Accesibilidad y Clima

1.4. Economía

1.5. Estudios Previos

2. CONDICIONES LOCALES DE SITIO

2.1. La Norma Técnica E.030

CONCLUSIONES

PARTE 2: Caracterización geológica y geotécnica de la ciudad de Talara

PARTE 3: Caracterización sísmica y geofísica de la ciudad de Talara

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS: Documentos y anexos se adjunta en DVD

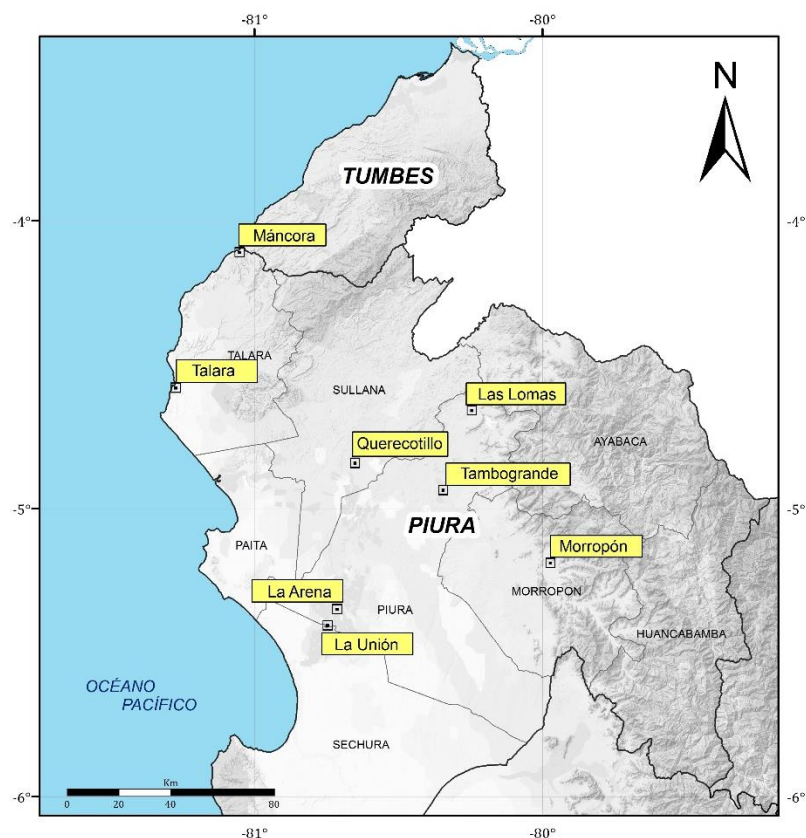
1.- INTRODUCCIÓN

Dentro del Programa Presupuestal por Resultados N°068 “**Reducción de la Vulnerabilidad y Atención de Emergencias por Desastres**”, el Instituto Geofísico del Perú ejecutó durante el año 2019 el Proyecto “**Zonas Geográficas con Gestión de Información Sísmica**” y como parte del mismo, 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 Sísmica – Geotécnica (Comportamiento Dinámico del Suelo) para las áreas urbanas de las siguientes ciudades (Figura 1):

- **Talara**, distrito de Pariñas, provincia de Talara, región de Piura.
- **La Arena**, distrito La Arena, provincia y región de Piura.
- **La Unión**, distrito La Unión, provincia y región de Piura.
- **Morropón**, capital del distrito y provincia de Morropón, región de Piura.
- **Máncora**, distrito de Mancora, provincia de Talara, región de Piura.
- **Las Lomas**, distrito Las Lomas, provincia y región de Piura.
- **Querecotillo**, distrito de Querecotillo, provincia de Sullana, región de Piura.
- **Tambo Grande**, distrito de Tambo Grande, provincia y región de Piura.

De acuerdo a la historia sísmica del Perú, la región norte ha sido afectada en varias oportunidades por eventos sísmicos de variada magnitud que han generado altos niveles de intensidad, puesta en evidencia con los daños observados post-sismo en la región Piura (Silgado, 1978; Tavera et al. 2016). Al ser los sismos cíclicos, es de esperarse que, en el futuro, las mismas

ciudades y/o áreas urbanas sean afectadas por nuevos eventos sísmicos con la misma o mayor intensidad. Entonces, no es tan importante el tamaño del sismo, sino la intensidad del sacudimiento del suelo, la educación de la población y la calidad de las construcciones.



*Figura 1: Distribución espacial de las ciudades intervenidas durante el año 2019:
Zonificación Sísmica – Geotécnica de suelos.*

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

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

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

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

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

1.1.- Objetivo

El principal objetivo a cumplir en este estudio es obtener el mapa de Zonificación Sísmica - Geotécnica para la ciudad de Talara, distrito de Pariñas, provincia de Talara y región de Piura, a partir de la información obtenida con la aplicación de 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 al ordenamiento territorial y desarrollo sostenible de la ciudad (Figura 2).

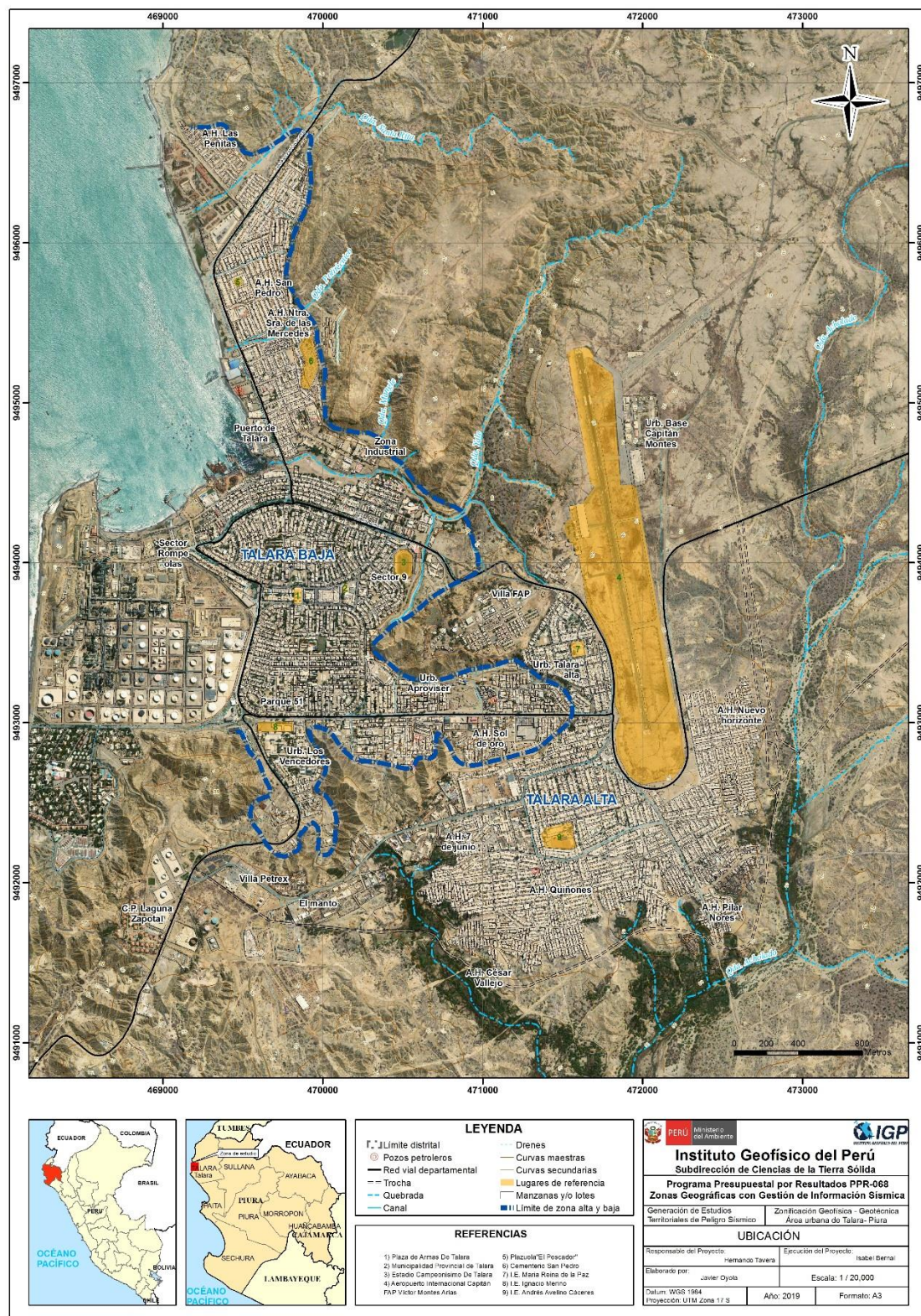


Figura 2: Mapa de ubicación geográfica de la ciudad de Talara.

1.2.- Historia

Talara fue creada el 16 de marzo de 1956 mediante la Ley N° 12649, con dicha ley Talara deja de ser campamento para convertirse en ciudad, conocida también como la capital del oro negro, por la extracción de petróleo.

Hablar de la historia de Talara es hablar del petróleo peruano, por eso se le conoce como la capital del oro negro. A partir de las primeras décadas del siglo XX, el petróleo atraía gran cantidad de inmigrantes hacia la Ciudad de Talara, Pariñas, Lobitos y Negritos posibilitando que las compañías petroleras extranjeras contraten mucha mano de obra barata. Las condiciones de trabajo siempre fueron duras, los salarios muy bajos y la jornada laboral tuvo más de doce horas diarias. Las leyes sociales a favor de los obreros del país no tuvieron valor alguno en los campamentos petroleros. Así, la London Petroleum Company, enfrenta su primera huelga de obreros en 1913. El desorden y falta de organización de los “petróleos” facilitó a los ingleses el mantener un control de la situación. Sin embargo, las huelgas de 1916 en Negritos, de 1917 (abril y noviembre) en Talara, Negritos y Lobitos y la de 1931 lograron puntos significativos en la lucha laboral.

Según la historia sísmica en Piura, en los años 1814, 1912, 1953, 1963 y 2014 (documentado por Silgado, 1978, Sieberg, 1930 y Tavera, 2016), se produjeron sismos de grandes magnitudes que sacudieron los suelos y como consecuencia daños estructurales.

La ciudad de Talara, se encuentra próxima al océano pacífico y está conformada por ocho sectores (Figura 3 y 4), los cuales se describen a continuación:

- **Talara Alta.-** Representada por las viviendas de uso residencial ubicadas en la parte alta del Tablazo y abarca un área de 204 ha aproximadamente. Además, aquí se ubica la zona de chatarreros y los

talleres de mecánica.

- **Talara Baja.-** Es el sector más antiguo. Se extiende en un área de 208 ha aproximadamente hacia el litoral y queda limitada por la refinería y la quebrada Yale.
- **Talara Norte.-** Abarca un área de 157 ha aproximadamente y está conformado por las viviendas ubicadas en las laderas de los tablazos, bifurcada por la quebrada Politécnico y limitada por las quebradas Yale al norte y Santa Rita al sur.
- **Sector urbano Intermedio.-** Abarca 148 ha aproximadamente. Conformado por viviendas ubicadas entre la parte baja y alta de los tablazos, desde las Av. Merino y 2.
- **Sector urbano Oeste.-** Se extiende por 51 ha aproximadamente y colinda con la quebrada Campeonísimo, está interconectada con las Av. Bolognesi y Los Naranjos.
- **Condominio Punta Arenas.-** Abarca 55 ha aproximadamente, colinda con la refinería Talara al norte, con litoral al oeste y al sur por el Tablazo. Hacia esta zona son canalizadas las aguas pluviales provenientes de los tablazos para desembocar finalmente en el mar. Cabe resaltar que, las viviendas son ocupadas por personal de la refinería.
- **Zona Industrial.-** Se extiende en 99 ha aproximadamente, está conectada por la Av. A y la carretera hacia el distrito de Negritos. En ésta se ubica la mayor parte de las empresas de servicios y logística industrial, así como viviendas de dos pisos.
- **Zona Villa Aeropuerto.-** Es la zona este de Talara (parte alta del tablazo). Abarca una superficie de 150 ha. En ésta se ubica el aeropuerto Capitán Montes.



Figura 3: Plaza de Armas de la ciudad de Talara.

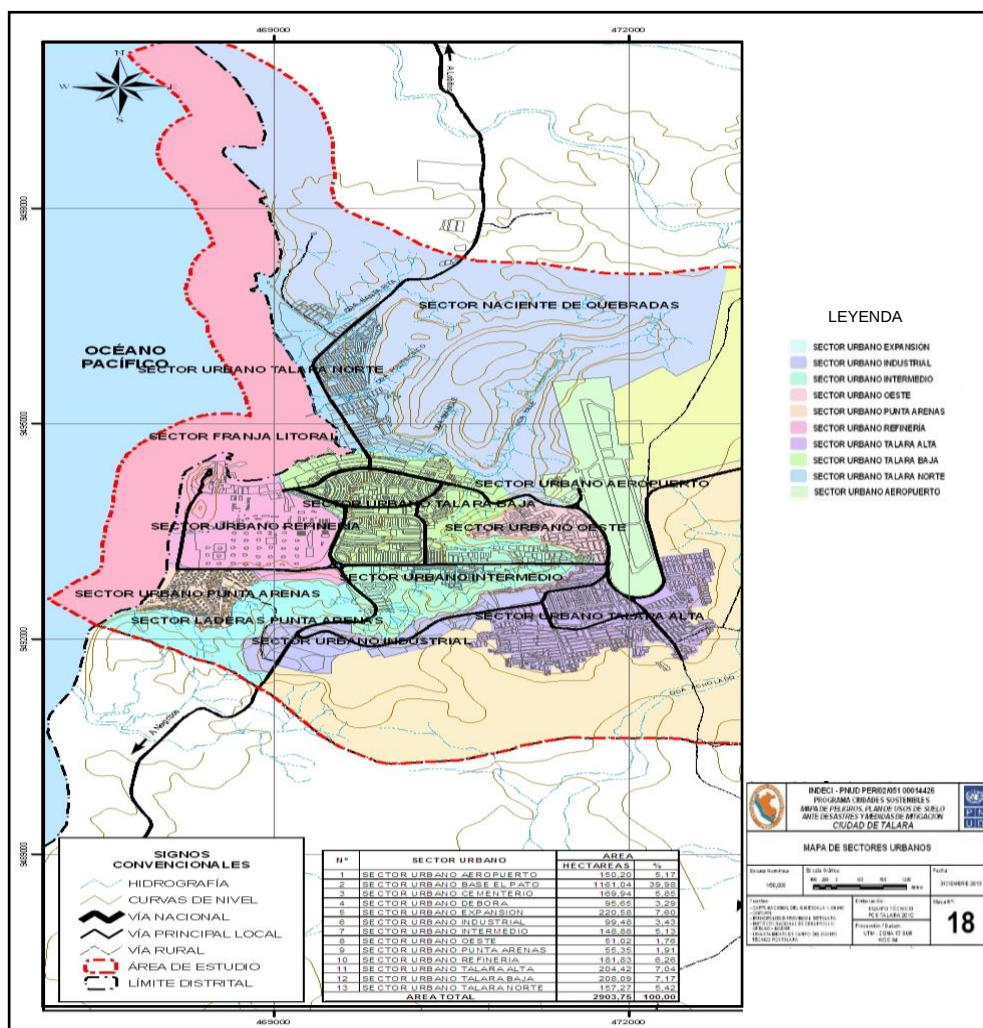


Figura 4: Sectores que conforman la ciudad de Talara (INDECI- 2010).

1.3.- Accesibilidad y Clima

El acceso a la ciudad de Talara, por vía terrestre desde Lima, es por la carretera Panamericana Norte con un recorrido aproximado de 1000 km, continuando el recorrido por un desvío a la altura del km 1094. Asimismo, el acceso por vía aérea; es por el aeropuerto internacional Montes, ubicado en un área aledaña a la base aérea “El Pato” de la Fuerza Aérea del Perú, que posee una pista de aterrizaje de 2500 de longitud y por vía marítima: Existe una infraestructura portuaria que se utiliza para el transporte de carga (90 % carga líquida y 10 % carga seca).

La ciudad de Talara limita por el norte con los distritos de Lobitos, al sur el distrito de Negritos y Lagunitos, al este con los cerros de Amotape y al oeste con el Océano Pacífico.

La estación meteorológica de Talara está ubicada a 2.56 km al NE del centro urbano Talara, en las coordenadas geográficas; Latitud: 4°34'1'', longitud: 81°15'1'' y cota 67 m.s.n.m. Esta estación no cuenta con datos disponibles en la web del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). Por consiguiente, para determinar las condiciones climáticas de la ciudad de Talara, se recurrió a la fuente Climate data, el cual indica que el clima es desértico, con temperaturas máximas registradas de 31.6 °C en el mes de marzo y la mínima es de 14 °C en el mes de julio (Tabla 1 y Figura 5).

Para el caso de precipitaciones la información fue a partir del informe de Diagnostico Socio Económico y Ambiental de la Zona Marino Costera de la Región de Talara, 2014, el cual abarca el período 1986-1995 y complementada con los datos del modelamiento hidrológico de la Autoridad Nacional del Agua, en el período 2000 – 2018, el cual menciona datos mensuales de precipitación máxima en 24 horas, el valor más alto registrado fue de 88.89 mm/día en el mes de marzo del 2017.

Tabla 1: Registro de precipitaciones máximas en 24 horas (mm), periodo 1986- 2018 (SNIRH-ANA).

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1986	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1987	2.5	15	8	1.2	0	0	0	0	0	0	0	0
1988	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1989	0	4	0.2	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0
1990	0	0	0	0	0	0	0	0	0	SD	0	0
1991	0	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1992	2	18.2	56	25	0	0	0	0	0	0	0	0
1993	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0
1994	0	0	0.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1995	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1996-1999	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
2000	0.17	0.39	0.24	0.36	0.05	0.1	0.01	0	0	0.04	0.01	0
2001	0.34	0.13	1.58	0.76	0.08	0.05	0.01	0	0	0.01	0.01	0.17
2002	0.19	0.19	1.42	0.71	0	0.03	0.06	0	0	0.05	0.05	0.04
2003	0.03	0.12	0.07	0.09	0.07	0.05	0	0	0	0.1	0.04	0.03
2004	0	0.08	0.05	0.1	0.07	0	0.22	0	0	0.78	0	0.13
2005	0.15	0	0.47	0.18	0.03	0.14	0.15	0	0	0.13	0.22	0.15
2006	0.2	0.22	0.3	0.06	0.05	0.11	0.13	0	0	0.09	0.15	0.24
2007	0.17	0.07	0.56	0.38	0.04	0.16	0.32	0	0	0.14	0.09	0.21
2008	0.18	1.03	0.24	0.26	0.05	0.13	0.13	0	0	0.17	0.08	0.15
2009	0.24	0.72	0.13	0	0.65	0.32	0.21	0	0	0.06	0.16	0.09
2010	0.14	0.19	1.06	0.57	0.05	0.31	0.15	0	0	0.25	0.18	0.28
2011	0.15	0.07	0.06	0.5	0.03	0.14	0.19	0	0	0.17	0.08	0.08
2012	0.01	1.45	0.11	0.48	0.03	0.07	0.39	0	0	0.72	0.2	0.13
2013	0.03	0.25	0.62	0	0.17	0.06	0.22	0	0	0.15	0.24	0.26
2014	0.35	0.12	0.21	0.06	0.04	0.03	2.22	0	0	0.2	0.05	0.32
2015	0.04	0.94	0.94	0.03	0.03	0.05	0.18	0	0	0.06	0.03	0.14
2016	0.33	0.21	1.86	0.1	0.02	0.11	0.06	0	0	0.24	0.33	0.17
2017	0.45	1.04	3.7	0.09	0.13	0.07	0.19	0	0.33	0.21	0.11	0.2
2018	0.11	0.13	0.08	0.12	0.32	0.65	0.34	0	0	0.14	2.18	0.15

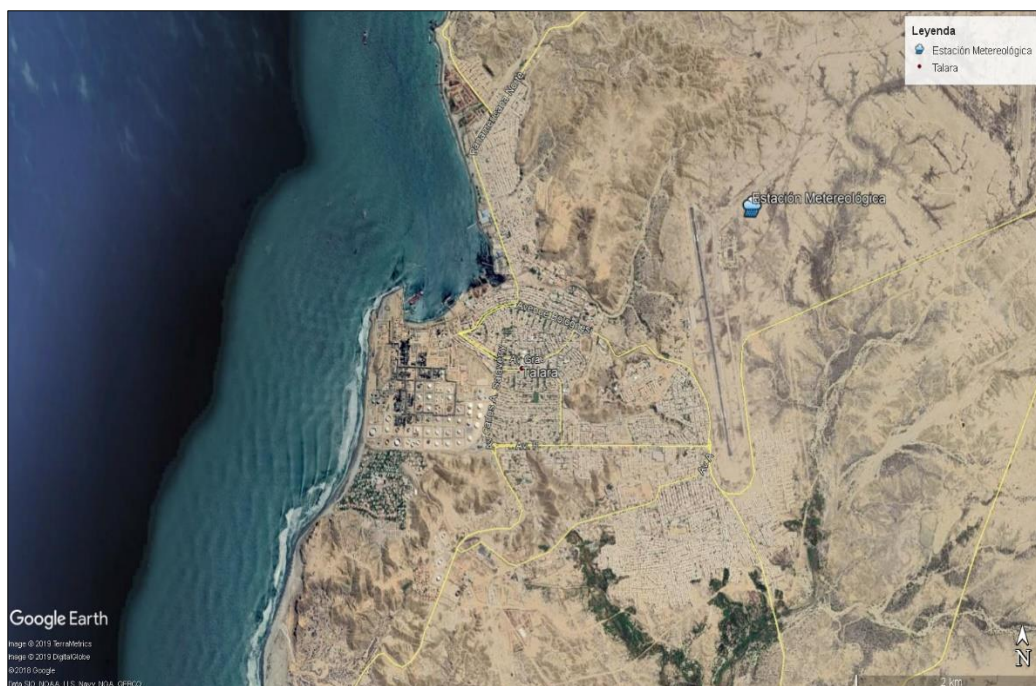


Figura 5: Estación Meteorológica "Talara".

1.4.- Economía

La economía de la región Piura se desarrolla en base a su producción pesquera, producción de fertilizantes y en el sector agrícola, basándose en el cultivo y comercialización de algarrobos, sorgo, arroz, maíz amarillo, plátano, limón, yuca, mango; etc. Asimismo, en el sector minero se basa extracción de hierro, sal y fosfatos; además de la producción de potasio, cobre, plomo, plata, carbón, azufre, bentonita y baritina. Por último, la extracción de petróleo equivalente al 33 % de la producción nacional del Perú.

1.5.- Estudios Previos

Para la ciudad de Talara, 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:

- En el 2018, la Dirección de Hidrografía y Navegación (DHN) realiza la Carta de Inundación en caso de Tsunami, puerto Talara – Piura, cuya finalidad es determinar la máxima distancia de inundación en el caso de Tsunami, realizan la simulación numérica para eventos sísmicos de magnitud 8.5 y 9.0 Mw. Como resultado olas de hasta 5 metros pueden llegar a inundar gran parte de la zona de playa, por el norte hasta la carretera Panamericana, por el centro el puerto de Talara y por el sur, la refinería Talara y parte del sector Rompe Olas.
- En el 2017, CENEPRED en coordinación con los funcionarios de la Municipalidad presentan el estudio “Informe de evaluación de riesgo por flujo de detritos en el centro poblado de Talara, distrito de Pariñas, provincia de Talara, departamento de Piura”, siendo el objetivo determinar el nivel de riesgo por flujo de detritos, realizan la caracterización geológica y geotécnica de la ciudad en la que definen

depósitos antrópicos que se encuentran emplazados hacia el sureste del área urbana próximo a la margen derecha de la quebrada Acholado. Asimismo, según la clasificación del tipo de suelo, en Talara Baja se emplaza suelos arenosos y limosos, principalmente el cercado de la ciudad de Talara. Sin embargo, en Talara Alta predominan los suelos gravosos y arenosos y de manera sectorizada, los suelos arcillosos y suelos areno limosos.

- En el 2014, el IGP mediante el proyecto de cooperación con el Banco Mundial presenta el estudio “Re-evaluación del peligro sísmico probabilístico para el Perú”, considerando que el Perú se encuentra en una región altamente sísmica se realiza el estudio de peligro sísmico con bases sísmicas actualizadas. Se definen nuevas fuentes sismogénicas y se genera los mapas de aceleración horizontal (PGA), los resultados muestran que Talara presenta aceleraciones de hasta 460 gals para un periodo de retorno de 500 años.
- En el 2010, INDECI y PENUD mediante el programa Ciudades Sostenibles realizan el estudio “Mapa de peligros, plan de usos de suelo ante desastres y plan de mitigación de la ciudad de Talara”, las características geomorfológicas y las lluvias extraordinarias y/o FEN permiten que Talara este expuesta a inundaciones, principalmente en Talara Baja. Asimismo, se encuentra expuesto a inundación por Tsunami ante la ocurrencia de un evento sísmico. Las investigaciones geotécnicas permiten definir que los suelos de Talara Baja se encuentran caracterizados principalmente por arenas y arcillas de baja capacidad admisible, sin embargo, Talara Alta está caracterizada por suelo gravoso cuya capacidad admisible puede alcanzar en 4.13 – 5.32 Kg/cm² con zapata aislada.
- En el 2006, Chiapana, J., realiza el estudio “Evaluación geológica de la formación Pariñas en el yacimiento Sección 16 Lote 1 – Cuenca Talara”, siendo el objetivo el análisis geológico hidrocarburífero y evolución

estratigráfica del área de estudio. Dentro del marco estructural definen una secuencia de fallas geológicas, dos de ellas cruzan el área urbana de Talara Alta con dirección SO – NE, la primera es denominada como Falla Rinconada y está ubicada de manera paralela a la quebrada Yale y la segunda, denominada como Falla Calzada corresponde al límite entre el A.H. Sol de Oro y Talara Alta.

- En 1999, mediante el convenio interinstitucional entre INADUR, CEREN y PNUD realizan el estudio “Mapa de peligros, plan de usos de suelo y plan de mitigación de efectos producidos por los desastres naturales en la ciudad de Talara”, cuyo objetivo es la planificación estratégica de largo plazo, que garantice la seguridad del asentamiento y su desarrollo sostenible, el caso del Fenómeno del Niño más severo fue registrado entre 1982 y 1983, causando inundaciones, destrucción de viviendas, carreteras y puentes, perdidas en la agricultura, siendo los cauces de mayor drenaje las quebradas Pariñas, Santa Rita, Politécnico, Yale y Acholado, además de las escorrentías. Asimismo, existen los suelos expansivos caracterizados por arcillas, que causaron daños en las cimentaciones de edificaciones en 1970 en la Urb. Punta Arenas. Suelos colapsables, que contienen sales y sulfatos conglomerados, que se solubilizan con el agua dejando cavernas que causan fallas en las estructuras de Villa FAP, Base Militar el Pato y los A.H. del Cono Sur. Respecto a la capacidad portante varía entre 0.8 a 2.5 kg/cm², siendo los valores más bajos en el área urbana de Talara Baja y los valores altos en Talara Baja (Villa FAP). Respecto a la sismicidad en 1953, derrumbes en los taludes de los cerros, en 1957 agrietamientos en casas, en 1970 un sismo de magnitud 7.6 grados ocurrió daños en los sistemas de agua potable y desagüe, ruptura en las edificaciones de las Av. H, parque 58, 3, 25, 32 y 33, colegio I. Merino, Centro de Salud, y el Hospital de Petro Perú. En Talara podría generarse tsunami, deslizamiento, asentamiento y amplificación de ondas sísmicas, por suelos sueltos, saturados, y licuación de suelos en la franja inmediata a la ribera del mar, entre 0 a 5

m.s.n.m.; desde Punta Arenas, refinería, Centro Cívico, zona ubicada entre la Av. B y la playa contigua a la Av. Yale. Hacia el sureste del Talara Alta identifican depósitos antrópicos, poco compactos y susceptibles a sufrir el fenómeno de densificación de suelos.

- En 1992, la UNI y CISMID realizan el informe de investigación “Características geotécnicas de la ciudad de Talara”, cuyo objetivo principal es identificar los tipos de suelo de comportamiento especial estableciendo la zonificación en base a las características geotécnicas. Talara es vulnerable a la acción destructiva de fuertes precipitaciones ocasionadas por el fenómeno El Niño. El sismo de mayor magnitud registrado ocurrió en el año 1952 con intensidades entre VII y VIII en la escala MM, de ahí que el estudio de peligro indica que los niveles máximos de aceleración en la roca varían entre 300, 375, 470 y 623 cm/seg^2 para un periodo de retorno de 50, 100, 200 y 500 años respectivamente. Los suelos expansivos son de tipo CH y CL, corresponden a las arcillas lutaceas identificados en Punta Arenas, Urb, Los Vencedores y Urb, Sudamérica. En Talara Baja se encuentran suelos arenosos de procedencia aluvial o eólico, presenta consistencia suelta a media, el nivel freático se ubica entre los 1.5 a 5.0 metros de profundidad y es vulnerable a sufrir licuación. En Talara Alta se encuentran los suelos colapsables, de consistencia media a densa, pero posee alto contenido de sales solubles.

2.- CONDICIONES LOCALES DE SITIO

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

Las condiciones locales de sitio son evaluadas en los estudios de Zonificación Sísmica, geotécnica y el resultado es considerado como una de las herramientas más importantes para minimizar los daños producidos por los sismos. La finalidad es evaluar el comportamiento dinámico de los suelos (CDS), es debido a que 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, 2006- 2018), ver Figura 6.



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

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

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

2.1.- La Norma Técnica E.030

En el Perú, la construcción de obras civiles de cualquier envergadura debe considerar la Norma Técnica E.030 “Diseño Sismorresistente” del Reglamento Nacional de Edificaciones, modificada según Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda. Básicamente, esta norma considera los perfiles de suelos en función de sus propiedades mecánicas, tomando en cuenta la velocidad promedio de propagación de las ondas de corte, o alternatively, para suelos granulares, considera el promedio ponderado de los N_{60} obtenidos mediante un ensayo de penetración estándar (SPT), o el promedio ponderado de la resistencia al corte en condición no drenada S_u para suelos cohesivos. Se estable 5 perfiles (Tabla 2):

- **Perfil Tipo S_0 : Roca Dura**, corresponde a las rocas sanas con velocidades de propagación de ondas de corte (V_s) mayor a 1500 m/s.

- **Perfil Tipo S_1 : Roca o Suelos Muy Rígidos**, a este tipo corresponden rocas con diferentes grados de fracturación, de macizos homogéneos y los suelos muy rígidos con velocidades de propagación de onda de corte V_s entre 500 y 1500 m/s.
- **Perfil Tipo S_2 : Suelos Intermedios**, son suelos medianamente rígidos, con velocidades de propagación de onda de corte V_s entre 180 y 500 m/s.
- **Perfil Tipo S_3 : Suelos Blandos**, corresponden suelos flexibles con velocidades de propagación de onda de corte V_s menor o igual a 180 m/s.
- **Perfil Tipo S_4 : 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).

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

Perfil	V_{s30} (m/s)	Descripción
S_0	> 1500	Roca dura
S_1	500 a 1500	Roca o suelo muy rígido
S_2	180 a 500	Suelo medianamente rígido
S_3	< 180	Suelo blando
S_4	Clasificación basada en el EMS	Condiciones Excepcionales

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

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

Dónde:

d_i = espesor de cada uno de los estratos n.

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

En general, para cualquier estudio se deberá considerar el tipo de suelo que mejor describa las condiciones locales de cada zona de interés. Para este estudio, la Zonificación Sísmica – Geotécnica se realiza en función de las características mecánicas y dinámicas de los suelos que conforman el terreno de cimentación del área de estudio y de las consideraciones dadas por Norma E.030 (Diseño Sismorresistente). De acuerdo a los estudios realizados, se establece la existencia de 4 zonas cuyas características son:

ZONA I: Comprende a suelos Tipo S1, cuyo periodo predominante varía entre 0.1 y 0.3 segundos.

ZONA II: Comprende a suelos Tipo S2 y el predominio de periodos entre 0.3 y 0.5 segundos.

ZONA III: Comprende a suelos Tipo S3, cuyos periodos predominantes son de 0.5 y 0.7 segundos.

ZONA IV: Comprende a suelos Tipo S4 (condiciones excepcionales) y está conformada por:

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

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

-Zona IVc: Depósitos de relleno sueltos, desmontes heterogéneos, rellenos sanitarios.

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

CONCLUSIONES

Para la Ciudad de Talara se ha identificado, según las características dinámicas del suelo, sus propiedades mecánicas y el procesamiento establecido en la Norma de construcción Sismoresistente E-030:

- La ciudad de Talara se caracteriza por presentar seis unidades geomorfológicas como son los: acantilado, lecho aluvial, playa, tablazo, terraza marina y terraza marina-aluvial. La mayor parte de ellas están conformadas por materiales eólicos, aluviales y marinos (anteriormente plataforma marina), sobre los cuales se asienta la ciudad. Con el proceso de levantamiento tectónico, se formaron los tablazos, sobre los cuales descienden las aguas de escorrentías principalmente en épocas de ocurrencia del fenómeno El Niño hasta desembocar en quebradas como Acholado, Santa Rita, Yale y Mangle, las cuales bifurcan el casco urbano y zonas de expansión, produciendo daños en las viviendas ubicadas en los cauces de las mismas o en las márgenes.
- Los tablazos constituidos por materiales meteorizados y predispuestas a erosionar como areniscas y lutitas y presencia de restos calcáreos, están expuestos a los agentes erosivos como agua, viento, etc., como es el caso de las aguas de escorrentía que generan cárcavas en los mismos, la acción en conjunto de las escorrentías con los materiales provenientes de la erosión y posterior depositación en su cauce generan los flujos de detritos que afectan la zona media y baja de los tablazos de Talara, asimismo, contribuye a desestabilizarlos y como consecuencia se producen caída de rocas y deslizamientos. Es importante indicar que, los desbordes e inundaciones registradas durante El Niño Costero se debieron principalmente a la colmatación de los cauces de las quebradas y/o escorrentías por la acumulación de desechos antrópicos en éstos lo que incremento el tirante de agua al primer incremento de caudal.

- Los eventos geodinámicos identificados en la zona de estudio están representados por inundaciones y movimientos de masa como son deslizamientos, caídas de rocas, flujos de detritos. Las áreas expuestas ante flujos de detritos involucran un total de 5200 habitantes y 1400 viviendas expuestas, mientras que, para el caso de caídas de rocas e inestabilidad de laderas son de 200 habitantes y 60 viviendas.
- Se identificaron seis tipos de suelos en la ciudad de Talara, entre los cuales predominan: Gravas limo arcillosa con arena (GC-GM) con compacidad media y capacidad de carga portante media (2.00 – 3.00 kg/cm²), así como, arenas mal graduadas (SP), arenas limosas (SM), arena limo arcillosa con grava (SC-SM), limo inorgánico (ML) y arcilla inorgánica (CL), los cuales presentan compacidad media a suelta y capacidad de carga portante muy baja (<1.00 kg/cm²) a baja (1.00 – 2.00 kg/cm²).
- Los resultados obtenidos para la ciudad de Talara han permitido identificar, según las características dinámicas del suelo (Figura 7), sus propiedades mecánicas y el procedimiento establecido en la Norma E.030, la existencia de una zona sísmica correspondientes a suelos Tipo S1, S2 y S4. Estos tipos de suelos corresponden a las Zonas I, II y IV respectivamente, donde el 60 % del área de estudio responde a periodos que varían entre 0.4 y 0.9 segundos, con amplificaciones relativas mayores a 3 veces, sugieren que los mayores sacudimientos se presentan en la mayor parte de Talara Baja, de manera local, se presenta al sur y sureste de Talara Alta, en las quebradas que constantemente se encuentran húmedas y en otros lugares puntuales.

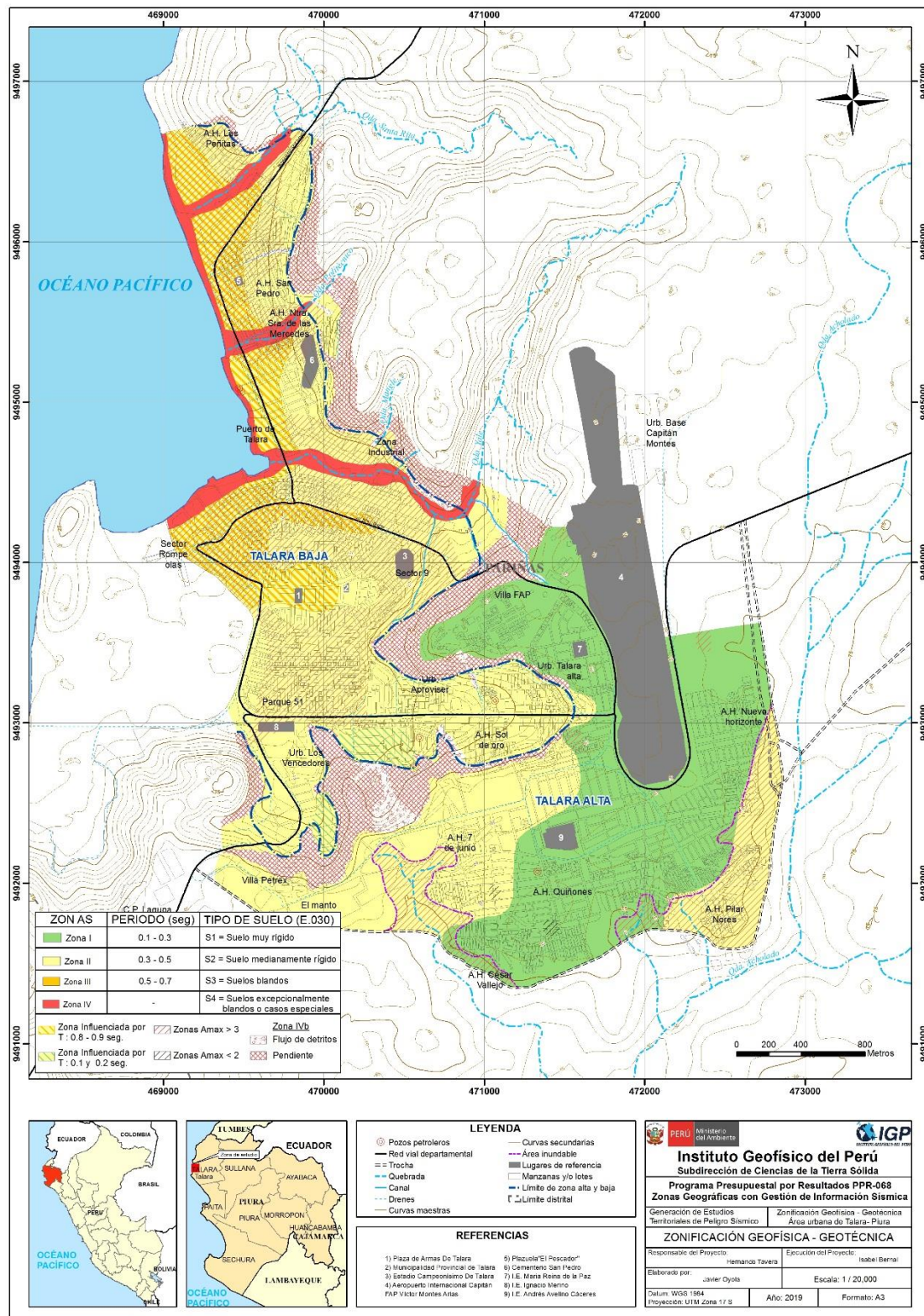


Figura 7: Mapa de Zonificación Sísmica – Geotécnica para la ciudad de Talara.

CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA DE LA CIUDAD DE TALARA

CONTENIDO

1. METODOLOGÍA

2. GEOMORFOLOGÍA

- 2.1. Modelo digital de elevación
- 2.2. Pendientes
 - 2.2.1. Clasificación del grado de pendientes
- 2.3. Unidades geomorfológicas
 - 2.3.1. Acantilados
 - 2.3.2. Lecho Aluvial
 - 2.3.3. Playa
 - 2.3.4. Tablazo
 - 2.3.5. Terraza Marina
 - 2.3.6. Terraza Marino- Aluvial

3. GEOLOGÍA

- 3.1. Geología local
 - 3.1.1. Formación Pariñas (Te-pr)
 - 3.1.2. Grupo Talara (Te-t)
 - 3.1.3. Formación Verdún (Te-v)
 - 3.1.4. Tablazo Talara (Qp-tt)
 - 3.1.5. Tablazo Lobitos (Qp-tl)
 - 3.1.6. Depósitos Cuaternarios
- 3.2. Geología Estructural
 - 3.2.1. Falla
 - 3.2.2. Plegamientos
 - 3.2.3. Discordancia angular

4. GEODINÁMICA

- 4.1. Procesos de geodinámica interna
- 4.2. Procesos de geodinámica externa
- 4.3. Zonas susceptibles a procesos geodinámicos
 - 4.3.1. Zonas Susceptibles a Inundaciones
 - 4.3.2. Zonas Susceptibles a movimientos en masa
- 4.4. Elementos expuestos

5.- ASPECTOS GEOTÉCNICOS

5.1. Exploraciones a cielo abierto

5.1.1. Descripción de calicatas

5.2. Densidad del suelo in-situ

5.3. Exploraciones con posteadora manual

5.4. Ensayos de penetración dinámica ligera (norma DIN 4094)

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

5.6. Capacidad de carga portante

5.6.1. Tipos de Capacidad de carga portante

5.7. Clasificación de suelos, SUCS

CONCLUSIONES

1.- METODOLOGÍA

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

- ✓ **Gabinete I:** Las actividades realizadas incluyeron la revisión de imágenes satelitales WorlView-2 con resolución 0.5 m, obtenidas del servidor Digital Globe (2010), con la finalidad de delimitar la zona de estudio, así como la recopilación de información bibliográfica de la zona a escala regional y local (boletines geológicos, informes técnicos, entre otros).
- ✓ **Campo I:** Se realizó el cartografiado geológico, geomorfológico y geodinámico a escala 1:20000; para realizar este cartografiado se utilizó la ortoFigura del área de estudio obtenida a través del RPAS.
- ✓ **Campo II:** Elaboración de ensayos geotécnicos de acuerdo a:
 1. Elaboración de calicatas: Se realizaron 08 calicatas distribuidas equitativamente entre el casco urbano y área de expansión urbana.
 2. Ensayos de Penetración Dinámica Ligera (DPL): se realizaron 11 DPL a fin de determinar la resistencia de los suelos al ser penetrados.
 3. Ejecución de auscultaciones usando una posteadora: se distribuyeron 16 posteos en superficie fin de complementar la información sobre los tipos de suelos.
- ✓ **Laboratorio:** Se realizó el procesamiento de las muestras de suelo para conocer su granulometría (clasificación SUCS), humedad, densidad y corte directo (capacidad de carga admisible).
- ✓ **Gabinete II:** Elaboración del informe técnico adjuntando las fichas geotécnicas (calicatas, DPL y posteos), geodinámicas (identificación de zonas susceptibles a movimientos en masa e inundaciones) y planos temáticos a escala 1:20 000.

2.- GEOMORFOLOGÍA

La geomorfología estudia las diferentes formas de relieve de la superficie terrestre (geoformas) y los procesos que las generan. Este relieve es el resultado de la interacción de fuerzas endógenas y exógenas. Las primeras actúan como creadoras de grandes elevaciones y depresiones producidas fundamentalmente por movimientos en masa de componente vertical; mientras que, las segundas, como desencadenantes de una continua denudación que tiende a rebajar el relieve originado; estos últimos llamados procesos de geodinámica externa que agrupa a la cadena de meteorización-erosión, transporte y sedimentación (Gutiérrez, 2008). El estudio de la geodinámica externa se efectúa en un sistema proceso- respuesta, siendo el primero el agente creador (origen) y el segundo, la geoforma resultante. El término geoforma es un concepto genérico que designa a 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 Talara.

Previamente, en base al levantamiento topográfico y mediante herramientas computacionales (SIG) se ha elaborado los planos: Modelo Digital del Terreno y de pendientes, con el fin de delimitar las características geomorfológicas del terreno. Estos mapas fueron verificados y validados durante el trabajo de campo realizado en la Ciudad de Talara.

2.1.- Modelo Digital de Elevación (MDE)

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

Para la elaboración del MDE de la ciudad de Talara, se tomó en cuenta el uso de herramientas SIG sobre las curvas de nivel diseñadas anteriormente, y así obtener la representación digital de la superficie del terreno.

En base a los resultados del MDE elaborado de la ciudad de Talara se ha reconocido que Talara Baja (Urb. Los Vencedores, Parque 51, Sector Rompe Olas) se asienta sobre pendientes entre los 10 y 24 m.s.n.m.; mientras que, la zona de Urb. Talara, Villa FAP, Aeródromo, Sector B, Aproviser), presentan altitudes entre los 24 y 67 m.s.n.m. Las elevaciones superiores a 81 m.s.n.m. se encuentran al sur y sureste de Talara (Villa Petrex, El Manto, AA.HH. Quiñones, 7 de Junio, Pilar Nores, César Vallejo), ver Figura 1.

2.2. Pendientes

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

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

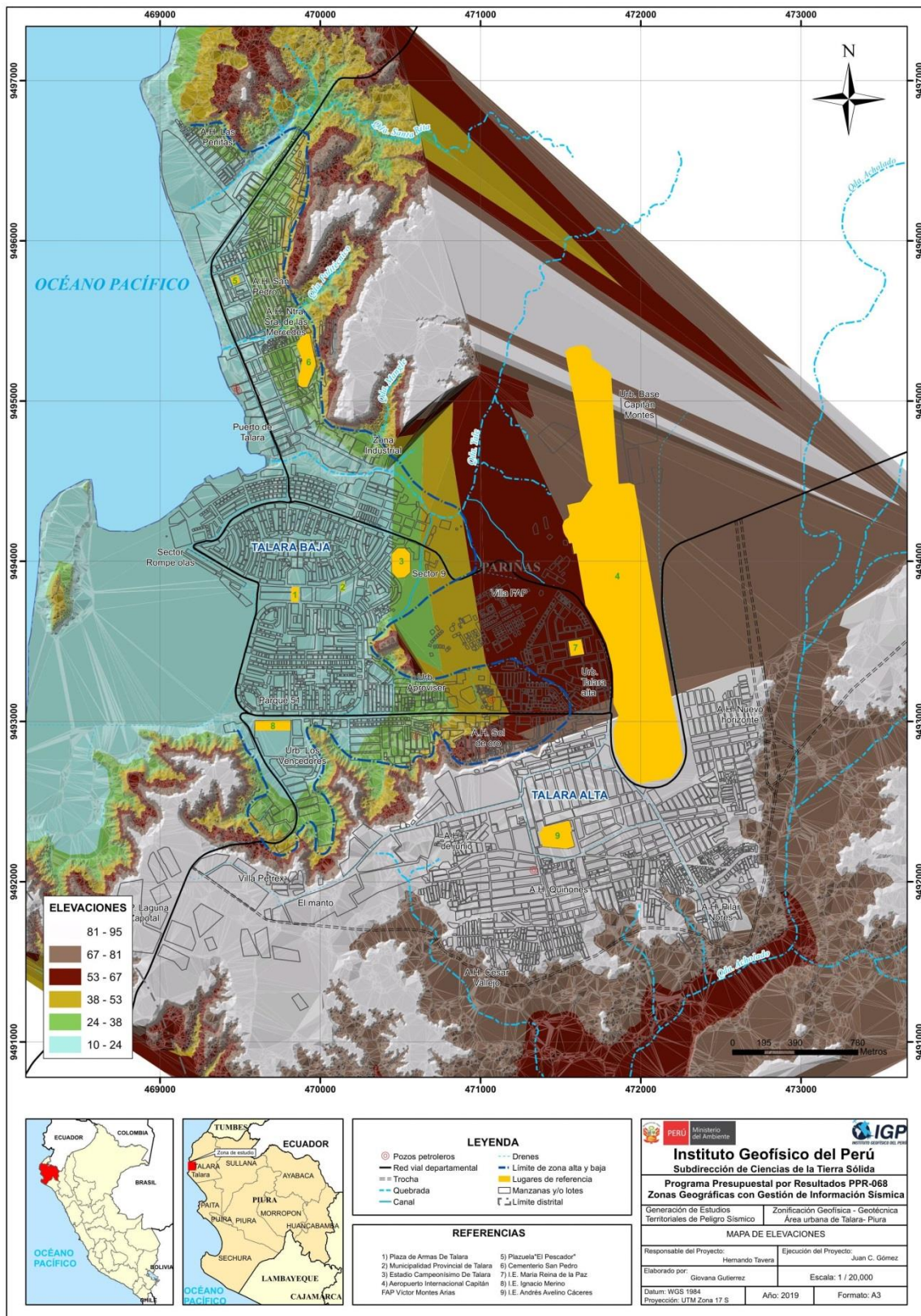


Figura 1: Mapa del modelo digital de elevaciones para la ciudad de Talara y alrededores.

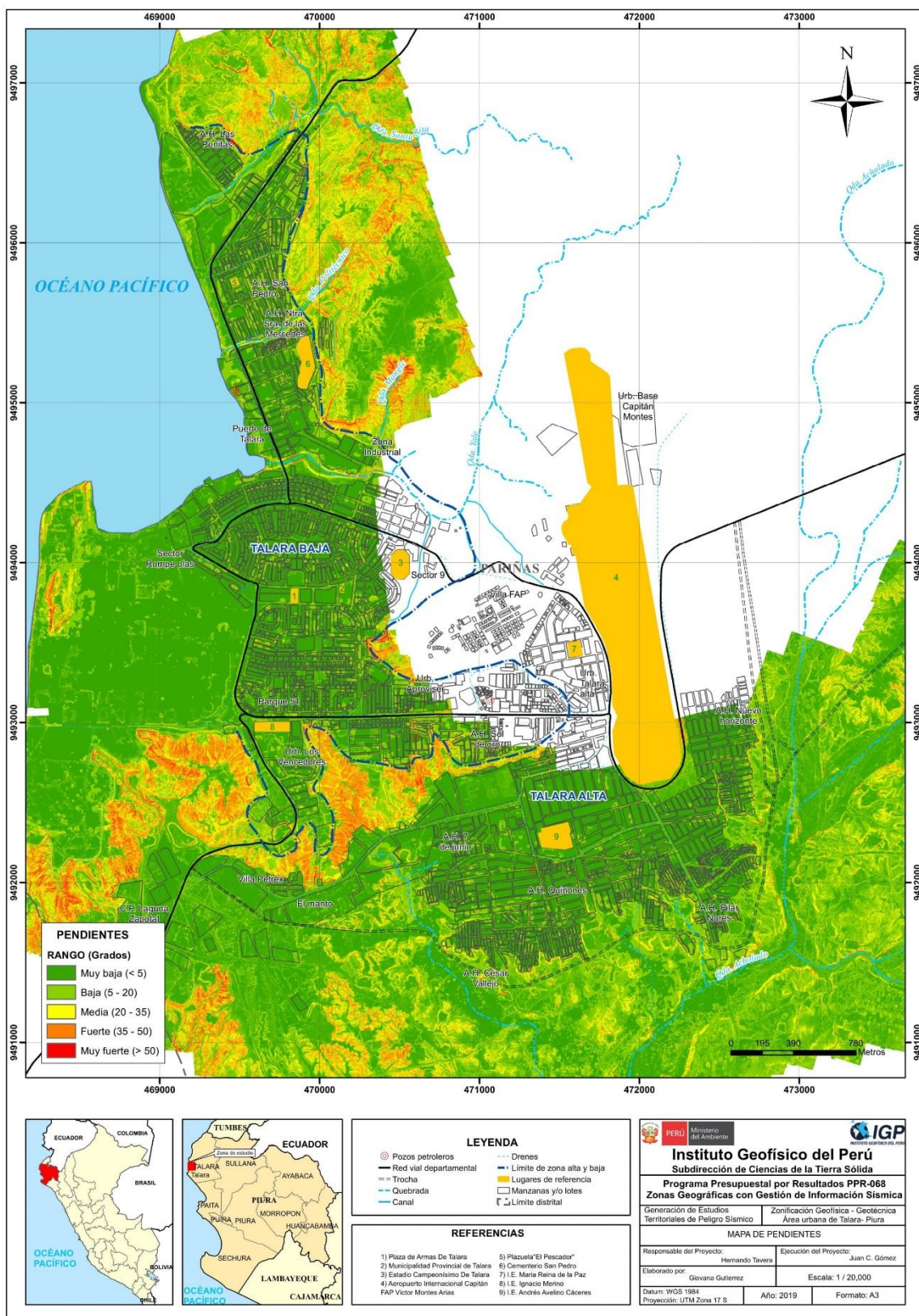


Figura 2: Mapa de pendientes y alrededores para la Ciudad de Talara.

2.2.1.- Clasificación del grado de pendientes

Para la clasificación de los rangos de pendientes se usó la hipótesis de Fidel et al. (2006), siendo su contribución los valores de la Tabla 1:

Tabla 1: Rangos de pendientes del terreno.

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

La ciudad de Talara Baja, se encuentra asentada sobre una terraza marina- aluvial con pendientes menores 5°; mientras que, en dirección noreste y sur (zona de tablazos) las pendientes superan los 20° (Figura 2).

2.3.- Unidades geomorfológicas

Estas unidades, con ciertas características físicas, son generadas por procesos morfogenéticos de carácter endógeno (procesos internos) y exógeno (procesos externos) formando relieves positivos y negativos (Figura 3).

a) Características físicas

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

b) Procesos

Los agentes modeladores como el agua, viento, temperatura, entre otros, desencadenan diversos procesos externos como el intemperismo, meteorización, erosión, transporte y deposición, generando diferentes

geoformas que pueden ser clasificados de acuerdo a su origen, en depositacional y denudacional (erosional). Otros procesos internos como el magmatismo y tectonismo, generan unidades de origen estructural. En el área de estudio se han delimitado seis unidades geomorfológicas, sus características físicas y origen, son descritas en la Figura 3 y Tabla 2.

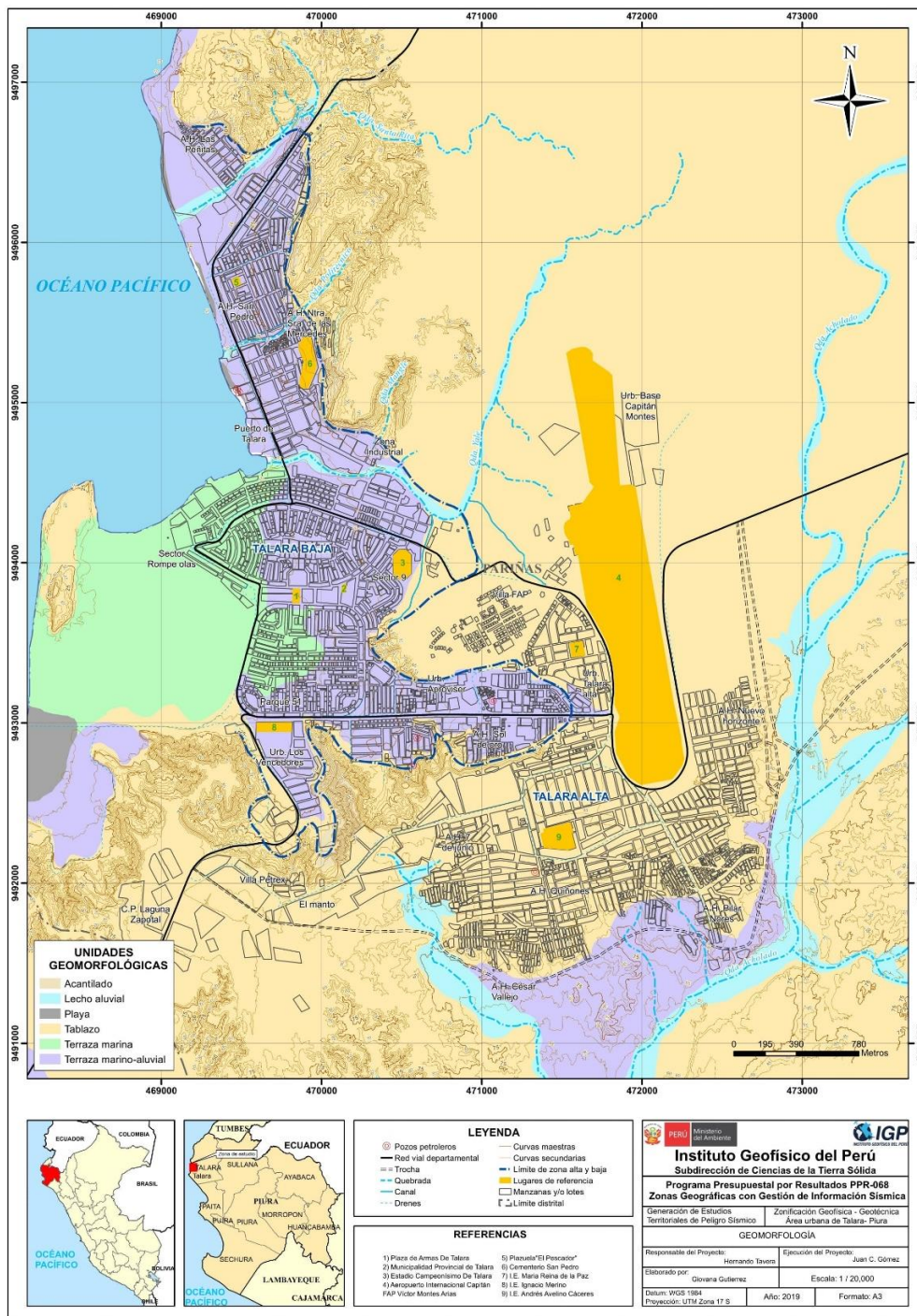


Figura 3: Mapa geomorfológico para la ciudad de Talara.

Tabla 2: Descripción de las unidades geomorfológicas, de la ciudad de Talara, en base a sus características físicas y origen.

GEOMORFOLOGÍA PATRÓN					
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		PROCESO	UNIDAD GEOMORFOLÓGICA	ÁREA (HA)	ÁREA (%)
Pendiente	35° - 50°	Depositacional	Acantilado	40	1
Geometría	alargada				
Drenaje	dentrítico				
Pendiente	5°	Denudacional	Lecho aluvial	277	7
Geometría	alargada				
Drenaje	dentrítico				
Pendiente	<5°	Depositacional	Playa	87	2
Geometría	alargada				
Pendiente	20 - 35°	Estructural	Tablazo	2494	67
Geometría	irregular				
Pendiente	< 5°	Estructural	Terraza marina	213	6
Geometría	irregular	Depositacional			
Pendiente	5-20°	Depositacional	Terraza marina-aluvial	660	17
Geometría	irregular				

2.3.1.- Acantilados

Son geoformas que se caracterizan por presentar una pendiente de inclinación subvertical a vertical. En el área de estudio los acantilados se han formado como el resultado del levantamiento tectónico de las terrazas marinas que circundan la ciudad de Talara. Estos presentan desniveles entre los 30 m y 80 m.

De acuerdo con el tratado de Sunamura (1992), se ha inferido que la velocidad del retroceso oscila entre 0.10 m a 1 m / año al estar constituido por rocas sedimentarias del Pleistoceno. Representa el 1 % del área de estudio (Figura 4). El área de los acantilados está rodeada por plataformas de abrasión formadas por el retroceso del mismo. Estas plataformas son generalmente horizontales; sin embargo, en la zona de estudio están buzando 5° hacia el mar y se extienden desde la base del acantilado hasta por debajo de la acción de las mareas, siendo muy visibles en la playa Las Peñitas (Figura 5).



Figura 4: Acanilado, parte lateral de la terraza marina que circunda la ciudad de Talara.



Figura 5: Plataforma de abrasión, sector Las Peñitas.

2.3.2.- Lecho Aluvial

Esta unidad geomorfológica esta conformada por lechos de las quebradas Yale Acholado, Santa Rita y Politecnico, todas presentan drenaje dendrítico. La unidad abarca el 7 % de la zona de estudio y sus características son:

Quebrada Yale: Nace al norte de la base militar “El Pato”, en el Tablazo y se extiende hasta la clínica Santa María en dirección NE a SO, para finalmente, desembocar en el mar. El caudal es de régimen temporal y su cauce tiene un ancho que llega hasta 120 m; tiene una profundidad aproximada de 12 m y una pendiente muy suave de 1° , por lo que el mar ingresa en su cauce en una extensión de 150 m y en épocas de marea alta hasta los 300 m. Posee afluentes como el canal Campeonísimo, en su desembocadura a la altura de la clínica Santa María, y la Quebrada Mangle (Figura 6).



Figura 6: Lecho aluvial de la quebrada Yale y uno de sus afluentes la quebrada Mangle.

Quebrada Acholado: Se origina en las laderas de los cerros Amotape, en las partes altas del Tablazo. Tiene un recorrido de 11 km aproximadamente en dirección noreste a suroeste, con un ancho entre los 600 y 800 metros y una profundidad de 30 m. Discurre al sureste del aeropuerto de Talara y de los asentamientos humanos del Cono Sur (nueva zona de expansión de Talara), dónde produce una erosión laminar (Figura 7).

Quebrada San Rita: Nace sobre los 85 m.s.n.m. y sigue un curso de sureste a norte cruzando la carretera que conduce a Lobitos y desemboca al

mar frente al campamento Petrotech Peruana S.A. Posee una pendiente de 1° y un cauce de 40 metros de ancho aproximadamente, con un caudal de régimen temporal. Cabe mencionar que, uno de sus afluentes descende del sector Las Peñitas (Figura 8).



Figura 7: Lecho aluvial de la quebrada Acholado.



Figura 8: Lecho aluvial de la quebrada Santa Rita

Quebrada Politécnico: Sus aguas discurren desde los taludes de tablazo al norte del antiguo cementerio de Talara entre los AA.HH. San Pedro y Las Mercedes, posteriormente por el Politécnico Alejandro Taboada hasta su desembocadura en el mar. Su cauce presenta un ancho de 30 m en promedio y tiene una pendiente de 3° y su caudal es de régimen temporal.

Esta quebrada presenta gaviones en un tramo de 150 m aproximadamente hasta la altura del Politécnico, por ello se produce la erosión y posterior desborde en épocas del fenómeno de El Niño (1998 y 2017).

Sector Alejandro Taboada – Jesús María: Desde la parte posterior del AA.HH. Alejandro Taboada, discurre una escorrentía que desciende por la avenida con dirección NO, hasta la carretera que conduce al distrito de Lobitos y su desembocadura en la Quebrada Santa Rita y recolecta las aguas pluviales de los taludes ubicados al este del asentamiento en mención. Su cauce presenta un enrocado en la parte alta; mientras que, en la parte baja fluye por un canal vía.

2.3.3.- Playa

Esta unidad geomorfológica es formada por la acción erosiva de las olas y posterior acumulación o acreción de sedimentos de arena, grava o mezcla de ambas, cuyo origen: puede ser fluvial, erosión de los acantilados, sedimentos de fondo marino y eólico. En el área de estudio esta geoforma se observa a 3 km al noroeste del centro urbano playa Las Peñitas (ancho 20 m y se extiende 1 km aproximadamente) y a 2 km al suroeste Punta Arenas (ancho 100 m y longitud de 800 m.). Esta unidad representa el 2 % del área de estudio (Figura 9).



Figura 9: Playa Las Peñitas ubicada a 3 km al noroeste del centro urbano de Talara.

2.3.4.- Tablazo

Es una terraza marina levantada durante el Pleistoceno. Su relieve es generalmente llano, aunque presenta ligeras ondulaciones producidas por la acción eólica y la disección de quebradas, las cuales se activan sólo en periodos lluviosos. Está inclinada hacia el sureste y presenta una altura entre 80 y 90 metros aproximadamente, representando el 67 % del área de estudio.

2.3.5.- Terraza marina

Esta unidad es producto de cambios tectónicos (subsistencia de la costa) y variaciones del nivel del mar. Su principal característica es la presencia de una fina franja costera de geometría escalonada levemente inclinada hacia el mar. Esta unidad se encuentra circundando la ciudad de Talara y representa el 6 % del área de estudio (Figura 10).



Figura 10: Tablazo y terraza marina, al sur del Condominio Punta Arena.

2.3.6.- Terraza marino-aluvial

Superficies horizontales o ligeramente inclinadas, cuyo relieve presenta pendientes menores a 5° . Generalmente conformada por materiales heterogéneos (clastos subangulosos a subredondeados envueltos en una matriz areno-limosa) y capas delgadas de limos. Representa el 17 % del área de estudio, encontrándose en los márgenes de la quebrada Acholado (Figura 11).



Figura 11: Tablazo que circunda la ciudad de Talara y terraza marino-aluvial.

3.- GEOLOGÍA

La geología es la ciencia que estudia la composición, estructura interna y externa de los materiales que componen al planeta Tierra y los procesos por los cuales ha venido evolucionando a lo largo de millones de años desde su origen hasta la actualidad. Para entender la geología de un lugar, se estudia la litología de las formaciones geológicas o unidades litoestratigráficas, determinando las características físicas de los componentes de las rocas, comprendiendo que estas son originadas por procesos internos (tectónica de placas, ascenso de magma, etc.) como también, por procesos externos que modelan la superficie terrestre tales como: Meteorización, erosión, transporte y depositación de rocas preexistentes, en base a estos procesos también se puede entender cuál es la dinámica de formación de los suelos.

De esta manera, para tener una idea clara de la geología local, se parte por conocer primero la geología histórica, es decir se estudian los eventos geológicos que ocurrieron en el pasado, que fuerzas actuaron en la formación de las estructuras geológicas, que tipos de rocas que se depositaron o emplazaron en un determinado tiempo y espacio geológico a escala regional, esta ciencia es complementada con otras ramas de la geología como son: la geología estructural, estratigrafía, sedimentología, geodinámica, geomorfología etc., todas estas disciplinas permiten explicar la complejidad o simplicidad geológica local sobre la cual se asienta una población.

3.1.- Geología local

Las unidades litológicas aflorantes en la ciudad de Talara están conformadas por rocas de origen sedimentario-marino de la Formación Pariñas, Grupos Talara y Lagunitos que conforman el basamento y cubiertos por depósitos Cuaternarios (Tabla 3 y Figura 12).

A fines del Eoceno Inferior un movimiento vertical originó un

levantamiento seguido de erosión, lo cual marcaría la discordancia entre la Formación Pariñas y el Grupo Talara (unidades del Eoceno Medio y Superior). El Grupo Talara está constituido por tres formaciones como son: Formación Lutita Talara (lutitas), seguida de la Formación Arenisca Talara (areniscas) y cubierta por La Formación Pozo (lutitas), todas de origen marino y afloran al norte, este y sur de Talara Baja.

Posteriormente, en el Eoceno Superior se produce el ingreso del mar que cubre al Grupo Talara, produciéndose la sedimentación discordante del Grupo Lagunitos conformado por la Formación Verdún (areniscas con lutitas) que aflora a lo largo del valle Pariñas.

Finalmente, en el Cuaternario estas formaciones fueron cubiertas por los depósitos marinos del Pleistoceno conocidos como Tablazos (indicios de las últimas regresiones del mar a lo largo de la costa) conformados por conglomerados en matriz arenosa de grano fino a grueso con restos de materiales calcáreos (caparazones, lumaquelas y coquinas en matriz arenosa y salina), así como, materiales recientes aluviales (arena fino y limos) y eólicos (arena de grano medio).

Tabla 3: Columna cronolitoestratigráfica de la zona de estudio.

SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS	SÍMBOLO	LITOLOGÍA
CENOZOICO	CUATERNARIO	Depósitos eólicos	Qh-e	Constituidos por arenas de grano medio a fino.
		Depósitos aluviales	Qh-al	Conformados por arenas de grano grueso a medio.
		Depósitos marinos	Qh-m	Conformados por arenas medias a gruesas con restos calcáreos.
	PELISTOCENO	Tablazo Talara	Qp-tt	Constituida por conglomerados con contenido de carbonatos.
	EOCENO	Formación Verdun	Te-v	Secuencia de areniscas de grano medio a grueso seguida de conglomerados redondeados y con intercalaciones de lutitas bentoníticas
		Grupo Talara	Te-t	Constituida por areniscas con intercalaciones de arcillas en niveles finos. Intercalaciones de lutitas color marrón oscuro con niveles de limolitas y de areniscas
		Formación Pariñas	Te-pr	Conformada por reniscas de grano medio a fino, de color amarillento no cementada con fragmento de troncos petrificados; intercaladas con capas de lutitas.

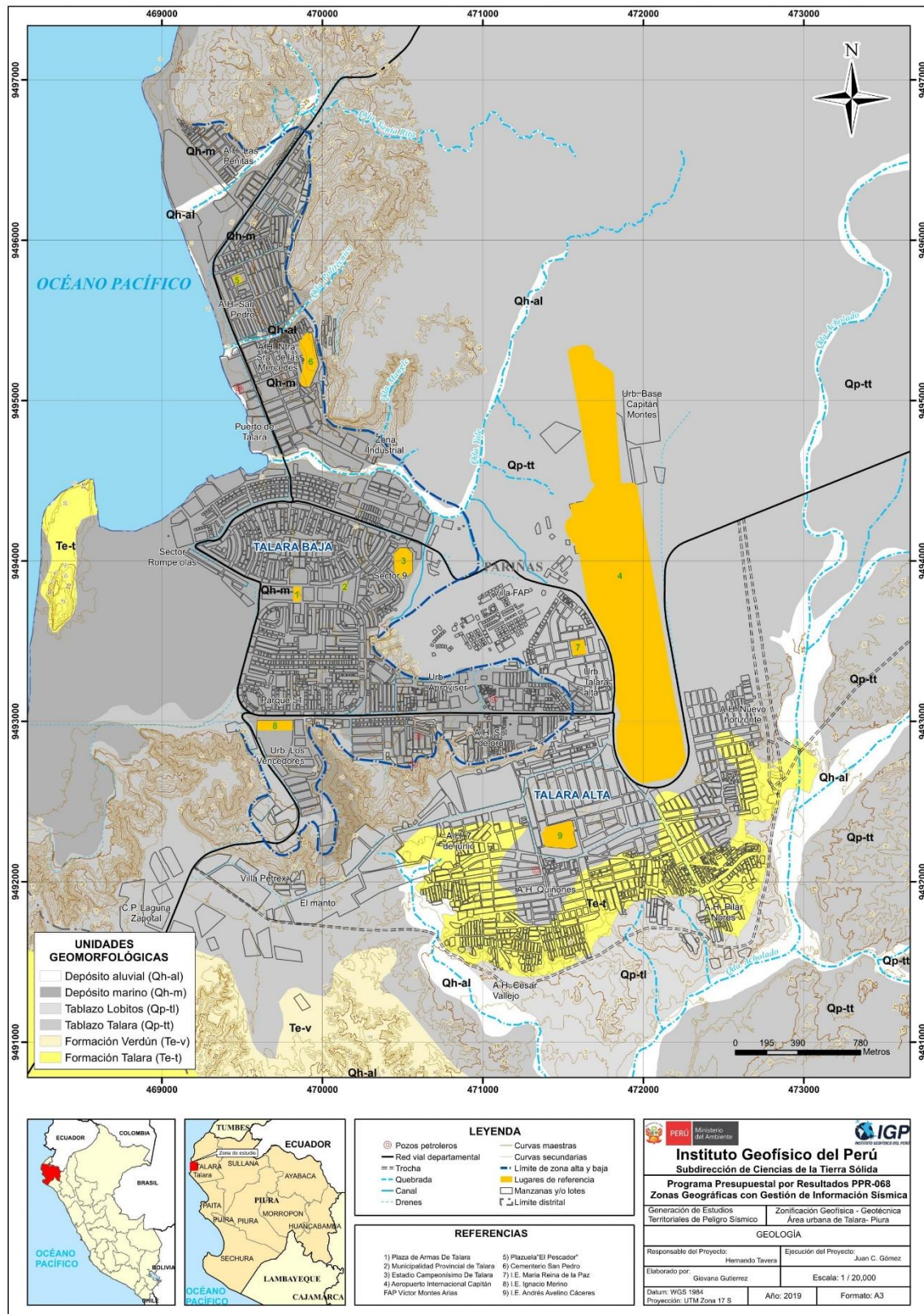


Figura 12: Mapa de la geología local de la ciudad de Talara y alrededores.

3.1.1.- Formación Pariñas (Te-pr)

Esta formación representa una fase fluviodeltaica, conformada por potentes capas de areniscas de grano medio a fino, de color amarillento no cementada con fragmento de troncos petrificados; intercaladas con capas de lutitas de color gris claro a oscura y con presencia mineralización. Se observa en el condominio Punta Arenas a 3 km al suroeste del centro de Talara y cubierta en su mayoría por depósitos marinos (Figura 13).



Figura 13: Desde el condominio Punta Arenas a Talara tenemos la presencia del afloramiento de la Formación Pariña compuesto por areniscas de grano grueso, con restos de troncos.

3.1.2.- Grupo Talara (Te-t)

En la ciudad de Talara se han podido diferenciar dos formaciones que conforman este grupo, tal como se describe a continuación:

Formación Lutitas Talara

El proceso de formación ha sido en un ambiente marino con intervenciones de materiales finos de quebradas depositados en la

desembocadura al mar; es decir de ambientes deltaicos. Está conformada por intercalaciones de lutitas color marrón oscuro en estratificaciones delgadas, con niveles de limolitas y de areniscas de grano fino color amarillentas, así como presencia de restos fósiles de calcáreos. La orientación de los estratos es de sur a noroeste. Afloran a 4 km al sureste de centro de Talara en la carretera ex – Panamericana (Figura 14).



Figura 14: Afloramiento de lutitas con limolitas, identificado en la ex panamericana.

Formación Arenisca Talara

Formación constituida por areniscas en estratificación horizontal de 0.50 metros de espesor, con intercalaciones de arcillas en niveles finos. Afloran a 2 km al sureste de la ciudad de Talara, sector conocido como Acholado. En esta zona la arenisca presenta oquedades en forma de panal denominadas “alveolos” producto de la acción eólica, el diámetro de estos alveolos oscila entre 0.20 m – 0.50 m (Figura 15).



Figura 15: Afloramiento de rocas tipo areniscas con presencia de alveolos producto de la acción eólica en el sector Acholado.

3.1.3.- Formación Verdún (Te-v)

Esta formación suprayace en discordancia sobre la formación Lutitas Talara y está conformada por una secuencia de areniscas de grano medio a grueso seguida de conglomerados redondeados, con intercalaciones de lutitas bentoníticas en estratificación laminar o paralela de color gris verdoso, fuertemente meteorizadas. Se identificaron a 2 km al sur de la ciudad de Talara (carretera que conecta Talara con Punta Balcones).

3.1.4.- Tablazo Talara (Qp- π)

Secuencia marina con afluencia de materiales deltaicos en dirección noreste-suroeste, constituida por conglomerados y seguida de sedimentos marinos con contenidos de carbonatos. Estos depósitos se han identificado entre los AA.HH. Quiñones y 9 de Octubre; a 3 km al sureste del centro urbano de Talara, ver Figura 16.



Figura 16: Depósitos marinos y deltaicos que conforman la formación Tablazo Talara.

3.1.5.- Tablazo Lobitos (Qp-tl)

Se encuentra constituido por una secuencia conglomerádica poco consolidada, rodados subangulosos, presencia de restos orgánicos en matriz bioclástica o areniscosa. Se extiende de suroeste a noreste. Sobre esta unidad se asienta Talara Alta.

3.1.6.- Depósitos Cuaternarios

Los depósitos cuaternarios se identifican suprayaciendo al sustrato rocoso conformado por rocas marino sedimentario de edad Holocena. En la zona de estudio predominan depósitos aluviales, eólicos y marinos.

Depósitos eólicos (Qh-e)

Están conformados por arenas de grano medio a fino, color beige y son producto de la desintegración de rocas (areniscas) que conforman los tablazos y transportados por la acción de los vientos. Se han identificado en el AA.HH. Sol de Oro a 1 km al sureste del centro urbano de Talara (Figura 17).



Figura 17: Depósitos eólicos en el AA.HH. Sol de Oro, cubriendo la formación Tablazo Talara

Depósitos aluviales (Qh-al)

Deposito constituido por arenas de grano grueso a medio, color blanquecino, con presencia de clastos subredondeados de 2" de diámetro y capas delgadas de limoarcillas, estos materiales son acarreados por las quebradas Acholado, Yale y Santa Rita provenientes del frente Occidental, las cuales atraviesan la ciudad de Talara (Figura 18).

Depósitos marinos (Qh-m)

Deposito marino constituido por arenas de grano medio a grueso de color gris con presencia de material calcáreo (conchuelas). Están presentes en la parte baja de Talara, principalmente en Punta Arenas y la playa Las Peñitas (Figura 19).



Figura 18: Depósitos aluviales, quebrada el Acholado.



Figura 19: Depósitos marinos, playa Las Peñitas

3.2.- Geología Estructural

La geología estructural se basa en el estudio de estructuras relacionadas a la deformación debido a los esfuerzos extensionales, compresivos o transcurrentes que originan una serie de estilos tectónicos en diferentes edades geológicas. En la zona de estudio se han identificado fallas, pliegues y discordancias debido a la tectónica Andina, descrita a continuación:

3.2.1.- Falla

Desplazamiento de un bloque rocoso con respecto a otro colindante a éste o de ambos bloques, a través de un plano denominado "plano de falla" debido a esfuerzos tectónicos actuantes (epirogénesis, orogenia, diastrofismo, tectónica de placas o cualquier otro tipo de desplazamiento de parte de la corteza). Una falla ocasiona discontinuidad de las estructuras geológicas. Se ha identificado en rocas de la formación Tablazo Talara, zona conocida como la parada, así como, en Los Vencedores, Los Robles y Jesús de Nazareth, ver Figuras 20 y 21.



Figura 20: Se observa el desplazamiento de estratos (lutitas y areniscas) producto de una falla normal en el sector Los Vencedores.



Figura 21: Presencia de una falla inversa en rocas del tipo areniscas (AA.HH. Jesús de Nazareth).

Asimismo, las fallas “Acholado” y “Aeropuerto” son consideradas como fallas secundarias de 213 y 274 metros aproximadamente de separación vertical, las cuales han fallado y plegado estratos de lutitas y areniscas como consecuencia de zonas de compresión por resbalamiento (Figura 22).



Figura 22: Zona de bloques de areniscas desplazados por la actividad de la falla El Acholado, en la parte superior de estos estratos se ubica el AA.HH. Los Robles.

3.2.2- Plegamientos

Los plegamientos se identifican debido a la deformación de las rocas estratificadas, por presencia esfuerzos de compresión. Las propiedades plásticas de las rocas, junto a las condiciones de presión elevada, generan formas onduladas. Los plegamientos pueden clasificarse en estructuras arqueadas o convexas y cóncavas o en cubetas como: anticlinales, sinclinales, domos, cuencas, homoclinales, monoclinales, pliegues recostados o tumbados, estructuras imbricadas, cabalgamientos, anticlinorios y sinclinorios. Se han identificado plegamientos en los estratos Cuaternarios de la formación Tablazo Talara, ver Figura 23.

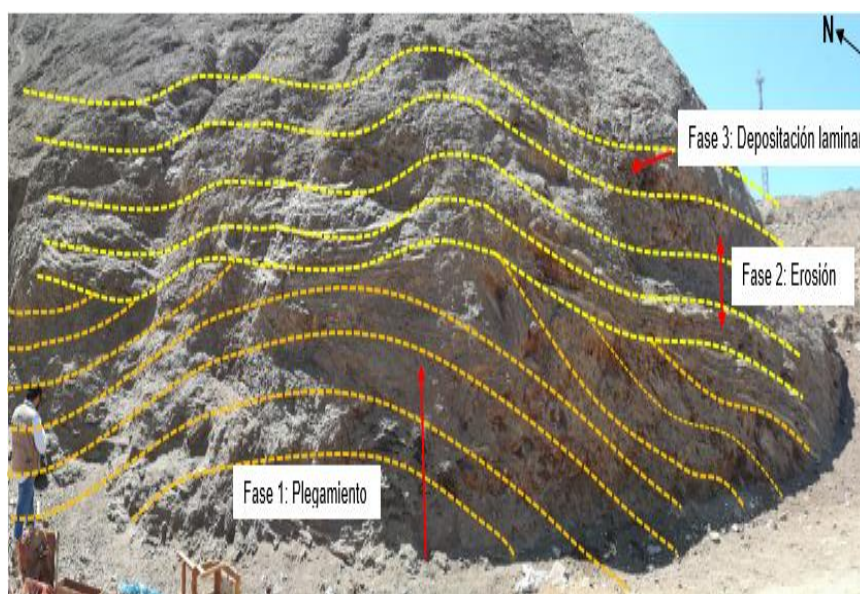


Figura 23: Deformación de estratos antiguos, ligero levantamiento, erosión y deposición.

3.2.3.- Discordancia angular

Es una superficie de erosión o de deposición de sedimentos, caracterizada por la ausencia de estratos irregulares en una secuencia litoestratigráfica. Se ha reconocido en la secuencia de la formación Tablazo Talara (Figura 24).



Figura 24: Discordancia angular (líneas color verde y blanca) fuertemente erosivas líneas punteadas, seguida de estratificación cruzada.

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 sismos de magnitudes menores (Cahill & Isacks, 1992; Tavera & Bufo, 2001).

4.2.- Procesos de geodinámica externa

Entre estos procesos se encuentran la meteorización (física o mecánica) y la erosión (fluvial, eólica y marina). Estos procesos aprovechan la fuerza de la gravedad; es decir, las rocas descienden algunos metros debido a desplazamientos masivos de terreno o son transportados 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.

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

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: Considera el desgaste de los suelos y rocas de la superficie terrestre como resultado de la acción combinada de varios factores como la temperatura, los gases, el agua, el viento, la gravedad y la vida vegetal y animal; así como, la 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 25), los cuales se dividen según su origen en: fluvio-aluvial e hidro-gravitacional y cuyas características son:

Fluvio-aluvial: Estos procesos de erosión (carcaveo, incisión y desgaste laminar), son originados por las precipitaciones que se presentan en la cuenca fluvial, generando la escorrentía superficial que 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 la remoción de los materiales como (Brusi, 2013):

Flujos de detritos e inundación. Los eventos geodinámicos originados por procesos pluviales son descritos a continuación:

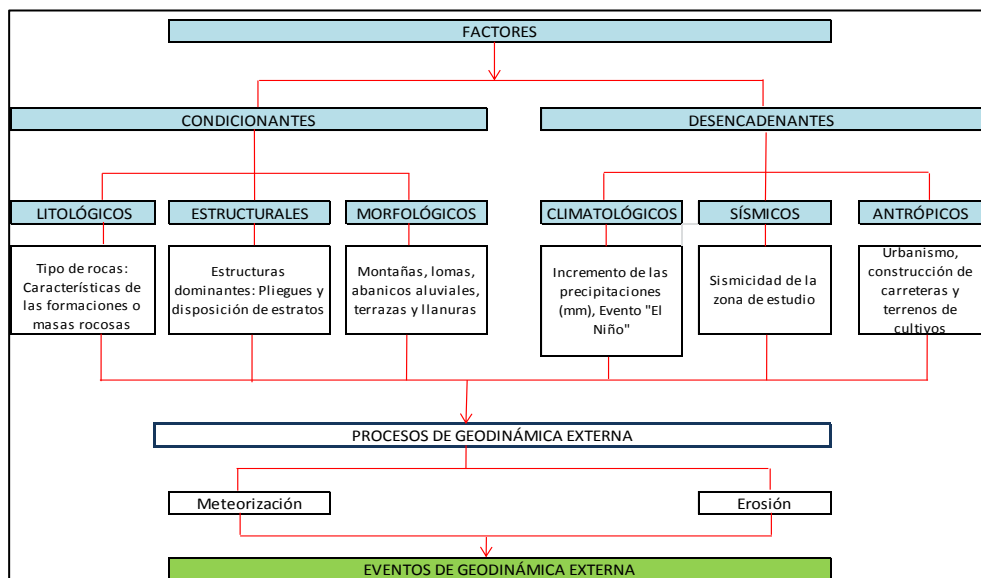


Figura 25: Factores asociados a procesos de geodinámica externa que contribuyen a la ocurrencia de eventos geodinámicos.

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 26).

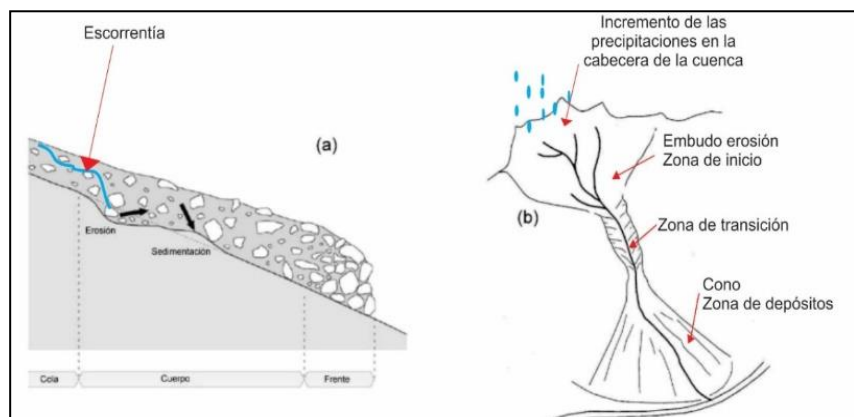


Figura 26: a) Proceso de erosión por las aguas de escorrentía y acumulación de material. b) Vista frontal de la cuenca y desarrollo del evento en cabecera de la cuenca por incremento de las precipitaciones, zona de transición (zona de almacenamiento de material y la depositación del material), modificado del GITS (Grupo de investigación de transportes de sedimentos).

Inundación: Es el resultado del comportamiento de la cuenca hidrográfica durante 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 oleajes y mareas; pero las más frecuentes son las inundaciones en el interior de los continentes. Son producidos por las aguas de escorrentía superficial (ríos, arroyos y torrentes); es decir, atribuida al incremento brusco del volumen de agua, denominado crecida (CENEPRED, 2013).

Cuando las lluvias superan el promedio normal de precipitación (mayor al 50%) de una zona, se le denominan “lluvias extraordinarias” o tormentas extremas. Estas al desarrollarse, generan crecidas causando inundaciones de las áreas circundantes al río. Esta anomalía es conocida como un evento hidrometeorológico (Figura 27).

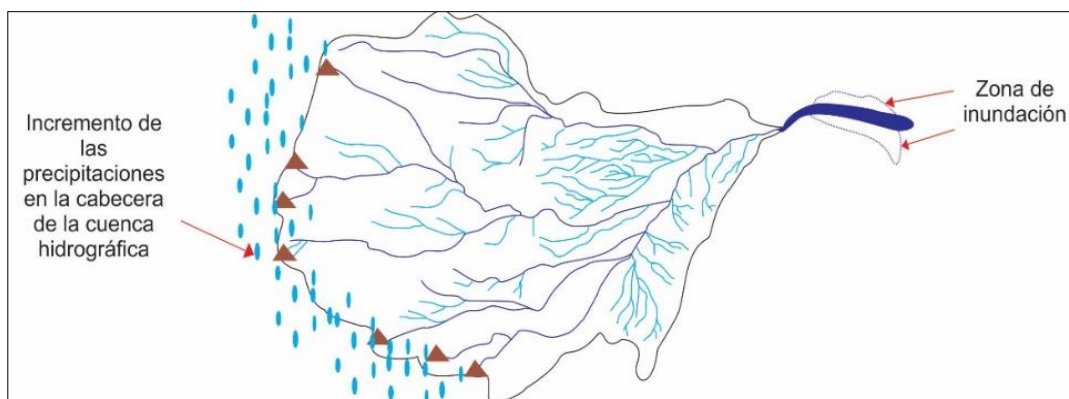


Figura 27: Inundación por incremento de las precipitaciones en la cabecera de la cuenca hidrográfica.

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

elementos: el tipo de movimiento (caída, volcamiento y deslizamiento) y el material, sean rocas y/o suelos (divididos en detritos y tierras).

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

Caída de rocas: Es 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 28).

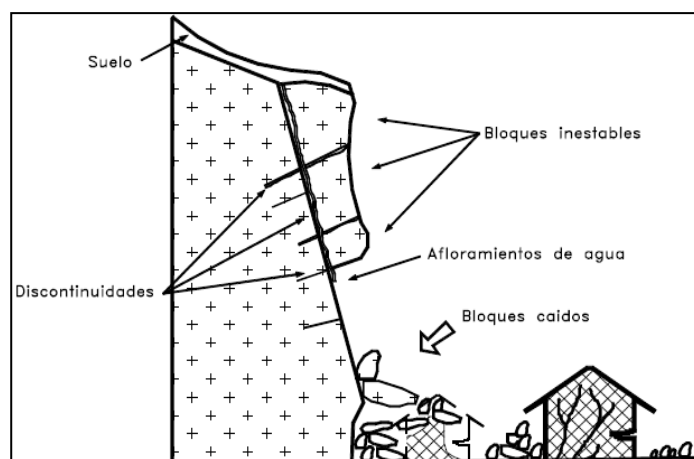


Figura 28: Proceso de caída de rocas (Suárez 1998).

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

Flujo de lodos: Define a los desplazamientos de partículas y/o masas que se mueven como unidades deformadas, viscosas, sin un plano discreto de ruptura. En algunos casos se depositan en forma de conos deyección. Se forman en el momento en que la tierra es debilitada considerablemente por el agua, generalmente en eventos con lluvias muy intensas que ocurren en épocas excepcionalmente lluviosas, alcanzando gran fuerza cuando se incrementa la intensidad de las lluvias y su duración (Suarez y Suarez, 2006).

4.3. Zonas susceptibles a procesos geodinámicos

La susceptibilidad se define como la mayor o menor predisposición a que un proceso geodinámico suceda u ocurra sobre determinado espacio geográfico y tiempo (Hauser, 1985 y 1993) y depende de factores como: litología, tectonismo, agentes geológicos y actividad humana (taludes de corte). Para identificar y delimitar las zonas susceptibles se utilizó la información recopilada en campo durante el cartografiado, así como en la descripción contextual de los eventos geodinámicos ocurridos en zonas adyacentes (Figura 29).

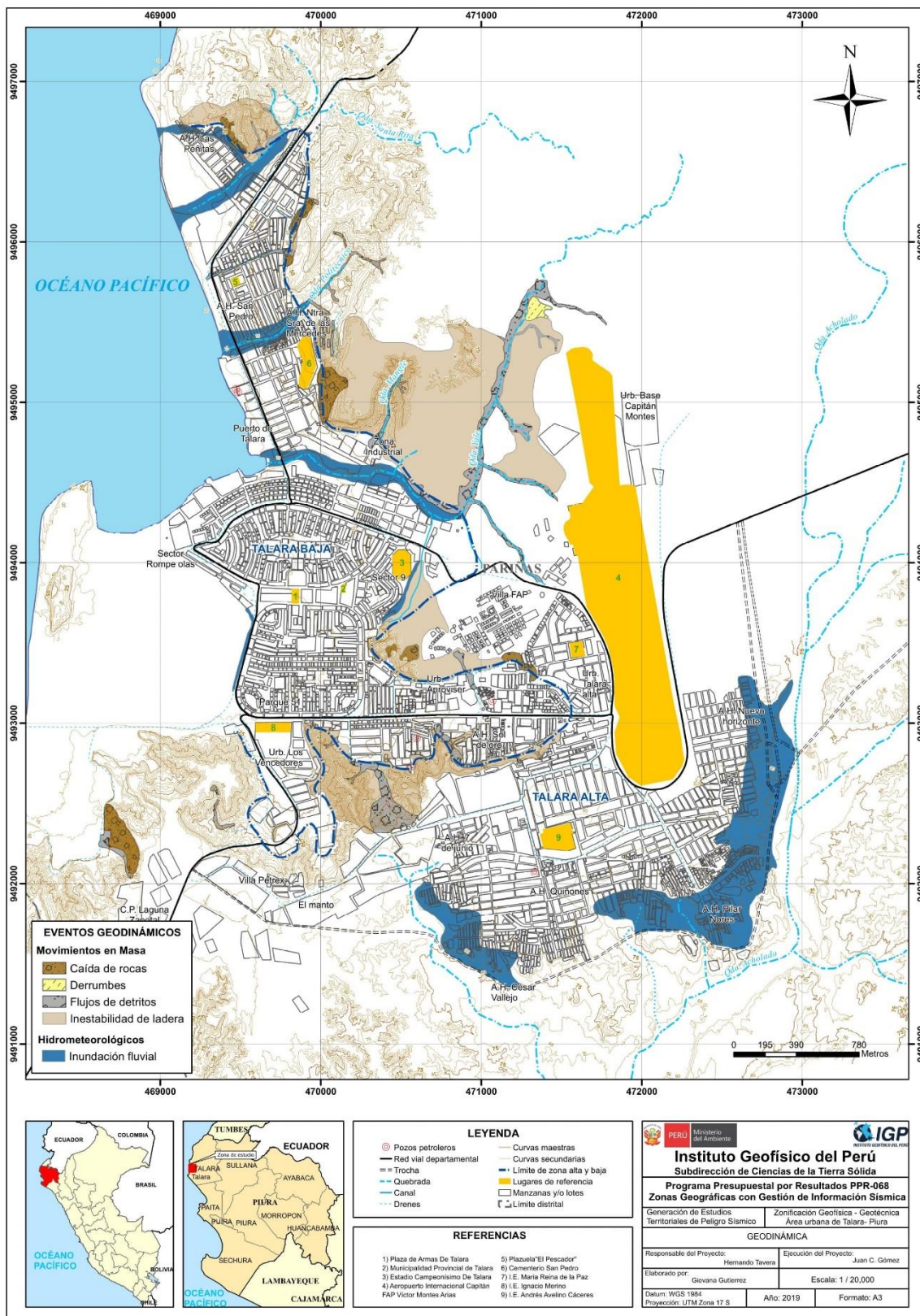


Figura 29: Mapa geodinámico de la ciudad de Talara y alrededores.

4.3.1.- Zonas susceptibles a inundaciones

En el área de estudio se determinó inundaciones producidas por el desborde del cauce de las quebradas en épocas de incremento de las precipitaciones, como ocurre durante el fenómeno “El Niño”. Las zonas de ocurrencia de inundaciones se han delimitado en los AA.HH. ubicados en el cono sur de Talara, por el desborde de la quebrada Acholado. En el año 1998, alrededor de 728 viviendas aproximadamente fueron afectadas.

Escorrentías y/o afluentes de las principales quebradas: Parte de los eventos geodinámicos que generan inundación son las escorrentías, caracterizadas por el escurrimiento del agua de origen pluvial provenientes de zonas altas de la ciudad de Talara. Éstas producen cárcavas en los taludes inestables conformados por materiales sueltos, que se desprenden y/o desplazan hacia zonas bajas, tal como se describe a continuación (Figura 30 y 31):

- **Quebrada Ipanaqué:** Tiene una dirección sureste a noroeste y discurre por el AA.HH. Ampliación Sol de Oro.
- **Quebrada Sol de Oro:** Discurre con dirección sur a norte y bifurca el AA.HH. Sol de Oro, su cauce ha sido nivelado con la finalidad del asentamiento de viviendas, sin embargo, se produce la inundación de éstas hasta una altura de 0.50 m.
- **Quebrada San Juan:** Discurre de sureste a noroeste, paralelo al AA.HH. San Juan y en cuyo cauce se ubican las viviendas del AA.HH. Nuevo San Juan.
- **Sector Jesús María San Pedro:** Esta escorrentía nacen en la parte alta del AA.HH. Jesús María (conocido como Coimbra) la cual descende por la avenida que limita el AA.HH. San Pedro por la 9 de

Octubre y perpendicular a las calles Leticia y Alfonso Ugarte, hasta desembocar en el mar, a la altura del cruce de la carretera que conduce al distrito de Lobitos y la Av. Yale. Su cauce en la parte alta presenta un canal enrocado en mal estado, mientras que en la parte baja discurre por un canal vía.

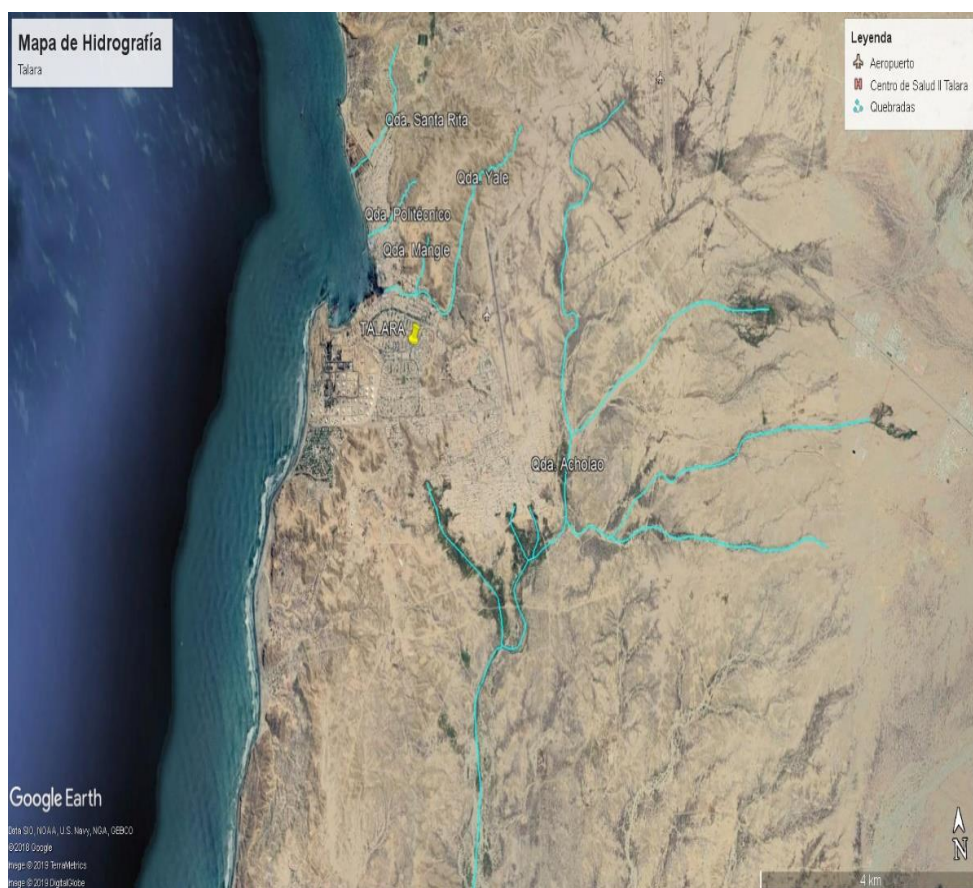


Figura 30: Lechos aluviales de la ciudad de Talara.

- **Sector Punta Arenas:** Posee dos escorrentías importantes (sureste y norte) que canalizan las aguas pluviales de los taludes que rodean la Urb. Punta Arenas, hasta desembocar en el mar. El cauce está canalizado por una estructura enrocada cubierta por concreto en buen estado.
- **Sector Casco Central:** Por este canal discurren dos escorrentías. La primera cuyas aguas nacen en la Av. F (frente a la I.E.N. Ignacio Merino) pasa por la Av. "G", cruza la Refinería y desemboca en el mar

a la altura del hotel Royal. Su cauce está canalizado con concreto armado. Nace en los taludes frente al estadio Campeonísimo; cuyas aguas fluyen de sur a norte atravesando la Av. B hasta desembocar en la Quebrada Yale. El canal de la parte alta se encuentra en mal estado.



Figura 31: Zona afectada por activación de escorrentías.

- **Sector Urb. Popular:** En este sector nace una escorrentía que discurre paralela a las manzanas C y D de la Urb. Los Pinos, cruza la Villa FAP, y la prolongación de la Av. B, discurrendo entre la clínica Santa María y la ex intendencia, para desembocar en la Quebrada Yale. Su cauce es irregular debido a la inestabilidad del terreno.
- **Sector APROVISER:** Caracterizado por la presencia de dos escorrentías que discurren en direcciones opuestas hasta desembocar en la Av. F. En su trayecto recolecta aguas pluviales que descienden de la parte alta (Villa FAP). Estas aguas son encauzadas por canales cementados.
- **Sector Inmaculada:** De la parte alta a la altura de la carretera que conduce a Negritos desciende una escorrentía que tiene cauce

indefinido y aguas que se desbordan en la carretera y afectan a las I.E.N. Inmaculada e Ignacio Merino.

- **Sector Los Vencedores:** Las escorrentías que descienden al lado este del sector descargan sus aguas en la Av. F. Su cauce ha sido canalizado en cemento y piedra con una pendiente promedio de 5°, sin embargo, en el año 2017 se ha producido desbordes.
- **Sector Sudamérica:** Las aguas que descienden de esta urbanización desembocan en la Av. F, paralela al I.E.P. Federico Villareal y al campo ferial.

4.3.2.- Zonas susceptibles a movimientos en masa

En la zona de estudio se han identificado 3 diferentes zonas susceptibles a movimientos en masa; siendo sus características las siguientes:

Deslizamientos: Los deslizamientos se deben a la infiltración de las aguas de escorrentía en los taludes inestables que rodean la ciudad de Talara. Estos taludes están conformados por arcillas de alta plasticidad. La zona sur y este dónde se ubican las urbanizaciones Vencedores, Sudamericana, APROVISER, condominio Punta Arenas, el sector del Campeonísimo- EPPO, Barrio Popular-Juan Pablo II, así como, en los AA.HH. Santiago, Apóstol, Nuevo San Juan, Sol de Oro, San Juan, Nueva Talara, son las zonas recurrentes de este evento geodinámico (Figura 32).

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. Este evento se ha identificado en las laderas que rodean la quebrada Santa Rita, Villa FAP, Condominio Punta Arenas, así como, en las laderas sobre la cual se asienta la Zona Industrial (Figura 33).



Figura 32: Deslizamiento de material del tablazo, ubicado en el Barrio Popular colindante con A.H. Juan Pablo II)

Flujo de detritos: Son eventos rápidos saturados, no plásticos, que ocurren principalmente confinados a un canal o cauce con pendiente pronunciada. En la zona de estudio los flujos de detritos se identificaron en la quebrada ubicada en la urb. Sudamericana, a la altura de la prolongación de la Av. Bolognesi que limita los sectores de Villa FAP y la vía del sector Industrial, ver Figuras 34 y 35.



Figura 33: Caída de rocas en el sector urbano oeste.



Figura 34: Flujo de detritos en la zona de tablazo.



Figura 35: Urb. Los Jazmines, flujos de detritos.

Considerando la acción de las aguas de escorrentía, provenientes de las precipitaciones, sobre las laderas o terrenos inclinados, se observó que estas aguas generan cárcavas que alcanzan una longitud de 4 m y aberturas de 0.10 hasta 0.50 m. Éstas se han identificado en las laderas de los tablazos que circundan la ciudad de Talara, principalmente en las Urb. Los Vencedores y

Sudamérica, AA.HH. José Olaya y Los Jazmines, así como, en la zona del ex campo ferial (Figura 36 y 37).



Figura 36: Cárcavas en ladera, zona del ex campo ferial-Talara.



Figura 37: Cárcavas en el terreno, Urb. Los Jazmines.

Asimismo, entre los problemas antrópicos identificados en la ciudad de Talara se tiene:

- Desembocadura de desechos antrópicos en los cauces de las quebradas y/o acumulación de residuos sólidos (Figuras 38 y 39).



Figura 38: Desechos antrópicos en cauce de quebrada.



Figura 39: Escorrentía AA.HH. Sol de Oro, en cuyo cauce se acumulan desechos antrópicos.

- El colapso de las redes de desagüe, siendo un problema recurrente en la zona de expansión urbana ubicada a 3 km al sur de la plaza de armas, en los AA.HH. Ampliación San Sebastián y Ornela Oliva Alejos (Figura 40).
- Drenajes obturados por la acumulación de detritos provenientes de las laderas del tablazo en los AA.HH. Cristo Mirador y El Sol.



Figura 40: Colapso de red de desagüe en el AA.HH. Ampliación San Sebastián.

4.4.- Elementos expuestos

En el área de estudio perteneciente a la ciudad de Talara, se identificaron elementos expuestos a nivel social susceptibles ante el impacto del peligro por ocurrencia de movimientos en masa de tipo flujos y caída de rocas: población y vivienda. La cantidad de los elementos expuestos son estimaciones resultantes de la relación entre el área de influencia del peligro en mención y la ocupación del sector urbano.

En este sentido, se estima que aproximadamente 5200 pobladores podrían ser afectados ante la ocurrencia de eventos geodinámicos tipo flujos de lodo y/o detritos; así como un total de 1400 viviendas y 200 pobladores estarían expuestos a la caída de rocas e inestabilidad de laderas. En este último caso, habría daños en 60 viviendas (Figura 41).

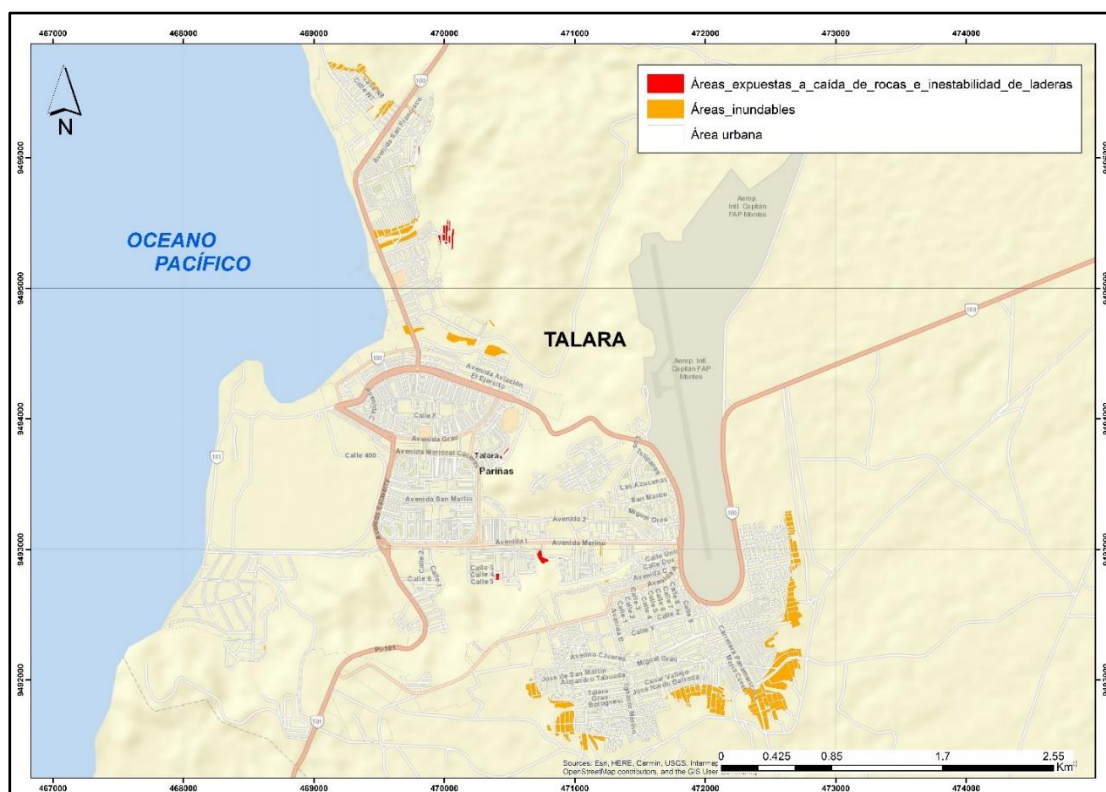


Figura 41: Delimitación de elementos expuestos ante la ocurrencia de movimientos en masa en la ciudad de Talara.

5.- ASPECTOS GEOTÉCNICOS

Los suelos son materiales inconsolidados conformados por minerales, materia orgánica, agua y aire entre sus poros, que se generan a partir de la alteración de la roca madre por agentes atmosféricos, erosionándola y formando una cobertura de variado espesor de sedimentos denominado suelo, que posteriormente han sido transportados y redepositados en las partes bajas de las cuencas hidrográficas, conformando actualmente los suelos sobre los cuales se asientan las áreas urbanas. En geotecnia para clasificar los tipos de suelos se hace uso del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) para determinar las características físico-mecánicas de los materiales (arcillas, limos, arenas, gravas y clastos) condicionadas por las propiedades litológicas de las rocas pre-existentes y la dinámica con que fueron depositados. El diagrama de la Figura 42, se indica el origen de los diferentes tipos de suelos.



Figura 42: Diagrama del origen de los suelos (Adaptado de Gonzáles de Vallejo, 2002).

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 Talara se realizó el estudio geotécnico que consistió en la elaboración de 8 calicatas, 7 ensayos de densidad de campo, 16 posteos y 11 ensayos de penetración dinámica ligera (DPL) (Figura 43).

Asimismo, de las calicatas se extrajeron 03 muestras que fueron enviadas a un laboratorio de suelos certificado, con el fin de realizar los ensayos de mecánica de suelos como: granulometría, plasticidad, corte directo y el cálculo de la capacidad de carga admisible.

5.1.- Exploraciones a cielo abierto (calicatas, norma ASTM D420)

Es un método directo que consiste en realizar una excavación en el terreno para la observación del suelo. Estas exploraciones se realizaron hasta profundidades de 3.00 m, a fin de describir los estratos que lo conforman, así como, extraer muestras para la realización de ensayos de suelos y su análisis.

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 el Anexo. La ubicación geográfica de las excavaciones se presenta en la Tabla 4.

Tabla 4: Ubicación geográfica de las calicatas elaboradas en la ciudad de Talara.

CALICATA	NORTE (m)	ESTE (m)	ELEVACIÓN (m.s.n.m)	PROFUNDIDAD (m)	NIVEL FREÁTICO (m)
CTA-01	469776	9495320	24	2.00	N.P.
CTA-02	470139	9492928	8	2.00	N.P.
CTA-03	469991	9492425	18	2.00	N.P.
CTA-04	471177	9492894	51	2.00	N.P.
CTA-05	472336	9493034	83	1.50	N.P.
CTA-06	471710	9491644	77	2.00	N.P.
CTA-07	472559	9491724	68	2.00	N.P.
CTA-08	470471	9494073	19	2.50	N.P.

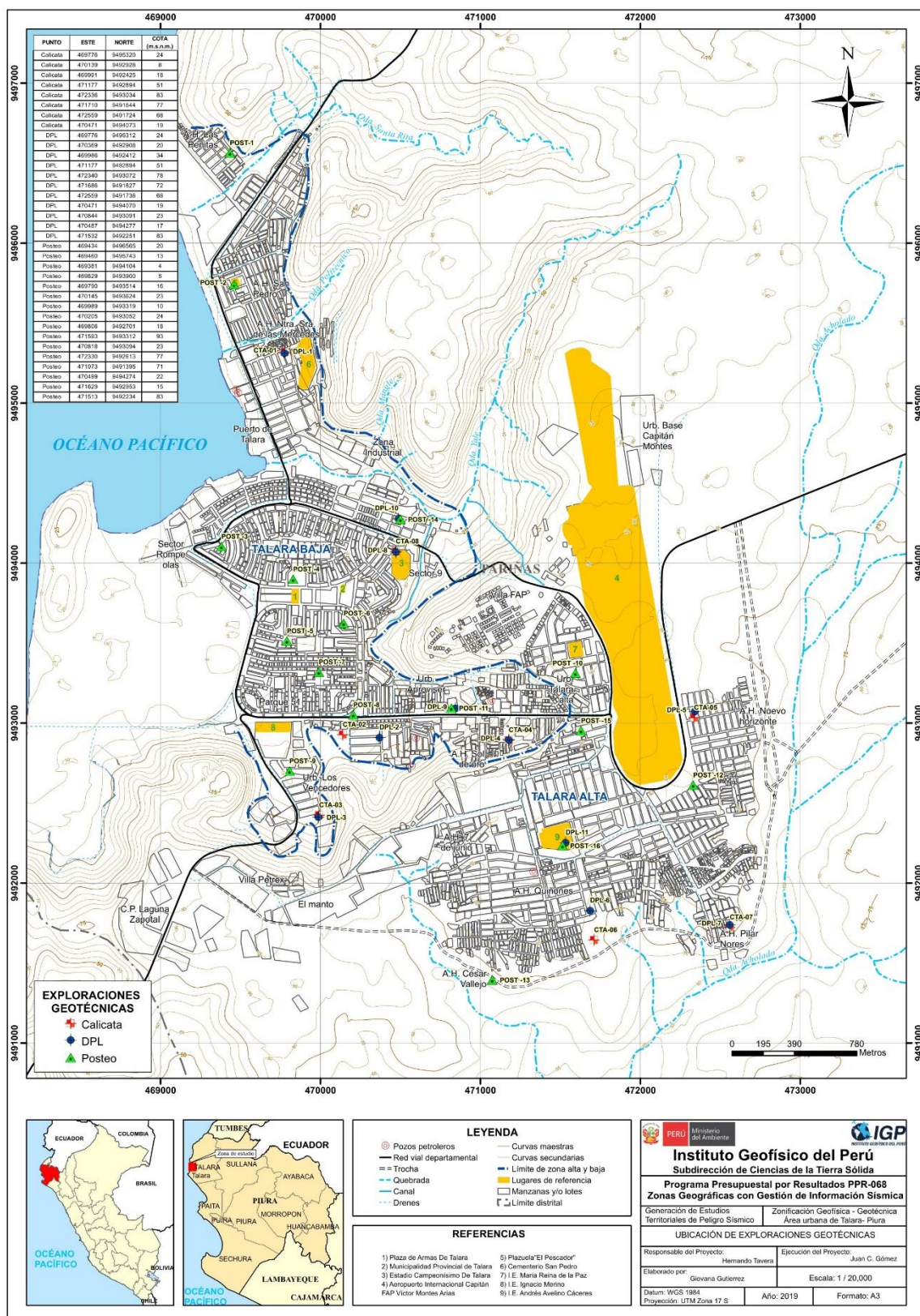


Figura 43: Mapa de ubicación de las exploraciones geotécnicas realizadas en la ciudad de Talara.

5.2.- Densidad del suelo in-situ (Norma ASTM D1556)

Este método permite conocer la densidad o peso unitario de los suelos in situ con cierto grado de compactación natural. Consiste en extraer material del suelo, a fin de obtener una relación entre la masa de éste y el volumen conocido que ocupa la arena calibrada del cono de densidad. En cada estrato muestreado, se debe realizar un ensayo de densidad de campo con el método del cono, a fin de obtener el grado de compactación o consistencia y el contenido de humedad del suelo en condiciones naturales; en otros casos, para obtener el grado de compactación. Esta información es necesaria para desarrollar los ensayos de corte directo; sin embargo, este ensayo no es aplicable en suelos que contengan cantidad excesiva de roca o materiales gruesos de diámetro mayor a 1 ½ pulgada (38 mm). En la Tabla 5 se presentan los resultados de densidad natural obtenidas para 07 muestras. Las fichas de densidades se adjuntaron en los Anexos.

Tabla 5: Resultado de densidades in – situ.

CÓDIGO	MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	D. HÚMEDA (gr/cm ³)	D. SECA (gr/cm ³)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)
CTA – 01	DC-TA- 01	2.00	1.38	1.36	2.02
CTA – 02	DC-TA- 02	2.00	1.56	1.32	14.97
CTA – 03	DC-TA- 03	2.00	1.18	1.12	5.21
CTA – 04	DC-TA- 04	2.00	1.32	1.28	2.87
CTA – 05	DC-TA- 05	--			
CTA – 06	DC-TA- 06	2.00	1.61	1.56	3.12
CTA – 07	DC-TA- 07	2.00	1.57	1.52	2.93
CTA – 08	DC-TA- 08	2.50	1.43	1.40	2.24

En base a los resultados se conoce que los suelos de la ciudad de Talara, presentan rangos de densidad húmedas entre 1.18 – 1.61 gr/cm³; mientras que, las densidades secas oscilan entre 1.12 y 1.56 gr/cm³, es decir, los materiales identificados en las calicatas corresponden a arenas muy sueltas y arcillas blandas.

5.3.- Exploraciones con posteadora manual (Norma ASTM D1452)

Una posteadora es un barredor manual en forma de “T” que permite realizar sondeos exploratorios (perforaciones) en suelos blandos (arcillas y arenas) hasta profundidades del orden de 6 m. El objetivo es obtener muestras del suelo, que, aunque estén trituradas y completamente alteradas, son muy útiles para identificar y describir los suelos de manera visual. Una de las restricciones para la ejecución de este ensayo es la presencia de gravas y gravillas (la cuchara se entrapa con este tipo de suelo).

Los puntos de exploración fueron distribuidos entre las calicatas; tratando de cubrir el área de estudio o distribuirlas en los lugares donde no existía información geotécnica para obtener una mejor zonificación de los suelos de la ciudad de Talara. En la Tabla 6, se muestra la ubicación geográfica de los puntos de posteos y en los anexos sus fichas de análisis.

Tabla 6: Ubicación de los puntos en Coordenadas UTM-WGS84.

POSTEO	UTM ESTE (m)	UTM NORTE (m)	ELEVACIÓN (m.s.n.m)	PROFUNDIDAD (m)	T. DE SUELOS (SUCS)	NIVEL FREÁTICO (m)
POST-01	469434	9496565	20	0.20	SP	N.P.
POST-02	469460	9495743	13	2.00	SP	N.P.
POST-03	469381	9494104	4	1.60	SP	N.P.
POST-04	469829	9493900	5	2.00	SP	N.P.
POST-05	469790	9493514	16	1.15	SP	0.90
POST-06	470145	9493624	23	2.75	SP	N.P.
POST-07	469989	9493319	10	1.80	SP	1.60
POST-08	470205	9493052	24	1.10	SM	N.P.
POST-09	469806	9492701	18	3.00	SP	N.P.
POST-10	471593	9493312	93	0.90	SM	0.90
POST-11	470818	9493094	23	0.90	GP	N.P.
POST-12	472330	9492613	77	0.50	SM	N.P.
POST-13	471073	9491395	71	0.40	SP	N.P.
POST-14	470499	9494274	22	2.20	SP	N.P.
POST-15	471629	9492953	15	1.65	SP	N.P.
POST-16	471513	9492234	83	1.60	GP	N.P.

5.4.- Ensayos de penetración dinámica ligera (norma DIN 4094)

El DPL, es un equipo de campo de registro continuo, dónde se contabiliza

el número de golpes dados por un martillo de 10 Kg (N), en la parte superior del tambor de acero. Se pretende profundizar tramos mediante una punta cónica de 60° que se encuentra en el extremo inferior. Este tipo de ensayo es aplicable en terrenos arenosos, areno-arcillosos y limos arenosos; y no recomendable a utilizarse en gravas, fragmentos gruesos, conglomerados y terrenos rocosos. Este ensayo permite estimar el ángulo de fricción de suelos específicos, y los valores obtenidos ayudarán a calcular, mediante fórmulas empíricas, la capacidad portante (resistencia al corte) de los suelos en Kg/cm²; además de, las propiedades de compacidad de los suelos. Los ensayos de DPL fueron realizados en las inmediaciones de una o dos calicatas, a fin de conocer la resistencia al corte de los distintos estratos, sobretodo donde los suelos son conocidos.

Tabla 7: Ubicación geográfica de los ensayos DPL y el parámetro de ángulo de fricción obtenido (ϕ : Ángulo de fricción interna).

DPL	ESTE (m)	NORTE (m)	ELEVACIÓN (m)	PROFUNDIDAD (m)	NÚMERO DE GOLPES ALCANZADOS	ALCANZADO ϕ
DPL-01	469776	9495312	24	2.40	8	29.1
DPL-02	470369	9492908	20	1.20	45	37.6
DPL-03	469986	9492412	34	1.90	12	30.7
DPL-04	471177	9492894	51	2.60	19	32.3
DPL-05	472340	9493072	78	0.20	45	37.6
DPL-06	471686	9491827	72	2.70	17	31.8
DPL-07	472559	9491738	68	1.70	15	31.4
DPL-08	470471	9494070	19	3.30	10	30.8
DPL-09	470844	9493091	23	1.70	30	34.8
DPL-10	470487	9494277	17	2.60	15	31.4
DPL-11	471532	9492251	83	2.30	45	37.6

En la Tabla 7, se indica la ubicación geográfica de los ensayos DPL realizados en las inmediaciones de la ciudad de Talara, registrándose el número de golpes y el ángulo de fricción interna calculado en base a los parámetros de compacidad y densidad relativa según la fórmula de Meyerhof (1956).

$$\phi = 25^{\circ} + 0.15 * Dr$$

Dónde:

Φ = Ángulo de fricción interna

D_r = Densidad relativa

Según los parámetros obtenidos se establece que en 10 de los ensayos se alcanzó una profundidad mayor a 1 m, y en 1 sólo se penetró 0.20 m debido a la presencia de materiales granulares constituidos por clastos angulosos o subangulosos de diámetro superior a 1 1/2".

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

La finalidad de este ensayo, es determinar la resistencia al esfuerzo de corte de una muestra de suelo sometida a deformaciones (esfuerzos verticales y horizontales), se trata de disimular las deformaciones del terreno producto de la aplicación de una carga.

La resistencia del suelo al corte se debe a dos componentes: la cohesión (comportamiento plástico que presentan las partículas finas de una muestra) y el ángulo de fricción interna (rozamiento que existe en las partículas granulares). Para conocer la capacidad portante de los suelos en la ciudad de Talara están basados en datos de laboratorio de mecánica de suelos (Anexos), corroborados con datos teóricos de los parámetros de ángulo de fricción y cohesión de Terzaghi e información de DPL realizados en campo, haciendo uso de las fórmulas de falla general o local según el tipo de suelo.

5.6.- Capacidad de carga portante

Es la máxima presión ejercida por una cimentación transmitida a un suelo sin que se produzcan asentamientos excesivos; es decir, que la presión de la cimentación no sea mayor a la admisible, manteniendo el mismo factor de seguridad especificado en la Norma E 0.50 de diseño de cimentación. Los

resultados de capacidad de carga portante de las 08 muestras de suelos extraídas en la ciudad de Talara se presentan en la Tabla 8.

Tabla 8: Capacidad de carga portante de las muestras extraídas en la ciudad de Talara.

CÓDIGO DE MUESTRA	Cap. de carga última (Tn/m ²)	Cap. de carga portante (Kg/cm ²)	Falla de corte
CTA - 01	0.85	0.28	Falla Local
CTA - 02	0.95	0.32	Falla Local
CTA - 03	0.75	0.25	Falla Local
CTA - 04	0.93	0.31	Falla General
CTA - 05	--	--	---
CTA - 06	2.90	0.97	Falla General
CTA - 07	3.10	1.03	Falla Local
CTA - 08	1.50	0.50	Falla Local
DIMENSIONES DE CIMENTACIÓN	Profundidad: 1.00 m y ancho: 1.00		

Según los valores del ángulo de fricción corregido a partir de la correlación del "N" del DPL en función al del SPT y los datos de cohesión de los suelos obtenidos mediante el corte directo realizado en el laboratorio de mecánica de suelos, se determinó las capacidades portantes de los suelos investigados solo para los DPL que alcanzaron una profundidad de cimentación de 3.00 m., Tabla 9.

Tabla 9: Capacidad de carga portante (Criterio de falla general y local) en base al ángulo de fricción corregido del N del DPL vs SPT y cohesión obtenida del ensayo de corte directo.

CÓDIGO DE DPL	C. de carga última (kg/cm ²)	C. de carga portante (Kg/cm ²)	Tipo de corte
DPL-01	2.91	0.97	Falla local
DPL-02	4.81	1.60	Falla local
DPL-03	1.93	0.64	Falla local
DPL-04	2.11	0.70	Falla general
DPL-05	--	--	--
DPL-06	2.42	0.81	Falla general
DPL-07	3.05	1.02	Falla local
DPL-08	1.57	0.52	Falla local
DPL-09	3.47	1.16	Falla local
DPL-10	8.83	0.94	Falla local
DPL-11	2.85	0.95	Falla general
DPL-13	--	--	--
DIMENSIONES DE CIMENTACIÓN	Profundidad: 1.00 m y ancho: 1.00		

De los resultados obtenidos se ha determinado que la zona urbana de la ciudad de Talara, en su mayoría, ha sido construida con cimentaciones de 1 m de profundidad.

5.6.1.- Tipos de capacidad de carga portante

En la ciudad de Talara se han identificado los siguientes tipos de capacidad de carga admisible (Figura 44):

Capacidad de carga portante muy baja: Comprende rangos de capacidad de carga portante menor a 1.00 kg/cm^2 y está representado por diferentes tipos de suelos como: Arenas mal graduadas (SP), arena limosa (SM), arena mal graduada con limo y arcilla (SM-SC) y arcilla inorgánica (CL). Estos suelos abarcan el 21 % del área de estudio y se han identificado principalmente en Talara Norte, Urb. James Storm y AA.HH. Abelardo Quiñones.

Capacidad de carga portante baja: Comprende rangos de capacidad de carga portante entre 1 a 2 kg/cm^2 , se encuentran representados por los tipos de suelos, tales como: Arena mal graduada (SP), arena limo arcillosa con grava (SC-SM) y limo (ML). Abarcan el 5 % de los suelos de cimentación de la ciudad de Talara y se han identificado principalmente en la Urb. Sudamérica, AA.HH. Pilar Nore y sede SENATI (Talara Baja).

Capacidad de carga portante media: Comprende rangos de capacidad de carga portante entre 2 a 3 kg/cm^2 , se encuentran representados por los tipos de suelos, tales como: grava limo arcilloso (GC-GM). Abarcan el 2 % de los suelos de cimentación de la ciudad de Talara y se han identificado principalmente en los AA.HH. Bello Horizonte y Mario Aguirre.

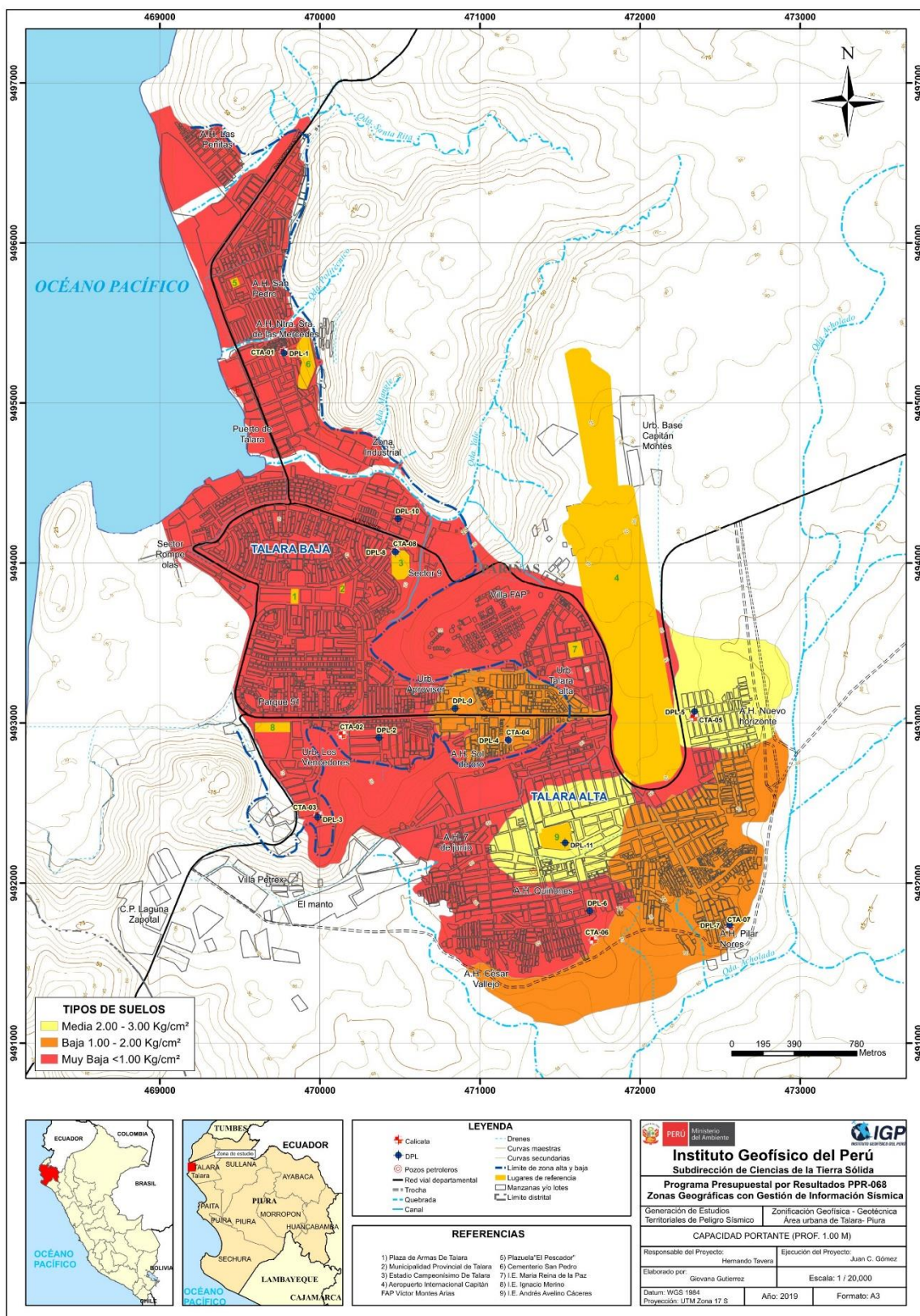


Figura 44: Mapa de capacidad de carga portante para la ciudad de Talara.

Asimismo, una de las consecuencias del potencial de hinchamiento en la ciudad de Talara son los asentamientos en el terreno, lo cual genera grietas en las infraestructuras (viviendas, calzadas, etc.) como es el caso de la Urb. Sudamérica, calle D. Las grietas presentan las siguientes dimensiones: longitud de 3 m y separación mayores a 5 cm (Figuras 45 y 46).



Figura 45: Asentamiento de las estructuras, separación mayor a 5 cm, entre las edificaciones colindantes.



Figura 46: El adoquín de la calzada presenta ondulamientos con desniveles entre 0.10 y 0.15 m.

5.7.- Clasificación de suelos, SUCS

En base a la información geotécnica recopilada de las calicatas y posteos, realizados en la ciudad de Talara, así como los resultados obtenidos de los ensayos granulométricos y de plasticidad, se ha identificado 06 tipos de suelos que fueron agrupados haciendo uso del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) (Tabla 10 y Figura 47).

Suelo tipo GC-GM

Tipo de suelo conformado por grava limo-arcillosa, de diámetro promedio entre 1 ½" y ½", este material se caracteriza porque no retienen agua debido a los espacios existentes entre partículas (huecos intersticiales), constituidos por suelos de compacidad media. Abarcan el 3 % del área de trabajo y se identificaron en el A.H. Mario Aguirre en la calicata (CTA-05).

Suelos tipo SP

Está conformado por arenas mal graduadas con gravas, de diámetro promedio de 0.250 mm, con contenido de humedad 2.24 %, constituyen suelos de compacidad suelta a media y no presentan plasticidad. Abarcan el 13 % de la zona de estudio y se identificaron en los alrededores del Estadio Campeónísimo – Talara en la calicata (CTA-08), así como, en los posteos (Post-1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 13, 14).

Suelos tipo SM

Están conformados por arenas limosas, con contenido de humedad entre 0.55 y 5.21 %, constituyen suelos de compacidad baja a media, no presenta plasticidad. Abarcan el 6 % de la zona de estudio y se identificaron en el AA.HH. San Pedro y urb. James Storm en las calicatas (CTA-01, 02 y 03), así como, en los posteos (Post-8, 10, 12).

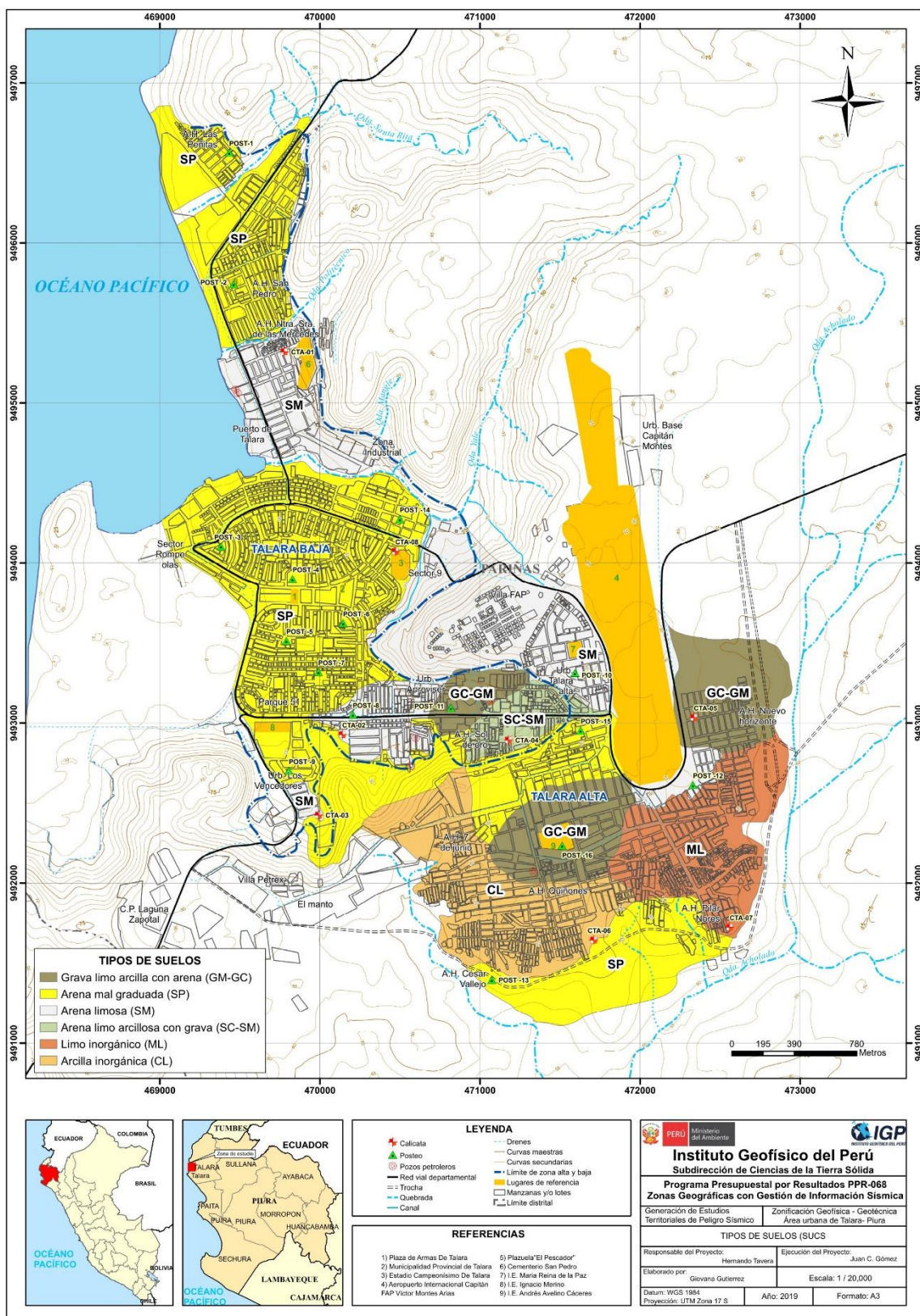


Figura 47: Mapa que muestra la clasificación SUCS de suelos para la ciudad de Talara.

Tabla 10: Clasificación SUCS para los suelos identificados en la ciudad de Talara.

CÓDIGO DE CALICATA	PROFUNDIDAD (m)	PRESENCIA DE AGUA		GRANULOMETRÍA (%)			LÍMITES ATTERBERG (%)			CLASIFICACIÓN SUCS	DESCRIPCIÓN
		NIVEL FREÁTICO A (m)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	GRAVAS (>4.76 mm)	ARENAS (>0.074 <4.76 mm)	FINOS (<0.074 mm)	LÍMITE LIQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE PLÁSTICO		
CTA - 01	2.00	N.P.	2.02	0.00	82.20	17.80	N.P.	N.P.	N.P.	SM	Arena limosa
CTA - 02	2.00	N.P.	14.97	0.00	83.00	16.96	N.P.	N.P.	N.P.	SM	Arena limosa
CTA - 03	2.00	N.P.	5.21	0.60	86.40	13.05	N.P.	N.P.	N.P.	SM	Arena limosa
CTA - 04	2.00	N.P.	2.87	0.00	93.20	6.80	N.P.	N.P.	N.P.	SM-SC	Arena limo-arcillosa
CTA - 05	1.50	N.P.	5.36	79.10	15.50	5.36	N.P.	N.P.	N.P.	GM-GC	Grava limo-arcillosa
CTA - 06	2.00	N.P.	3.12	0.00	15.37	84.60	45.62	19.05	26.57	CL	Arcilla inorgánica
CTA - 07	2.00	N.P.	2.93	0.00	17.51	82.50	41.40	30.28	11.12	ML	Limo inorgánico
CTA - 08	2.50	N.P.	2.24	0.00	97.15	2.80	N.P.	N.P.	N.P.	SP	Arena mal graduada

Suelo tipo SC-SM

Tipo de suelo constituido por arena limo-arcillosa, con contenido de humedad de 2.87 %, constituyen suelos de compacidad baja a media, no presenta plasticidad. Abarcan menos del 1 % de la zona de estudio y se identificaron en la urb. James Storm en la calicata (CTA-04), así como, en el posteo (Post-8, 10, 12).

Suelo tipo CL

Suelo compuesto por arcilla inorgánica, con contenido de humedad de 3.12 %, constituyen suelos de compacidad baja a media, presentan plasticidad de 26.57 %. Abarcan el 3 % de la zona de estudio y se identificaron en el AA.HH. Abelardo Quiñones en la calicata (CTA-06), así como, en el posteo (Post-15).

Suelo tipo ML

Está conformado por Limo inorgánico, con contenido de humedad de 32.93 %, constituyen suelos de compacidad media, presentan plasticidad de 11.12 %. Abarcan el 2% de la zona de estudio y se identificaron en el AA.HH. Pilar Nores en la calicata (CTA-07), así como, en el posteo (Post-16).

CONCLUSIONES

- La ciudad de Talara se caracteriza por presentar seis unidades geomorfológicas: acantilados, lechos aluviales, playas, tablazos, terrazas marinas y terrazas marina-aluviales. La mayor parte de ellas están conformadas por materiales eólicos, aluviales y marinos (anteriormente plataforma marina), sobre los cuales se asienta la ciudad en mención.
- Los tablazos están constituidos por materiales meteorizados como areniscas, lutitas y presencia de restos calcáreos expuestos a los agentes erosivos como agua, viento, etc... En el caso de las aguas de escorrentía generan cárcavas con materiales provenientes de la erosión y posterior depositación en su cauce generan los flujos de detritos que afectan la zona media y baja de los tablazos de Talara.
- Los eventos geodinámicos identificados en la zona de estudio están representados por inundaciones y movimientos de masa como son deslizamientos, caídas de rocas, flujos de detritos. Las áreas expuestas ante flujos de detritos involucran un total de 5200 habitantes y 1400 viviendas expuestas, mientras que, para el caso de caídas de rocas e inestabilidad de laderas son de 200 habitantes y 60 viviendas.
- Se identificaron seis tipos de suelos en la ciudad de Talara, entre los cuales predominan: Gravas limo arcillosa con arena (GC-GM) con compacidad media y capacidad de carga portante media (2.00 – 3.00 kg/cm²), así como, arenas mal graduadas (SP), arenas limosas (SM), arena limo arcillosa con grava (SC-SM), limo inorgánico (ML) y arcilla inorgánica (CL), los cuales presentan compacidad media a suelta y capacidad de carga portante muy baja (<1.00 kg/cm²) a baja (1.00 – 2.00 kg/cm²).

CARACTERIZACIÓN SÍSMICA Y GEOFÍSICA DE LA CIUDAD DE TALARA

CONTENIDO

1.-METODOLOGÍA Y RESULTADOS

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

2.- ADQUISICIÓN DE DATOS

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

3.- ANALISIS E INTERPRETACION

- 3.1.- Frecuencias Predominantes
- 3.2.- Perfiles de Velocidad de ondas de corte Vs
- 3.3.- Perfiles de Tomografía Eléctrica
- 3.4.- Periodos Predominantes

4.- ZONIFICACIÓN SÍSMICA Y GEOTÉCNICA

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

CONCLUSIONES

1.- METODOLOGÍA Y RESULTADOS

El estudio de Zonificación Sísmica - Geotécnica para la ciudad de Talara, se ha realizado con datos recolectados en campo y con la aplicación de los métodos geofísicos, sísmicos y geotécnicos.

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 y dinámicas 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 evitando 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 siempre 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).

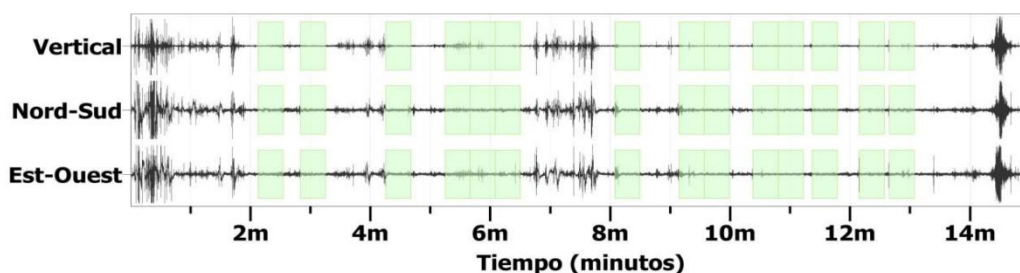
- **Interpretación:** Para la interpretación de los resultados se dispone de mapas geológicos, geomorfológicos, capacidad portante y clasificación de suelos (SUCS). Asimismo, en el análisis de la información se debe considerar: 1) Las frecuencias predominantes menores a 1 Hz corresponden a vibraciones 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).

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

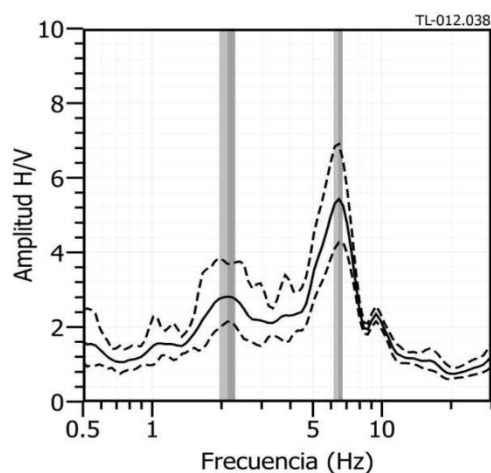
Zonificación Sísmica - Geotécnica
ÁREA URBANA DE TALARA
Frecuencias predominantes del Suelo

TL-012

Señal registrada y ventanas seleccionadas para el procesamiento



Curva H/V



Recolección de Datos



Interpretación de resultados

Dudoso	Pico(s) H/V (Hz)	f0	f1	f2
Ningún pico	☒	2.13	6.46	—
Observaciones				
Var. azimuthal	Homogénea	Amplitud max. Entre y°		

Figura 1: Ejemplo de la ficha H/V para el punto TL-012 en la cual se recopila los datos registrados y analizados. Arriba, señal registrada; Medio; razón espectral (H/V) en línea gruesa y su desviación estándar en línea discontinua y Abajo; resultados.

1.2.- Análisis Multicanal de ondas Superficiales (MASW)

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

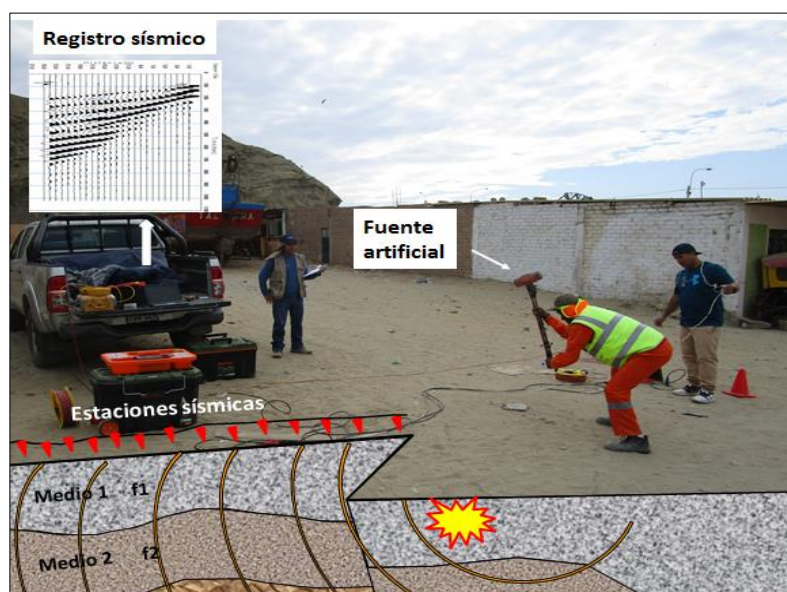


Figura 2: Generación de ondas Rayleigh con fuente artificial y su respectiva curva de dispersión.

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

- **Procesamiento:** Consiste en aplicar la transformada rápida de Fourier (FFT) en los registros sísmicos obtenidos para cada punto de disparo (Reynolds, 2011), proceso que permite la transformación de los datos y como resultado obtener una imagen de dispersión que relaciona la velocidad de fase de las

ondas superficiales con la frecuencia. Una vez obtenidas las curvas de dispersión, ellas son sometidas de forma individual a un proceso de inversión a fin de obtener los perfiles V_s en una dimensión (1D), y para ello se consideran como parámetros de entrada, la profundidad (30 m) y el número de capas (15 capas). Finalmente, los perfiles V_s son promediados para obtener 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 en la derecha, el perfil de velocidad V_s (línea verde) que considera el promedio final de los perfiles obtenidos post inversión. Los círculos de color verde representan la inversión de la curva de dispersión en el dominio de frecuencia y 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.

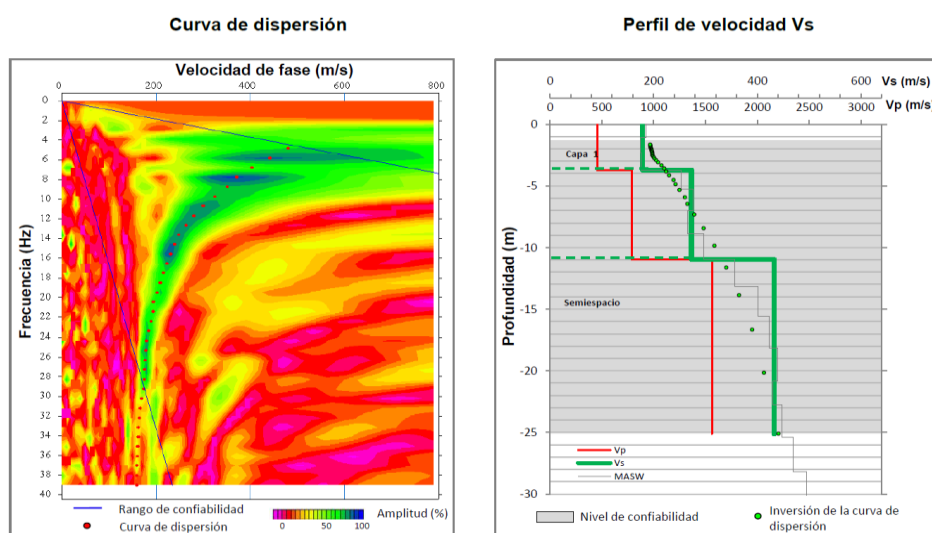


Figura 3: a) Curva de dispersión y b) perfil de velocidad obtenido a partir de la técnica de MASW.

- **Interpretación:** Para el análisis e interpretación de los resultados obtenidos se considera la clasificación de suelos según la Norma E.030. En este caso, el rango de velocidad de los perfiles de suelo S1 y S2 se subdividen a fin de considerar dos clasificaciones adicionales. Asimismo, para mayor comprensión, se considera una escala de colores, ver Tabla 1.

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

Clasificación de los perfiles de Suelo				
Nº	Vs		Norma E.030	Descripción
1	< 180 m/s	S3	Suelo blando	Suelo blando
2	180 m/s a 350 m/s	S2	Suelo medianamente rígido	Suelo moderadamente rígido
3	350 m/s a 500 m/s			Suelo rígido
4	500 m/s a 800 m/s	S1	Roca o suelo muy rígido	Suelo muy rígido o roca blanda
5	800 m/s a 1500 m/s			Roca moderadamente dura
6	> 1500 m/s	S0	Roca dura	Roca dura

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

1.3.- Tomografía de Resistividad Eléctrica (ERT)

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

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

Para la obtención de valores de resistividad aparente, se han realizado líneas de tomografía eléctrica con el dispositivo polo-dipolo. La profundidad de investigación depende de la separación entre electrodos, por ejemplo, para una separación de electrodos de 1 metro, se tendría 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 los datos obtenidos 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 distribución en el subsuelo incluyendo la corrección por topografía.

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

- **Interpretación:** La interpretación de la información obtenida 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 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.

2.- ADQUISICIÓN 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, para la técnica MASW se realizan arreglos sísmicos lineales, e igual para los métodos eléctricos (ERT) que permiten conocer los valores de resistividad del suelo.

2.1.- Registro de vibración ambiental H/V

Los registros de vibración ambiental son obtenidos con equipos sísmicos compuestos por un registrador tipo CityShark y sensores de tres componentes tipo Lennartz.

Para la aplicación de esta técnica se procedió, sobre el mapa catastral de la ciudad de Talara, 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. Para cada uno de los puntos de registro de vibración ambiental, se considera una duración de 15 minutos, lo cual permite disponer de buena cantidad de datos para su posterior análisis. En la ciudad de Talara, se recolecto 270 registros de vibración ambiental de manera homogénea en toda el área de estudio (Figura 4).

En la Figura 5, 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 TL-050 presenta niveles de ruido transitorio; mientras que, la señal en TL-246, presenta diversidad de ruido de fondo constante, al momento de su análisis, pueden ser filtrados, para no afectar a la información a utilizarse en este estudio.

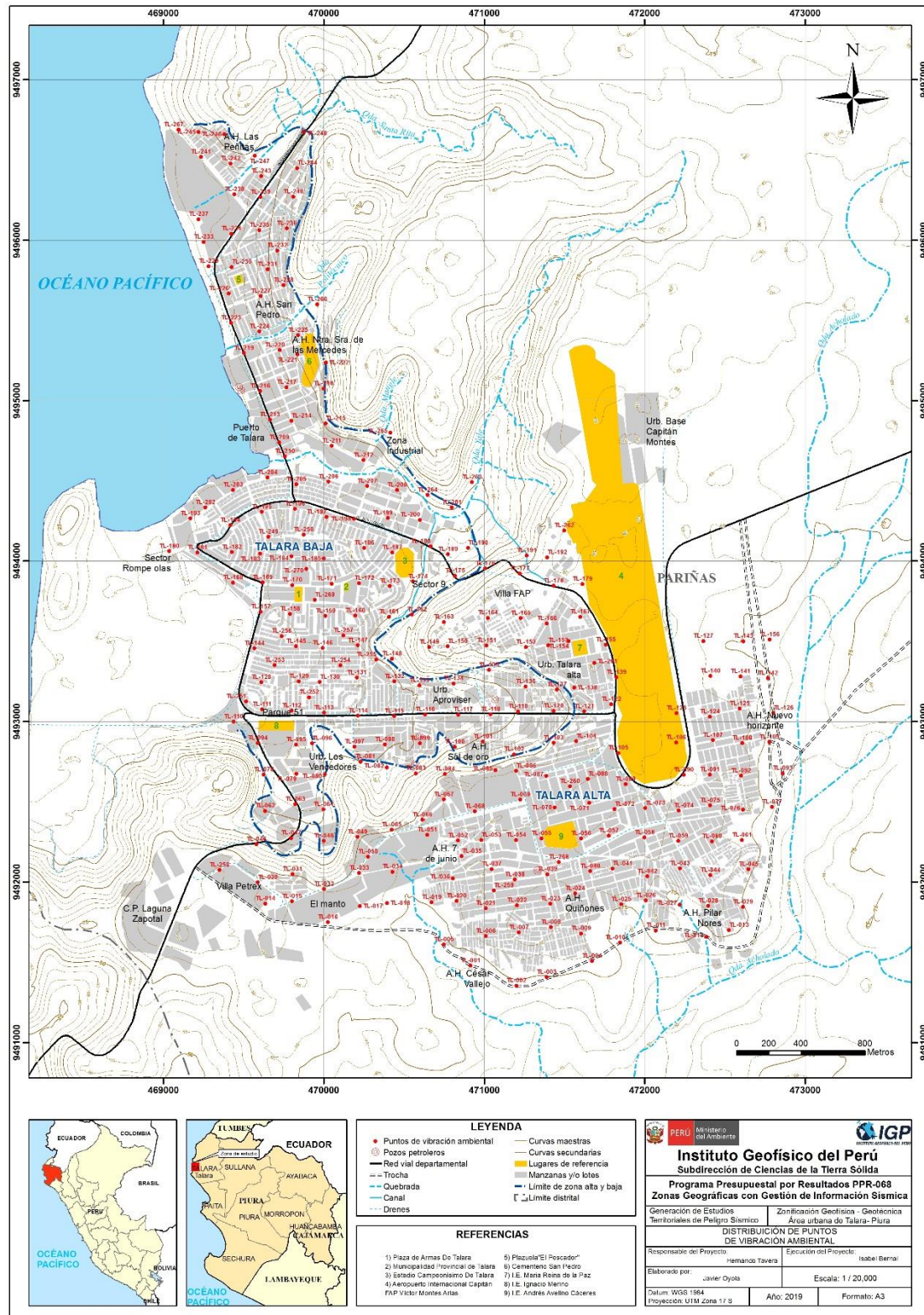


Figura 4: Mapa catastral de la ciudad de Talara y distribución de puntos donde se tomaron registros de vibración ambiental.

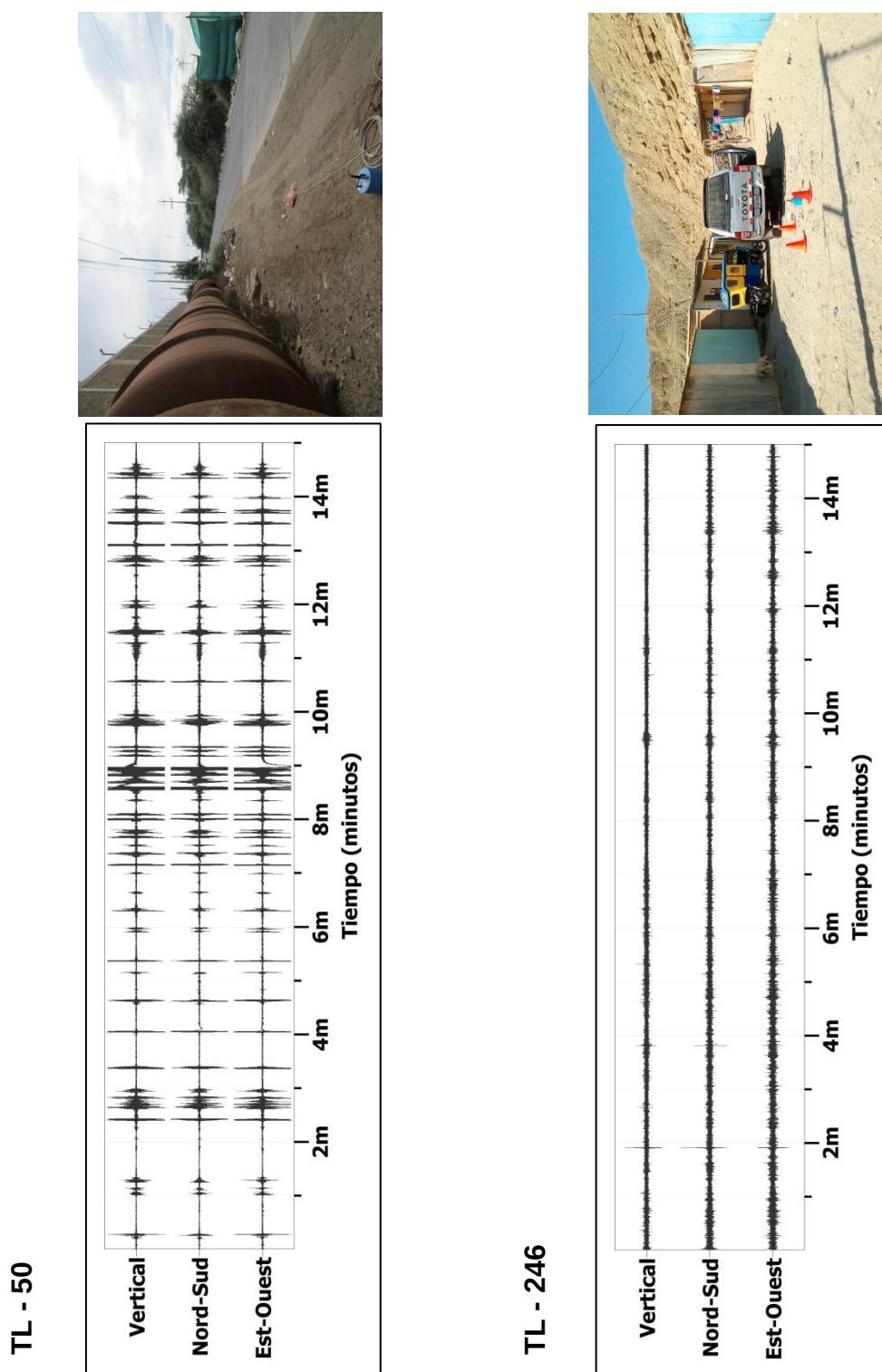


Figura 5: Ejemplos de la disposición del equipo sísmico para el registro de vibraciones ambientales. Ejemplos de registros de vibración ambiental obtenidos sobre una zona con ruido transitorio (TL-050) y otro con ruido de fondo constante (TL-246). Obsérvese las diferentes amplitudes de la señal registrada en cada punto.

2.2.- Registro de arreglos lineales MASW

Para el registro de datos 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. Los parámetros de registro, tales como la geometría del tendido, espaciamento entre geófonos, fue variable ya que dependió de la geomorfología de la zona de estudio y accesibilidad. En la ciudad de Talara, se realizaron 13 arreglos MASW cuyas coordenadas se muestran en la Tabla 2 y en la Figura 6, la distribución espacial de cada una de ellas codificados como: LS01-TL,..., y LS13-TL.

Tabla 2: Coordenadas y características de los arreglos lineales MASW realizados en la ciudad de Talara.

Arreglo lineal MASW	Este (m)	Norte (m)	Cota (m.s.n.m.)	Espaciamiento entre geófonos (m)	Longitud total (m)
LS01-TL	469383	9496528	17	4	92
	469323	9496596	20		
LS02-TL	470297	9494604	22	4	92
	470229	9494626	21		
LS03-TL	469171	9494242	13	4	92
	469195	9494155	15		
LS04-TL	469816	9493272	14	4	92
	469818	9493181	13		
LS05-TL	470547	9493859	25	4	92
	470521	9493771	21		
LS06-TL	469746	9491861	77	4	92
	469661	9491828	82		
LS07-TL	471508	9491816	91	4	92
	471484	9491906	91		
LS08-TL	472696	9492891	89	4	92
	472615	9492871	89		
LS09-TL	470939	9492163	86	4	92
	470863	9492113	89		
LS10-TL	470791	9493152	43	4	92
	470872	9493107	45		
LS11-TL	469625	9495713	26	4	92
	469589	9495799	24		
LS12-TL	471544	9493489	89	4	92
	471560	9493407	90		
LS13-TL	472411	9491780	86	4	92
	472389	9491847	87		

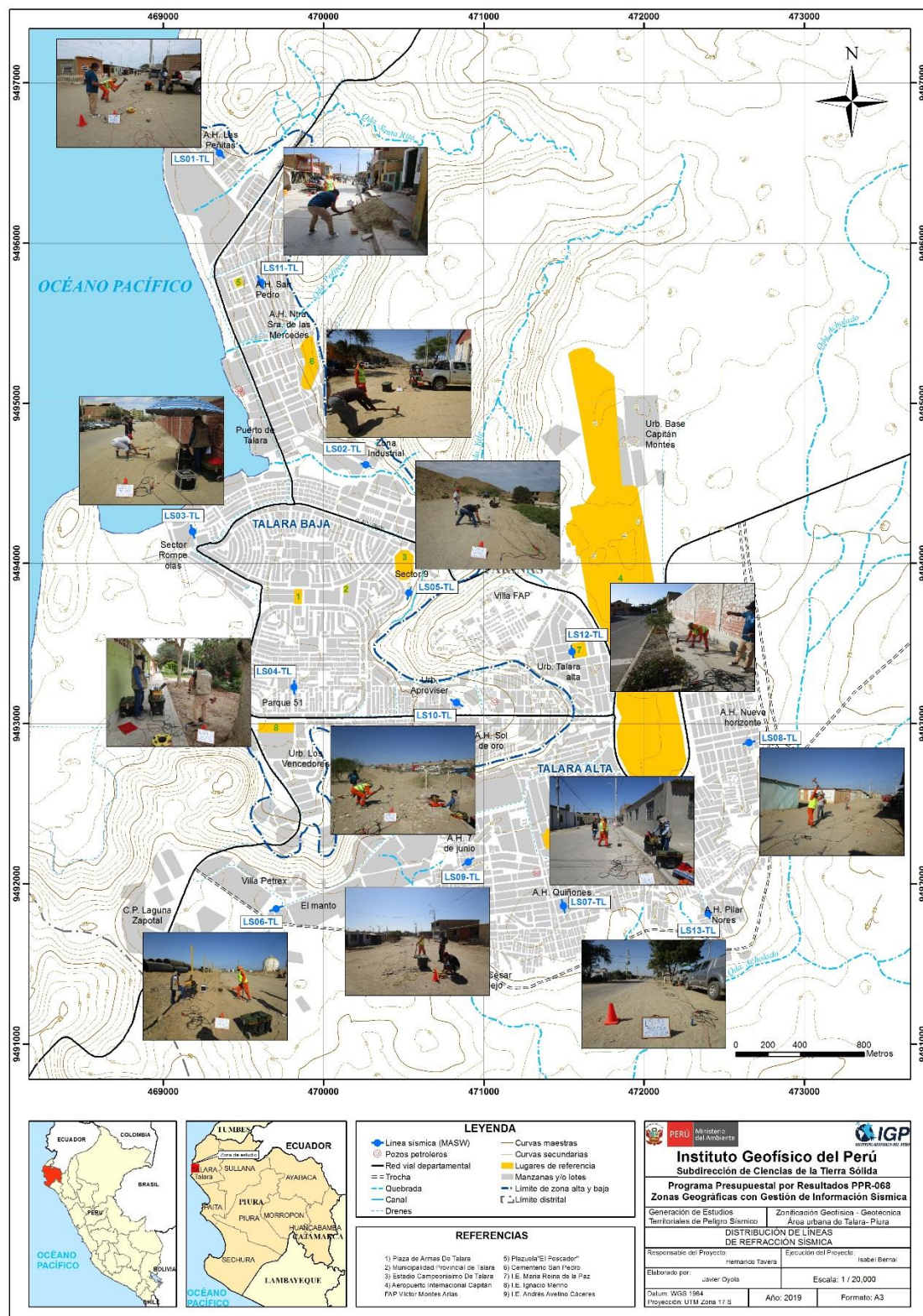


Figura 6: Mapa de la ciudad de Talara, y distribución espacial de los ensayos MASW codificadas como: LS01-TL,..., LS13-TL.

En la Figura 7, como ejemplo, se muestra la disposición del equipo y el registro sísmico obtenido para la línea sísmica LS12-TL.

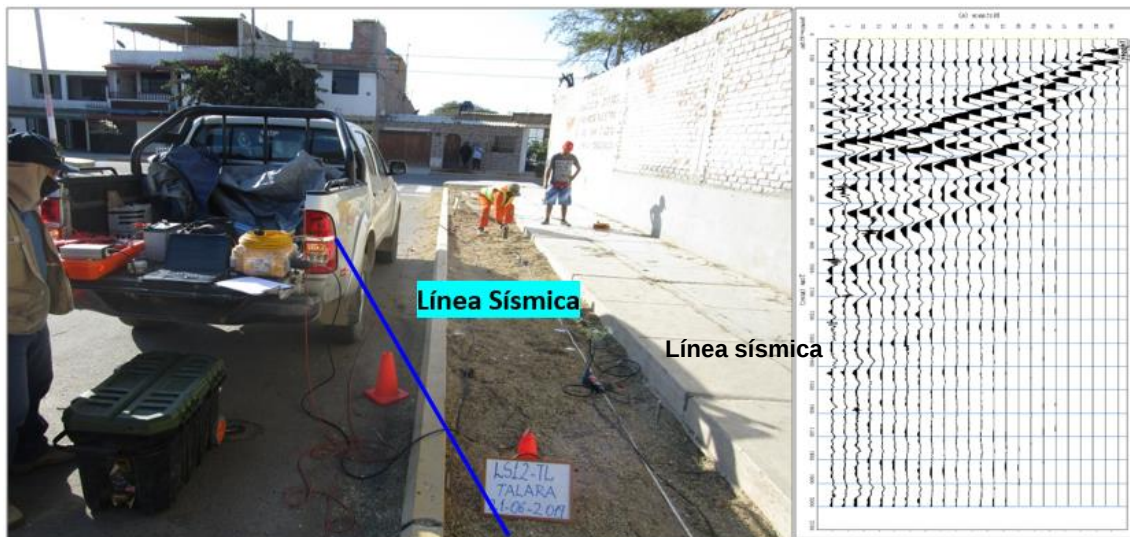


Figura 7: Disposición del equipo de adquisición de datos según el método de MASW y registro sísmico obtenido.

2.3.- Registros de resistividad del suelo ERT

Para el registro de datos 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 la ciudad de Talara se realizaron 10 líneas de tomografía eléctrica (Figura 8) distribuidas en la zona de estudio. Para las líneas se consideró un espaciamiento de 10 metros entre cada electrodo, sobre un tendido longitudinal que variaba de 145 y 290 metros, lo cual permitió tener alcances en profundidad del orden de los 40 metros. En la Tabla 3, se muestra las coordenadas UTM (WGS84) para los puntos extremos de las líneas eléctricas.

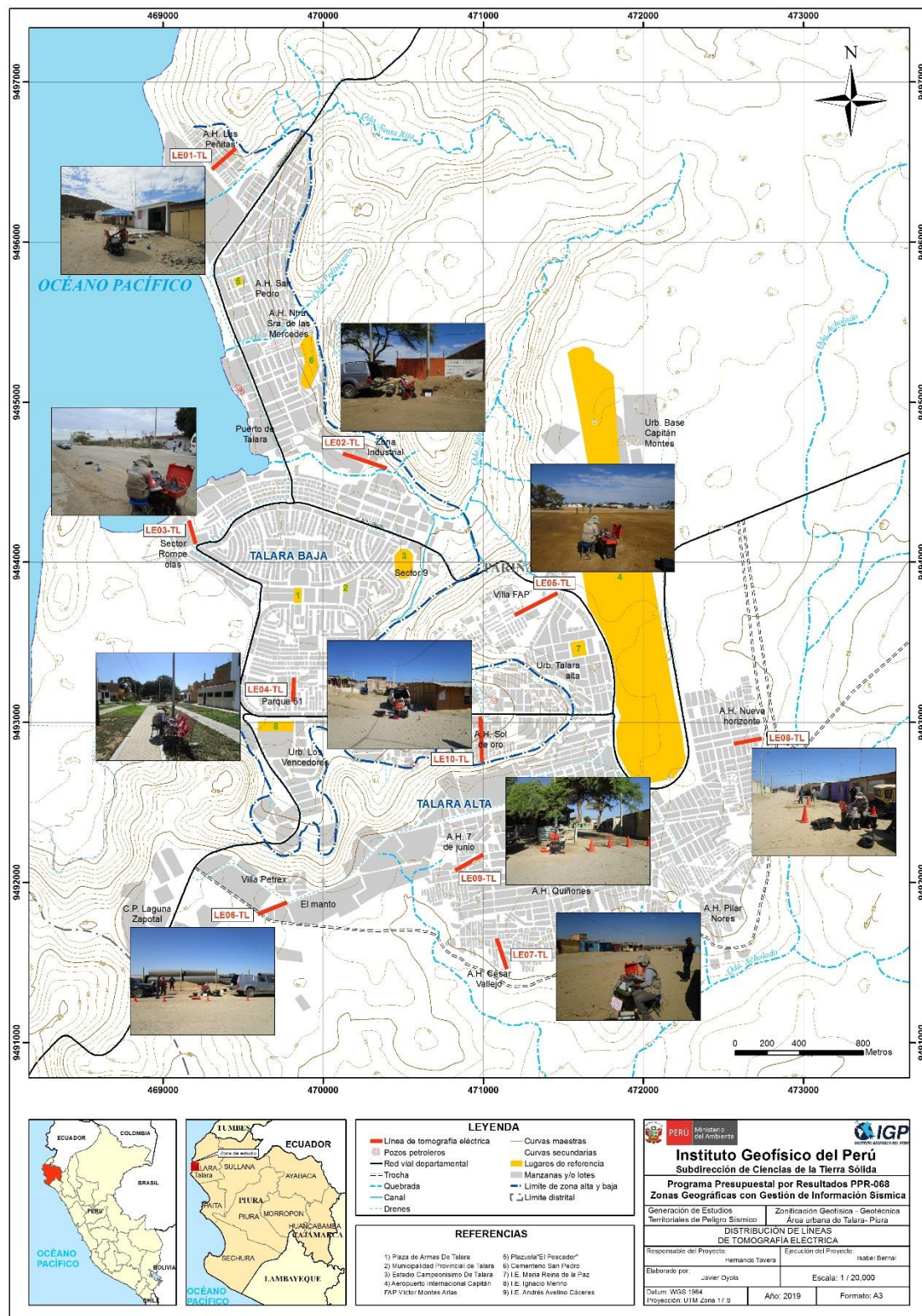


Figura 8: Mapa de la ciudad de Talara y distribución espacial de las líneas de tomografía eléctrica codificadas como: LE01-TL,..., LE10-TL.

Tabla 3: Coordenadas y características del ensayo ERT realizadas en la ciudad de Talara.

Línea Eléctrica ERT	Este (m)	Norte (m)	Cota (m.s.n.m.)	Espaciamiento entre electrodos (m)	Longitud total (m)
LE01- TL	469456	9496586	4	10	190
	469306	9496454	26		
LE02- TL	470398	9494586	24	10	280
	470124	9494680	23		
LE03- TL	469162	9494261	9	10	150
	469203	9494114	13		
LE04- TL	469816	9493279	17	5	145
	469812	9493126	17		
LE05- TL	471465	9493807	91	10	290
	471195	9493671	96		
LE06- TL	469774	9491875	92	10	190
	469592	9491802	90		
LE07- TL	471083	9491649	89	10	190
	471148	9491458	85		
LE08- TL	472740	9492899	84	10	170
	472565	9492865	88		
LE09- TL	471001	9492174	93	10	190
	470825	9492075	89		
LE10- TL	470982	9493036	46	10	280
	470992	9492751	70		
	535646	9426265	33		

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 la ciudad de Talara.

3.1. Frecuencias Predominantes

Esta información permite obtener espectros de Fourier para los tres componentes de registro de vibración ambiental obtenidos de manera puntual en 270 puntos (Figura 9). La relación espectral entre las componentes horizontales 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, permiten definir dos rangos de frecuencias F_0 ($F \leq 3.0$ Hz) y F_1 ($F > 3.0$ Hz), mostrando un pico de frecuencia bien definido y otro de menor amplitud con tendencia a valores menores de frecuencia. A continuación, se describe y analiza la distribución espacial de las frecuencias predominantes identificadas en la ciudad de Talara.

.- Frecuencia predominante F_0 : En la Figura 9, se muestra el mapa con la distribución espacial de los valores de F_0 , con valores predominantes entre 0.6 y 2.8 Hz, distribuyéndose de manera uniforme en la zona céntrica del área urbana y de manera dispersa hacia los extremos norte y sur.

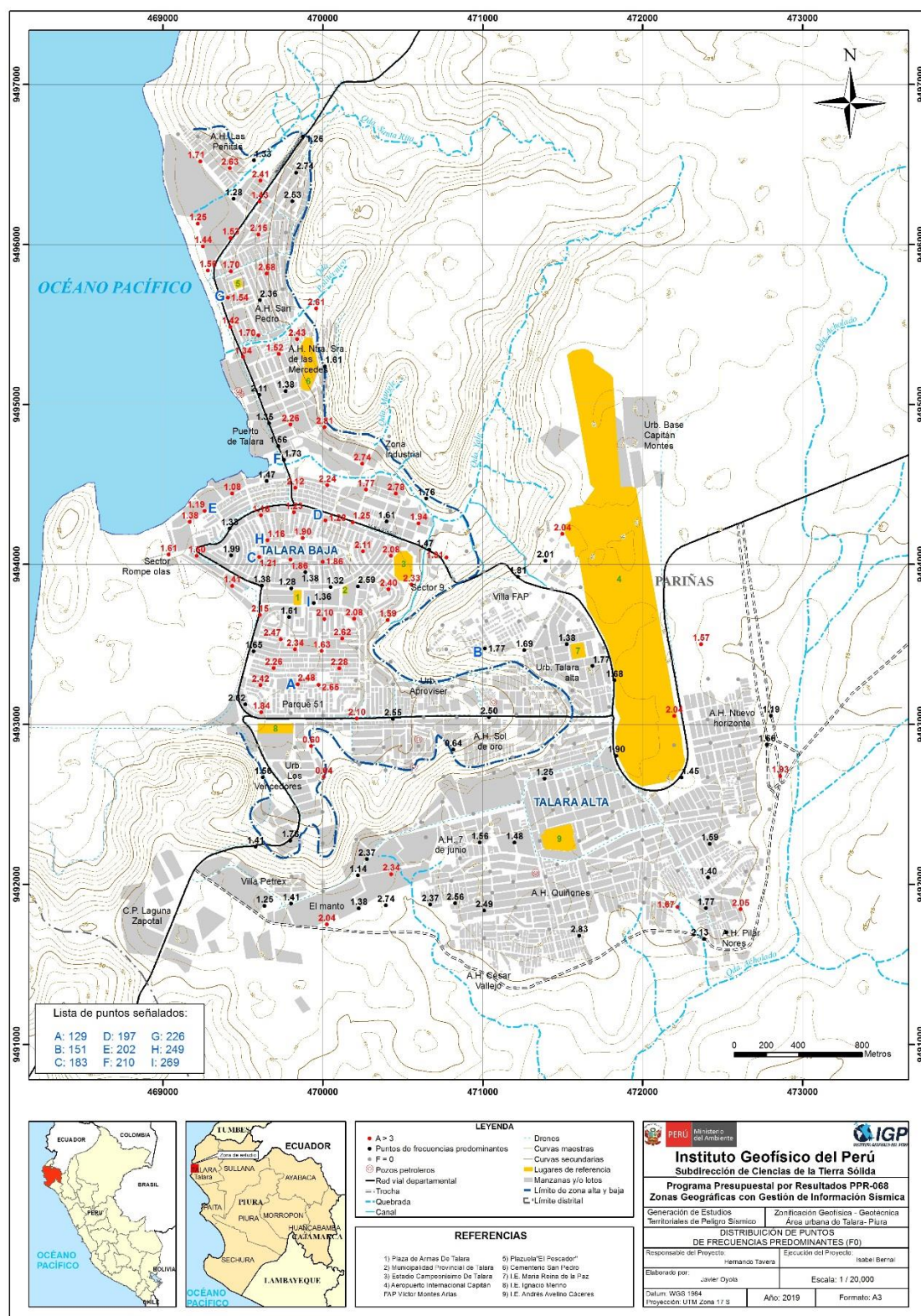


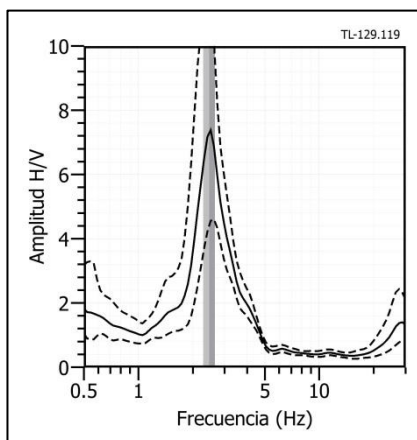
Figura 9: Mapa del área de estudio con la distribución espacial de las frecuencias predominantes F_o ($F \leq 3.0 \text{ Hz}$) definidas en cada punto. Las letras indican la ubicación de los gráficos.

En la Figura 10, se muestra ejemplos de razones espectrales característicos para los puntos TL-129(A), TL-197(D) y TL-226(G), ubicados en la zona céntrica de la ciudad de Talara, próximos al parque denominado "51", Av. Bolognesi y por el A.H. San Pedro, donde sobresalen frecuencias a 2.5, 1.3 y 1.5 Hz con amplificaciones de 7.3, 4.9 y 4.6 veces respectivamente.

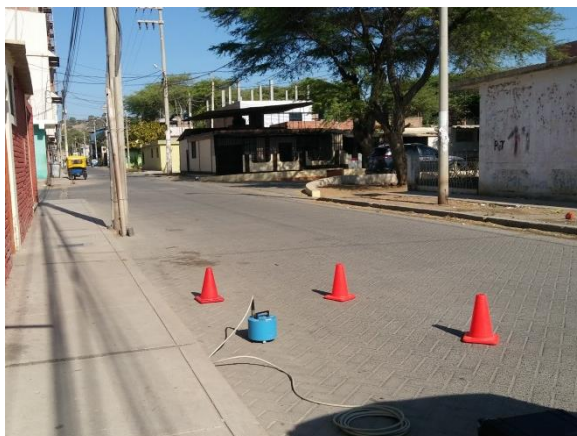
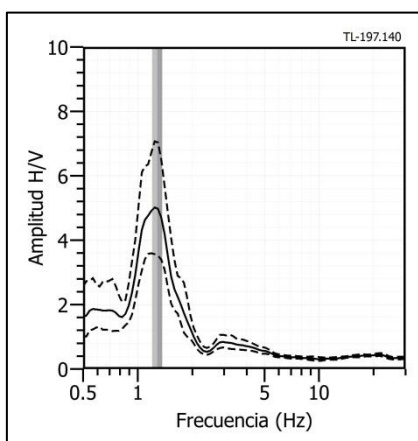
Las razones (H/V) obtenidas para los puntos TL-151(B), TL-210(F) y TL-269(I), ubicados en la Urb. Talara Alta, por el puerto de Talara y en la plaza de Armas, presentan un pico bien definido a frecuencias de 1.8, 1.7 y 1.4 Hz con amplificaciones de 1.7, 2.9 y 2.7 veces respectivamente.

Finalmente, los puntos TL-183(C), TL-202(E) y TL-249(H) ubicados al noroeste de la plaza de armas, los suelos responden a dos picos de frecuencia, sobresaliendo un pico bien definido a 1.2, 1.2 y 1.2 Hz, con amplificaciones de hasta 5 veces; y un segundo pico a 3.68, 5.1 y 4.6 Hz con mínimas amplificaciones. Los resultados muestran una respuesta dinámica singular de los suelos ya que la presencia de dos picos de frecuencia evidencia mayor complejidad a pesar de presentar bajas amplificaciones, a diferencia de suelos que presentan un pico bien definido con moderada amplificación.

TL - 129



TL - 197



TL - 226

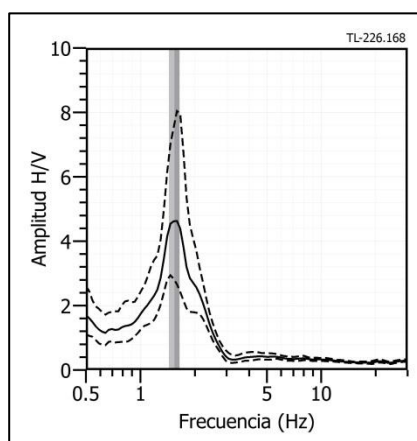
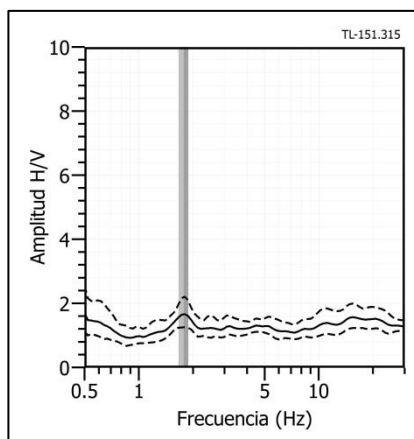
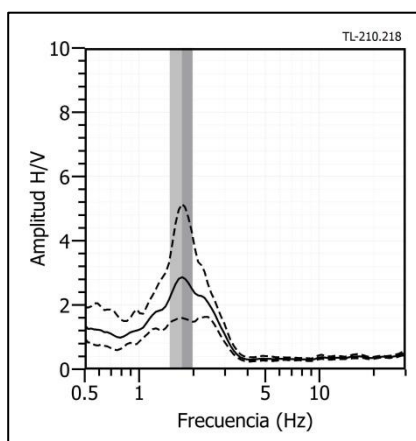


Figura 10: Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F_0 ; para los puntos TL-129(A), TL-197(D) y TL-226(G), ubicados los dos primeros en el centro de la ciudad cercano al parque 51 y por la Av. Bolognesi; ubicándose el tercero al norte cerca del A.H San Pedro. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

TL - 151



TL - 210



TL - 269

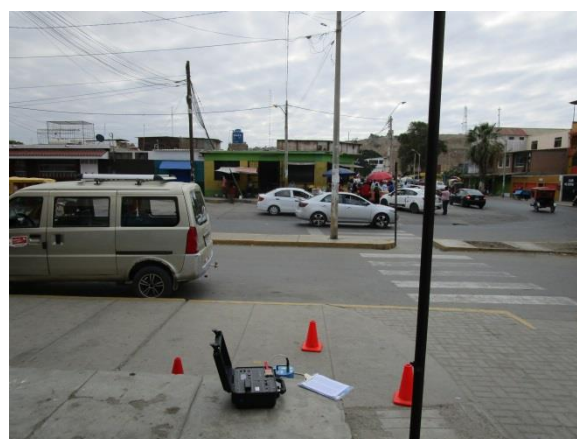
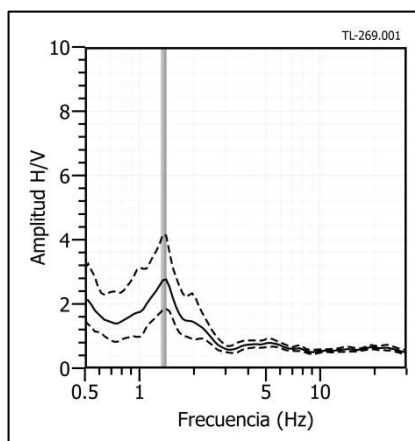
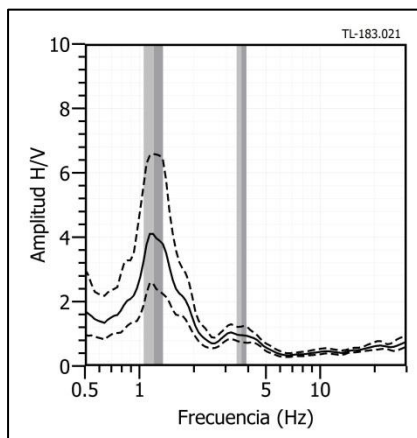
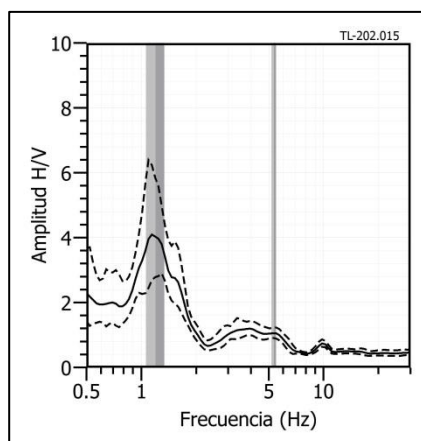


Figura 10: ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F_0 ; para los puntos TL-151(B), TL-210(F) y TL-269(I), ubicados el primero por la Urb. Talara Alta, el segundo por el puerto de Talara y el tercero por la plaza de Armas. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

TL - 183



TL - 202



TL - 249

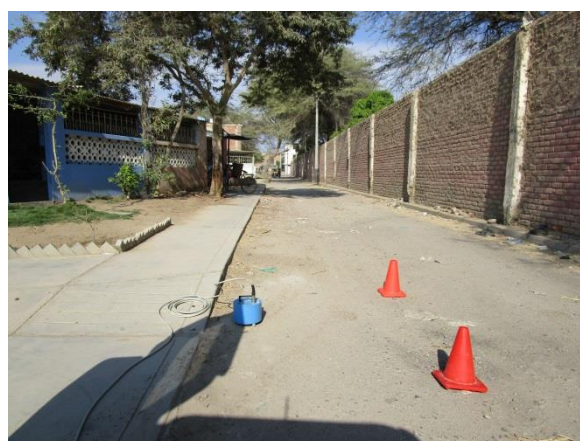
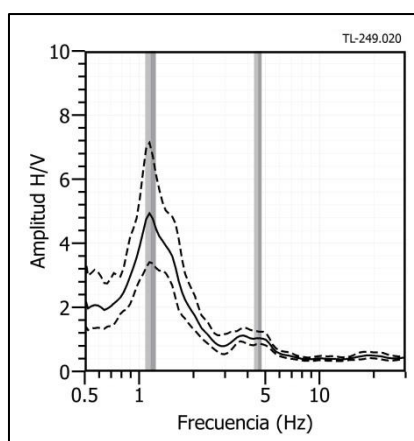


Figura 10: ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F_0 ; para los puntos TL-183(C), TL-202(E) y TL-249(H), ubicados al noroeste de la plaza de Armas. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

.- Frecuencia predominante F_1 : En la Figura 11, se muestra el mapa con la distribución espacial de los valores de F_1 , con valores predominantes entre 3.0 y 12.0 Hz, distribuyéndose de manera uniforme en la zona sur y este de la ciudad de Talara y de manera al norte y centro. En la Figura 12, se muestra ejemplos de los gráficos de razones espectrales que caracterizan los suelos de esta ciudad en este rango de frecuencias.

Las razones espectrales (H/V) obtenidas para los puntos TL-147(F), TL-246(G) y TL-252(H), ubicados el primero y tercero al sur de la plaza de armas y el segundo en el A.H. Las Peñitas, presentan un pico bien definido a frecuencias de 3.5, 3.0 y 3.6 Hz, con amplificaciones máximas relativas de 5.0, 3.8 y 5.8 respectivamente. Las elevadas amplificaciones asocian al bajo grado de consolidación y/o compactación de suelo.

Los puntos TL-006(A), TL-069(D) y TL-117(E), ubicados en el A.H. Cesar Vallejo, A.H 7 de Junio y en el A.H. Sol de Oro, presentan frecuencias predominantes de 5.6, 3.8 y 3.5 Hz con amplificaciones relativas de 2.5, 1.5 y 1.8 veces. A diferencia con la anterior zona presenta baja amplificación.

Finalmente existen áreas puntuales donde los suelos no responden a alguna frecuencia predominante, los ejemplos TL-032(B), TL-045(C) y TL-258(I) identificados hacia el sureste de Talara Alta sugieren un comportamiento rígido del suelo.

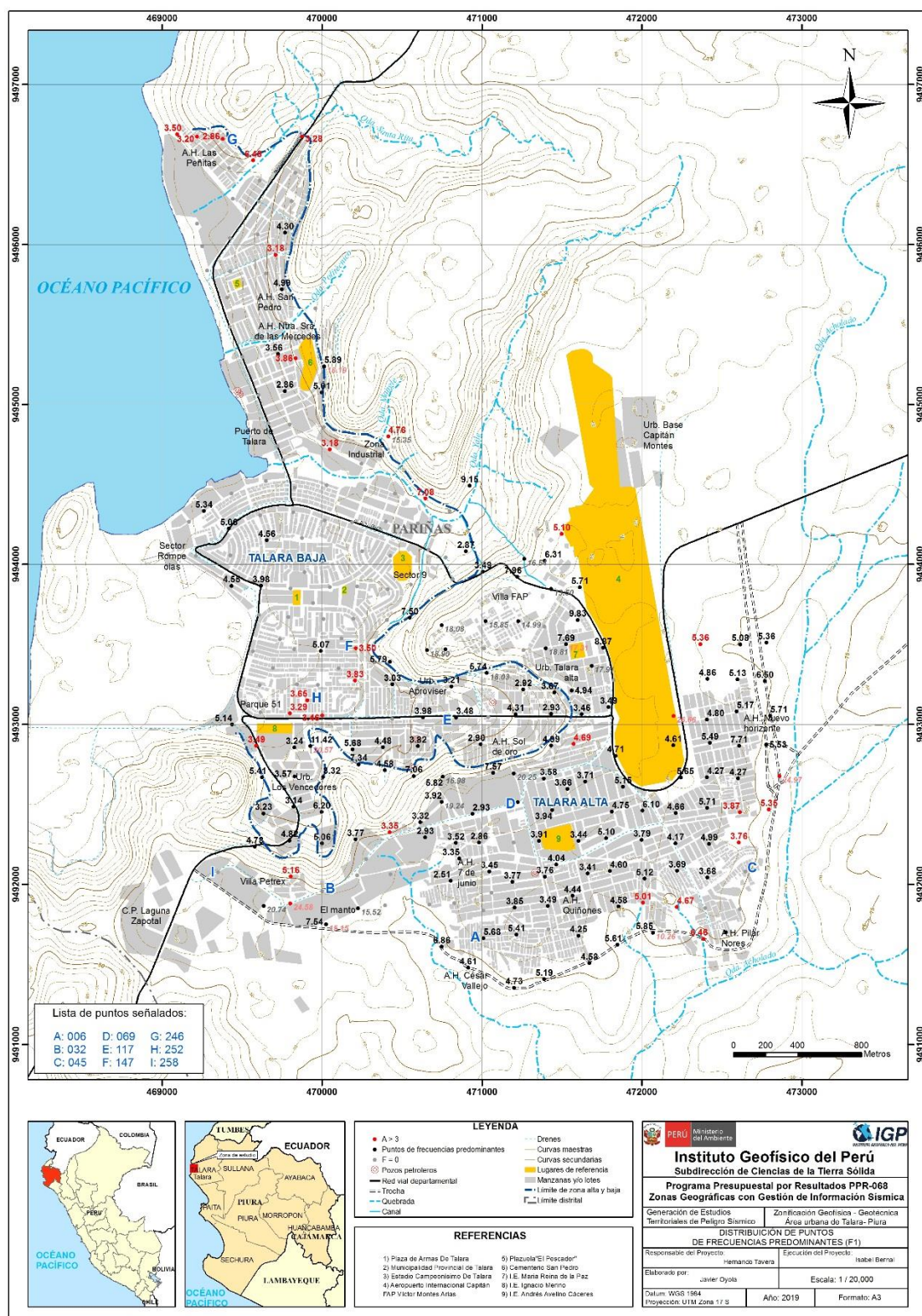
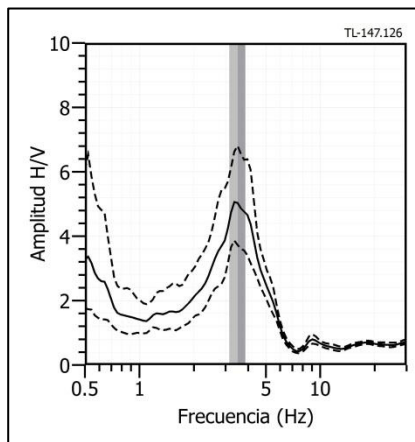
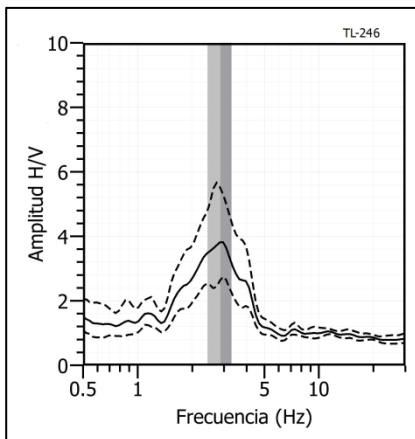


Figura 11: Mapa del área de estudio con la distribución espacial de las frecuencias predominantes F1 ($F > 3.0\text{Hz}$). Los valores en rojo, corresponden a puntos con amplificaciones mayores a 3 veces. Las letras indican la ubicación de los gráficos.

TL - 147



TL - 246



TL - 252

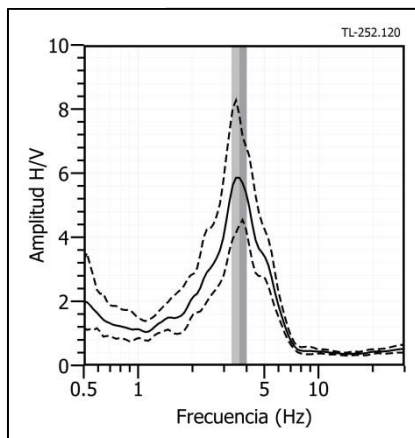
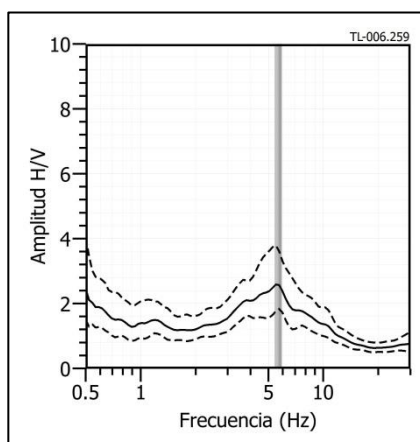
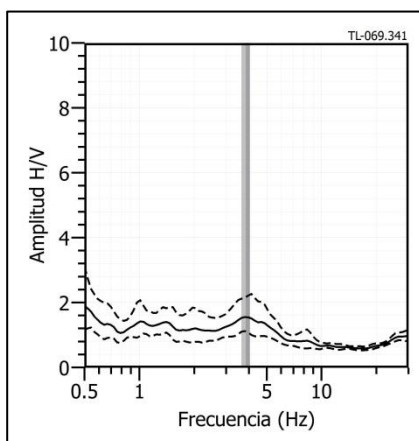


Figura 12: Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F1; para los puntos TL-147(F), TL-246(G) y TL-252(H), ubicados el primero y tercero al sur de la plaza de armas y el segundo en el A.H. Las Peñitas. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

TL - 006



TL - 069



TL - 117

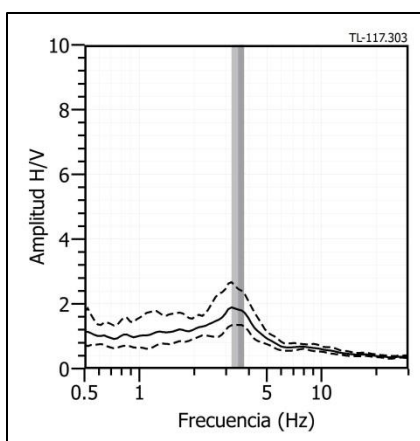
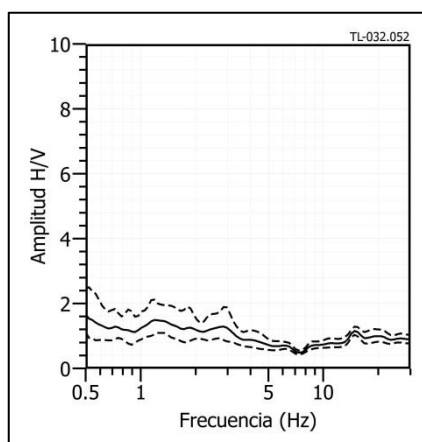
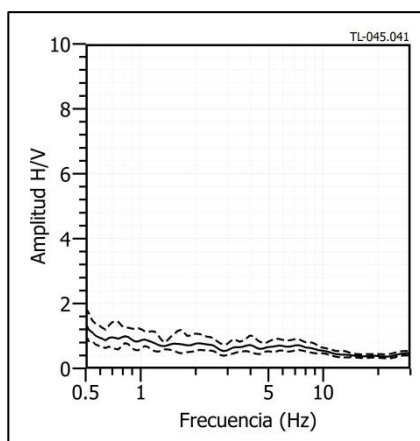


Figura 12: ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F1; para los puntos TL-06(A), TL-69(D) y TL-117(E), ubicados al sur, el primero por el A.H. Cesar Vallejo, el segundo por el A.H 7 de Junio y el tercero por el A.H. Sol de Oro. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

TL - 032



TL - 045



TL - 258

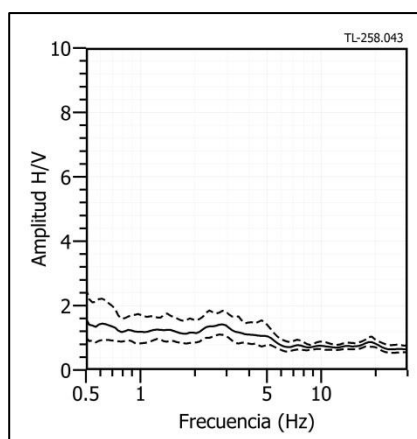


Figura 12: ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F1; para los puntos TL-032(B), TL-045(C) y TL-258(I) ubicados al sur. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

El análisis de razones espectrales H/V en el área urbana de Talara ha permitido observar, dos rangos de frecuencias, 0.3 a 2.8 Hz (Tala Baja) y de 3.0 a 12.0 Hz (Talara Alta). El primer rango está presente principalmente en la zona céntrica y extremo Norte del área urbana, con amplificaciones de hasta 4 veces. El segundo rango, se distribuye de manera uniforme hacia los extremos Sur y Este del área de estudio (Talara Alta), con amplificaciones relativas menores a 3 veces: mientras que, de manera puntual por el Parque 51 y al norte por el A.H. Las Peñitas, se alcanza amplificaciones de hasta 4 veces. Estos resultados sugieren, la presencia de suelos menos consolidados y de mayor espesor en el sector denominado como Talara Baja a diferencia de los suelos de mayor rigidez identificados en Talara Alta.

3.2.- Perfiles de Velocidad de ondas de corte Vs

Los modelos de velocidad de propagación de las ondas sísmicas (V_s) proporcionan información muy útil en materia de riesgo sísmico y reconocimiento general, de la estructura y naturaleza del subsuelo. En este estudio, el procesamiento de los registros sísmicos permitió llegar a profundidades de 30 metros para cada línea sísmica (07 arreglos en Talara Baja y 06 en Talara Alta). En la Figura 6, se presenta el mapa con la ubicación de las líneas. A continuación, se describe los resultados obtenidos agrupados según su similitud y distribución de velocidades en el perfil sísmico:

Líneas sísmicas LS01-TL y LS02-TL: Realizadas al norte del área urbana de Talara; en el A.H. Las Peñitas y zona Industrial. Se identifica una capa de 20 a 23 metros de espesor, con velocidad V_s entre 239 a 242 m/s correspondiendo a suelos moderadamente rígidos. La superficie de contacto con el semi-espacio presenta velocidades $V_s > 421$ m/s, considera a suelo rígido.

Línea sísmica LS11-TL: Realizada al norte del área urbana; en el A.H. San Pedro. Se identifica dos capas sísmicas: la primera de 3 metros de espesor

con velocidad V_s de 209 m/s, la segunda muestra un incremento de velocidad V_s de 287 m/s y espesor de 22 metros, ambas capas corresponden a suelos moderadamente rígidos. La superficie de contacto con el semi-espacio presenta velocidades $V_s > 472$ m/s, considera a suelo rígido.

Línea sísmica LS03-TL: Realizada hacia el Oeste del Cercado de Talara, sector Rompe Olas. Se identifica una capa sísmica de 11 metros de espesor con velocidad V_s de 192 m/s que, junto con el semi-espacio, el cual presenta velocidades $V_s > 248$ m/s, corresponden a suelos moderadamente rígidos.

Línea sísmica LS04-TL: Realizada en el Cercado de Talara, Parque 51. Se identifica dos capas sísmicas: la primera de 9 metros de espesor, con velocidad V_s de 138 m/s que corresponde a suelos blandos. La segunda capa, muestra velocidad V_s de 270 m/s con espesor de 9 metros y corresponde a suelos moderadamente rígidos. El semi-espacio presenta velocidades $V_s > 382$ m/s y considera suelos rígidos.

Líneas sísmicas LS05-TL y LS10-TL: Realizadas en el Cercado de Talara, en el Sector 9 y en la Urb. Aproviser. Indican la presencia de dos capas de suelos: la primera de 5 a 9 metros de espesor con velocidades V_s entre 222 a 226 m/s; la segunda con velocidades V_s entre 275 a 287 m/s y espesor entre 13 a 14 metros, ambas capas corresponden a suelos moderadamente rígidos. La superficie de contacto con el semi-espacio presenta velocidades $V_s > 443$ m/s, corresponde a suelo rígido.

Línea sísmica LS06-TL: Realizada en Talara Alta, en el Sector el Manto. Se identifica dos capas sísmicas: la primera de 5 metros de espesor, con velocidades V_s de 320 m/s que corresponde a suelos moderadamente rígidos; la segunda capa, muestra velocidades V_s de 430 m/s con espesor de 10 metros, que junto con el semi-espacio, con velocidad $V_s > 368$ m/s, consideran a suelos rígidos.

Línea sísmica LS07-TL: Realizada en Talara Alta, en el A.H. Quiñones (Sector 17). Se identifica dos capas sísmicas: la primera de 5 metros de espesor, con velocidades V_s de 357 m/s que corresponde suelos rígidos; la segunda capa, muestra velocidades V_s de 265 m/s con espesor de 6 metros compuesta por suelos moderadamente rígidos. La superficie de contacto con el semi-espacio presenta velocidades $V_s > 423$ m/s y corresponde a suelos rígidos.

Línea sísmica LS08-TL: Realizada al este de Talara Alta, en A.H. Nuevo Horizonte. Se identifica dos capas sísmicas: la primera de 4 metros de espesor con velocidades V_s de 189 m/s; la segunda con velocidades V_s de 258 m/s y espesor de 7 metros, ambas capas consideran suelos moderadamente rígidos. La superficie de contacto con el semi-espacio presenta velocidades $V_s > 489$ m/s y considera suelos rígidos.

Línea sísmica LS09-TL: Realizada en Talara Alta, en el A.H. 7 de Junio. Se identifica una capa sísmica de 11 metros de espesor con velocidades V_s de 257 m/s que corresponde a suelos moderadamente rígidos. El semi-espacio presenta velocidades $V_s > 380$ m/s y considera suelos muy rígidos.

Línea sísmica LS12-TL: Realizada al este del área de estudio, en la Urb. Talara Alta. Se identifica una capa sísmica de 5 metros de espesor con velocidades V_s de 343 m/s que corresponde a suelos moderadamente rígidos. El semi-espacio presenta velocidades $V_s > 789$ m/s y considera suelos muy rígidos.

Línea sísmica LS13-TL: Realizada al sureste de Talara Alta, en el A.H. Pilar Nores. Se identifica dos capas sísmicas: la primera de 4 metros de espesor con velocidades V_s de 179 m/s que corresponde a suelos blandos; la segunda capa, con velocidades V_s de 273 m/s y espesor de 7 metros considerada como suelos moderadamente rígidos. La superficie de contacto con el semi-espacio presenta velocidades $V_s > 433$ m/s y corresponde a suelos rígidos.

En la Tabla 4, se presenta los valores de velocidad de ondas de corte V_s para los distintos perfiles de suelo y en la Figura 13, se presenta los resultados obtenidos para la línea sísmica LS01-TL y para el resto, ver Anexos.

Tabla 4: Valores de espesor y V_s de las líneas sísmicas realizados en la ciudad de Talara 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-TL	242	23	459	-	-	-	263
LS02-TL	239	20	421	-	-	-	271
LS03-TL	192	11	248	-	-	-	221
LS04-TL	138	9	270	9	382	-	227
LS05-TL	226	9	287	14	465	-	273
LS06-TL	320	5	430	10	368	-	367
LS07-TL	357	5	265	6	423	-	366
LS08-TL	189	4	258	7	489	-	345
LS09-TL	257	11	380	-	-	-	321
LS10-TL	222	5	275	13	443	-	299
LS11-TL	209	3	287	22	472	-	289
LS12-TL	343	5	789	-	-	-	655
LS13-TL	179	4	273	7	433	-	327

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 en este estudio definen la existencia en la ciudad de Talara de 2 capas sísmicas y un semiespacio (Tabla 6). El análisis de los resultados según cada capa sísmica encontrada y su correlación geológica son descritos a continuación:

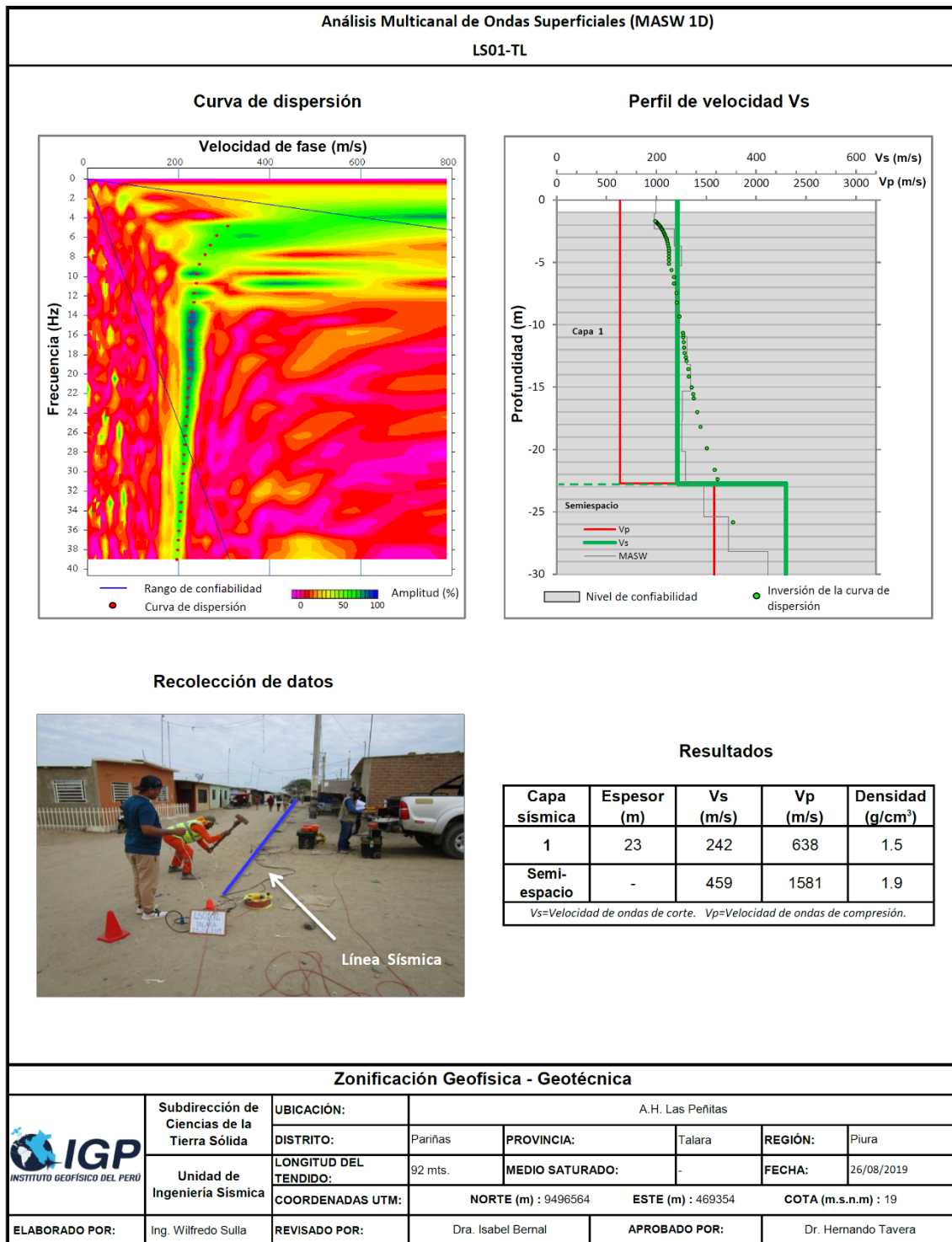


Figura 13: Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo sísmico LS01-TL.

Los resultados obtenidos para Talara Baja sugieren el predominio de suelos moderadamente rígidos en superficie, con espesores que varía en promedio de 18 a 25 metros, ver Figura 14. Por otro lado, el mismo tipo de suelo supera la profundidad de 30 metros por el sector Rompe Olas (próximo a la zona de playa). Asimismo, de manera puntual se ha identificado la presencia de suelos blandos distribuidos principalmente en el sector Parque 51 en capas con espesor de 9 metros. El mismo modo, se observa que conforme se incrementa la profundidad, el grado de rigidez en los suelos aumenta hasta hacerse rígidos, llegando a supera la profundidad de 30 metros.



Figura 14. Distribución espacial de los perfiles del suelo sobre la superficie topográfica en la ciudad de Talara. Los puntos en verde representan la ubicación de los ensayos MASW.

Los resultados obtenidos para Talara Alta, sugieren también el predominio de suelos moderadamente rígidos en superficie, pero en capas con espesores entre 5 a 11 metros, estando los de menor espesor por el sector El Manto y por la Urb. Talara Alta. Esta misma capa, pero en dirección este (A.H. Nuevo Horizonte), incrementa su espesor. Además, de manera puntual se ha identificado la presencia de suelos blandos en capas de 4 metros de espesor en dirección sureste (A.H. Pilar Nores); así como la presencia de un suelo rígido en capas de 5 metros de espesor sobre suelos moderadamente rígidos en dirección sur (A.H. 7 de Junio), tal como muestra las Figuras 14 y 15. Conforme

se incrementa la profundidad, se identifica la presencia de suelos rígidos con espesores que superan los 30 metros.

Los valores de velocidad V_s obtenidos para las capas superficiales se correlacionan con los depósitos marinos sobre el cual la mayor parte de Talara Baja se ha construida. Del mismo modo, los depósitos de conglomerado poco consolidados que se emplazan en Talara Alta, sobre capas de depósitos de areniscas bien consolidadas.



Figura 15. Secuencia litológica en las cercanías del ensayo LS05 (Sector 9, cercado).

3.3.- Perfiles de Tomografía Eléctrica

En la ciudad de Talara se realizaron 10 líneas de tomografía eléctrica (04 perfiles en Talara Baja y 06 en Talara Alta) y los resultados obtenidos son descritos a continuación (ver Anexos):

Líneas LE01-TL y LE02-TL: realizadas en el extremo noroeste de Talara Baja, en el A.H. Las Peñitas y la zona industrial. Aquí se identifica el predominio de valores bajo resistivos a muy bajo resistivos ($< 100 \Omega.m$), los que indican que

los suelos presentan humedad que se incrementa en profundidad debido a la presencia de depósitos de origen marino. De manera puntual, en superficie aparecen valores medianamente resistivos (de 100 a 500 $\Omega.m$), lo que sugiere la presencia de material poco húmedo característico de conglomerados y arenas de playa, tal como se muestra en la Figura 20. La línea LE01-TL, al estar próximo al litoral muestra la interacción de las intrusiones marinas (Figura 16).

En las líneas LE03-TL y LE04-TL, realizadas al noroeste y sur del Centro Cívico de Talara Baja, sector Rompe Olas y el Parque 51, se identifica el predominio de valores muy bajo resistivos ($<20 \Omega.m$) y que corresponden a suelos con alto contenido de humedad debido a la presencia de arenas de origen marino, como se observa en la Figura 16.

Líneas eléctricas LE05-TL, LE07-TL, LE08-TL y LE09-TL: realizadas en Talara Alta, en los sectores Villa FAP, A.H. Cesar Vallejo, A.H. Nuevo Horizonte y A.H. 7 de Junio. Aquí se identifica la presencia de valores bajo resistivos a muy bajo resistivos ($<100 \Omega.m$) cerca de la superficie debido a la presencia de humedad en el subsuelo y material salitroso. Las líneas LE05-TL y LE08-TL están sobre el Tablazo Talara que se presenta en forma de costra sedimentaria y se compone de conglomerados poco consolidados. Las líneas LE07-TL y LE09-TL están sobre la Formación Talara compuesta de lutitas, conglomerados y areniscas cuarzosas con contenido de humedad debido a la presencia de escorrentías y presencia de agua en las quebradas (Figura 17).

Línea LE06-TL: realizada en Talara Alta, en Villa Petrex. Aquí se identifica el predominio de valores bajo resistivos a muy bajo resistivos ($<100 \Omega.m$) desde superficie, debido a la presencia de suelos húmedos asociados a depósitos de arenas y conglomerados poco consolidados que conforman al Tablazo Talara. Por su proximidad al lote petrolero se debe considerar la existencia de oleoductos (gas y petróleo) en este sector, ver Figura 18.



Figura 16: Vista de la línea eléctrica LE01-TL, LE02-TL, LE03-TL y LE04-TL.



Figura 17: Vista de la línea eléctrica LE05-TL, LE07-TL, LE08-TL y LE09-TL.



Figura 18: Vista de las líneas eléctrica LE06-TL y LE10-TL.

Línea LE10-TL: realizada en el A.H. Sol de Oro. Aquí predominan los valores bajo a muy bajo resistivos ($<100 \Omega.m$) debido a la presencia de depósitos de arenas recientes de origen marino. En la capa superficial se observan valores medianamente resistivos (100 a $500 \Omega.m$) debido a la presencia de depósitos de material fino (Figura 18). A partir de los 15 metros de profundidad, se tiene el predominio de valores muy bajo resistivos ($<20 \Omega.m$) debido a la existencia de medios saturados.

Geológicamente, el área de estudio se encuentra sobre material cuaternario y su proximidad existen afloramientos de areniscas y lutitas, pertenecientes a la formación Talara y Tablazo Talara, donde los niveles de depósitos aluviales y marinos constituyen un medio poroso debido a la presencia de arenas y gravas arenosas, que conformarían acuíferos libres confinados.

En la Figura 19, se presenta los resultados de tomografía de resistividad eléctrica obtenidos para la línea LE01-TL y para las líneas restantes, ver Anexos.

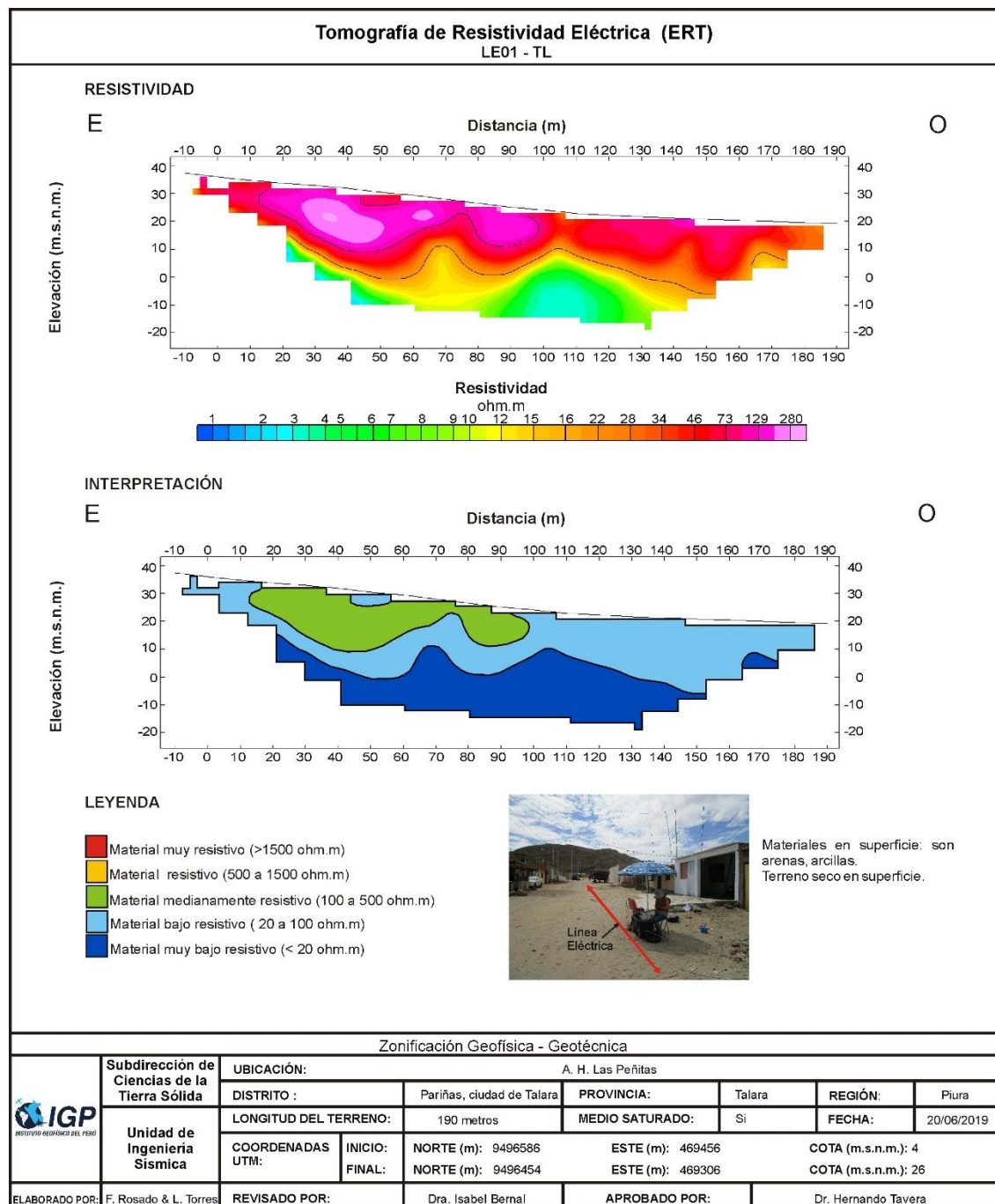


Figura 19: Resultado de tomografía de resistividad eléctrica para la línea LE01-TL.

En general, de acuerdo a los resultados obtenidos, en Talara Baja se tiene la presencia de suelos saturados, principalmente en los sectores Rompe Olas (Muelle de Petro Perú) y el Parque 51. Los niveles de saturación se presentan desde la superficie y son debidos a la influencia de las intrusiones marinas y filtraciones producidas por escorrentía. Hacia el A.H. Las Peñitas y la zona industrial, la saturación es debida a la existencias de quebradas que retienen humedad por debajo de los 5 metros de profundidad. Aquí los suelos están compuestos por arenas no consolidadas que permiten el almacenamiento de agua subterránea, lo cual incrementa la posibilidad de producirse licuación de suelo durante la ocurrencia de eventos sísmicos.

Por otro lado, Talara Alta presenta un medio parcialmente saturado debido a que suelo está compuesto mayormente por conglomerados, arenas y finos. La presencia de vegetación en la margen derecha de la quebrada Acholado, indican la presencia de humedad que influye en el comportamiento dinámico de dichos suelos.

De manera local, en los sectores Villa Petrex (Lote petrolero Graña y Montero) y el A.H. Sol de Oro no se observa la presencia de humedad en superficie, aunque por debajo de los 15 metros se tienen medios saturados.

Finalmente, los resultados obtenidos para la identificación de suelos saturados en Talara, son similares a los obtenidos en estudios realizados en Talara por INADUR, CEREN y PENUD.

3.4.- Periodos Predominantes

Los valores de frecuencias predominantes fueron transformados a periodos dominantes a fin de construir el mapa de isoperiodos. La distribución espacial de los periodos para la ciudad de Talara, han sido separados en dos grupos, en color negro para periodos menores a 0.3 segundos, en gris los periodos mayores. Los puntos que no presentan periodos son representados

con color gris claro y en rojo los puntos en los cuales se observa amplificaciones mayores a 3 veces (Figura 20).

El rango de periodos identificado en el área de estudio, varían desde 0.1 a 0.9 segundos y se distribuyen de manera homogénea permitiendo sectorizar el área en periodos altos y bajos. En la primera área, se tiene el predominio de periodos de 0.1 segundos que se distribuyen en la Urb. Talara Alta y Villa FAP. En la segunda área, los periodos están en el rango de 0.2 y 0.3 segundos, presentes en dirección sur y este del área urbana, en Talara Alta y parte de Talara Baja (por la Urb. Aproziser y el A.H. Sol de Oro). Finalmente, los periodos altos mayores a 0.3 segundos están presentes en gran parte del área de Talara Baja, principalmente en los sectores próximos a la orilla del mar (periodos entre 0.7 a 0.9 segundos) y en menor proporción, en Talara Alta (Sector El Manto, A.H. 7 de Junio y A.H. Pilar Nores). Asimismo, los periodos altos presentan amplificaciones mayores a tres veces, lo cual sugiere suelos son menos consolidados y de mayor espesor a diferencia de los suelos emplazados en Talara Alta.

Los periodos dominantes se encuentran 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 300 m/s para las ondas de corte (V_s) y periodos de 0.4 y 0.6 segundos, se estima para el área de estudio la presencia de una capa superficial con espesores de 35 a 45 metros en Talara Baja (al centro y norte del área urbana). En Talara Alta, se tiene periodos entre 0.2 y 0.3 segundos; y considerando velocidades de 300 m/s y 350 m/s para las ondas de corte (V_s), se estima para la capa sedimentaria un espesor de 22 a 28 metros. Los resultados de este análisis sugieren que suelos de mayor espesor se emplazan en Talara Baja y los menores en Talara Alta.

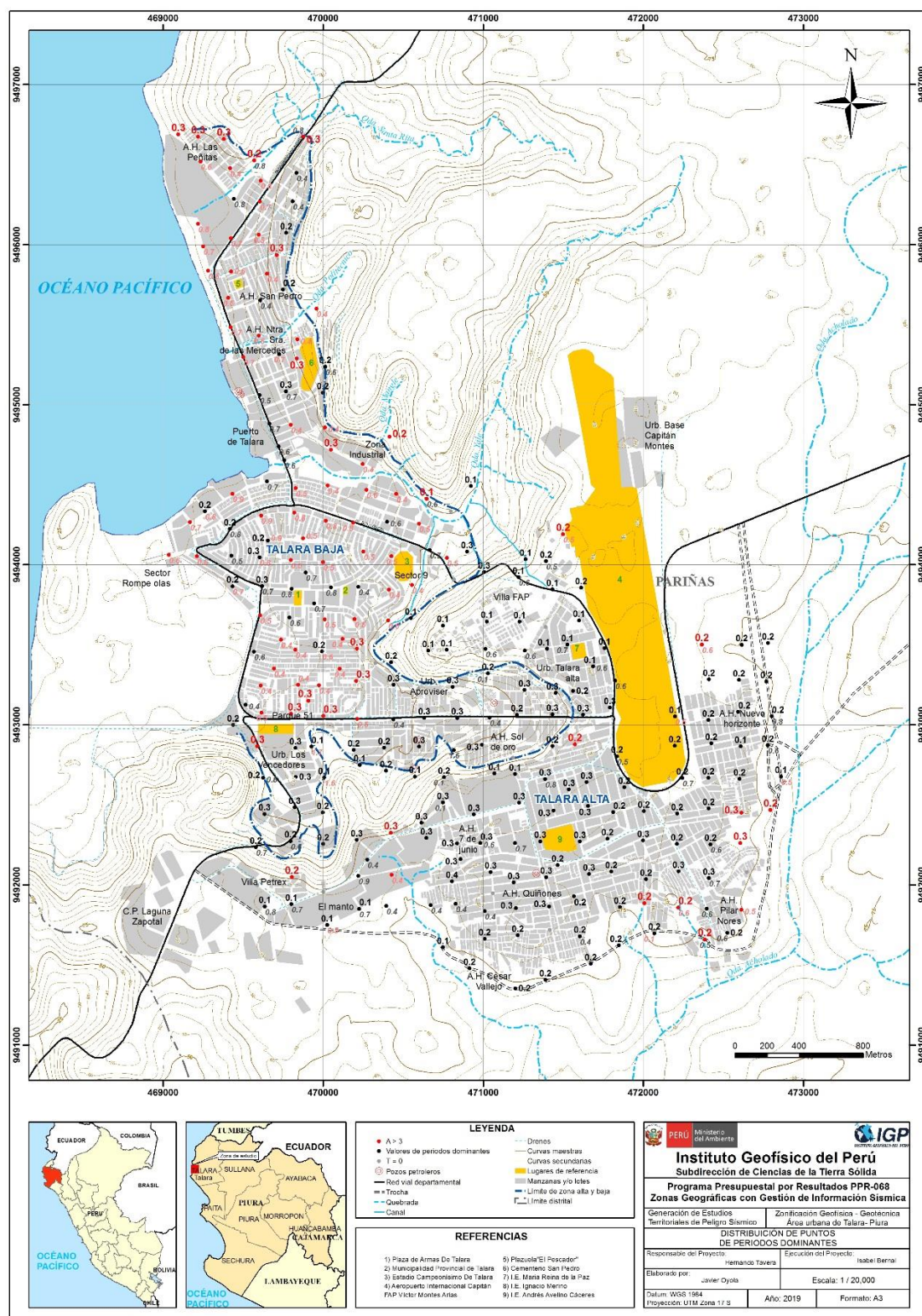


Figura 20: Mapa de la distribución espacial de los valores de periodos dominantes.

4.- ZONIFICACIÓN SÍSMICA Y GEOTÉCNICA

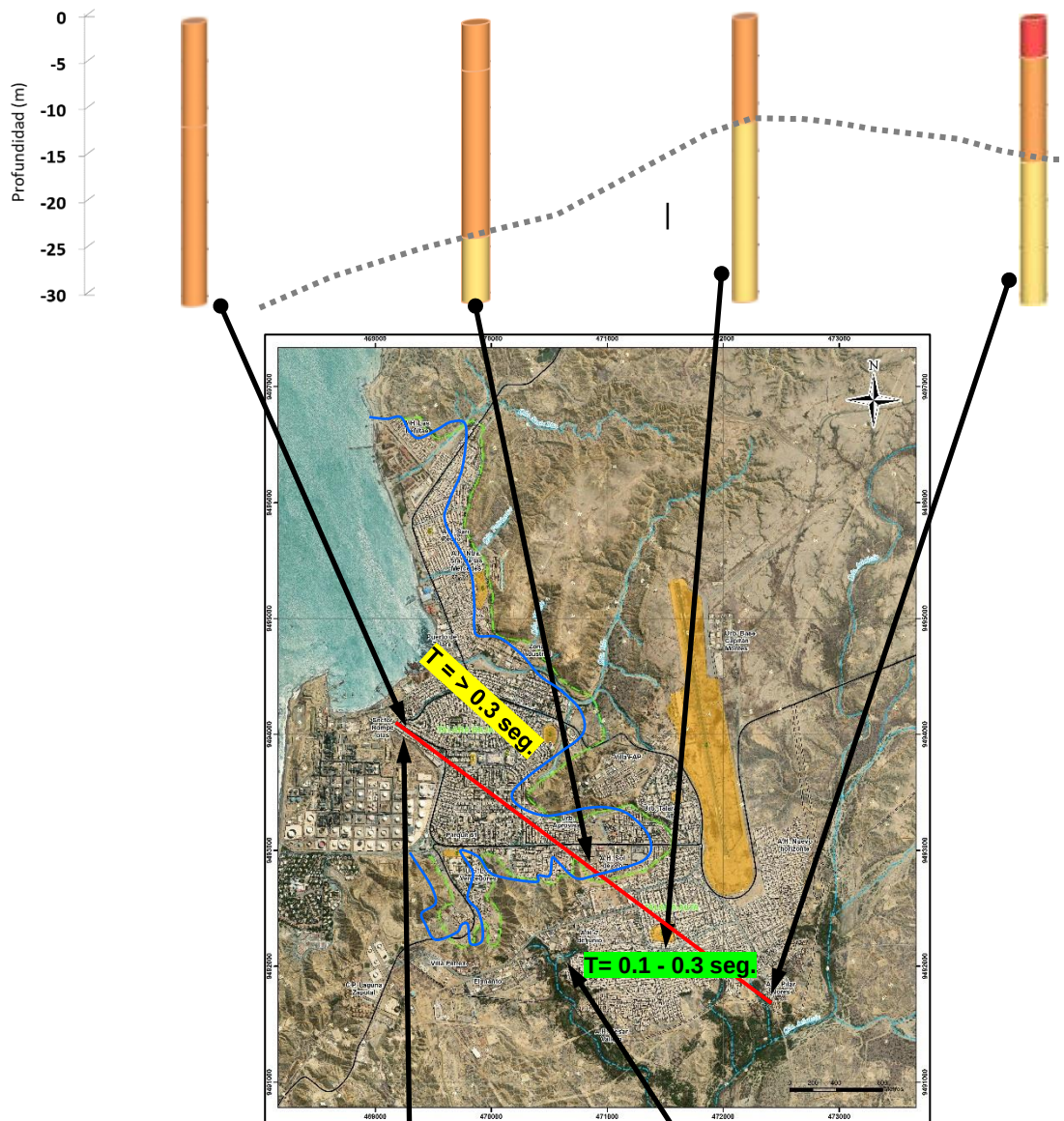
En base a los resultados obtenidos en este estudio y considerando la información generada con la aplicación de técnicas geotécnicas; así como, la información geológica, geomorfológica y geodinámica, se elabora el mapa de zonificación sísmica y geotécnica. Información importante para la clasificación de suelos es la que proporciona la Norma Técnica E.030 de Diseño Sismorresistente, ya que permite considerar las propiedades físicas y dinámicas de los suelos

4.1.- Integración de resultados

La ciudad de Talara se encuentra ubicada próxima al Océano Pacífico, y presenta una morfología variada que permiten separar el área de estudio en dos niveles topográficos; Talara Baja caracterizada principalmente por la presencia de depósitos marinos y Talara Alta, por depósitos del Tablazo. Para una mejor comprensión de los resultados obtenidos en este estudio, el área urbana de Talara, ha sido separada en 2 sectores, cuyas características geofísicas son las siguientes (ver Figura 21):

.- Talara Baja: Se tiene el predominio en superficie suelos moderadamente rígidos ($V_s = 192 - 287$ m/s) con espesores que varían entre 18 a 25 metros. Estos suelos responden a periodos entre 0.3 a 0.9 segundos, estando los valores mayores próximos a zona de playa y los menores en dirección Este. En el Parque 51, se tiene suelos blandos en capas de 9 metros de espesor. Presenta suelos saturados por debajo de 3 a 5 metros, debido a la influencia de las quebradas Yale, Mangle, Politécnico y Santa Rita; así como a la infiltración del agua de mar y las escorrentías que se originan durante los periodos de lluvias intensas y/o el fenómeno de El Niño. Estos resultados, también se mencionan en los estudios realizados por INADUR, CEREN y PENUD (1999), INDECI y PENUD (2010). En general, en profundidad se emplazan los suelos rígidos cuyo espesor supera la profundidad de 30 metros.

Perfiles de suelo (MASW)



Secciones Geo-eléctricas

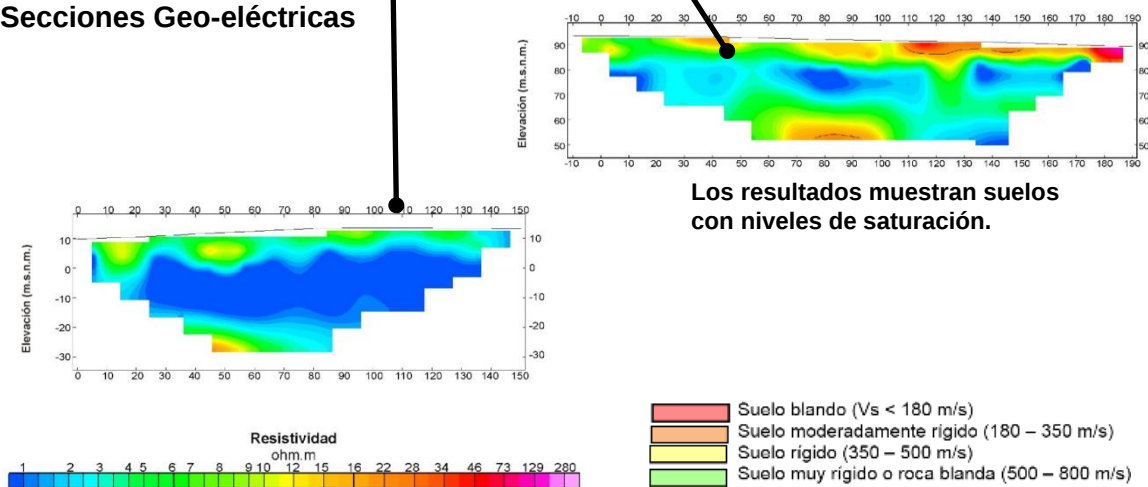


Figura 21: Mapa de la distribución de periodos dominantes y su relación con el espesor y tipo de suelo

De manera dispersa, los periodos menores a 0.3 segundos están presentes en áreas puntuales y próximos a áreas con pendientes abruptas (A.H. Las Peñitas, A.H. San Pedro y A.H. Ntra. Sra. de las Mercedes), donde el espesor de los suelos son menores y por ello, se encuentran expuestos a escorrentías, caída de rocas, flujo de detritos, entre otros.

Las mayores amplificaciones del suelo se presentan en gran parte del área de Talara Baja debido a que están influenciados por el grado de saturación del suelo, principalmente en las inmediaciones del Parque 51, Rompe olas, el Sector 9, A.H. Ntra. Sra. De las Mercedes, el A.H. Las Peñitas. Estudios anteriores sugieren que los suelos soportaran aceleraciones que superen los 460 cm/s^2 para un periodo de retorno de 500 años (CISMID, 1992; IGP, 2014), lo cual es consistente con las características físicas identificadas en este estudio.

Talara Alta: Considera el área que se encuentra al Sur y Este de Talara, con el predominio de suelos moderadamente rígidos en superficie ($V_s = 189$ a 343 m/s) y espesores que varían entre 5 a 18 metros, estando los espesores menores presentes por el sector El Manto, Villa FAP y la Urb. Talara Alta. Aquí, existe el predominio de periodos que varían entre 0.1 a 0.3 segundos, estando presentes en el A.H. Cesar Vallejo, A.H. Quiñones, Urb. Talara Alta, A.H. Nuevo Horizonte y Villa FAP. Áreas con periodos mayores a 0.3 segundos están presentes en el A.H. 7 de Junio, Villa Petrex, A.H. Pilar Nores y a lo largo de la margen derecha de la quebrada Acholado.

En Talara Alta predomina la presencia de suelos medianamente saturados debido a la influencia de las quebradas Yale, Acholado y escorrentías. Además, existen pequeñas quebradas que nacen en Talara Alta y tributan a la quebrada Acholado, estas permanecen constantemente húmedas, pero en temporada de fuertes precipitaciones y/o Fenómeno del Niño llegan a verter tanta agua que permiten que la quebrada Acholado se inunde convirtiéndola inestable y susceptible a sufrir asentamientos, así como el

colapso de suelos y densificación del suelo (suelos antrópicos), tal como se menciona en el estudio realizado por CENEPRED (2017).

En general, el suelo al estar constituido de arenas, limos y acillas con saturación a niveles superficiales, a la ocurrencia de un sismo de elevada magnitud, aumenta la probabilidad de generarse mayores amplificaciones y procesos de licuación. Por lo tanto, es necesario e indispensable que esta información sea considerada como base para nuevos proyectos de GRD y en la toma de decisiones.

4.2.- Zonificación Sísmica

El mapa de Zonificación sísmica-geotécnica para el área urbana de la ciudad de Talara, se elabora en función de la integración de los resultados obtenidos de los estudios geológicos, geotécnicos y geofísicos, delimitando zonas cuyos suelos presentan características y comportamiento dinámico similares ante la ocurrencia de un sismo. Las características dinámicas del suelo y sus propiedades mecánicas, han permitido identificar en el área de estudio, de acuerdo a la Norma de Construcción Sismorresistente E.030, la existencia de suelos de Tipo S1 (Zona 1), S2 (Zona 2) y S4 (Zona 4). Finalmente, para la ciudad de Talara se propone la siguiente zonificación de suelos (Figura 22):

- ZONA I: *Considera los suelos más consolidados del área de estudio, constituidos por estratos de conglomerados y conchuelas (depósitos de tablazo) distribuidos desde el nivel superficial. Esta zona presenta velocidades de ondas de corte V_s de 290 m/s en promedio para la capa superficial y de hasta 789 m/s hasta una profundidad de 30 metros. El periodo de vibración natural del suelo varía entre 0.1 y 0.3 segundos, tiene un comportamiento rígido y es considerado como suelos Tipo S1 según la norma sismorresistente peruana. Asimismo, los suelos presentan una capacidad de carga admisible entre 1.0 a 3.0 Kg/cm² hasta un metro de profundidad. Esta zona comprende el 30 % del área*

de estudio y se considera el extremo sureste de Talara Alta donde se encuentran el I.E. Andrés Avelino Cáceres, Villa FAP, A.H. Nuevo Horizonte y A.H. Cesar Vallejo.

- ZONA II: *Conformada por suelos consolidados al estar constituidos por estratos de arenas y arcillas (depósito marino). Presentan velocidades de ondas de corte Vs de 220 m/s en promedio para la capa superficial y de hasta 472 m/s hasta la profundidad de 30 metros. Tienen un comportamiento medianamente rígido, con periodos de vibración natural que varían entre 0.3 y 0.7 segundos. El nivel freático es superficial (3 metros) y según por el tipo de material reconocido, los suelos son del Tipo S2 de acuerdo con la norma sismoresistente peruana. Los suelos presentan una capacidad de carga admisible menor a 1.0 Kg/cm² hasta un metro de profundidad. Esta zona comprende todo el sector de Talara Baja y parte sur y sureste de Talara Baja (Villa Petrex, A.H. 7 de junio y A.H. Pilar Nores).*

Las líneas inclinadas de color naranja sobre la Figura 22, delimitan áreas que se encuentran influenciadas por periodos que varían entre 0.8 y 0.9 segundos. Esta área comprende las zonas próximas al litoral, principalmente por el Sector Rompe Olas. Asimismo, las líneas inclinadas de color verde delimitan sectores que se encuentran influenciados por periodos bajos (0.1 a 0.2 segundos) y se emplaza por Villa Petrex, sector el Manto y al Sureste de la Urb. Los Vencedores.

- ZONA III: *Esta zona no fue identificado en el área de estudio.*

- ZONA IV: *Esta zona corresponde a suelos cuyas características físicas y dinámicas son excepcionales; por lo tanto, su comportamiento comprende a suelos Tipo S4 de la norma sismoresistente peruana. En este estudio, la Zona 4 ha sido dividida en las siguientes subZonas:*

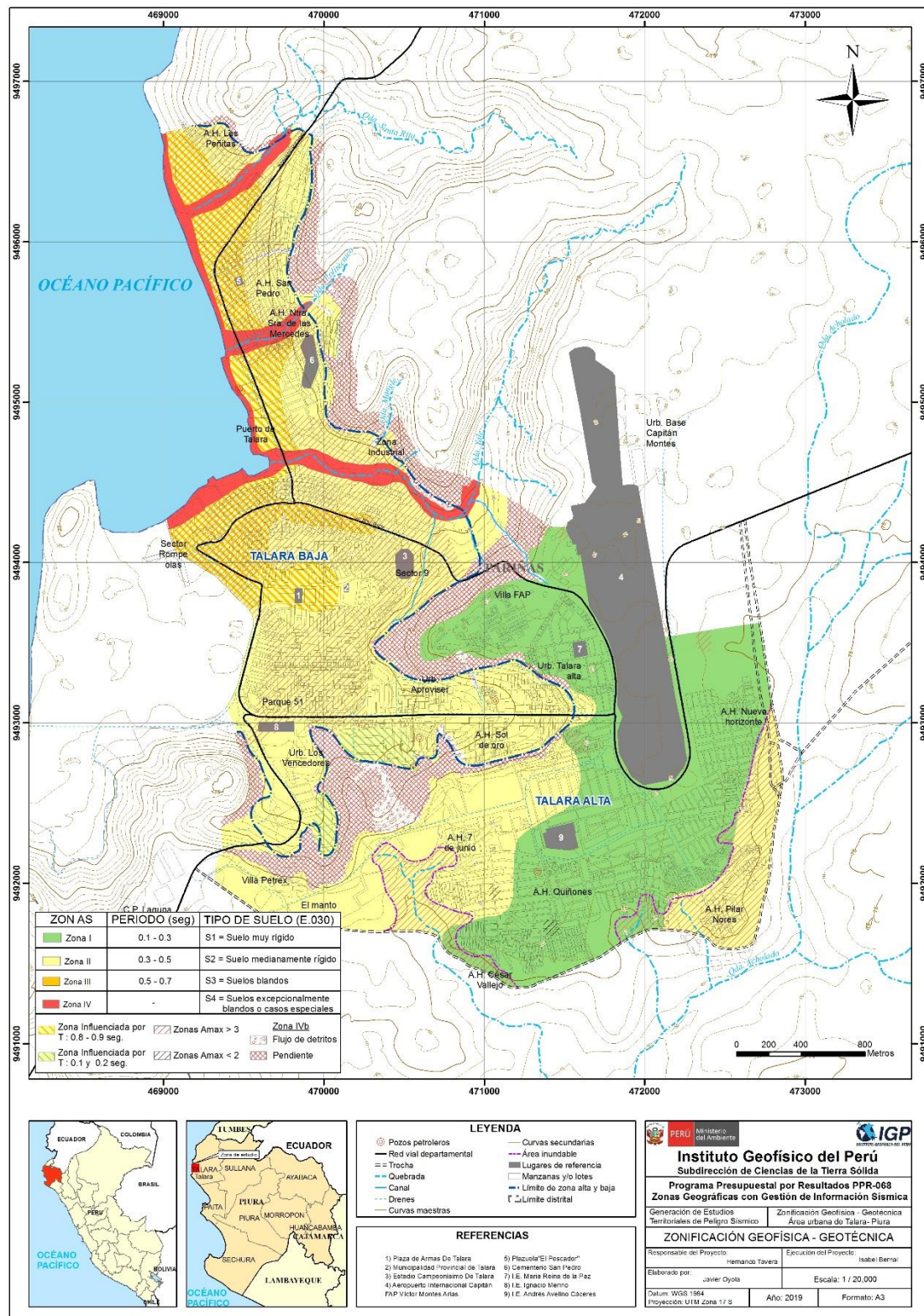


Figura 22: Mapa de Zonificación Sísmica- Geotécnica para la ciudad de Talara.

- **Zona IVa:** Constituida por depósitos marinos y aluviales con alto contenido de humedad y corresponde a la zona de playa y las quebradas que desembocan al Océano Pacífico (quebradas Santa Rita, Politécnico, Mangle y Yale), ver Figura 22. Esta zona presenta baja capacidad de carga admisible ($< 1.0 \text{ Kg/cm}^2$) y puede generar procesos geodinámicos externos como inundaciones, procesos de licuación y mayores sacudimientos del suelo durante la ocurrencia de un evento sísmico.

- **Zona IVb:** Corresponde a zonas de topografía irregular, susceptibles a generar derrumbes además de producirse flujo de detritos y caída de rocas. Son aquellos sectores constituidos por material inconsolidado y suelto (arenas y material fino), se encuentran en el límite entre Talara Baja y Talara Alta. Corresponde a áreas inestables que presentan pendiente entre 20° a 45° y podrían deslizarse afectando viviendas y vías de acceso, además de favorecer a la generación de escorrentías (ver Figura 22).

En las Zonas I y II, las líneas inclinadas en rojo delimitan áreas donde los suelos presentan amplificaciones relativas mayores a 3 veces y considera la mayor parte del área urbana de Talara Baja y de manera puntual, en el extremo sur y sureste de Talara Alta (quebradas y escorrentías). Asimismo, las líneas inclinadas en negro delimitan áreas donde los suelos muestran muy baja amplificación o suelos con mayor consistencia y por lo tanto, desarrollarán menor el sacudimiento durante la ocurrencia de un evento sísmico.

CONCLUSIONES

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

- Los eventos geodinámicos identificados en la zona de estudio están representados por inundaciones y movimientos de masa (deslizamientos, caídas de rocas, flujos de detritos). Las áreas expuestas ante flujos de detritos involucran un total de 5200 habitantes y 1400 viviendas expuestas, mientras que, para el caso de caídas de rocas e inestabilidad de laderas son de 200 habitantes y 60 viviendas.
- Se identificaron seis tipos de suelos en la ciudad de Talara, entre los cuales predominan: Gravas limo arcillosa con arena (GC-GM) con compacidad media y capacidad de carga portante media (2.00 – 3.00 kg/cm²), así como, arenas mal graduadas (SP), arenas limosas (SM), arena limo arcillosa con grava (SC-SM), limo inorgánico (ML) y arcilla inorgánica (CL), los cuales presentan compacidad media a suelta y capacidad de carga portante muy baja (<1.00 kg/cm²) a baja (1.00 – 2.00 kg/cm²).
- Los periodos dominantes que caracterizan los suelos del centro y norte del área urbana de Talara, están relacionados con las condiciones físico-dinámicas a través de la relación $T_0=4H/V_s$. En Talara Baja, al considerar velocidades (V_s) de 250 m/s y 300 m/s y T_0 de 0.4 y 0.6 segundos, se estima la existencia de una capa superficial con espesores de 35 a 45 metros. En Tala Alta, al considerar V_s de 300 m/s y 350 m/s y T_0 de 0.2 y 0.3 segundos, se estima la presencia de una capa sedimentaria de 22 a 28 metros de espesor. El espesor de la capa superficial es mayor en Talara Baja.

- Los suelos saturados en Talara Baja se encuentran a partir de 3 a 5 metros de profundidad y es variables en función de la ocurrencia de precipitaciones intensas y/ o el fenómeno El Niño. Las áreas próximas a las quebradas y escorrentías (Sector de la refinería de Talara, Parque 51, A.H. Cesar Vallejo, A.H. 7 de junio) presentan problemas de inundación que contribuyen a que los suelos conserven la humedad por la dificultad de drenar el agua, pudiendo generar inestabilidad del suelo.

- Los resultados obtenidos con la aplicación de métodos geofísicas, sísmicos, geológicos, geotécnicos, morfológicos y geodinámicos, sumados a las características dinámicas del suelo y sus propiedades mecánicas, han permitido identificar en el área de estudio, de acuerdo a la Norma de Construcción Sismorresistente E.030, la existencia de suelos de Tipo S1 (Zona 1), S2 (Zona 2) y S4 (Zona 4).

BIBLIOGRAFÍA

- Bard, P-Y. (1995) Effects of surface geology on ground motion: Recent results and remaining issues, In Proc. 10 European Conf. Earth. Eng., ed. Duma, Balkema, Rotterdam, 305-323
- Bard, P-Y y SESAME (2004) The SESAME project: an overview and main results. 13 World Conference on Earthquake Engineering Vancouver, B.C., Canada August 16, 2004 Paper No. 2207
- Braja Das, (2011) - Principles of Foundation Engineering, Seven Edition, pág. 139-140.
- Brusi, D., et al (2013) - Enseñanza de las Ciencias de la Tierra. ISSN: 1132-9157. Pág. 181-194.
- Beresnev, I.A., K.L. Wen, and Y.T. Yeh 1995a, "Nonlinear Soil Amplification: It's Corroboration in Taiwan. Bull, Seism. Soc. Am., Vol. 85, pp. 496-515
- Bernal, I. (2006) Microzonificación sísmica de la ciudad de Tlaxcala, Mexico. Tesis de Maestría en Ciencias, UNAM, pag. 130.
- Cahill & Isacks (1992) - Seismicity and shape of the subducted Nazca Plate. Journal Geophys. Res., 97, 17503-17529.
- Castro Cuba, V., M., (1992) - Suelos Expansivos en Talara. Tesis para optar el título de ingeniero.
- Crespo V., C., (2004) - Mecánica de Suelos y Cimentaciones, 5ta edición.
- CISMID, (2016) - Densidad de campo. Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres. Laboratorio Geotécnico.
- Chipana, J. (2006). Evaluación geológica de la formación pariñas en el yacimiento "Sección 16" Lote 1 – Cuenca Talara. Tesis de grado para obtener el título de ingeniero geológico. Universidad de Ingeniería. p 98.
- De Marco, Pietro, (2002) - Corrección del índice de resistencia a la penetración. Caracas: Universidad Central de Venezuela, 2002. 315 p.
- Diario El Correo, (2018) - ocho viviendas afectadas por deslizamiento en Talara.

- Diario El Regional Piura, (2017) - familias talareñas continúan en peligro tras derrumbe de muro de protección durante fenómeno El Niño Costero 2017.
- Dorbath, L., Cisternas, A., Dorbath, C. (1990). Assessment of the size of large and great historical earthquakes in Peru. Bull. Seismol. Soc. Am., 80 (30), 551-576.
- DHN (2018). Carta de inundación en caso de tsunami, puerto Talara – Piura. Marina de guerra del Perú.
- 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
- Ferrari, R. et al. (1999). Mapa de peligros, plan de uso de suelos y plan de mitigación de los efectos producidos por los desastres naturales en la ciudad de Talara. Convenio marco institucional INADUR – CEREN – PNUD. p 209.
- Gasulla, M.; Jordana, J.; Pallás, R.; Torrents, J.M. (1998). Subsurface resistivity measurements using square waveforms. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 47(1): 74-77.
- GITS-Grupo de Investigación de Transporte de Sedimentos.
- GORE, (2012) – Estudio de Diagnóstico y Zonificación de la provincia de Talara. tomo I. Gerencia Regional de Planeamiento, Presupuesto y Acondicionamiento Territorial.
- Hartzel, S. H. (1992). Site response estimation from earthquake data. Bull. Seism. Soc. Am. 82, 2308-2327
- Harvey, A., M., 1987. Patterns of Quaternary aggradational and dissectional landform development in the Almeria region, southeast Spain: a dry-region tectonically-active landscape. Die Erde 118, 193-215.
- Howie D., & Sy, (2003) - A method for correlating large penetration test (LPT) to standard penetration test (SPT) blow counts.
- Hutchinson, J., N., (1988) - General Report: Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology. Proceedings, Fifth International Symposium on Landslides, (Ed: Bonnard, C.). 1, 3-35 p. Rotterdam: Balkema.

- INDECI, (2017) – Instituto Nacional de Defensa Civil. Estado Situacional de la Emergencia.
- Jara, L. et al. (2010). Estudio mapa de peligros, plan de uso de suelo ante desastres y medidas de mitigación de la ciudad de Talara. Programa Ciudades Sostenibles INDECI – PNUD. p 317.
- Juárez, E., y Rico, A. (2005) - Fundamentos de la Mecánica de Suelos. Segunda Edición. Limusa S.A. México D.F.
- Justus Oremán (1965) - Estudios de las propiedades y formación de arcillas sensibles.
- Lermo, J. and Chavez-Garcia, F.J. (1993). Site Effect Evaluation Using Spectral Ratios with Only One Station. Bulletin of the Seismological Society of America, 83, 1574-1594.
- Lermo, J. y F.J. Chávez-García (1994a). Are microtremors useful in site response evaluation?, Bull. Seism. Soc. Am. 84, 1350-1364 pp.
- Lermo, J. y F.J. Chávez-García (1994b). Site effect evaluation at Mexico City. Dominant period and relative amplification from strong motion and microtremors records, Soil. Dyn. & Earthq. Eng. 13, 413-423 pp.
- Loke, M.H. (2004). Tutorial 2D and 3D electrical imaging surveys.
- Meyerhof, G., G., (1956) – Penetración Test and Bearing Capacity of Cohesionless Soils. Journal of the Soils Mechanics and Foundations División, ASCE, Vol 82 N°SM1, Proc. Paper 886, Jan. 1956, pp-19.
- Ministerio de Economía y Finanzas, (2017) - Informe de seguimiento y Gestión a la Inversión Pública.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2015) - <http://renac.mtc.gob.pe/inventariovial/default2.aspx>.
- Nakamura Y. (1989). A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. Quarterly Report Railway Tech. Res. Inst., 30-1, 25-30.
- Norma Técnica de edificaciones E.030. 2016. Aprobada por Decreto Supremo N° 011-2006-VIVIENDA, modificada por Decreto Supremo N° 003-2016-VIVIENDA.
- Orellana, E. (1982). Prospección geoelectrica en corriente continua. Madrid:

Ediciones Paraninfo.

- Palacios, O, (1994) - Geología de los cuadrángulos Paita 11-a, Piura 11-b, Talara 10-a , Sullana 10-b, Lobitos 9-a, Quebrada Seca 9-b, Zorritos 8-b, Tumbes 8-c y Zarumilla 7-c. Serie A: Carta Geológica Nacional. Boletín N° 54. Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico- INGEMMET.
- Park, C.B. (2015). Data acquisition. Retrieved 23 June, 2015, from <http://www.masw.com/DataAcquisition.html>
- Park, C.B. (2014). MASW for geotechnical site investigation. *The Leading Edge*, 32(6):656-662.
- Park, C. B., Miller, R. D., Xia, J., & Ivanov, J. (2007). Multichannel analysis of surface waves (MASW)—active and passive methods. *The Leading Edge*, 26 (1), 60–64.
- Park, C. B., Miller, R. D. y Xia, J. (1999). Multichannel analysis of surface waves *Geophysics* 64 800-8.
- PNUD, CEREN & INADUR, (1999) - Mapa de Peligros, Plan de Usos de Suelos y Plan De Mitigación de los Efectos Producidos por los Desastres Naturales en la Ciudad de Talara.
- Pike, R. J., I. S. Evans, and T. Hengl. 2009. *Geomorphometry: A brief Guide*. *Dev. Soil Sci.* 33: 3-30.
- Perrone, A., Iannuzzi, A., Lapenna, V., Lorenzo, P., Piscitelli, S., Rizzo, E., and Sdao, F. (2004). Highresolution electrical imaging of the Varco d'Izzo earthflow (southern Italy), *J. Appl. Geophys.*, 5 56, 17–29, doi:10.1016/j.jappgeo.2004.03.004
- Reynolds, J.M. (2011). *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, 2nd ed., 712 pp.
- Rojas, L., E., L., (2010) - Cuencas Sedimentarias del Noroeste Peruano *Geología Talara*. Informe Universidad Nacional De Ingeniería.
- Roma, V. (2010). Seismic geotechnical site characterization by means of MASW and ReMi methods. *FastTIMES*, 15(3):16-28.
- Romaní, F. et al. (2017). Informe de evaluación de riesgo por flujo de detritos en el centro poblado de Talara, distrito de Pariñas, provincia de Talara, departamento de Piura. Informe CENEPRED. p 67.

- 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
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), (2018). <http://www.senamhi.gob.pe/>
- SESAME European research project WP12 – Deliverable D23.12: (2004). Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations measurements, processing and interpretation.
- Sieberg, A. (1930). Los Terremotos en el Perú. Capítulo VI, Geología del Perú de G. Steinmann, Heidelberg Carl Winster Universitat-Shuchhan-Lunc, p. 406.
- Silgado, E. (1978). Historia de los sismos más notables ocurridos en el Perú (1513 -1974). INGEMMET. Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 3, 130 p.
- Socco, L.V., Boiero, D., Comina, C., Foti, S., y Wis_en, R. (2008). Seismic characterization of an Alpine site. *Near Surface Geophysics*, 6(4):255-267.
- Suárez, D., J., (1998) – Estabilidad de Taludes en Tropicales. Instituto de Investigación sobre erosión y deslizamientos. Colombia. Ed. Ingeniería de Suelos Ltda. 550 p.
- Tar buck, E., D. Lutgens, F., K., (2005) - Ciencias de la Tierra. Una introducción a la Geología Física Pretince Hall. Cap16. 8a edición. 710 pp.
- Tavera, H., Bernal, I., Condori, C., Ordaz, M., Zeballos, A. y Ishizawa, O. (2014) Re-evaluación del peligro sísmico probabilístico para el Perú. Instituto Geofísico del Perú. P. 91.
- Tavera, H. y Buforn, E. (2001). Source Mechanism of Earthquakes in Perú, *Journal of Seismology*, 5, 519-539.}
- Tavera, H., Agüero, C y Fernández, E. (2016). Catálogo general de isosistas para sismos peruano. Instituto Geofísico del Perú. Pag. 196
- Tang, D. y Alva, J. (1992). Características geotécnicas de la ciudad de Talara. Informe de investigación por UNI y CISMID. p 141.
- Terzaghi, K. Peck, B., G. & Mesri, G., (1948) – Soil mechanics in engineering practice, New York: Wiley.

- Varnes, D.J., (1958) - Landslide types and processes in Eckel E.B., ed., Landslides and Engineering Practice, Highway Research Board Special Report 29, NAS-NRC Publication 544, Washington, D.C. 20-47 p.
- Varnes, D. J., (1978) - Slope Movement: Types and Proceses. In Scuster R. L. y Krizek, R. J., ed. Landslides analysis and control: Washington, D. C. National Academy Press, Transportation Research Board Special report 176. 9-33 p.
- Wyllie, D., C. & Norrish, N., I., (1996). "Stabilization of rock slopes". Landslides investigation and mitigation. Special report 247. Transportation Research Board. National research council, pp. 474-504.
- Yamunaque, F., L., E., (1991) - Microzonificación y Lineamientos de Planeamiento Urbano de la Ciudad de Talara para la Mitigación de Desastres.
- 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

ANEXOS

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

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 portante
- Mapas

2.- Información Geofísica

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