



Ministerio
del Ambiente

Instituto
Geofísico del Perú



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

ESTUDIO DE ZONIFICACIÓN SISMO-GEOTÉCNICA DEL ÁREA URBANA DE TALARA



Lima - Perú

2020

ESTUDIO DE ZONIFICACIÓN SISMO-GEOTÉCNICA DEL ÁREA URBANA DE TALARA

Provincia de Talara - Departamento de Piura

(Características dinámicas del suelo)

Responsable del Proyecto

Dr. Hernando Tavera

Desarrollo del Proyecto

Dra. Isabel Bernal Esquía

MSc. Juan Carlos Gómez Avalos

Personal Participante

Segundo Ortiz Yovera	Kelly Pari Rondón
Pilar Vivanco López	Liliana Torres Velarde
Víctor Alarcón Cervantes	Fabiola Rosado Moscoso
Mariana Vivanco Manrique	Luz Arredondo García
Héctor Lavado Sánchez	Wilfredo Sulla Huilca
Giovanna Gutiérrez Medina	Javier Oyola Coral
Belinia Báez Castro	Jorge Salas Coral

Apoyo Técnico

Marisol Enríquez Huamán
Esther Campos Córdova
Augusto Cárdenas Ausejo
Roberth Yupanqui Zelada



RESUMEN EJECUTIVO

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 actividades la “Caracterización Geomorfológica, Geológica, Geodinámica y Geotécnica” y “Generación de Estudios Territoriales de Peligros Sísmicos” obteniéndose como resultado final, mapas temáticos (geomorfología, geología, geodinámica, tipos de suelos y capacidad portante y zonificación sísmica) del área urbana de Talara, Distrito de Pariñas, Provincia de Talara y Departamento de Piura. El estudio permite conocer el Comportamiento Físico y Dinámico del Suelo a partir de la recolección de información y aplicación de métodos sísmicos, geofísicos, geológicos, geomorfológicos y geotécnicos.

Los resultados obtenidos para el área urbana de Talara han permitido identificar la existencia de cinco (5) tipos de suelos que corresponden a: Grava limo-arcillosa con arena (GC-GM), con capacidad portante media (2.00 – 3.00 kg/cm²), arenas mal graduadas (SP), arenas limosas (SM), arena limo arcillosa con grava (SC-SM), limos inorgánicos (ML) y arcilla inorgánica (CL) con capacidad portante muy baja (<1.00 kg/cm²) a baja (1.00 – 2.00 kg/cm²).

Los resultados obtenidos para el área urbana de Talara han permitido identificar, considerando lo indicado en la Norma sismorresistente E.030, la existencia de tres (3) zonas correspondientes a suelos Tipos S1, S2 y S4, que comprenden a suelos muy rígidos, medianamente rígidos y excepcionales. Aproximadamente el 40 % del área de estudio presenta suelos que responden a periodos entre 0.1 y 0.3 segundos con predominio de amplificaciones bajas y el 60 % del área responde a periodos que varían entre 0.4 y 0.9 segundos con amplificaciones mayores a 3 veces. Los suelos en Talara Baja, se encuentra constituido principalmente por arenas, limos y arcillas, el espesor varía entre 18 a 25 metros. En Talara Alta, está representado por terrazas marinas caracterizadas por conglomerados que muestran mayor rigidez. El nivel freático es superficial principalmente en las áreas próximas al Océano Pacífico y a las quebradas (Yale, Politécnico, Santa Rita y Acholado).

El Mapa de Zonificación Geofísica - Geotécnica para el área urbana de Talara se constituye como información primaria a ser utilizada por ingenieros civiles y arquitectos para el diseño y construcción de estructuras apropiadas para cada uno de los tipos de suelos identificados en este estudio. Asimismo, como herramienta de gestión de riesgo a ser utilizado por las autoridades locales y regionales.



CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO	3
PRIMERA PARTE: ESTUDIO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO	9
1. INTRODUCCIÓN.....	9
2. OBJETIVOS.....	10
2.1 Objetivo general.....	10
2.2 Objetivo específico	10
3. METODOLOGÍA.....	10
4. ANTECEDENTES	11
4.1 Recopilación de la información	11
5. ASPECTOS GENERALES.....	25
5.1 Ubicación y accesibilidad	25
5.2 Población	27
5.3 Clima.....	27
5.4 Hidrografía	29
6. CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA, GEOLÓGICA Y GEODINÁMICA.....	30
6.1 Geomorfología	30
6.1.1 Modelo Digital de Elevación (MDE)	30
6.1.2 Pendientes.....	31
6.1.2.1 Clasificación del grado de pendientes	31
6.1.3 Unidades Geomorfológicas	32
6.1.3.1 Acantilados	33
6.1.3.2 Lecho aluvial.....	35
6.1.3.3 Playa.....	37
6.1.3.4 Tablazo.....	38
6.1.3.5 Terraza marina	38
6.1.3.6 Terraza marino-aluvial.....	39
6.2 Geología	40
6.2.1 Geología local.....	41
6.2.1.1 Formación Pariñas (Te-pr)	42
6.2.1.2 Grupo Talara (Te-t).....	43
6.2.1.2.1 Formación Lutitas Talara.....	43

6.2.1.2.2 Formación Arenisca Talara	43
6.2.1.3 Formación Verdún (Te-v)	44
6.2.1.4 Tablazo Talara (Qp-tt)	44
6.2.1.5 Tablazo Lobitos (Qp-tl).....	45
6.2.1.6 Depósitos Cuaternarios	45
6.2.1.6.1 Depósitos eólicos (Qh-e).....	45
6.2.1.6.2 Depósitos aluviales (Qh-al)	46
6.2.1.6.3 Depósitos marinos (Qh-m)	46
6.2.2 Geología Estructural.....	48
6.2.2.1. Falla	48
6.2.2.1 Plegamientos	50
6.2.2.3 Discordancia angular.....	50
6.3 Geodinámica Superficial.....	52
6.3.1 Inundación	52
6.3.1.1. Escorrentías y/o afluentes de las principales quebradas	52
6.3.2 Movimientos en masa.....	55
6.3.2.1 Deslizamiento	55
6.3.2.2 Caída de rocas	55
6.3.2.3 Flujo de detritos	56
6.3.4 Elementos expuestos	61
7. ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA.....	63
7.1. Exploraciones a cielo abierto (calicatas, norma ASTM 420).....	64
7.1.1. Densidad del suelo in-situ (Norma ASTM D1556).....	65
7.2. Exploraciones con posteadora manual.....	66
7.3. Ensayo de penetración dinámica ligera-LDPT (norma DIN 4094)	67
7.4 Resultados de los ensayos de laboratorio	68
7.4.1 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) en la ciudad de Talara.....	68
7.5 Ensayo de corte directo (Norma ASTM D - 3080)	72
7.5.1 Capacidad de carga portante	72
7.5.1.1 Tipos de capacidad de carga portante.....	74
8. DISCUSIONES	76
SEGUNDA PARTE: GEOFÍSICA Y ZONIFICACIÓN SISMOGEOGOTÉCNICA.....	77
1.- INTRODUCCIÓN	77



1.1.- Objetivos.....	78
1.2.- Área de estudio	79
1.2.1.- Antecedentes.....	81
1.3.- Condiciones locales de Sitio	83
1.4.- Zonificación, Norma Técnica E.030	84
2.- METODOLOGÍA Y DATOS	87
2.1.- Método de Razones Espectrales (H/V)	87
2.1.1.- Procesamiento y análisis	91
2.2.- Método de Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW).....	91
2.2.1.- Procesamiento y análisis	95
2.3.- Método de Tomografía de Resistividad Eléctrica (ERT)	96
2.3.1.- Procesamiento y análisis	99
3.- RESULTADOS	100
3.1.- Razones espectrales (H/V)	100
3.1.1.- Frecuencias Predominantes	100
3.1.2.- Periodos Predominantes.....	110
3.2.- Perfiles de MASW	112
3.3.- Perfiles de Tomografía Eléctrica.....	117
4. ZONIFICACIÓN GEOFÍSICA DE LOS SUELOS.....	124
4.1. Integración de resultados	124
4.2. Mapa de Zonificación Geofísica	127
9. CONCLUSIONES.....	130
10. RECOMENDACIONES	132
11. REFERENCIA BIBLIGRÁFICA	133



RELACIÓN DE FIGURAS

- Figura 01: Viviendas afectadas por el deslizamiento, Fuente: Diario El Correo
- Figura 02: Infraestructura dañada, Fuente: Diario El Regional Piura
- Figura 03: Mapa de topografía e hidrografía de la provincia de Talara, Fuente: Subgerencia Regional de Bienes Regionales y Ordenamiento Territorial, 2011
- Figura 04: Ciclos sedimentarios del Cretácico y del Paleógeno, Fuente: Reporte interno BZP, (2005)
- Figura 05: Imagen DEM (SRTM, Nasa) que visualiza las principales fallas en la región Máncora (área Carpitás, parte norte de la cuenca Talara). En ella se observa fallas normales NE-SW características en el área de estudio
- Figura 06: Interpretación de la sección sísmica GMP-04 calibrada a partir de sismogramas sintéticos y de información de superficie. A la derecha se tienen valores de profundidad en segundos y a la izquierda se tiene los valores de profundidad en metros. La línea amarilla es la base de Ostrea-Echio, la negra es la base de Mogollón y tope del Paleozoico
- Figura 07: Interpretación de la sección sísmica GMP-05 calibrada a partir de sismogramas sintéticos y de información de superficie. A la derecha se tienen valores de profundidad en segundos y a la izquierda se tiene los valores de profundidad en metros. La línea amarilla es la base de Ostrea-Echio, la rosada es la base de Mogollón y la línea negra es la base de San Cristóbal y tope del Paleozoico
- Figura 08: Mapa geomorfológico de la provincia de Talara
- Figura 09: Geología local de la ciudad de Talara
- Figura 10: Geodinámica externa en la ciudad de Talara
- Figura 11: Sectores que conforman la ciudad de Talara, Fuente: INDECI, 2010
- Figura 12: Ubicación de estación meteorológica Talara
- Figura 13: Red hidrográfica de la provincia de Talara. Área de estudio (polígono color rojo)
- Figura 14: Geología regional, el área de estudio comprende el cuadrado rojo, Fuente: INGEMMET, 1999
- Figura 15: Columna cronolitoestratigráfica de la zona de estudio
- Figura 16: Lechos aluviales de la ciudad de Talara
- Figura 17: Delimitación de elementos expuestos ante la ocurrencia de movimientos en masa en la localidad de Talara - Pariñas.
- Figura 18: Formación de suelos, (Adaptado de Gonzáles de Vallejo, 2002)

RELACIÓN DE CUADROS

- Cuadro 01: Registro de Precipitación máxima en 24 horas (mm), período (1986-2018) en la ciudad de Talara
- Cuadro 02: Determinación de geoformas en la ciudad de Talara en base a sus características físicas y su origen
- Cuadro 03: Población estimada de la localidad expuesta a eventos de origen natural
- Cuadro 04: Viviendas de la localidad expuestas a eventos de origen natural (se consideró la delimitación del área de influencia de la inundación realizada en el capítulo de geodinámica)
- Cuadro 05: Ubicación de calicatas
- Cuadro 06: Resultado de densidades in - situ
- Cuadro 07: Ubicación de posteos y clasificación de suelos SUCS
- Cuadro 08: Ubicación de ensayos de penetración dinámica ligera (DPL) y parámetros obtenidos

- Cuadro 09: Clasificación SUCS de los suelos de las siete (07) calicatas elaboradas en la ciudad de Talara
- Cuadro 10: Capacidad de carga portante de las muestras extraídas en la ciudad de Talara
- Cuadro 11: 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

RELACIÓN DE TABLAS

- Tabla 01: Rangos de pendientes del terreno

RELACIÓN DE ANEXOS

ANEXO 01: Perfiles Sísmicos MASW

ANEXO 02: Perfiles de Tomografía Eléctrica ERT

ANEXO 03: LEVANTAMIENTO FOTOGRAFÍCO

ANEXO 04: ANÁLISIS DE ELEMENTOS EXPUESTOS

- Cuadros de aspectos socioeconómicos y condiciones de vulnerabilidad.

ANEXO 05: PLANOS

- P-01 Ubicación y accesibilidad
- P-02 Modelo digital de elevaciones
- P-03 Pendientes
- P-04 Geomorfología
- P-05 Geología
- P-06 Geodinámica
- P-07 Geotecnia
- P-08 Tipos de suelos
- P-09 Capacidad portante

ANEXO 06: MODELADO DE INUNDACIONES

ANEXOS 07: GEOTECNIA

- Correlación N° DPL – SPT / Capacidad portante
- Fichas geotécnicas
- Fichas de Logueo de Calicatas
- Fichas de Densidad de Campo
- Fichas de Ensayos de Penetración Dinámica Ligera-DPL
- Ficha de Logueo de Posteos
- Fichas de Análisis Granulométrico
- Fichas de Correlación DPL-SPT
- Fichas de Cálculo de Carga Portante



PRIMERA PARTE: ESTUDIO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO

1. INTRODUCCIÓN

La Caracterización Geológica Geotécnica del distrito de Talara se desarrolló como parte del informe Zonificación Sísmica Geotécnica del distrito en mención (dinámica de los suelos de cimentación), para ello se realizó el cartografiado geológico, geomorfológico y geodinámico en el distrito de Talara a escala 1:20 000 en un área de 2470 (ha) apoyados en imágenes obtenidas mediante el uso del Sistema de Aeronaves Pilotadas a Distancia (RPAS) del área de estudio, lo que permitió obtener curvas de nivel con equidistancia de 5 m. Así mismo, se realizó la zonificación de los suelos apoyados en ensayos geotécnicos con la finalidad de determinar las propiedades físico-mecánicas de los suelos, estos consistieron en exploraciones a cielo abierto (calicatas), ensayos de densidad de campo in situ, ensayos de Penetración Dinámica Ligera (DPL) y auscultaciones con posteadora manual.

Los estudios en conjunto citados anteriormente permiten identificar zonas susceptibles ante la ocurrencia de eventos naturales tales como: movimientos en masa (huaycos, deslizamientos, caída de rocas, entre otros) e inundaciones generadas por fenómenos hidrometeorológicos (precipitaciones extremas “Niño costero”) que puedan afectar la seguridad física del distrito en mención.

La información proporcionada en el presente informe servirá como material de apoyo a las instituciones de primera línea (gobiernos regionales, municipalidades, entre otros) para ejecutar las medidas correctivas en apoyo a la Gestión del Riesgo de Desastres.



2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Realizar la zonificación de suelos con sus respectivas capacidades portantes en base a sus características físico-mecánicas obtenidas de los ensayos de laboratorio y determinar las áreas expuestas a peligros por eventos geodinámicos presentes en la ciudad de Talara, con el fin de contribuir al desarrollo y planificación urbana preventiva en la ejecución de proyectos futuros.

2.2 Objetivo específico

Realizar el cartografiado geológico, geomorfológico, geodinámico y ensayos geotécnicos en la ciudad de Talara a escala 1:20 000.

Determinar las propiedades físico-mecánicas de los suelos de la ciudad de Talara (centro urbano y área de expansión urbana), en laboratorio y calcular sus respectivas capacidades portantes para realizar los mapas de los tipos de suelos y capacidad portante a escala 1:20 000.

3. METODOLOGÍA

Para realizar el informe geológico-geotécnico de Talara, se dividió en 2 fases: gabinete y campo, que se describen a continuación:

Gabinete:

Las actividades realizadas incluyeron la revisión de imágenes satelitales WorView-2 con resolución 0.5 m del servidor Digital Globe (año 2010) con la finalidad de delimitar la zona de estudio, así como la recopilación de información geológica regional y local existente (boletines geológicos, informes técnicos, entre otros).

Campo:

Cartografiado geológico, geomorfológico, geodinámico a escala 1:20000, para lo cual se utilizó la ortofoto del área de estudio obtenida a través del RPAS (Anexo 01).

Se realizaron exploraciones geotécnicas que incluyeron la ejecución de 8 calicatas, 7 densidades de campo, 11 ensayos de Penetración Dinámica Ligera-DLP y 16 auscultaciones manuales (posteos).

Asimismo, las muestras extraídas fueron analizadas en el laboratorio de mecánica de suelos para determinar humedad natural, límites de Atterberg, granulometría y corte directo (para



obtener parámetros de cohesión y ángulo de fricción de los suelos) que servirán para el cálculo de la capacidad portante.

Finalmente, la información recopilada en gabinete, así como, en campo y resultados de laboratorio se procesó y analizó para la elaboración del presente informe final.

4. ANTECEDENTES

En este capítulo se ha realizado la recopilación de informes técnicos en donde se describe la geología regional, ocurrencia de eventos naturales (inundaciones, deslizamientos, huaycos, sismos, entre otros) que afectaron la seguridad física del distrito en mención, así como, características físicas de los suelos, datos que serán discutidos en el Capítulo 8 junto con los resultados obtenidos en el presente informe.

4.1 Recopilación de la información

- **DIARIO EL CORREO, (2018) - OCHO VIVIENDAS AFECTADAS POR DESLIZAMIENTO EN TALARA**

El diario reportó que un total de ocho viviendas resultaron afectadas tras producirse el deslizamiento de un cerro en la provincia de Talara, Figura 01, donde se asientan los sectores de San Juan Pablo II y Fonavi. Las enormes rocas terminaron sobre los techos de las viviendas de los dos sectores que colindan al cerro. Esto al parecer producto de un sismo de 4.9 Mw registrado el sábado a las 9:39 a.m. aproximadamente.

Además, indica que los pobladores han solicitado a la secretaria técnica de Defensa Civil y las autoridades evalúen los riesgos en la zona para tomar medidas de seguridad y ser reubicados en otro sector, debido a que están expuestos a ser sepultados bajo las piedras del cerro.





Figura 01: Viviendas afectadas por el deslizamiento, Fuente: Diario El Correo

- **DIARIO EL REGIONAL DE PIURA, (2017) - FAMILIAS TALAREÑAS CONTINÚAN EN PELIGRO TRAS DERRUMBE DE MURO DE PROTECCIÓN DURANTE FENÓMENO EL NIÑO COSTERO 2017**

En la nota de periodística, 05 julio-2017, se cita textualmente que: Los vecinos y representantes de la sociedad civil, aseguraron que la mala ejecución de la obra "Ampliación y mejoramiento del servicio de protección de las viviendas colindantes con el acantilado de la Urbanización María Auxiliadora y Vista Alegre y los sectores de Villa los Ángeles, Castro Pozo y Las Palmeras", lo que generó un derrumbe en febrero del 2017 a consecuencias de las fuertes lluvias por el fenómeno El Niño Costero, poniendo en serio peligro sus viviendas y por ende la de sus integrantes. Asimismo, se cita el testimonio de uno de los pobladores, quién deduce que los muros colindantes no estuvieron anclados a pilotes en la base del cerro y puso en peligro nuestras viviendas y vidas.



Figura 02: Infraestructura dañada, Fuente: Diario El Regional Piura

- **GORE, (2012) – ESTUDIO DE DIAGNÓSTICO Y ZONIFICACIÓN DE LA PROVINCIA DE TALARA. TOMO I. GERENCIA REGIONAL DE PLANEAMIENTO, PRESUPUESTO Y ACONDICIONAMIENTO TERRITORIAL**

Indica que, la provincia de Talara se divide en 6 distritos tales como: Pariñas, El Alto, La Brea, Lobitos, Los Órganos y Máncora. En el casco urbano se aprecia un alto nivel de consolidación urbana, debido a las óptimas condiciones de articulación, accesibilidad y la poca fricción espacial existente, dando origen a asentamientos poblacionales de gran volumen en diferentes sectores de la ciudad, debido a la actividad comercial y la de servicios.

Este estudio hace mención que en la provincia de Talara existen 4 unidades geomorfológicas como son: pampa costanera, cadena montañosa, ribera litoral y valle estrecho, sin embargo, en el mismo también se indica que Talara está asentada sobre tablazos desérticos y densos bosques de algarrobo que rodean quebradas siempre secas. Existen alrededor de 114 quebradas, Figura 03.



Figura 03: Mapa de topografía e hidrografía de la provincia de Talara, Fuente: Subgerencia Regional de Bienes Regionales y Ordenamiento Territorial, 2011

Por otro lado, Talara está expuesta a inundaciones, deslizamientos, huaycos, sismos, así como a problemas geotécnicos tales como: licuación de suelos asentamientos y amplificación de ondas sísmicas. Históricamente, en diciembre de 1953, se produjo un sismo de intensidad IV que ocasionó grietas en el suelo, derrumbe de taludes, daños en los puestos del mercado central, mientras que en agosto de 1957, un sismo de 7.6 en la escala de Richter, produjo daños en los sistemas de agua potable y desagüe, rupturas en las edificaciones de la Av. H, parques 58, 2, 25, 32, 33, colegio Ignacio Merino, centro de salud y hospital de Petro Perú.

Finalmente, los recursos de hidrocarburos, representan el 30 % de la producción nacional, éstos se distribuyen en 11 lotes a lo largo de la costa y uno en la zona del zócalo continental. La explotación se realiza en 6 lotes. En total son 9 empresas extractoras de petróleo, cinco de las cuales también se dedican a la explotación y producción de gas.

- **ROJAS, L., E., L., (2010) - CUENCAS SEDIMENTARIAS DEL NOROESTE PERUANO GEOLOGÍA TALARA. INFORME UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

En este informe se indica que la cuenca Talara evolucionó, sufriendo varios procesos de transgresión marina, depositación, fenómenos gravitacionales -subsistencia, como resultado de ello se tienen fases carbonatadas, conglomerádicos y finos, principalmente durante Cretácico, Figura 04.

CUENCA	CICLO (EDAD)	Fase deposicional dentro del Ciclo					TOPE
		Lutita Inicial	Unidad Basal Transgresiva	Calizas y Lutitas Marinas	Clastos terrigenos	Calizas y Lutitas Marinas	Unidad Regresiva Sup.
TALARA	Eocene Tempr.		Punta Arenas	Cerro Pardo	Túnel	PaleGreda	Arena Superior de PaleGreda
	Eocene	La Draga	Basal Salina	Lutitas Negritos	Cerro Tanque	Zambo	San Cristóbal
	Maestrichtian-Paleoceno		Ancha	Petacas	Mesa	Balcones	
LANCONES / TALARA**	Campaniano		Tablones	Redondo	Monte Grande*		
	Turoniano	Copa Sombrero Group (parte superior)					
		Formación Encuentros					
		Mbo. Culebras	Mbo. Jabonillos	Mbo. Checo	Mbo. Cabuyal	Mbo. Qda. Seca	
	Cenomaniano	Grupo Copa Sombrero (partes inferiores e intermedias)					
		Formación Huasimal			Formación Jaguay Negro		
	Mbo. Venados	Mbo. Horquetas	Mbo. Huasimal	Mbo. Inferior	Mbo. Medio	Mbo. Superior.	
Aptiano-Albiano		Gigantal	Pananga	(transición)	Muerto	Lancones-Pocitos	

Figura 04: Ciclos sedimentarios del Cretácico y del Paleógeno, Fuente: Reporte interno BZP, (2005)

Asimismo, que la cuenca Talara corresponde a una tectónica extensional acomodada por fallamiento normal, es decir, se caracteriza por la presencia de fallas planas o lítricas que separan horst y graben y está delimitada por la cadena de montañas de Amotapes. Esto se interpretó inicialmente a través de imágenes DEM (SRTM, Nasa), Figura 05, cuya información se complementó con estudios geológicos y geofísicos, que muestran que el estilo estructural para la parte norte de la cuenca Talara se encuentra dentro del marco extensional en una cuenca de Antearco, con lineamientos NE-SW que se prolongan hacia el mar, Figuras 06 y 07:

Falla Máncora: Ubicada a aproximadamente a 2.5 km al SE de la ciudad de Máncora. Tiene un rumbo aproximado NE-SW, con un grado de inclinación de 60°.

Otras fallas: existen dos fallamientos de rasgos importantes en las quebradas Seca y Máncora, dirección NE-SW. Estructuras tipo *rollover*, bloques basculados con dirección el E-SE 8 y pliegue acomodado (interpretado a partir de los cambios de buzamiento) hacia los Amotapes.



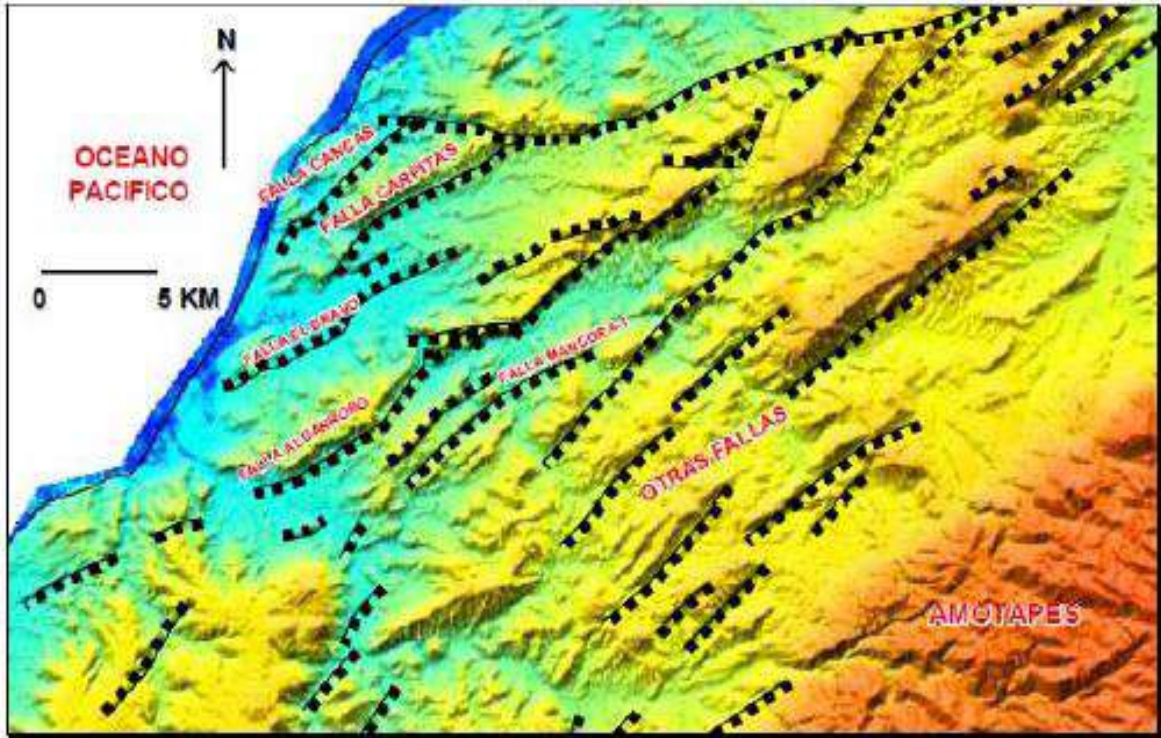


Figura 05: Imagen DEM (SRTM, Nasa) que visualiza las principales fallas en la región Máncora (área Carpitas, parte norte de la cuenca Talara). En ella se observa fallas normales NE-SW características en el área de estudio

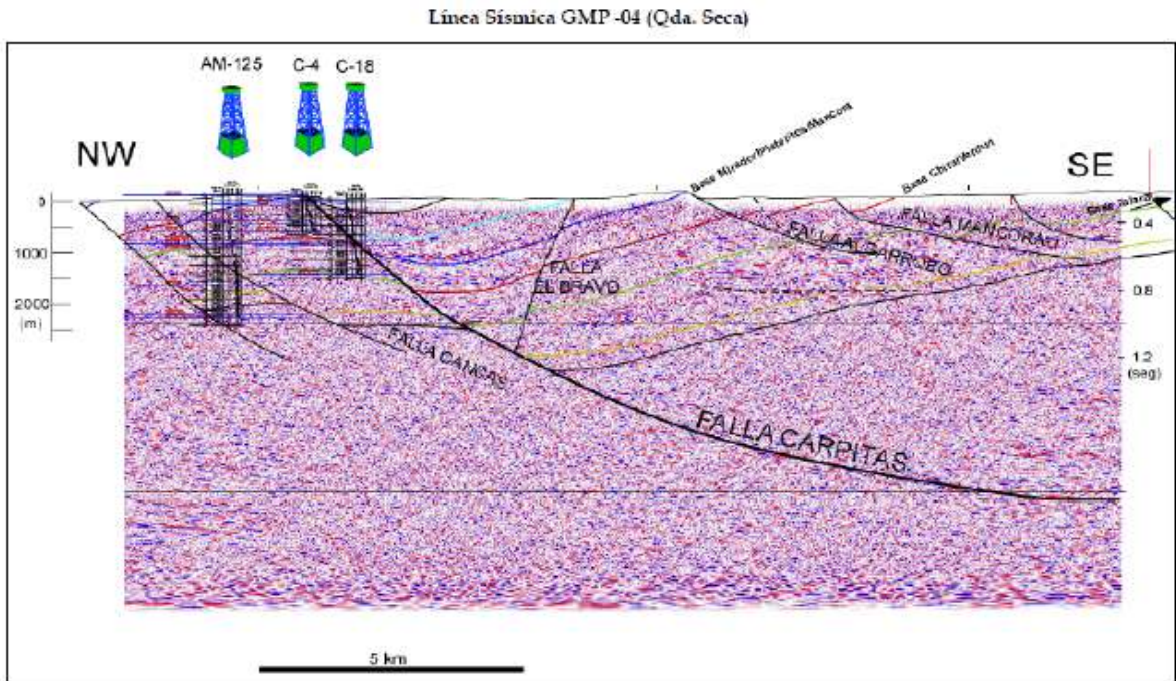


Figura 06: Interpretación de la sección sísmica GMP-04 calibrada a partir de sismogramas sintéticos y de información de superficie. A la derecha se tienen valores de profundidad en segundos y a la izquierda se tiene los valores de profundidad en metros. La línea amarilla es la base de Orea-Echio, la negra es la base de Mogollón y tope del Paleozoico



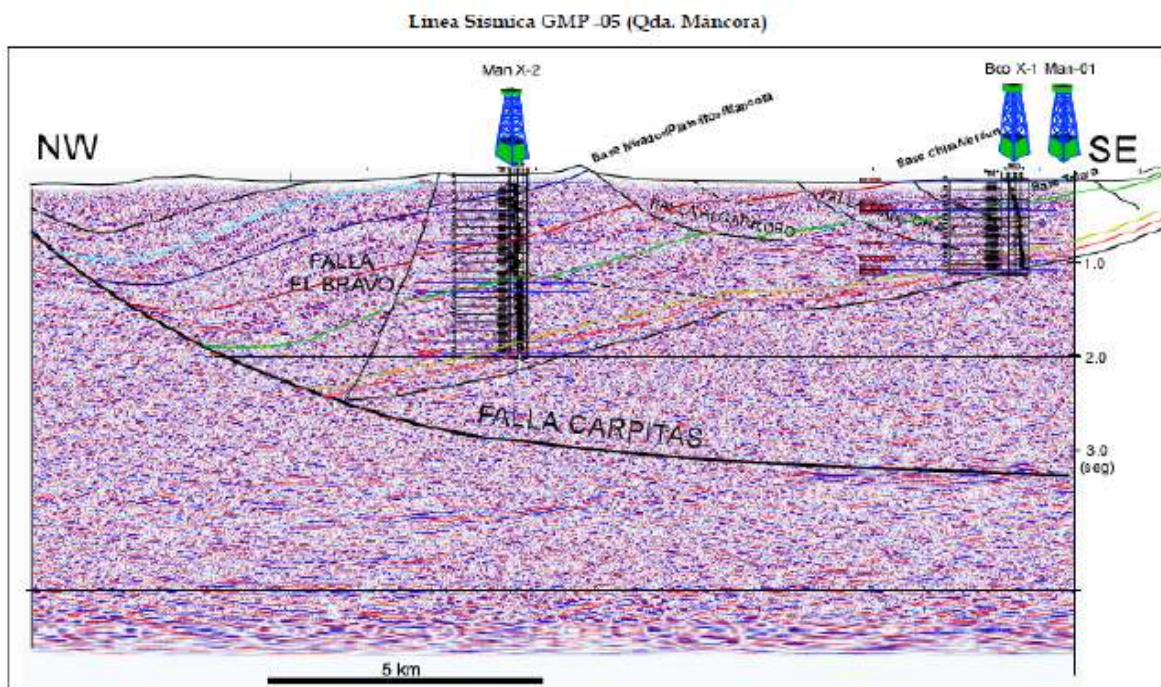


Figura 07: Interpretación de la sección sísmica GMP-05 calibrada a partir de sismogramas sintéticos y de información de superficie. A la derecha se tienen valores de profundidad en segundos y a la izquierda se tiene los valores de profundidad en metros. La línea amarilla es la base de Ostrea-Echio, la rosada es la base de Mogollón y la línea negra es la base de San Cristóbal y tope del Paleozoico

- **GORE-PNUD, (2003) – DIAGNÓSTICO SOCIO ECONÓMICO Y AMBIENTAL DE LA ZONA MARINO COSTERA – ZMC DE LA PROVINCIA DE TALARA. GOBIERNO REGIONAL DE PIURA Y PROGRAMA DE DESARROLLO DE LAS NACIONES UNIDAS**

Indica que la provincia de Talara tiene una superficie de 2799.49 km², cuenta con 129 396 habitantes, con una densidad poblacional de 60.8 hab/km², dividida en 6 distritos como son: Pariñas, Los Órganos, El Alto, Lobitos, La Brea y Máncora.

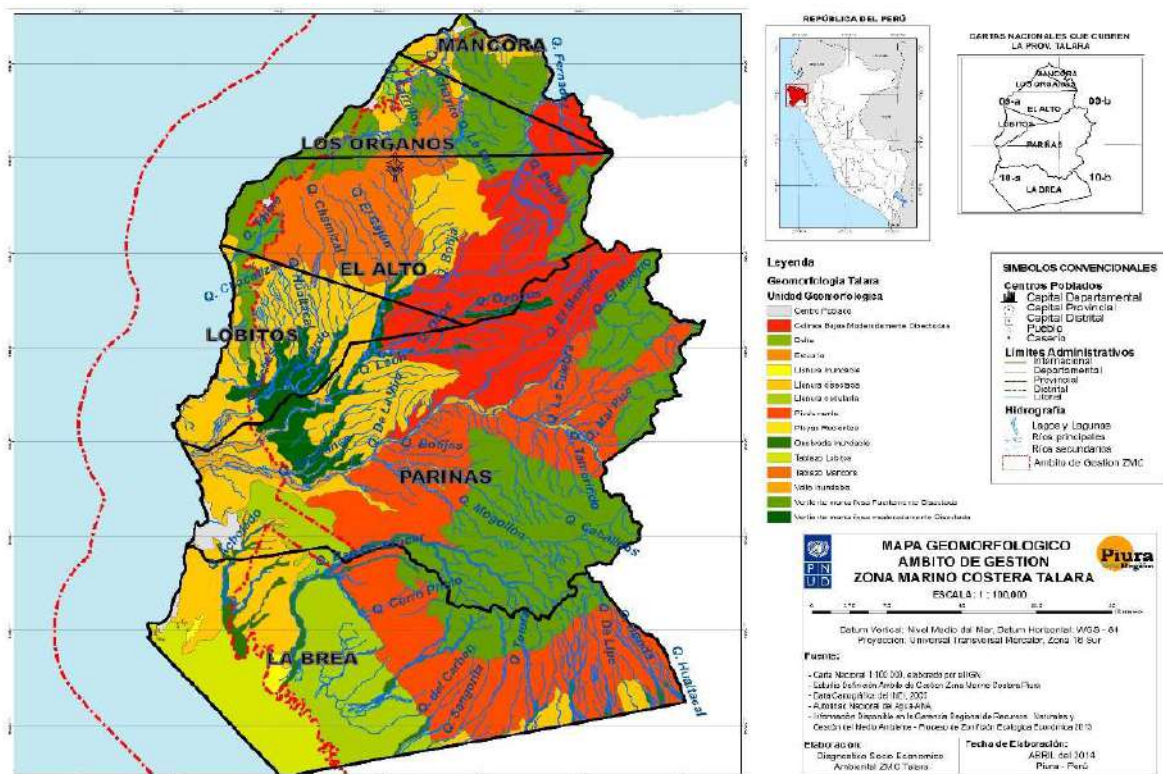
En este estudio se hizo un análisis de los grupos de edad en la que se determinó la mayor cantidad corresponde a la población entre 5 y 14 años (24,686 hab.) y que su nivel de educación es básica regular. La población económicamente activa (PEA), está representada en Pariñas por el trabajo no calificado (22.4 %), servicios personales (16.4 %), La Brea por el trabajo no calificado (24.6 %), servicios personales (17.6 %), Lobitos por el trabajo no calificado (27.6 %), servicios personales (18.2 %), Los Órganos, Máncora y El Alto, por el trabajo no calificado, servicios personales, vendedores de comercio y mercado.

También, señala que Talara se caracteriza por registran temperaturas que oscilan entre los 19 °C (invierno) hasta los 33 °C (verano), posee escaso nivel de aporte pluviométrico



anual, lo que la convierte en una región árida con la presencia de bosques de algarrobo y grandes arenales, sin embargo, se presentan excepciones y anomalías como el fenómeno El Niño con la ocurrencia de máximas precipitaciones que reactivan cursos hídricos temporales como: Quebrada Seca o Monte, Fernández, De la Huaquería, Conulsa, Cabo Blanco, Los Pasos, Del Camal, Vichayito, Carrillo, Verde, Hospital, Taimé, Camero, Los Amarillos, Chacaliza, Salinas, La Cruz, Las Ánimas, Ancha.

En cuanto al aspecto geomorfológico, a escala 1:100,000, las altitudes varían entre 3 a 250 m s.n.m. y ha delimitado 5 unidades como Cordillera de la Costa, Cordillera Occidental (100 a 250 m.s.n.m.), estuario, llanura - depresiones costaneras (50 a 100 m.s.n.m.) y tablazos (3 a 50 n.s.n.m.), Figura 08.



Fuente: Proceso de Zonificación Ecológica Económica 2013 – Gobierno Regional de Piura – Estudio Definición Ambito de Gestión Zona Marino Costera Piura

Figura 08: Mapa geomorfológico de la provincia de Talara- GORE 2013

La geología de la zona corresponde a tablazos que antiguamente constituyeron el fondo marino, lo que está evidenciado por la presencia de un gran número de fósiles marino. Toda el área fue erosionada por profundas quebradas secas, muy activas durante el fenómeno El Niño. Las rocas sedimentarias han dado origen al suelo de tipo arenas o arenas limosas.

- **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**

Este estudio realizado a escala 1:50,000 plantea lo siguiente:

La ciudad de Talara se encuentra localizada en el departamento de Piura, provincia de Talara, distrito de Pariñas, entre las latitudes 4° 30' y 4° 37' sur y las longitudes 81° 15' y 81° 20' oeste, tiene una altitud que varía entre los 0 y 90 m.s.n.m. Demográficamente, la ciudad ha crecido durante en los periodos 1940-1961 (115 %), 1972-1981 (96 %), 1981-1993 (44 %), el primero relacionado al desarrollo ciudad-empresa petrolera, mientras que los últimos a la migración del norte.

La hidrología de la ciudad está conformada por las quebradas Pariñas, Santa Rita, Politécnico, Yale, Acholao, escorrentía menores como Taboada-Jesús-María, Jesús María-San Pedro, Puntas Arenas, Casco central, Urb. Popular, Aproviser, Inmaculada, Los Vencedores y Sudamérica

En términos morfológicos los principales accidentes a destacar son las “sillas o tablazos” en la zona litoral entre los 80 y 90 m.s.n.m., formados por la acción tectónica sobre los acantilados rocosos encallados en antiguas terrazas marinas. El área central presenta pendientes suaves.

La geología local está conformada por formaciones que van desde el Terciario hasta el Cuaternario, Figura 09, mientras que la geología estructural se caracteriza por la Cuenca Talara de origen tectónico, la cual presenta fallas de corrimiento como El Alto, Artesa de Sichez y de Lagunitos, El Alto de Portachuelo, Levantamiento Lobitos y La Brea, Graven Río Bravo y tres deformaciones corticales por el movimiento de los Andes.



SISTEMA	FORMACION	AFLORAMIENTO
TERCIARIO	Pariñas	Pta. Pariñas y Pta. Arenas SO.
	Chacra	Cerros del Sur Pta. Arenas.
	Lutita Talara Arenisca Talara Pozo	Laderas de Cerros del Casco Central.
	Verdún	Valle Pariñas.
CUATERNARIO	Tablazo Depósitos Existentes	Superficie cercana a las playas. En la llanura y Conos Aluviales.

FUENTE: Microzonificación y lineamientos de planeamiento urbano de la ciudad de Talara para la mitigación de desastres. Autor: Luis Enrique Yamunaque Flores. UNI 1991.

Figura 09: Geología local de la ciudad de Talara

Los eventos geodinámicos que predominan en la ciudad de Talara, Figura 10, son:

- Deslizamiento, a causa de las lluvias y la escorrentía producida se han formado cárcavas en el talud, debilitando y condicionando la ocurrencia de deslizamientos como son el caso de los taludes del Sur y Este de la ciudad (Urb. Punta Arenas, Vencedores, Sudamérica, y APROVISER, AA.HH. Nueva Talara y San Judas y parte del sector Campeonísimo).
- Inundación, debido al desbordamiento del cauce de las quebradas como la ocasionada por la Quebrada Acholao, en el Cono Sur produjo la afectación 728 viviendas aproximadamente en 1998; por esta razón la población se asienta en viviendas de madera y algunos sobre pilotes para evitar mayores daños.
- Flujos de detritos y/o erosión de riberas, la Quebrada Santa Rita arrasó por erosión con muchas viviendas en el asentamiento humano del mismo nombre; la Quebrada Jesús María afectó los AA.HH. Jesús María, San Pedro y Taboada, especialmente las avenidas A, B, E, F, G y H y los parques N° 16 al 36; donde la avalancha erosionó el lecho del canal vía y las viviendas aledañas, así como cubrió de lodo con mayor incidencia en la parte baja. La Quebrada Politécnico arrasó por erosión las viviendas de los AA.HH. Las Mercedes y San Judas Tadeo y afectó 3 pabellones del Politécnico. En la Quebrada Yale se produjo el ensanchamiento de su cauce y profundización de su lecho que inicialmente median 15 m y 4 m respectivamente siendo erosionados hasta alcanzar 50 m. de cauce y 15 m. de profundidad de lecho; así mismo fue afectado el ex varadero de Petro Perú, el Mercado Modelo, el Puerto Artesanal Pesquero y la ex planta de Fertilizantes, ubicada al Norte en la ribera de una de las vertientes de la Quebrada Pariñas, destruyendo parte de los muros y maquinaria.



- Arenamiento, que llegó hasta una altura de 1.50 m, en 1983 al este de la Refinería y el puerto marítimo y en la zona de viviendas en torno a la Av. G y Av. A., y afectó algunos sectores del casco central.

De acuerdo a la zonificación geotécnica de la ciudad de Talara, existen 9 tipos de suelos, siendo los ocupados por la población los siguientes:

Suelo tipo I.- Afloramiento masivo de rocas con capacidad portante mayor a 3.00 Kg/cm².

Suelo tipo II.- Grava y arena aluvial con capacidad portante mayor a 0.50 – 1.00 Kg/cm².

Suelo tipo III.- Arena limosa con capacidad portante de 1.00 Kg/cm². Presencia de nivel freático superficial entre 1.50 m y 2 m de profundidad.

Suelo tipo IV.- Arena limosa y arena arcillosa con capacidad portante de 0.50 a 1.50 Kg/cm². Presencia de nivel freático superficial entre 0.50 m y 1 m de profundidad.

Suelo tipo V.- Arena limosa con gravilla con capacidad portante de 0.88 a 1.00 Kg/cm².

Suelo tipo VI.- Arena mal graduada y arena arcillosa con capacidad portante de 0.50 a 1.50 Kg/cm². Presencia de nivel freático a partir de 3 m de profundidad.

Suelo tipo VII.- Arcilla con arena y gravilla con capacidad portante de 0.50 a 1.50 Kg/cm². Presencia de nivel freático a partir de 3 m de profundidad.

Suelo tipo VIII.- Grava limosa con arcilla con capacidad portante de 1.50 a 2.50 Kg/cm².

Suelo tipo IX.- Constituidos por desmontes y residuos sólidos mezclados con limo y grava con capacidad de carga entre 0.50 Kg/cm².



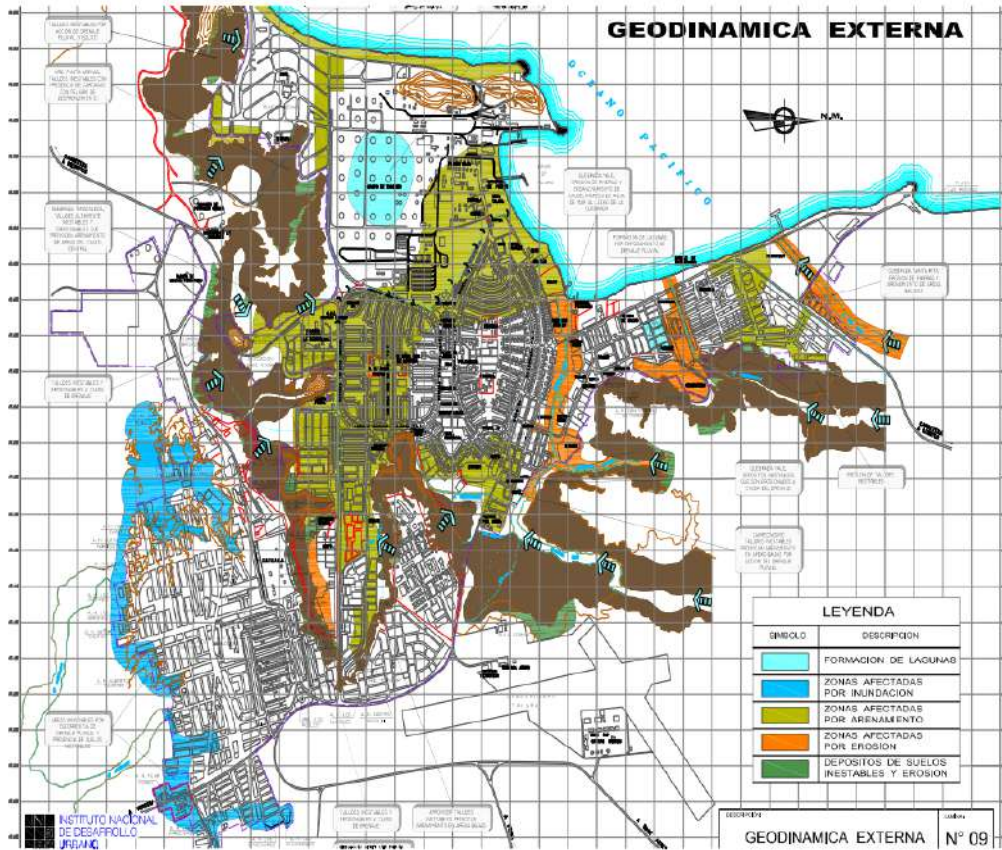


Figura 10: Geodinámica externa en la ciudad de Talara

- **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. GEOLOGÍA – INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO-INGEMMET**

En este boletín se describen las unidades litológicas aflorantes a escala 100, 000 en el área de estudio, cuyas edades oscilan desde el Ordovícico hasta el Cuaternario. En el área de Talara se ha cartografiado se ha cartografiado a las formaciones Talara (te-t) y Verdun (Te-v) conformadas por lutitas y areniscas, Tablazos Talara y Lobitos constituidas por conglomerados con restos de materiales calcáreos, Figura 11

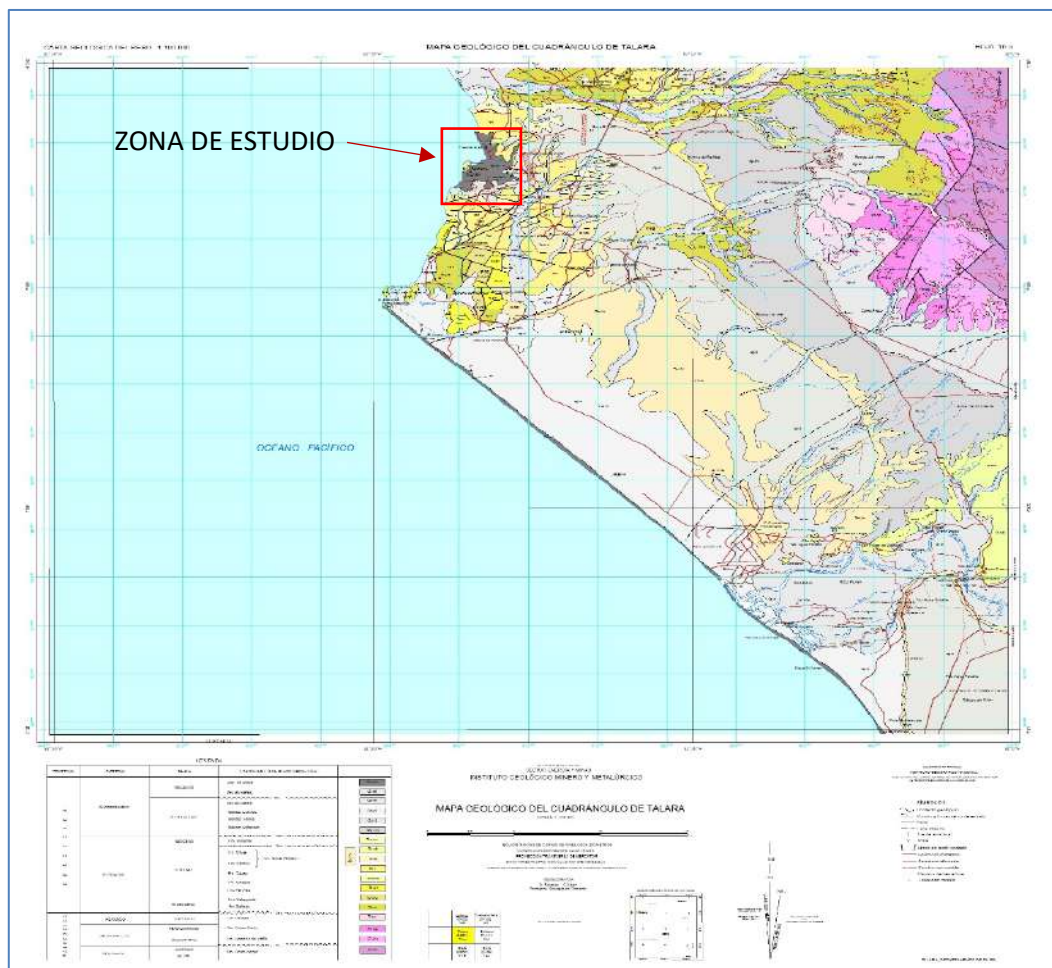


Figura 11: Geología regional, el área de estudio comprende el cuadrado rojo, Fuente: INGEMMET, 1999

- CASTRO CUBA, V., M., (1992) - SUELOS EXPANSIVOS EN TALARA

Según este estudio, los suelos en la ciudad de Talara se divide en 6 zonas las cuales presentan las siguientes características:

Zona A: Punta Arenas

Arcillas (CL) con capacidad de carga portante de 3.25 Kg/cm^2 , presentando un volumen de expansión de 5 %, una expansión lineal de 10 cm, así mismo tiene presiones efectivas de expansión que van de 800 KN/m^2 (0.80 Kg/cm^2) hasta 360 KN/m^2 (3.6 Kg/cm^2).

Las arenas que contienen arcillas y limos cuya compacidad va de suelta a media presentan una capacidad de carga admisible variable entre 50 y 150 KN/m^2 (0.50 y 1.50 Kg/cm^2).

Zona B: Sector Vencedores, Sudamérica, James Storm y Aproviser

Arena mal graduada (SP) de compactación suelta a media con capacidad de carga admisible de entre 0.84 y 1.40 Kg/cm², arenas limosas (SM), y arcillas (CL) las cuales presentan expansión baja a media, con capacidad de carga admisible de entre 0.73 y Kg/cm².

Zona C: Cerca de la zona de playa

Arenisca con capacidad de carga de 6.00 Kg/cm², para una profundidad entre 1.00 y 5.00 m.

Zona D: Ministerio de Pesquería, Belco, Copeco y muelle de Pescadores

Superficialmente tenemos un material gravo-areno limoso, bien graduado con una potencia de hasta 0.70 m. seguido de arena pobremente graduada (SP) con capacidad de carga admisible de 0.87 y 0.94 Kg/cm².

Zona E: Centro cívico y urb. Aproviser y Fonavi

Arena fina limosa (SM) de baja compactación con nivel freático a 1.50 m. y arcilla (CL) de baja plasticidad, de consistencia blanda a media.

Zona F: Villa FAP

Material arcillo-arenosos con grava.

Arenisca muy dura resistente al corte, en estado saturado y sometida a esfuerzos de compresión tiene una resistencia de corte capaz de resistir 137.5 Kg/cm².

- **YAMUNAQUE, F., L., E., (1991) - MICROZONIFICACIÓN Y LINEAMIENTOS DE PLANEAMIENTO URBANO DE LA CIUDAD DE TALARA PARA LA MITIGACIÓN DE DESASTRES**

Indica que, se han identificado unidades geomorfológicas como: Acantilados, playa, terrazas y lechos aluviales.

En cuanto a geología: las rocas más antiguas pertenecen al Grupo Chacra, constituida por las formaciones Pariñas y Chacra. La primera aflora en Punta Pariñas y en la parte sur-oeste de Punta Arenas, conformada por areniscas de grano fino y rocas conglomerádicas, que incluye horizontes de lutitas en laminación fina. La formación Chacra, es concordante con la formación Pariñas, se observó en los cerros sur de Punta Arenas, litología lutácea.



5. ASPECTOS GENERALES

En este ítem se describe de manera sucinta aspectos generales de la ciudad de Talara.

5.1 Ubicación y accesibilidad

La zona de estudio se ubica a 1108 km al norte de Lima, provincia de Talara, región Piura, en las coordenadas UTM: 470141 E y 9493838 N, a una altura de 110 m.s.n.m.

Límites:

Norte: distrito de Lobitos

Sur: distrito de Negritos y Lagunitos

Este: cerros de Amotape

Oeste: océano Pacífico

Talara está conformada por ocho sectores como son, Figura 12:

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 Campeónísimo, 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.

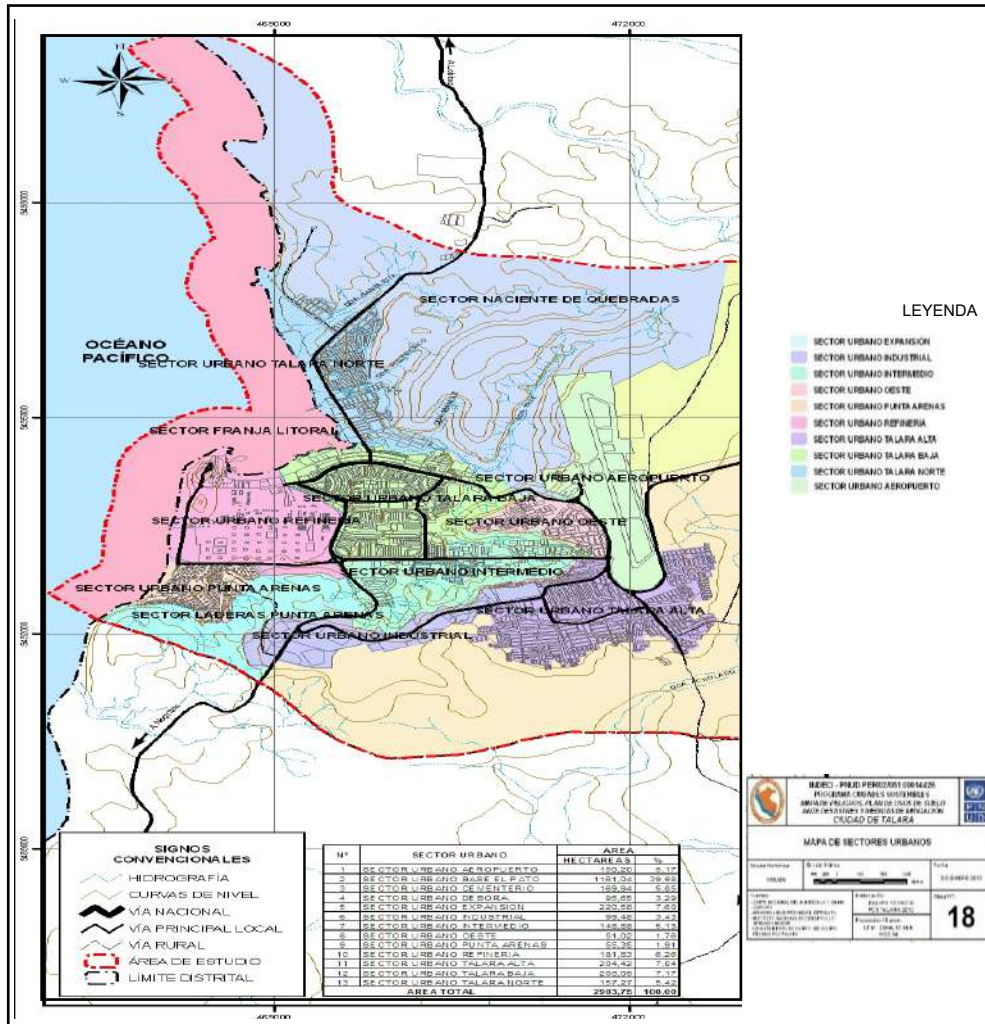


Figura 12: Sectores que conforman la ciudad de Talara, Fuente: INCEI, 2010

Los principales accesos a la ciudad de Talara son tres:

Vía terrestre: Desde la ciudad de Lima hacia Piura por la carretera Panamericana Norte (en un recorrido de 1000 km), luego se continúa por un desvío a la altura km 1094, en regular estado de conservación.

Vía aérea: El acceso 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 en regular estado de conservación.

Vía marítima: Existe una infraestructura portuaria que se utiliza para el transporte de carga (90 % carga líquida y 10 % carga seca).

5.2 Población

Pariñas se encuentra habitado por 99 551 habitantes (INEI, 2017). La población es eminentemente urbana, sobrepasa el 93 % a nivel provincial. En caso de un desastre para reactivar su economía interna la principal fuente es el canon petrolero. Los aspectos socioeconómicos se describen en el Anexo 02.

5.3 Clima

La estación meteorológica Talara se encuentra ubicada en las coordenadas geográficas: 4° 34' 1" S 81° 15' 1" a una altura de 67 m.s.n.m. en el distrito de Pariñas y a 2.56 km al noreste del centro urbano de Talara, Figura 13. Esta estación no cuenta con datos disponibles en la web del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), por lo que se recurrió a otras fuentes como es el *Climate.data*, el cual indica que el clima en la ciudad de Talara es desértico, la temperatura máxima registrada es de 31.6 °C en el mes de marzo y la mínima es de 14 °C en el mes de julio, Cuadro 01.

Para el caso de la precipitación la información fue a partir del informe de Diagnostico Socio Económico y Ambiental de la Zona Marino Costera de la Provincia 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.





Figura 13: Ubicación de estación meteorológica Talara

Cuadro 01: Registro de Precipitación máxima en 24 horas (mm), período (1986-2018) de la ciudad de Talara

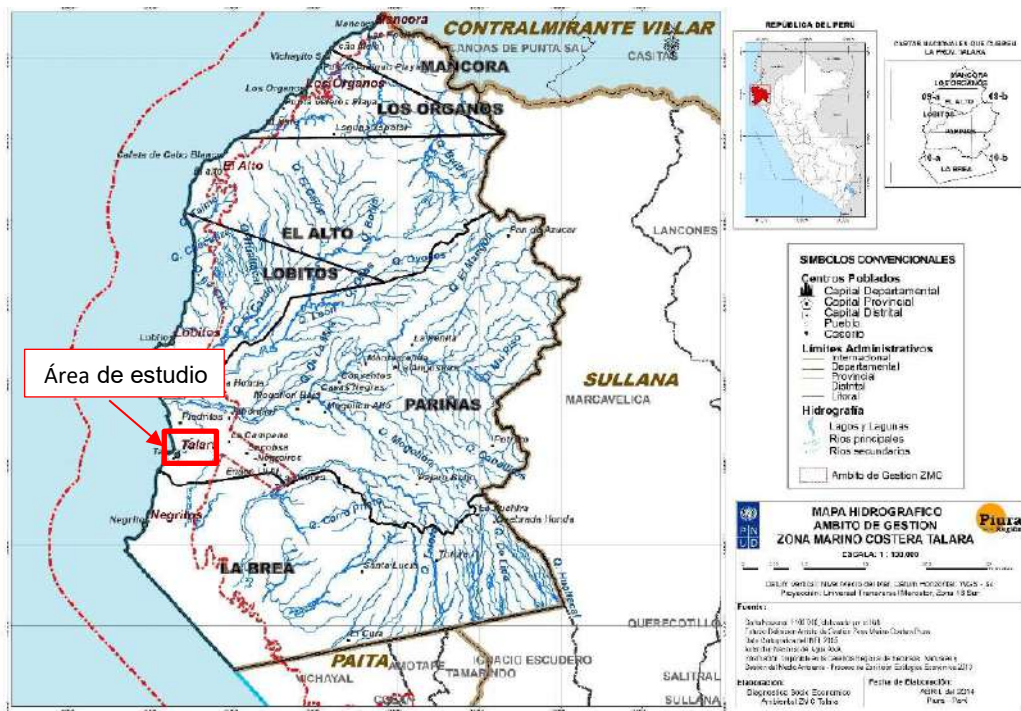
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1986	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1987	2.5	15	8	1.2	0	0	0	0	0	0	0	0
1988	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1989	0	4	0.2	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0
1990	0	0	0	0	0	0	0	0	0	SD	0	0
1991	0	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1992	2	18.2	56	25	0	0	0	0	0	0	0	0
1993	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0
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

Fuente: SNIRH-ANA. Datos obtenidos a partir de Modelamiento Hidrológico de la Autoridad Nacional del Agua – ANA

5.4 Hidrografía

La red hidrográfica de la provincia de Talara está conformada por las intercuenas 13931, 1391 y la cuenca Pariñas (Desembocadura en el océano).

Esta red está constituida por quebradas secas (mayormente cubiertas por la acción eólica) y/o estacionarias que se activan en épocas de ocurrencia de las máximas precipitaciones (como el fenómeno de “El Niño”). Entre las quebradas que conforman esta red se encuentra: Quebrada Fernández, Quebrada de la Huaquería, Quebrada de Conulsa, Quebrada Cabo Blanco, Quebrada de los Pasos, Quebrada del Camal, cercanas a la ciudad de Máncora. La Quebrada Vichayito, Quebrada Carrillo, Quebrada Verde, Quebrada Hospital, Quebrada Taime, Quebrada Carnero, Los Amarillos, Quebrada Chacaliza, Quebrada Salinas, Quebrada la Cruz, Quebrada las Animas, Quebrada Monte, Quebrada Ancha, Figura 14.



Fuente: Proceso de Zonificación Ecológica Económica 2013 – Gobierno Regional de Piura – Estudio Definición Ámbito de Gestión Zona Marino Costera Piura

Figura 14: Red hidrográfica de la provincia de Talara. Área de estudio (polígono color rojo)

6. CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA, GEOLÓGICA Y GEODINÁMICA

6.1 Geomorfología

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

El término geoforma es un concepto genérico que designa todos los tipos de formas de relieve independientemente de su origen y dimensión (Zinck, 1988; Zinck & Valenzuela, 1990).

En este capítulo se describen las características físicas de las geoformas existentes en la ciudad de Talara, en relación a su origen. Previamente, para la digitalización del plano geomorfológico se han elaborado los planos: Modelo Digital de Elevación (MDE) y Pendientes (Planos P-02 y P-03) mediante herramientas computacionales SIG, que permiten caracterizar y delimitar las unidades geomorfológicas del terreno (geoformas), éstas fueron verificadas y validadas durante el trabajo de campo en la ciudad de Talara, Planos P-04.

6.1.1 Modelo Digital de Elevación (MDE)

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

En base al 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



localizan al sur y sureste de Talara (Villa Petrex, El Manto, AA.HH. Quiñones, 7 de Junio, Pilar Nores, César Vallejo).

6.1.2 Pendientes

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

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

6.1.2.1 Clasificación del grado de pendientes

Para la clasificación de los rangos de pendientes se usó como base el informe: “Estudio de riesgos geológicos del Perú” – (Fidel, 2006), Tabla 01:

Tabla 01: Rangos de pendientes del terreno

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

Fuente: Fidel et al., (2006)

Talara Baja se asienta sobre una terraza marina-aluvial con pendientes menores <5°, sin embargo hacia el noreste y sur (zona de tablazos) las pendientes superan los 20°.

6.1.3 Unidades Geomorfológicas

Estas geoformas están compuestas por materiales que presentan una génesis propia que explica la dinámica de cómo se formaron y características físicas que conforman un relieve (forma, altura, pendiente, drenaje, textura de vegetación, color, etc.) que las diferencian entre sí.

En conclusión, las geoformas son generadas por procesos geodinámicos de tipo endógeno (internos) y exógenos (externos) que dan lugar a relieves positivos y negativos.

A. Características físicas

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

B. Procesos

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

En base a las características físicas de las geoformas y su origen en la ciudad Talara se cartografiaron 6 geoformas tales como: acantilado, lecho aluvial, playa, tablazos, terraza marina y terraza marino-aluvial, Cuadro 02 y Plano P-04.



Cuadro 02: Determinación de geformas en la ciudad de Talara en base a sus características físicas y su origen

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

Fuente: IGP, 2019

En el área de estudio, se han reconocido las siguientes unidades geomorfológicas:

6.1.3.1 Acantilados

Son geformas 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, Foto 01.

Por otro lado, los acantilados están rodeados por plataformas de abrasión formadas por el retroceso del mismo. Estas plataformas son generalmente horizontales, sin embargo, en la zona de estudio buzan 5° hacia el mar y se extienden desde la base del acantilado hasta por debajo de la acción de las mareas, las cuales se han identificado en la playa Las Peñitas, Foto 02.



Foto 01: Acantilado, parte lateral de la terraza marina que circunda la ciudad de Talara



Foto 02: Plataforma de abrasión, sector Las Peñitas

6.1.3.2 Lecho aluvial.

Conformado por los lechos de las quebradas Santa Rita, Yale y Acholao, las cuales presentan drenaje dendrítico. Representan el 7 % de la zona de estudio.

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 Campeónísimo, en su desembocadura a la altura de la clínica Santa María, y la Quebrada Mangle, Foto 03.

Quebrada Acholao: Se origina en las laderas de los cerros Amotape, en las partes altas del Tablazo. Tiene un recorrido de 11 km aproximadamente con 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, Foto 04.

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 desciende del sector Las Peñitas, Foto 05.



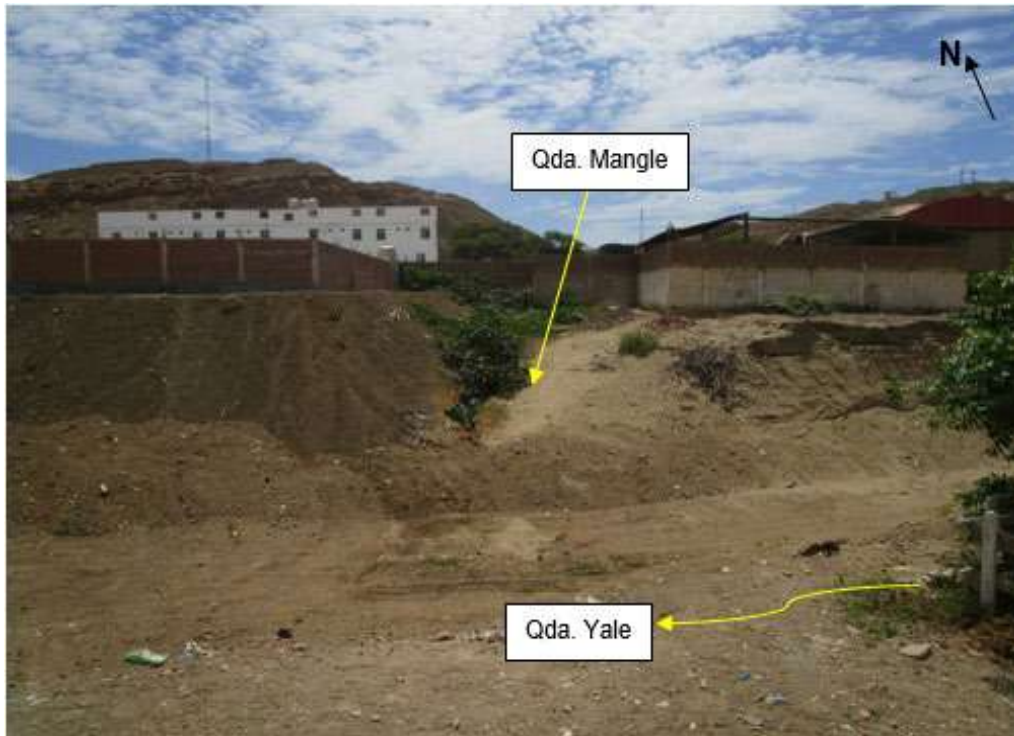


Foto 03: Lecho aluvial de la quebrada Yale y uno de sus afluentes la quebrada Mangle



Foto 04: Lecho aluvial de la quebrada Acholao





Foto 05: 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° en promedio 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.

6.1.3.3 Playa.

Son unidades formadas 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.). Representa el 2 % del área de estudio, Foto 06.



Foto 06: Playa Las Peñitas ubicada a 3 km al noroeste del centro urbano de Talara

6.1.3.4 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 de entre 80 y 90 m aproximadamente, Representa el 67 % del área de estudio.

6.1.3.5 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 Ésta se encuentra circundando la ciudad de Talara. Representa el 6 % del área de estudio, Foto 07.



6.1.3.6 Terraza marino-aluvial.

Superficies horizontales o ligeramente inclinadas, cuyo relieve presenta pendientes menores a 5°. Generalmente se encuentran conformadas por materiales heterogéneos (clastos subangulosos a subredondeados envueltos en una matriz areno-limosa) y capas delgadas de limos. Esta se ha identificada en las márgenes de la quebrada Acholao. Representa el 17 % del área de estudio, Foto 08.



Foto 07: Tablazo y terraza marina, al sur del Condominio Punta Arena





Foto 08: Tablazo que circunda la ciudad de Talara y terraza marino-aluvial sobre la cual se asienta el centro urbano de la ciudad

6.2 Geología

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

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

componen el relieve, los factores condicionantes como la litología, pendiente, hidrología, etc.; así como, los detonantes: sismos y precipitaciones pluviales ocasionan movimientos en masa (deslizamientos, flujos, caídas de rocas).

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

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

6.2.1 Geología local

La zona de estudio está dominada por afloramientos de rocas de origen sedimentario-marino de la Formación Pariñas, Grupos Talara y Lagunitos, que conforman el basamento y cubiertos por depósitos Cuaternarios.

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), las cuales son 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), Figura 15.



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 bentónicas
		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 areniscas de grano medio a fino, de color amarillento no cementada con fragmento de troncos petrificados; intercaladas con capas de lutitas.	

Figura 15: Columna cronolitoestratigráfica de la zona de estudio

6.2.1.1 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, Foto 09.



Foto 09: Afloramiento de la Formación Pariñas en el condominio Punta Arenas a Talara. Son areniscas de grano grueso de color gris claro con restos de troncos

6.2.1.2 Grupo Talara (Te-t)

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

6.2.1.2.1 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 calcáneos. 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, Foto 10.



Foto 10: Afloramiento de lutitas con limolitas de la formación Lutitas Talara en la ex panamericana

6.2.1.2.2 Formación Arenisca Talara

Constituida por areniscas en estratificación horizontal en espesores de 0.50 m con intercalaciones de arcillas en niveles finos. Afloran a 2 km al sureste del centro urbano de Talara, sector conocido como Acholao. Cabe resaltar que, 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, Foto 11.



Foto 11: Afloramiento de rocas tipo areniscas con presencia de alveolos producto de la acción eólica en el sector Acholao

6.2.1.3 Formación Verdún (Te-v)

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

6.2.1.4 Tablazo Talara (Qp-tt)

Secuencia marina con afluencia de materiales deltaicos en dirección noreste-suroeste, constituida por conglomerados 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, Foto 12.





Foto 12: Depósitos marinos y deltaicos que conforman la formación Tablazo Talara

6.2.1.5 Tablazo Lobitos (Qp-tl)

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 se asienta Talara Alta.

6.2.1.6 Depósitos Cuaternarios

Suprayaciendo al sustrato rocoso conformado por rocas marino sedimentaria, se encuentran los depósitos Cuaternarios de edad Holocena. Entre los que mayor predominan en la zona de estudio son los depósitos aluviales, eólicos y marinos.

6.2.1.6.1 Depósitos eólicos (Qh-e)

Están conformados por arenas de grano medio a fino, color beige. Éstos 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, Foto 13.



6.2.1.6.2 Depósitos aluviales (Qh-al)

Están constituidos arenas de grano grueso a medio, color blanquecino, con presencia de clastos subredondeados de 2" de diámetro y capas delgadas de limoarcillosas, los cuales son acarreados por las quebradas Acholao, Yale y Santa Rita provenientes del frente Occidental, las cuales atraviesan la ciudad de Talara, Foto 14.

6.2.1.6.3 Depósitos marinos (Qh-m)

Conformados por arenas medias a gruesas, color gris con presencia de material calcáreo (conchuelas), se observa la parte baja de Talara, principalmente en Punta Arenas y la playa Las Peñitas, Foto 15.



Foto 13: Depósitos eólicos en el AA.HH. Sol de Oro, cubriendo la formación Tablazo Talara





Foto 14: Depósitos aluviales, quebrada el Acholado



Foto 15: Depósitos marinos, playa Las Peñitas



6.2.2 Geología Estructural

Estudia las 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, descritas a continuación:

6.2.2.1. 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" y son producto de esfuerzos tectónicos (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, Fotos 16 y 17.



Foto 16: Falla normal, desplaza estratos de lutitas y areniscas en el sector Los Vencedores



Foto 17: Falla inversa en rocas del tipo areniscas en el AA.HH. Jesús de Nazareth

Asimismo, las fallas “Acholao” y “Aeropuerto” son consideradas como fallas secundarias de 213 m y 274 m aproximadamente de separación vertical, las cuales han fallado y plegado estratos de lutitas y areniscas como consecuencia de zonas de compresión por resbalamiento, Foto 18.

Cabe resaltar que en las zonas de fallas normales se reconocen discordancias angulares asociadas a un basculamiento debido al arrastre de los materiales sobre el plano de falla.





Foto 18: Zona de bloques de areniscas desplazados por la actividad de la falla El Acholao, en la parte superior de estos estratos se ubica el AA.HH. Los Robles

6.2.2.1 Plegamientos

Deformación de las rocas estratificadas, debido a los esfuerzos de compresión, a las propiedades plásticas de éstas y a las condiciones de elevada presión reinantes, tomando 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 en los estratos Cuaternarios de la formación Tablazo Talara, Foto 19.

6.2.2.3 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, Foto 20.



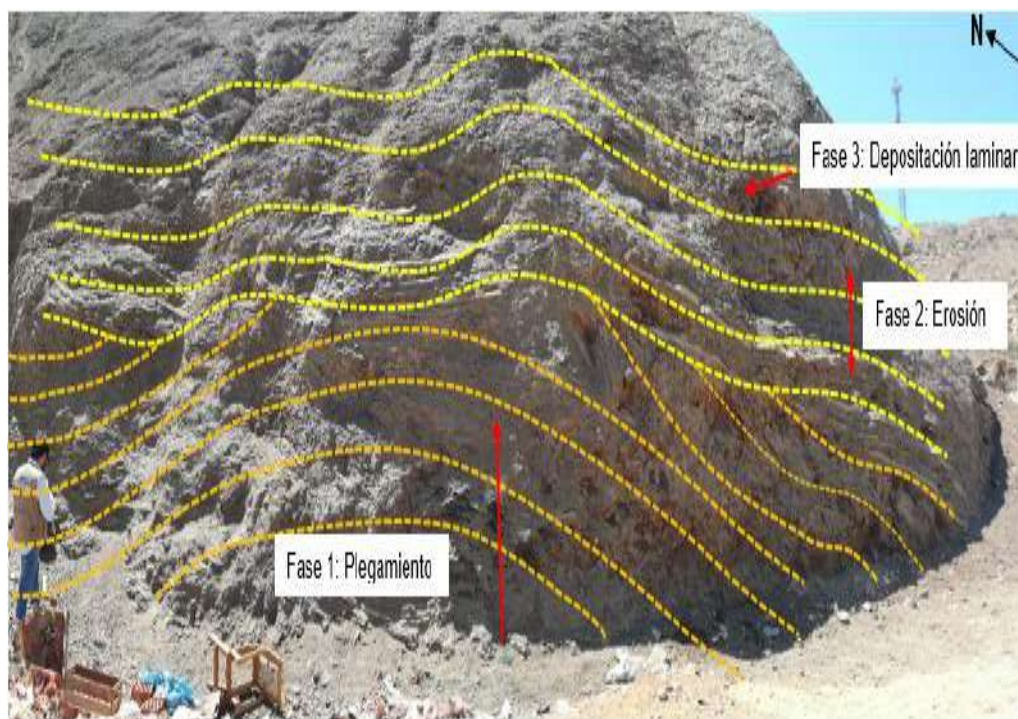


Foto 19: Deformación de estratos antiguos, ligero levantamiento, erosión y posterior Deposition

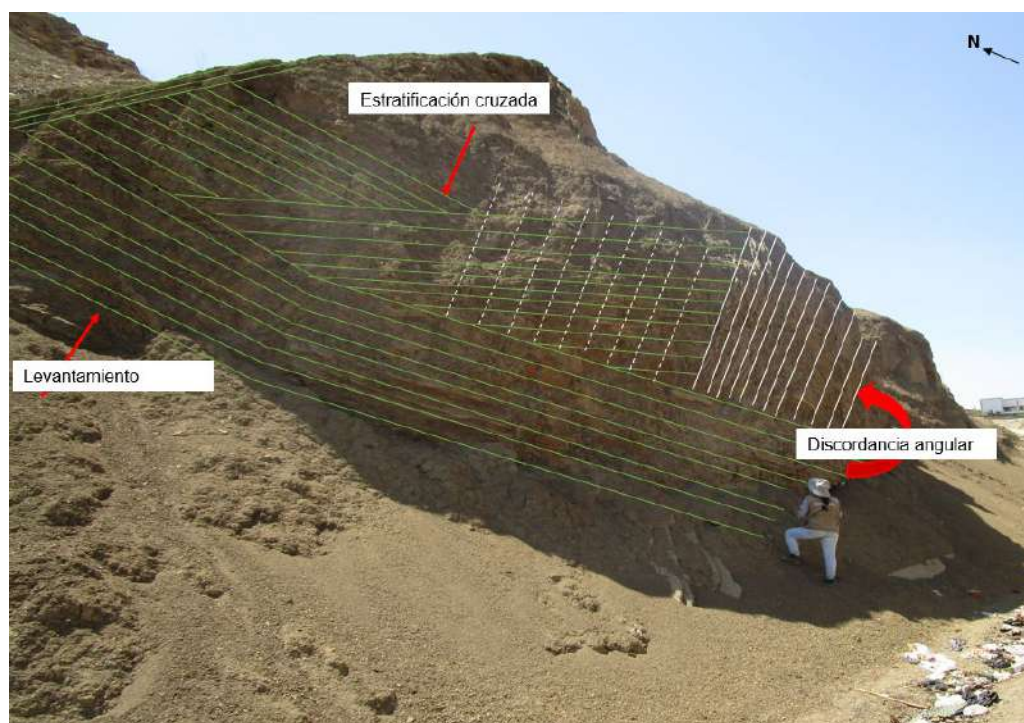


Foto 20: Discordancia angular (líneas color verde y blanca) fuertemente erosiva líneas punteadas, seguida de estratificación cruzada



6.3 Geodinámica Superficial

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.

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

En la ciudad de Talara se han identificado dos tipos de eventos geodinámicos como son:

6.3.1 Inundación

Producida 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 inundación se han delimitado en los AA.HH. ubicados en el cono sur de Talara, por el desborde de la quebrada Acholao. En el año 1998, alrededor de 728 viviendas aproximadamente fueron afectadas.

6.3.1.1. Escorrentías y/o afluentes de las principales quebradas

Otros eventos que generan inundación son las escorrentías las cuales se caracterizan por el escurrimiento del agua de origen pluvial provenientes de las parte altas de la ciudad de Talara. Éstas además, producen cárcavas en los taludes inestables constituidos por materiales sueltos, que se desprenden y/o desplazan hacia las partes bajas, tal como se describe a continuación, Figura 16 y Foto 21:

- **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 desciende 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
- **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. Así como, la segunda, que 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. Cabe resaltar que, el canal de la parte alta se encuentra en mal estado.
- **Sector Urb. Popular:** En este sector nace una escorrentía la cual 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 recolectan aguas pluviales que descienden de la parte alta (Villa FAP). Estas aguas son encauzadas por canales cementados.



Estudio de Zonificación Sismo-geotécnica del área urbana de Talara

- **Sector Inmaculada:** De la parte alta a la altura de la carretera que conduce a Negritos desciende una escorrentía que tiene cauce indefinido, cuyas aguas 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.

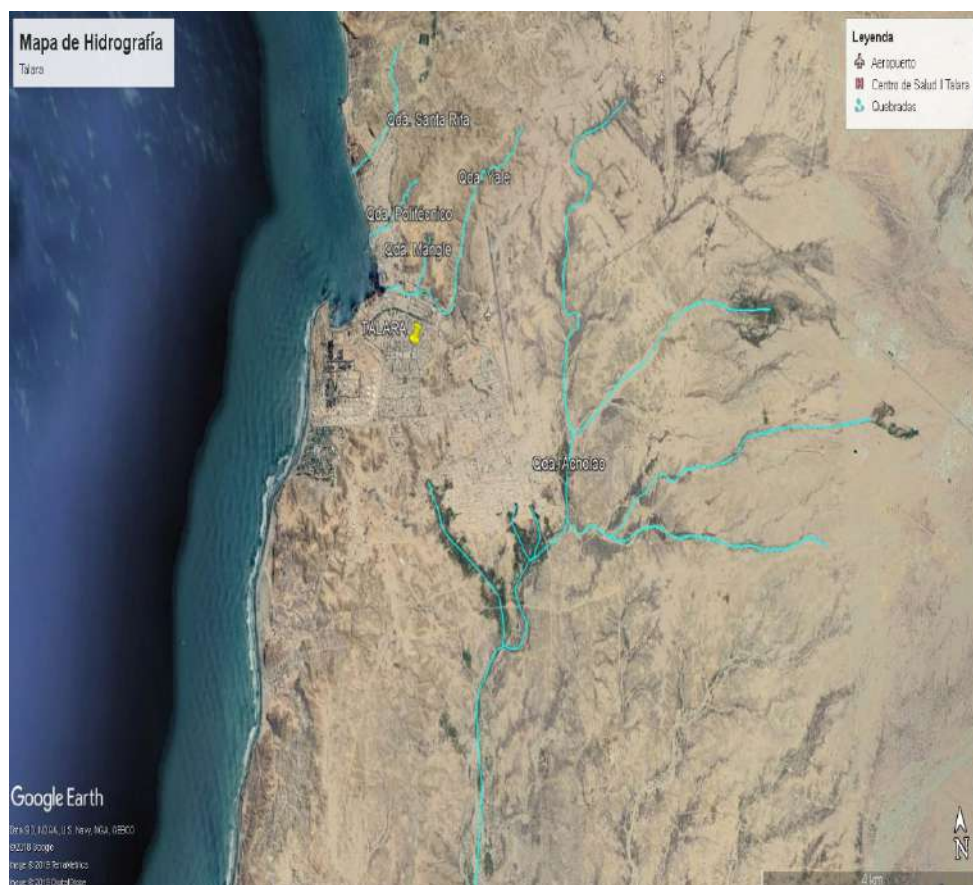


Figura 16: Lechos aluviales de la ciudad de Talara



Foto 21: Zona afectada por activación de escorrentías

6.3.2 Movimientos en masa

Son procesos en los que se movilizan materiales por la acción de la gravedad y pueden ser peligrosos (Bromhead, 1986). Existen diferentes clasificaciones, las más consistentes son las de Varnes (1978), Hutchinson (1988), Cruden y Varnes (1996).

6.3.2.1 Deslizamiento

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 recurrentes de este evento geodinámico, Foto 22.

6.3.2.2 Caída de rocas

Es resultado del debilitamiento de la masa de roca, debido a la fragmentación y a la ausencia de soporte lateral, produciendo un deterioro en la estructura del talud por la acción de la meteorización. 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, Foto 23.

6.3.2.3 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, Fotos 24 y 25.



Foto 22: Deslizamiento de material del tablazo, Barrio Popular colindante con A.H. Juan Pablo II





Foto 23: Caída de rocas en el sector urbano oeste



Foto 24: Flujo de detritos, zona de tablazo





Foto 25: Urb. Los Jazmines, flujos de detritos

Por otro lado, la acción de aguas de escorrentía, provenientes de las precipitaciones, sobre las laderas o terrenos inclinados genera cárcavas las cuales 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. Foto 26 y 27.



Foto 26: Cárcavas en ladera, zona del ex campo ferial-Talara





Foto 27: 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, Fotos 28 y 29.
- El colapso de las redes de desagüe es 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, Foto 30.
- Drenajes obturados por la acumulación de detritos provenientes de las laderas del tablazo en los AA.HH. Cristo Mirador y El Sol.



Foto 28: Desechos antrópicos en cauce de quebrada



Foto 29: Escorrentía AA.HH. Sol de Oro, en cuyo cauce se acumulan desechos antrópicos





Foto 30: Colapso de red de desagüe en el AA.HH. Ampliación San Sebastián

6.3.4 Elementos expuestos

En el área de estudio del distrito de Pariñas se encuentran los elementos expuestos a nivel social susceptibles ante el impacto de peligro por ocurrencia de movimientos en masa de tipo flujos y caída de rocas, delimitado en el capítulo de geodinámica, los cuales son: Población y vivienda. Las cantidades de estos elementos, son estimaciones resultantes de la relación entre el área de influencia del peligro en mención y la ocupación del sector urbano, Cuadros 03 y 04.

Cuadro 03: Población estimada de la localidad expuesta a eventos de origen natural

Evento geodinámico	Población expuesta
Flujos de lodo y/o detritos ¹	5200
Caída de rocas e inestabilidad de laderas	200

Cuadro 04: Viviendas de la localidad expuestas a eventos de origen natural (se consideró la delimitación del área de influencia de la inundación realizada en el capítulo de geodinámica)

Evento geodinámico	Viviendas expuestas
Flujos de lodo y/o detritos	1400
Caída de rocas e inestabilidad de laderas	60

Haciendo uso de la superposición del área de influencia de los eventos geodinámicos, delimitados anteriormente, con el área urbana de la localidad (en formato shapefile), se reconocieron las infraestructuras de interés social (viviendas), expuestas al evento citado.

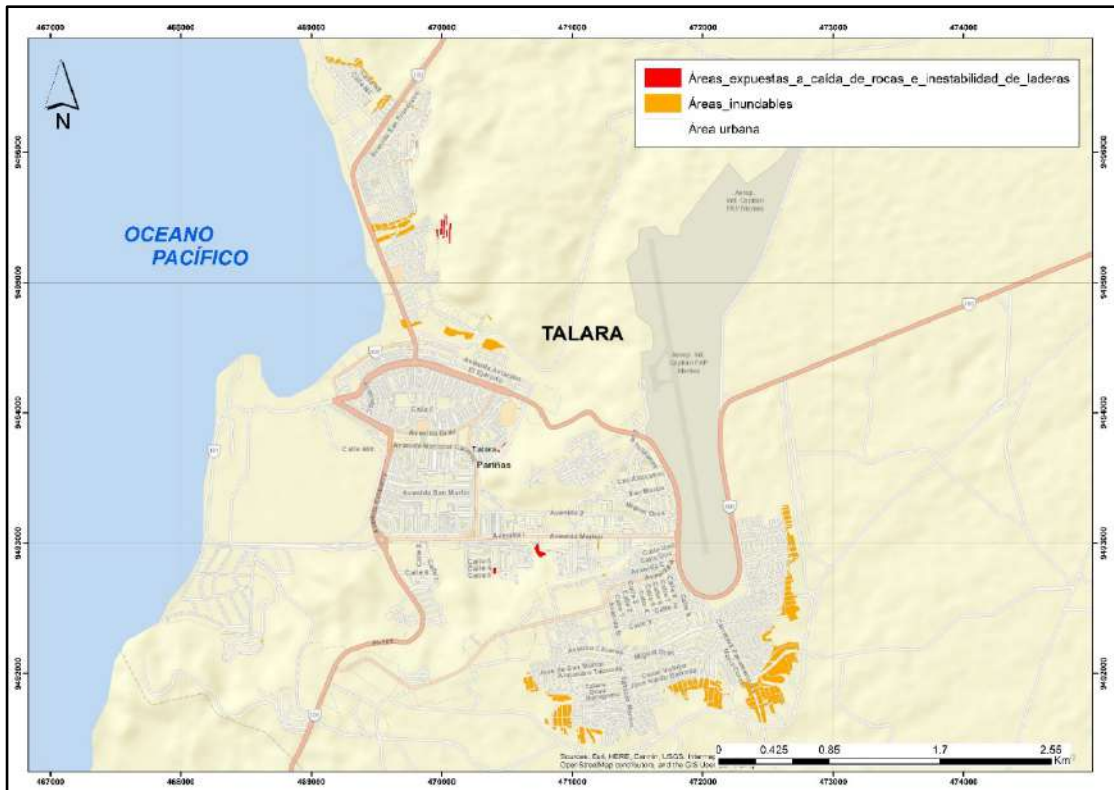


Figura 17: Delimitación de elementos expuestos ante la ocurrencia de movimientos en masa en la localidad de Talara - Pariñas



7. ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA

Los suelos son materiales inconsolidados conformados por minerales, materia orgánica, agua y aire entre sus poros, generados a partir de la alteración de la roca madre por agentes atmosféricos mediante procesos de meteorización y erosión hasta formar una cobertura de variado espesor de sedimentos, que posteriormente han sido transportados y redepositados en las partes bajas de las cuencas hidrográficas, sobre los cuales se asientan las áreas urbanas.

En el diagrama líneas abajo se indica el origen de los suelos, Figura 18.

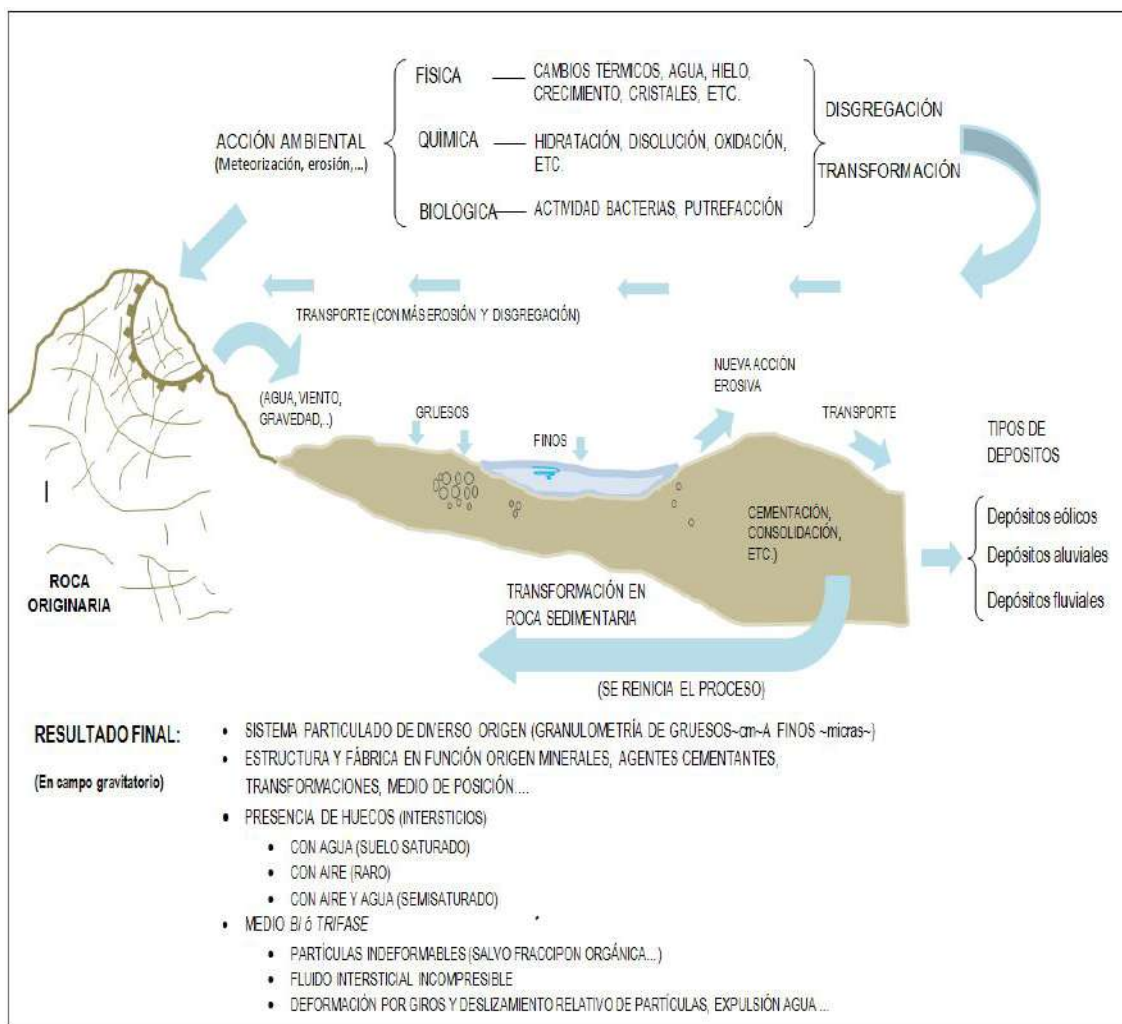


Figura 18: Formación de suelos, (Adaptado de Gonzáles de Vallejo, 2002)

La geotecnia es la rama de la geología aplicada a la ingeniería que se encarga del estudio de las propiedades físicas y mecánicas de los suelos de cimentación antes mencionados, en condiciones estáticas mediante la aplicación de técnicas de exploración (calicatas, auscultaciones, perforaciones, ensayos de DPL, SPT, etc.), por ello, la clasificación del suelo es

de suma importancia para la elaboración de modelos geotécnicos y el diseño de cimentaciones en un terreno específico.

Para la zonificación geotécnica en suelos, se hizo uso del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) a partir de las características granulométricas, la carta de plasticidad de Casagrande, tipo de depósito, Consistencia o Densidad Relativa, permeabilidad, y parámetros de resistencia (capacidad de carga admisible de los materiales).

En la ciudad de Talara, se realizó el estudio geotécnico que consistió en la elaboración de 8 calicatas, 7 densidad de campo, 16 posteos y 11 ensayos de penetración dinámica ligera (DPL), indicadas en el Plano P-07. Las 8 muestras extraídas se analizaron en el laboratorio de mecánica de suelos del IGP y para validar los resultados 3 muestras representativas se enviaron a un laboratorio certificado, con la finalidad de determinar la composición granulométrica, plasticidad, corte directo y realizar el cálculo de la capacidad portante de los suelos de cimentación.

A continuación, se detallan las técnicas de exploración geotécnica:

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

Es un método de exploración directo que consiste en realizar una excavación en el terreno para la observación y descripción del suelo. Estas exploraciones se realizaron a aproximadamente 3 m de profundidad a fin de describir los estratos que lo conforman (Anexo de geotecnia - fichas de descripción), así como, extraer muestras disturbadas las cuales fueron identificadas y almacenadas en bolsas herméticas con capacidad de 5 Kg. aproximadamente. Las excavaciones realizadas se localizan en las siguientes coordenadas UTM, Cuadro 05 y Plano P-07.

Cuadro 05: Ubicación de calicatas

CÓDIGO DE CALICATA	COORDENADAS UTM		ELEVACIÓN (m.s.n.m.)	PROFUNDIDAD (m)	NIVEL FREÁTICO A (m)
	ESTE (m)	NORTE (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.

Dónde: N.P. = No presenta



7.1.1. 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 través de un orificio de 10 cm de profundidad realizado en el interior de la calicata, a fin de obtener una relación entre la masa de éste y el volumen conocido que ocupa la arena calibrada del cono de densidad. Este ensayo se realiza en el estrato muestreado mediante el método del cono de arena a fin de obtener el grado de compactación o consistencia y el contenido de humedad del mismo 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 clastos o materiales gruesos de diámetro mayor a 1 ½ pulgada (38 mm).

En el Cuadro 06 se presentan los resultados de las densidades in situ de las siete (7) calicatas y la ficha de densidad se ha adjuntado en los Anexos de Geotecnia.

Cuadro 06: Resultado de densidades in – situ

CÓDIGO DE CALICATA	MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	DENSIDAD HÚMEDA (gr/cm ³)	DENSIDAD 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

A partir de los resultados obtenidos en el ensayo de densidad de campo y laboratorio, los suelos de cimentación en la ciudad de Talara presentan rangos de densidad húmedas entre 1.18 y 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, de acuerdo a la referencia de la Tabla A del Anexo 05.

7.2. Exploraciones con posteadora manual

Se define posteadora como un barredor manual en forma de “T” que permite realizar sondeos exploratorios (perforaciones) en suelos blandos (arcillas y arenas) hasta una profundidad de 5 m a 6 m a fin de obtener muestras del suelo. En cada una de las perforaciones se llevó a cabo una detallada descripción de los tipos de suelos encontrados, si bien es cierto, las muestras extraídas se obtienen trituradas y completamente alteradas, sin embargo, sirven para conocer el tipo de suelo y contenido de humedad que presenta. Una de las restricciones para la ejecución de este ensayo, es en presencia de gravas y gravillas (la cuchara saca muestra se entranpan con este tipo de suelos).

La distribución de las exploraciones se efectuó entre los puntos de las calicatas, con la finalidad de abarcar toda el área de estudio, para obtener una mejor zonificación de los suelos de la ciudad de Talara. La ubicación y resultados obtenidos se muestran en el Cuadro 07, mientras que el registro de perforaciones se describe en el Anexo 05.

Cuadro 07: Ubicación de posteos y clasificación de suelos SUCS

CÓDIGO DE POSTEO	COORDENADAS UTM		ELEVACIÓN (m.s.n.m.)	PROFUNDIDAD (m)	TIPO DE SUELO	NIVEL FREÁTICO A (m)
	ESTE (m)	NORTE (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.

Donde: N.P =No Presenta



7.3. Ensayo de penetración dinámica ligera-LDPT (norma DIN 4094)

El DPL es un equipo de campo de registro continuo dónde se contabiliza y registra el “N”, que es el número de golpes dados por un martillo de 10 Kg., el cual se deja caer por gravedad desde una altura de 0.50 m (medida desde la parte superior del tambor de acero), para hincar una varilla de acero de 1.0 m de longitud en cuyo extremo inferior se encuentra una punta cónica de 60°. Este proceso se repite para profundizar tramos de 10 cm con la finalidad de estimar el ángulo de fricción de suelos específicos, que ayudarán a calcular mediante fórmulas empíricas la capacidad portante (resistencia al corte) de los suelos de cimentación en Kg/cm², además, se puede tener las propiedades de compacidad de los suelos.

La ventaja del instrumento es que es un equipo muy práctico y se puede transportar fácilmente, sin embargo, se restringe su aplicación a terrenos arenosos, areno-arcillosos y limo arenosos, no recomendable a utilizarse en gravas, fragmentos gruesos, conglomerados y terrenos rocosos. Por otro lado, los ensayos de DPL deben ubicarse a inmediaciones de una o dos calicatas donde se tienen suelos conocidos con la finalidad de conocer la resistencia al corte de los distintos estratos. La ficha del ensayo se adjunta en el Anexo 05.

En el Cuadro 08, se indica la ubicación de los ensayos de Penetración Dinámica Ligera (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

Dr=Densidad relativa



Cuadro 08: Ubicación de ensayos de penetración dinámica ligera (DPL) y parámetros obtenidos

CÓDIGO DE DPL	COORDENADAS UTM		ELEV. (m.s.n.m.)	PROF. (m)	N° DE GOLPES	ϕ
	ESTE (m)	NORTE (m)				
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

La compacidad relativa y consistencia de suelos se infiere a partir de la Tabla B del Anexo 05. 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 ½”.

7.4 Resultados de los ensayos de laboratorio

Los ensayos realizados a las muestras se realizaron en base a las normas establecidas por la *American Society for Testing Materials* (ASTM), cuyos resultados se describen a continuación:

7.4.1 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) en la ciudad de Talara

El Sistema SUCS abarca suelos granulares y finos, diferenciados por la cantidad de material que pasa la malla N° 200 (Juárez & Rico, 2005), además, entre los granulares se encuentran dos grupos tales como gravas y arenas, separadas con la malla N° 4, mientras que los finos se diferencian entre (limos y arcillas) según el Límite Líquido e Índice de Plasticidad.

En base a la información geotécnica recopilada de estudios anteriores, así como, de los resultados de las exploraciones (calicatas, posteos y DPL), realizados en la ciudad de Talara, y de los ensayos de laboratorio Mecánica de Suelos (granulometría y límites Atterberg) efectuados

a las muestras extraídas descritos en el Anexo de Geotecnia - Resultados de Laboratorio, se ha identificado 6 tipos de suelos, Cuadro 09 y **Plano P-08**, los cuales se describen a continuación:

- **Suelo tipo GC-GM**

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).

- **Suelo tipo SP**

Arena mal graduada 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).

- **Suelo tipo SM**

Arena limosa, 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).

- **Suelo tipo SC-SM**

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**

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**

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).



Cuadro 09: Clasificación SUCS de los suelos de las ocho (08) calicatas elaboradas 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 mm, <4.76 mm)	FINOS (<0.074 mm)	LÍMITE LÍQUIDO	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

Dónde: N.P. =No presenta



7.5 Ensayo de corte directo (Norma ASTM D - 3080)

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

Los valores finales de la capacidad portante de los suelos en la ciudad de Talara están basados en datos de laboratorio de Mecánica de Suelos (Anexo de Geotecnia - Resultados de Laboratorio), 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.

$$q_{ad} = \frac{q_u}{F_s}$$

7.5.1 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 el Cuadro 10.

Cuadro 10: Capacidad de carga portante de las muestras extraídas en la ciudad de Talara

CÓDIGO DE MUESTRA	Capacidad de carga última (Tn/m ²)	Capacidad 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		



Fuente:

Fuente: Anexo de Geotecnia. Datos del ensayo de DPL y SPT corregidos y datos de Terzaghi
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., Cuadro 11.

Cuadro 11: 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	Capacidad de carga última (kg/cm ²)	Capacidad 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 citados anteriormente y, tomando en cuenta la Tabla 03, 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. Ante ello, se ha clasificado los suelos con la siguiente capacidad de carga portante.



7.5.1.1 Tipos de capacidad de carga portante

En la localidad de Talara se han identificado los siguientes tipos de capacidad de carga portante:

A) Capacidad de carga portante muy baja

Comprende rangos de capacidad de carga portante menores a 1 kg/cm², se encuentran representado por los tipos de suelos, tales como: Arena mal graduada (SP), arena limosa (SM), arena mal graduada con limo y arcilla (SM-SC) y arcilla inorgánica (CL). Abarcan el 21 % de los suelos de cimentación de la ciudad de Talara y se han identificado principalmente en Talara Norte, Urb. James Storm y AA.HH. Abelardo Quiñones.

B) Capacidad de carga portante baja

Comprende rangos de capacidad de carga portante entre 1 a 2 kg/cm², se encuentran representado 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 Nores y sede SENATI (Talara Baja).

C) Capacidad de carga portante media

Comprende rangos de capacidad de carga portante entre 2 a 3 kg/cm², se encuentran representado por los tipos de suelos, tales como: grava limo arcillosa (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.

Por otro lado, 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, Fotos 31 y 32.





Foto 30: Asentamiento de las estructuras, separación mayor a 5 cm. entre las edificaciones colindantes



Foto 31: El adoquin de la calzada presenta ondulamientos con desniveles entre 0.10 y 0.15 m.



8. DISCUSIONES

- Estudios regionales (geología del cuadrángulo de Talara, hoja 10a, escala 1: 100,000) al suroeste de la ciudad de Talara (AA.HH. Luis A. Sánchez) se ha cartografiado a la Formación Verdun (Te-v), sin embargo, a escala local de 1:20,000 se han reconocido y delimitado depósitos Cuaternarios como aluviales (Qh-al) constituidos por materiales finos (arcillas y limos) principalmente en los cauces de los remanentes de la quebrada Acholado. Estos depósitos son producto de la disgregación de las rocas que conforman el sustrato rocoso y de los materiales de los tablazos, debido a los procesos denudativos como meteorización y/o erosión por acción de agentes externos como el viento, la temperatura y el agua de escorrentía.
- Según el estudio del PNUD 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, esta zona presenta 10 puntos críticos antes peligros geológicos, principalmente, las inundaciones por desbordamiento del cauce de quebrada Acholado que en el año 1998 produjeron daños en 728 viviendas ubicadas en el cono sur, por lo tanto la zona fue calificada con riesgo Alto, recomendando la canalización de drenaje pluvial y estabilización de laderas. Sin embargo, en el 2019, se han identificado 6 zonas más como son: Caída de rocas en Villa FAP, AA.HH. Mario Aguirre y El Sol, así como, deslizamientos en el sector Campeonísimo y flujos de detritos en la Urb. Jazmines y AA.HH. José Olaya.
- En cuanto a los peligros geotécnicos, este señala que los suelos sobre los cuales se asienta la zona urbana de Talara están constituidos por grava limosa con arena (GM) y SM (arena limosa) con capacidad portante mayor a 1 kg/cm^2 , lo cual difiere con los resultados obtenidos de las exploraciones geotécnicas realizadas en el 2019, que indican que estos suelos presentan capacidad portante menor a 1 kg/cm^2 .



SEGUNDA PARTE: GEOFÍSICA Y ZONIFICACIÓN SISMOGEO TÉCNICA

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, las Unidades de Ingeniería Sísmica y Geodinámica Superficial de la Sub-Dirección de Ciencias de la Tierra Sólida desarrollan la Actividad “**Generación de Estudios Territoriales de Peligro Sísmico**” a fin de obtener el Mapa de Zonificación Geofísica – Geotécnica (Comportamiento Dinámico del Suelo) para las áreas urbanas de las siguientes distritos:

La Arena, distrito de La Arena, provincia y departamento de Piura.

La Unión, distrito de La Unión, provincia y departamento de Piura.

Morropón, capital del distrito y provincia de Morropón, departamento de Piura.

Máncora, distrito de Máncora, provincia de Talara, departamento de Piura.

Talara, distrito de Pariñas, provincia de Talara, departamento de Piura.

Querecotillo, distrito de Querecotillo, provincia de Sullana, departamento de Piura.

Las Lomas, distrito de Las Lomas, provincia y departamento de Piura.

Tambo Grande, distrito de Tambo Grande, provincia y departamento 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 sacudimiento del suelo, puesta en evidencia con los daños observados post-sismo en el departamento de Piura (Silgado, 1978; Tavera et al. 2016). Al ser los sismos cíclicos, es de esperarse que en el futuro, las mismas ciudades y/o áreas urbanas sean afectadas por nuevos eventos sísmicos con la misma o mayor intensidad. Entonces, no es tan importante el tamaño del sismo, sino la intensidad del sacudimiento del suelo, la educación de la población y la calidad de las construcciones.

Los estudios de Zonificación Geofísica – Geotécnica (Comportamiento Dinámico del Suelo) permitirán tener mayor conocimiento sobre las características dinámicas del suelo sobre el cual se levantan las ciudades y/o futuras áreas de expansión. Para ello se realiza la aplicación de diferentes metodologías que consideran información sísmica, tsunamis, geofísica, geológica, geodinámica, geomorfológica y geotécnica. 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 adecuadas para cada tipo de suelo.

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

1.1.- Objetivos

El principal objetivo a cumplir en este estudio es obtener el Mapa de Zonificación Geofísica – Geotécnica (Comportamiento Dinámico del Suelo) para el área urbana de Talara, distrito de Paríñas, provincia de Talara y departamento de Piura, ver Figura 1. Asimismo, es de interés que las autoridades locales y regionales dispongan de un documento técnico que les ayude en el desarrollo y ejecución de proyectos orientados a la gestión del riesgo de desastres ante la ocurrencia de sismos, lo cual conlleva a mejorar la calidad de vida de sus pobladores, así como proyectar hacia el futuro una adecuada expansión urbana.

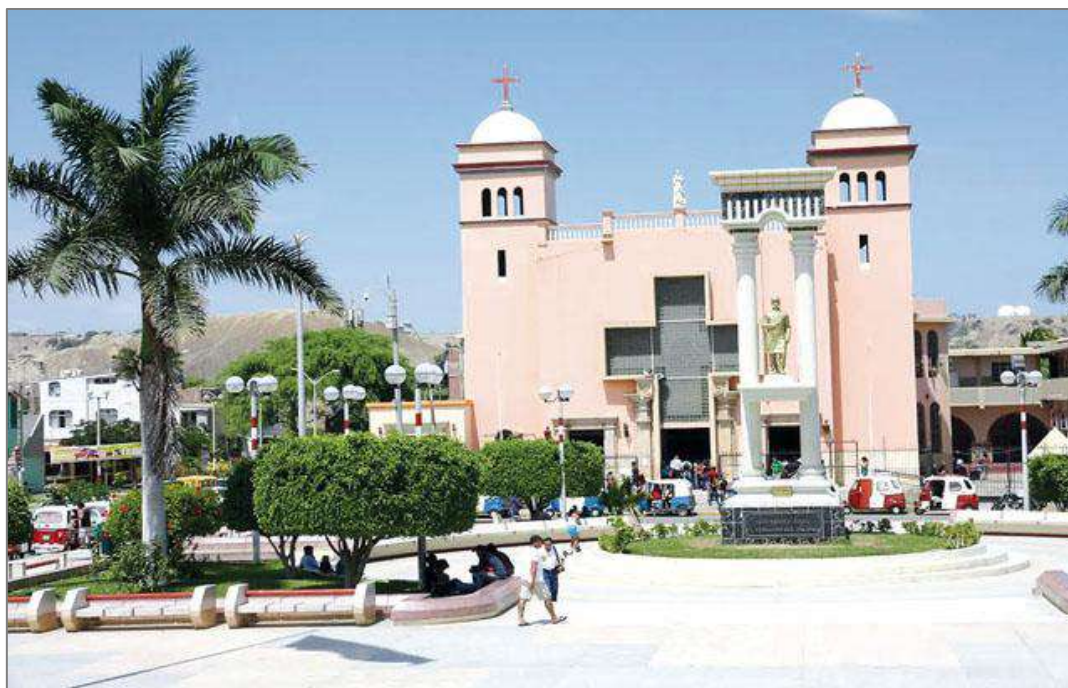


Figura 1. Vista panorámica de la Plaza de Armas y la Catedral del área urbana de Talara.

1.2.- Área de estudio

El ámbito de estudio corresponde al área urbana del distrito de Pariñas, se encuentra al norte de la zona occidental del Perú y forma parte de los 6 distritos de la provincia de Talara, departamento de Piura, ver Figura 2. Situado próximo al océano pacífico, se divide en dos sectores; el primero denominado como Talara Baja el cual se encuentra a una altitud promedio de 15 m.s.n.m. y el segundo como Talara Alta, a una altitud promedio de 85 m.s.n.m., ambas superficies ligeramente onduladas y cuya pendiente es baja a moderada, tal como se muestra en la Figura 2. Limita por el norte, los distritos de Lobitos y El Alto, al Sur el distrito de la Brea, al Este el distrito de Marcavelica de la provincia de Sullana y al Oeste con el Océano Pacífico. Esta ciudad 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.

El cartografiado y mapa base para este estudio es de 1:20000, tiene un área total de 1000 Has y la población beneficiada con el presente estudio es igual a 124,444 habitantes (INEI, 2017).

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.



Estudio de Zonificación Sismo-geotécnica del área urbana de Talara

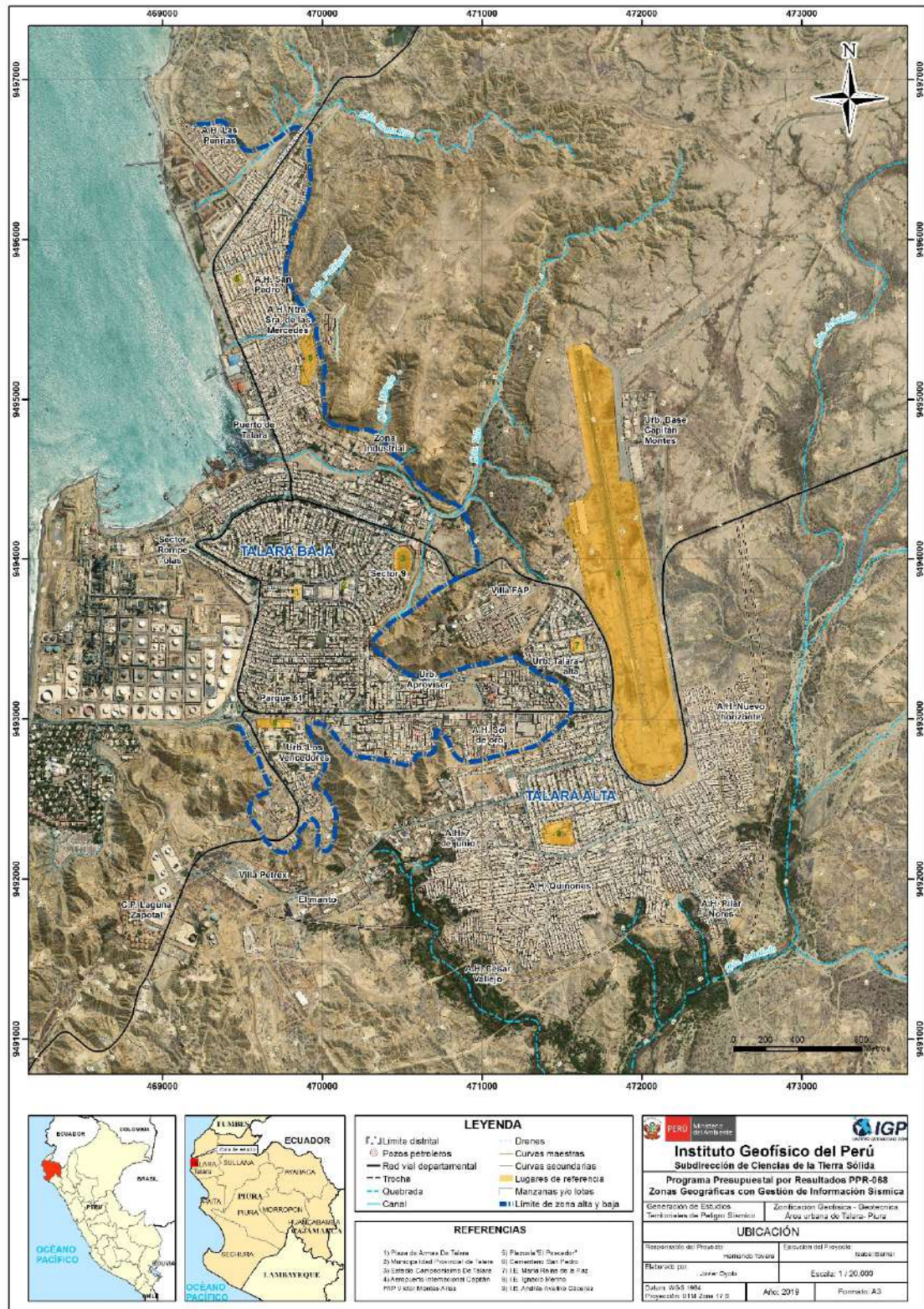


Figura 2. Ubicación del área de estudio.

1.2.1.- Antecedentes

La historia sísmica del Perú ha mostrado que su borde occidental presenta un alto índice de ocurrencia de eventos sísmicos y de acuerdo a su magnitud, muchos de ellos han producido daños importantes en ciudades y localidades distribuidas cerca de la zona costera. La ocurrencia de efectos secundarios como asentamientos, licuación de suelos, derrumbes, caídas de roca y tsunamis propiciaron el incremento de pérdidas humanas y materiales en el área epicentral (Silgado, 1978; Dorbath et al., 1990; Tavera y Buforn, 2001).

Por otro lado, a partir de los años 80, muchas de las ciudades costeras han soportado procesos continuos de migración por la población proveniente de las provincias del interior del país y, debido a la falta de un adecuado ordenamiento territorial y desarrollo sostenible de ciudades, la población inmigrante ha ocupado áreas de alto riesgo ante la ocurrencia de peligros como los sismos, tsunamis, deslizamientos y otros efectos secundarios. A estas condiciones se suma el hecho de que las viviendas fueron construidas de manera inadecuada, sin seguir criterios de ordenamiento territorial y, mucho menos, respetando lo indicado en la norma E.030 de Diseño Sismorresistente. Asimismo, en algunas ciudades las viviendas se asientan en laderas de cerros, ríos, cauces de quebradas secas y zonas de terrazas inundables sin medir su vulnerabilidad e incrementando el riesgo en dichas áreas.

A partir del año 2012 y dentro del Programa Presupuestal por Resultados N°068 “Reducción de la Vulnerabilidad y Atención de Emergencias por Desastres”, el Instituto Geofísico del Perú (IGP) viene realizando estudios de Zonificación Geofísica-Geotécnica para las diferentes áreas urbanas que se encuentran ubicadas en su mayoría a lo largo de la costa del Perú. Hasta el año 2018 se tiene un total de 48 localidades y/o distritos que cuentan con este estudio; Tacna, Moquegua, Arequipa, Chilca, Chimbote, Piura entre otros.

Para el área urbana de Talara, se ha recopilado estudios anteriores referentes a la geología, geotécnica, sísmica y geofísica realizados por diversos investigadores e instituciones. 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 refinera 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 del área urbana en el 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 del área urbana. 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 hidrocarbúfero 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, pérdidas en la agricultura, siendo los cauces de mayor drenaje las quebradas Pariñas, Santa Rita, Politécnico, Yale y Acholao, 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 y suelos 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, siendo poco compactos esta 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 varía entre 300, 375, 470 y 623 cm/seg² 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 lutáceas 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.

1.3.- 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 físicas y dinámicas del suelo. 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. 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).

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 de observaciones de campo y la toma de data in situ, para lo cual es necesario disponer de mapas catastrales actualizados de las zonas en estudio, así como los correspondientes a las zonas de futura expansión urbana.

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

1.4.- Zonificación, Norma Técnica E.030

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

- **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 S₄: Condiciones Excepcionales**, corresponde a suelos excepcionalmente flexibles y los sitios donde las condiciones geológicas y/o topográficas son particularmente desfavorables, en los cuales se requiere efectuar un estudio específico para el sitio. Será determinado con un Estudio de Mecánica de Suelos (EMS).

Tabla 1: 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:

$$V_{S30} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{d_i}{V_{Si}} \right)}$$

Donde:

d_i = espesor de cada uno de los estratos n.

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

Para este estudio, la Zonificación Geofísica - Geotécnica de las áreas urbanas se realiza en función de las características mecánicas, físicas y dinámicas de los suelos que conforman el terreno de cimentación del área de estudio y de las consideraciones dadas por la Norma E.030. En tal sentido y de acuerdo a los estudios realizados por el Instituto Geofísico del Perú (IGP), 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, desmonte heterogéneos, rellenos sanitarios.

Esta zonificación condiciona el tipo de estructura que se debe construir; es decir, el 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.



2.- METODOLOGÍA Y DATOS

El estudio de Zonificación Geofísica - Geotécnica para el área urbana de Talara se ha realizado con información recolectada en campo y con la aplicación de las metodologías que a continuación se describen:

2.1.- Método de Razones Espectrales (H/V)

El método de razones espectrales (H/V) fue propuesto por Nakamura (1989) para caracterizar la respuesta dinámica del suelo y en algunos casos, estimar su amplificación, ante la sollicitación sísmica. El método hace uso de registros de vibración ambiental que contienen información sobre las características físicas de los suelos en sus 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 a la ocurrencia de un sismo de gran magnitud.

La adquisición de datos en campo se realizó durante 6 días del mes de marzo del 2019. Durante este periodo se recolectaron 270 registros de vibración ambiental utilizando sensores Lennartz y registradores CityShark II (Figura 3). Los puntos de adquisición de datos se distribuyen espacialmente formando una grilla de puntos en el área urbana y zonas de expansión, con intervalos de 200 metros en promedio. Cada registro de vibración ambiental, tiene una duración de 15 minutos, lo cual permite disponer de buena cantidad de datos para su posterior análisis.

En la Figura 4, se muestra la disposición del equipo sísmico durante el registro de información, además de ejemplos de registros de vibración ambiental para sus tres componentes (vertical, E-O y N-S).

Para aplicar la técnica de razones espectrales H/V, se calcula la Transformada Rápida de Fourier para cada componente de registro a fin de obtener los cocientes espectrales y relacionar ambas componentes horizontales con la vertical (E-O/V; N-S/V). Finalmente, en cada espectro se procede a identificar la frecuencia predominante, para ello se considera picos y/o rangos con amplificaciones relativas de al menos 2 veces y que fluctúe en el rango de interés entre 0.5 a 20 Hz (Figura 5).



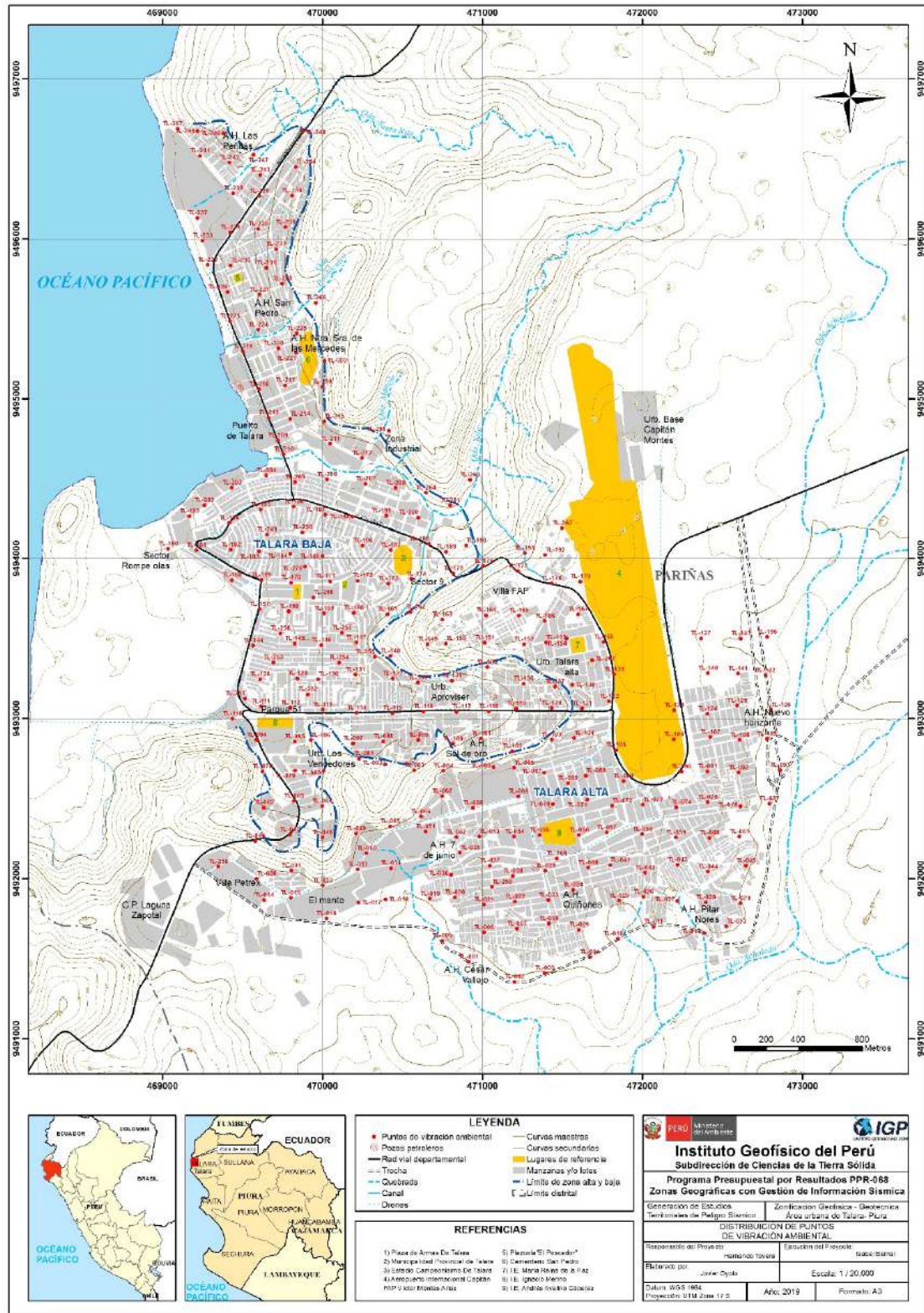


Figura 3. Distribución espacial de los puntos de registros de vibración ambiental del área urbana de Talara.

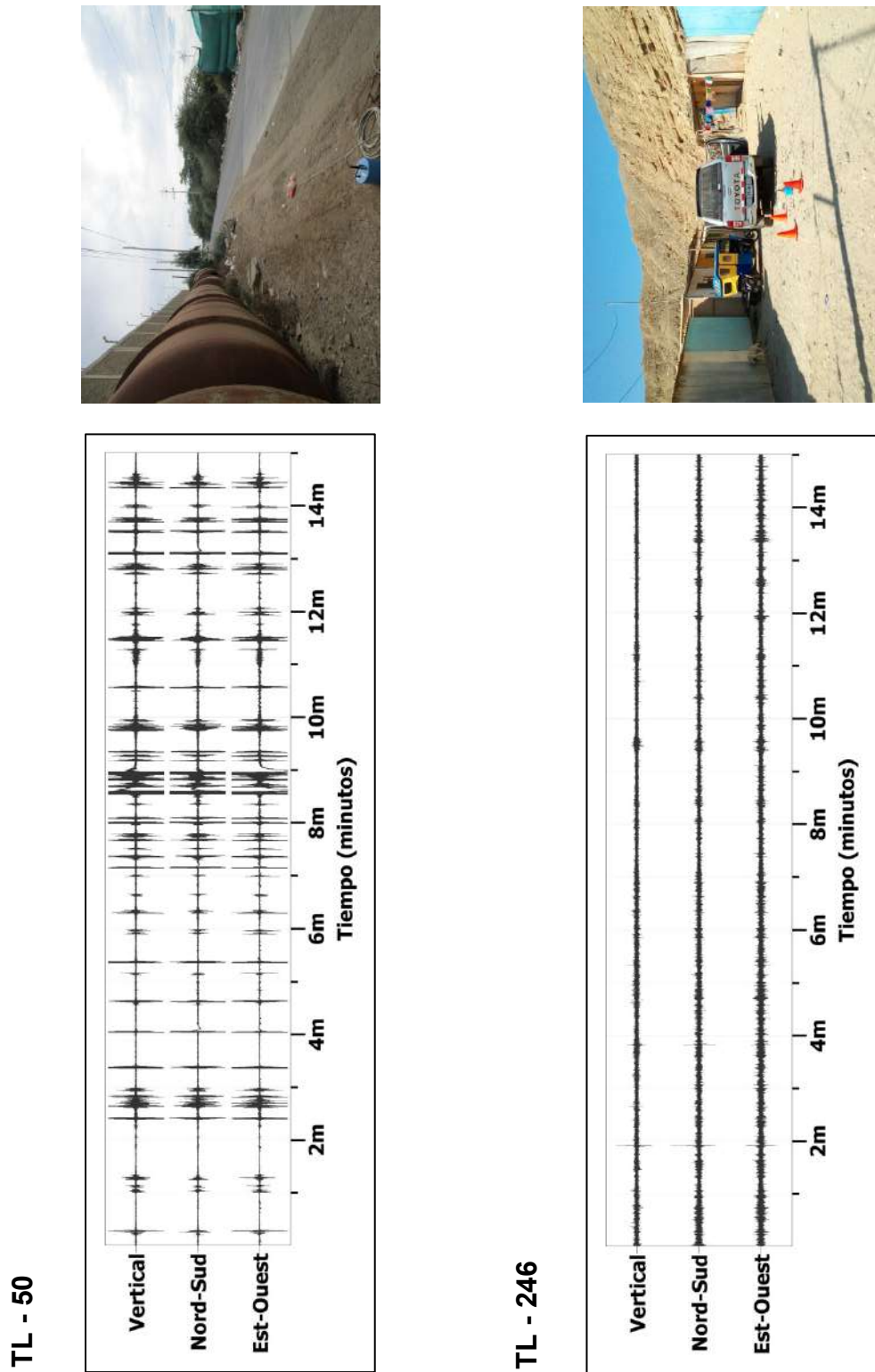
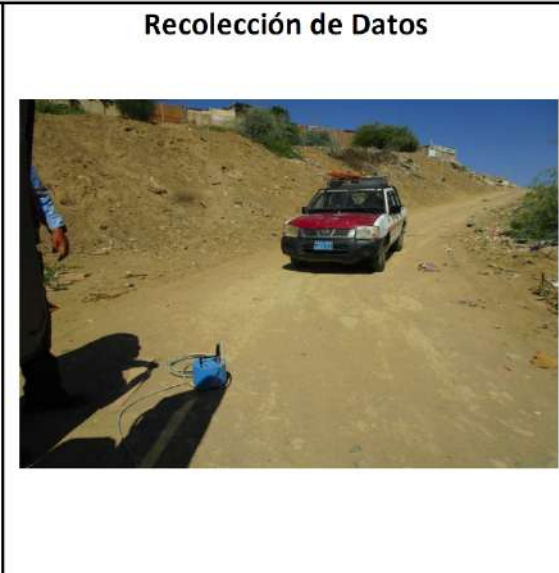
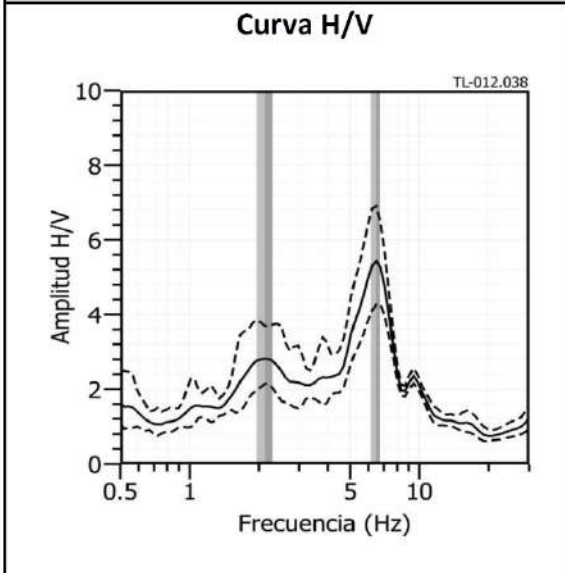
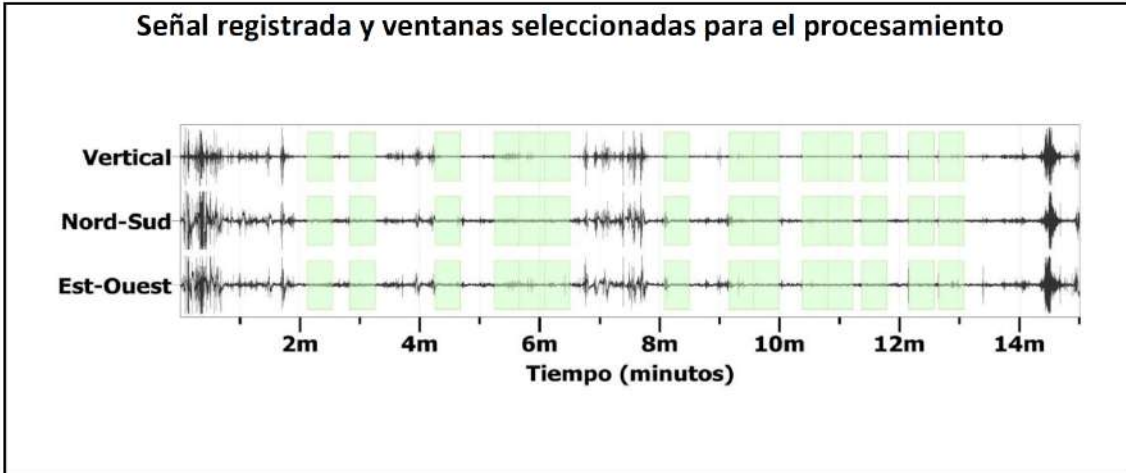


Figura 4. Ejemplos de la disposición del equipo sísmico para el registro de vibraciones ambientales. Ejemplos de registros de vibración ambiental obtenidos sobre una zona con ruido transitorio (TL-050) y otro con ruido de fondo constante (TL-246). Obsérvese las diferentes amplitudes de la señal registrada en cada punto.



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

TL-012



Interpretación de resultados

Dudoso	Pico(s) H/V (Hz)	f0	f1	f2
Ningún pico	<input checked="" type="checkbox"/>	2.13	6.46	-
Observaciones				
Var. azimutal	Homogénea	Amplitud max. Entre y°		

Figura 5. Ejemplo de la ficha H/V para el punto TL-012 en la cual se recopila la información registrada y analizada. Arriba, señal registrada; Medio; razón espectral (H/V) en línea gruesa y su desviación estándar en líneas discontinuas y Abajo resultados.



2.1.1.- Procesamiento y análisis

Para el análisis de la información sísmica se debe considerar los siguientes criterios: 1) Las frecuencias predominantes menores a 1.0 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 5, se muestra un ejemplo del análisis, procesamiento y resultados obtenidos para el punto TL-012. El registro es sectorizado en ventanas de 20 segundos y analizado individualmente, para luego obtener el promedio espectral para las curvas, y así identificar el rango de las frecuencias y/o periodos predominantes, que caracterizan al suelo bajo el punto de observación. También es visible el factor de amplificación del suelo ante la incidencia de las ondas sísmicas.

2.2.- Método de Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW)

El método sísmico de MASW permite determinar la estratigrafía del subsuelo bajo un punto, conocer los espesores de las capas y la velocidad de propagación de las ondas de corte (V_s) en el subsuelo. Este método permite analizar la dispersión de ondas superficiales (ondas Rayleigh) generadas por una fuente de energía impulsiva y registrada por arreglos lineales de estaciones sísmicas, tal como muestra la Figura 6.

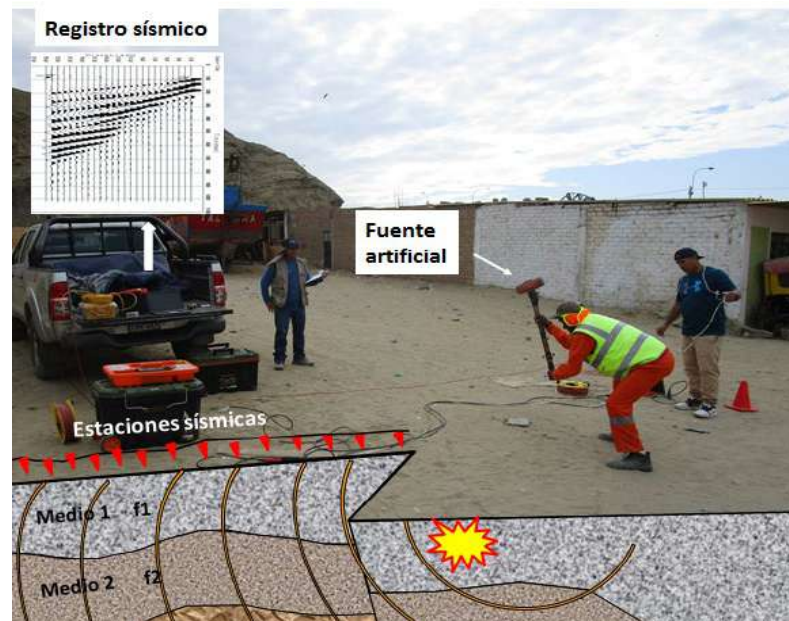


Figura 6. Generación de ondas Rayleigh con fuente artificial y su respectivo registro.



Para el registro de datos, según la técnica MASW se sigue el procedimiento y se utiliza un equipo sísmico modelo GEODE de Geometrics con 24 sensores o geófonos de baja frecuencia (4.5 Hz). Como fuente de impacto y/o energía para generar las ondas sísmicas se utiliza un martillo de 20 lb (Figura 7). Los parámetros de registro, tales como la geometría del tendido y el espaciamiento entre geófonos, fueron variables ya que dependió de la geomorfología de la zona de estudio y de la accesibilidad a los puntos seleccionados.

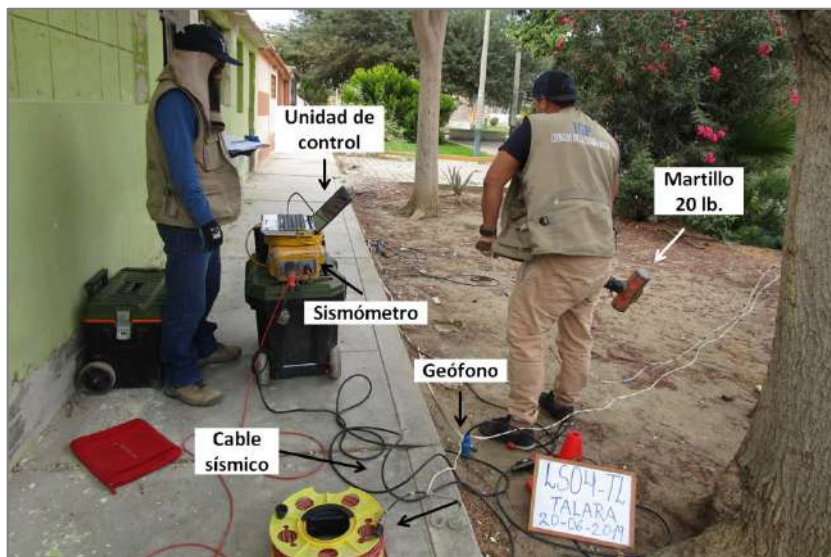


Figura 7. Equipos utilizados en la toma de datos según la técnica MASW.

En el área urbana de Talara se realizaron 13 arreglos lineales MASW codificadas como LS01-TL,... y LS13-TL (ver Tabla 2). La distribución espacial de estas líneas se muestra en la Figura 8.

Durante los trabajos de campo, los datos y/o sismogramas eran visualizados a fin de verificar su calidad de registro y los niveles de ruido de fondo. En la Figura 9, se muestra como ejemplo el registro obtenido considerando un golpe con martillo a 3 metros al final del arreglo lineal.



Tabla 2. Coordenadas y características de los arreglos lineales MASW realizados en 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		



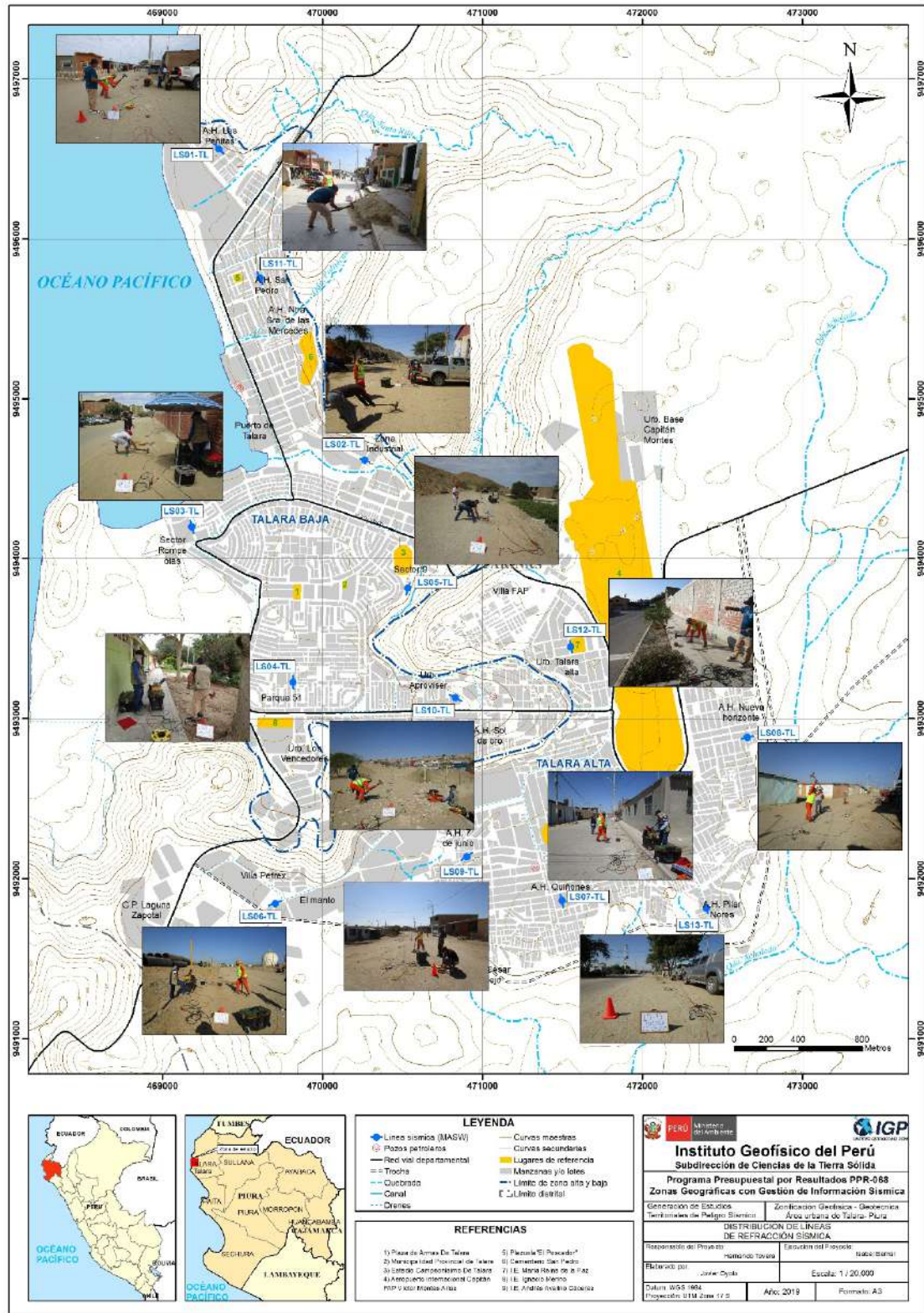


Figura 8. Distribución espacial de los ensayos MASW codificadas como LS01-TL,..., LS13-TL en el área urbana de Talara.

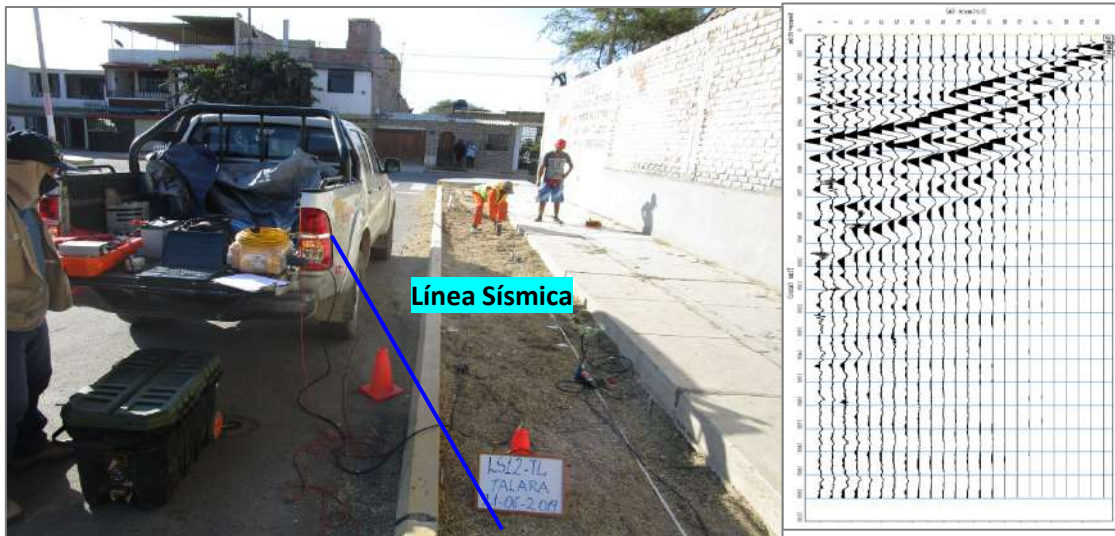


Figura 9. Disposición del equipo para la adquisición del registro sísmico.

2.2.1.- Procesamiento y análisis

Se procedió a aplicar la transformada rápida de Fourier (FFT) a los registros sísmicos obtenidos para cada punto de disparo (Reynolds, 2011), para luego tener como resultado, la imagen de dispersión de ondas que relaciona la velocidad de fase de las ondas superficiales con la frecuencia. Una vez obtenidas las curvas de dispersión, son sometidas de forma individual a un proceso de inversión, a fin de obtener los perfiles de velocidad V_s en una dimensión (1D), tal como se muestra en la Figura 10.

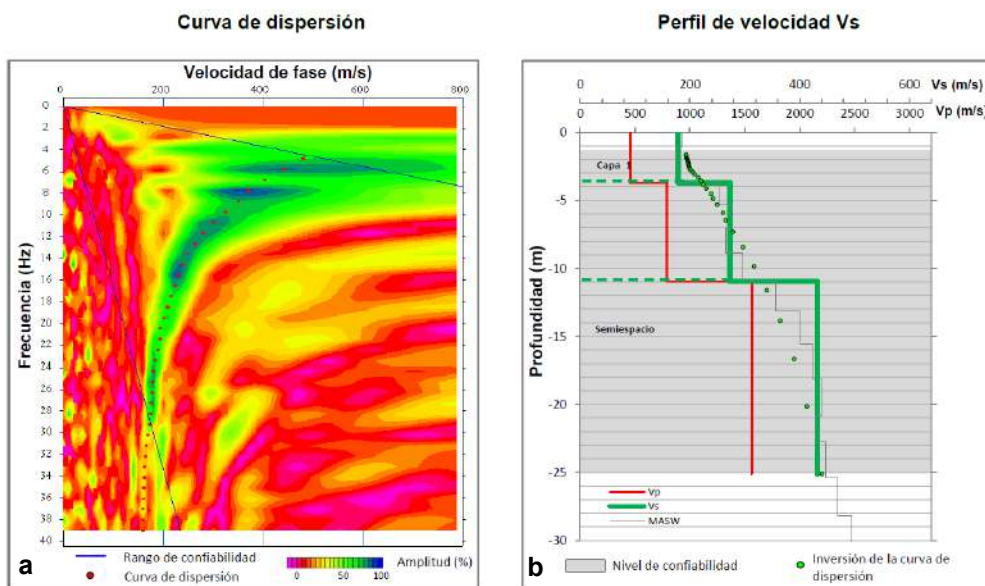


Figura 10. a) Curva de dispersión y b) perfil de velocidad obtenido a partir del ensayo MASW.



Para su análisis, se considera la clasificación de suelos según la Norma E.030 (2018). En este caso, el rango de velocidades para los perfiles de suelo S1 y S2, se subdividen a fin de considerar dos clasificaciones adicionales, ver Tabla 3. Asimismo, los valores obtenidos son representados con colores a fin de facilitar su interpretación.

Tabla 3. Clasificación de perfiles de suelo, según la norma E.030.

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

2.3.- Método de Tomografía de Resistividad Eléctrica (ERT)

El ensayo de ERT permite determinar las variaciones de resistividad y conductividad eléctrica en las rocas y suelos para conocer su grado de saturación. En general, los materiales que conforman el subsuelo muestran ciertos rangos de resistividad (ρ) al paso de la corriente eléctrica, y que pone en evidencia el contenido de agua, de sales disueltas en las fracturas de las rocas o en la porosidad del suelo.

Los datos recolectados en campo corresponden al registro de valores de resistividad obtenidos en 10 líneas de ERT distribuidas en la zona de estudio, tal como se observa en la Figura 11. El instrumental utilizado en campo corresponde a un Equipo de Resistividad / IP Syscal Pro de marca Iris Instruments. En la Tabla 4, se detalla las características de las líneas de ERT realizadas en la localidad de Talara. Para la instalación de los equipos y los tendidos de los cables para la adquisición de los datos, en algunos sectores se tuvieron limitaciones de acceso y de espacio.



Tabla 4: Coordenadas y características del ensayo ERT realizados en 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		



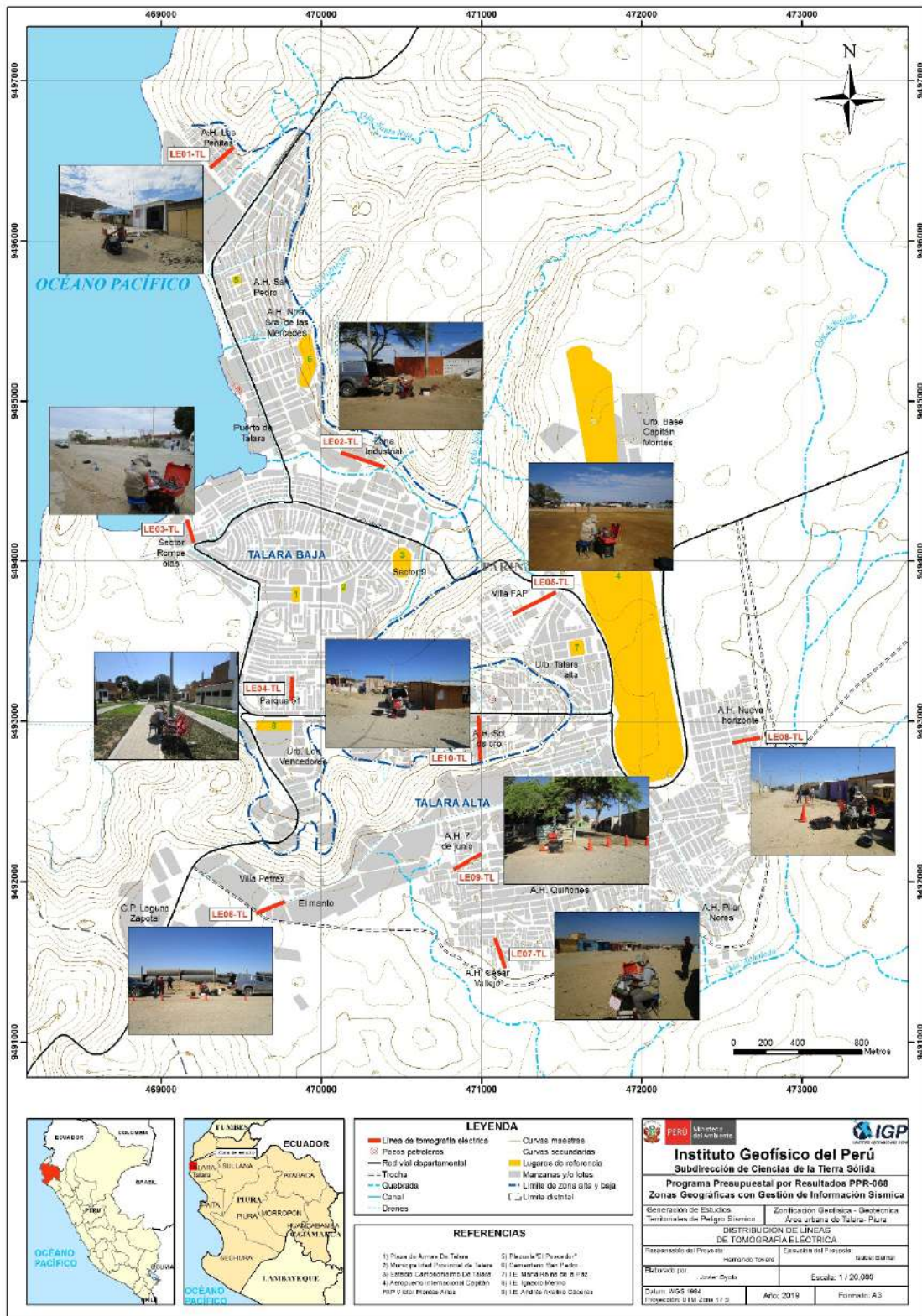


Figura 11. Distribución espacial de las líneas de tomografía eléctrica codificadas como LE01-TL,... LE10-TL en el área urbana de Talara.

2.3.1.- Procesamiento y análisis

Para realizar el procesamiento de los datos recolectados en campo, se selecciona aquellos con ausencia de ruidos que puedan alterar los resultados a obtenerse. Seguidamente, son corregidos por efectos de topografía usando algoritmos de inversión de datos geoelectricos y de procesamiento de imágenes.

Para el análisis de los resultados se debe tener en cuenta que son varios los factores que influyen en las características de los suelos (grado de saturación, porosidad y forma del poro, salinidad del fluido, tipo y composición de la roca, temperatura y procesos geológicos que afectan a los materiales); es decir, el incremento de fluidos en el terreno se verá reflejado por una disminución en los valores de resistividad. En la Tabla 5, se presentan algunos valores de Resistividad relacionados a los distintos tipos de suelos y rocas.

Tabla 5. Valores de resistividad de suelos y rocas presentes en la naturaleza (UNC, 2000).

Basamento. Roca sana con diaclasas espaciadas	>10000 Ωm
Basamento. Roca fracturada	1500-5000 Ωm
Basamento. Roca fracturada saturada con agua corriente	100-2000 Ωm
Basamento. Roca fracturada saturada con agua salada	50-100 Ωm
Gravas parcialmente saturadas	500-2000 Ωm
Gravas saturadas	300-500 Ωm
Arenas parcialmente saturadas	400-700 Ωm
Arenas saturadas	100-200 Ωm
Limos parcialmente saturados	100-200 Ωm
Limos saturados	20-100 Ωm
Limos saturados con agua salada	5-15 Ωm
Arcillas parcialmente saturadas	20-40 Ωm
Arcillas saturadas	5-20 Ωm
Arcillas saturadas con agua salada	1-10 Ωm
Ceniza volcánica seca	1000-2000 Ωm
Ceniza volcánica húmeda	300-1000 Ωm
Ceniza volcánica saturada	100-300 Ωm



3.- RESULTADOS

La correlación de los resultados obtenidos con el procesamiento y análisis de los datos recolectados en campo y la aplicación de diversos métodos geofísicos, ha permitido llegar a los siguientes resultados:

3.1.- Razones espectrales (H/V)

En el área urbana de Talara, los suelos responden a dos rangos de frecuencias predominantes: F_0 ($F \leq 3.0$ Hz) y F_1 ($F > 3.0$ Hz) con diferentes amplificaciones. A continuación se describe y analiza la distribución espacial de las frecuencias predominantes identificadas el área urbana de Talara.

3.1.1.- Frecuencias Predominantes

.- **Frecuencia predominante F_0** : Según la Figura 12, las frecuencias predominantes fluctúan principalmente entre 0.6 a 2.8 Hz, distribuyéndose de manera uniforme en la zona céntrica del área urbana y de manera dispersa hacia los extremos norte y sur.

En la Figura 13, 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 del área urbana, 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 responde 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.



Estudio de Zonificación Sismo-geotécnica del área urbana de Talara

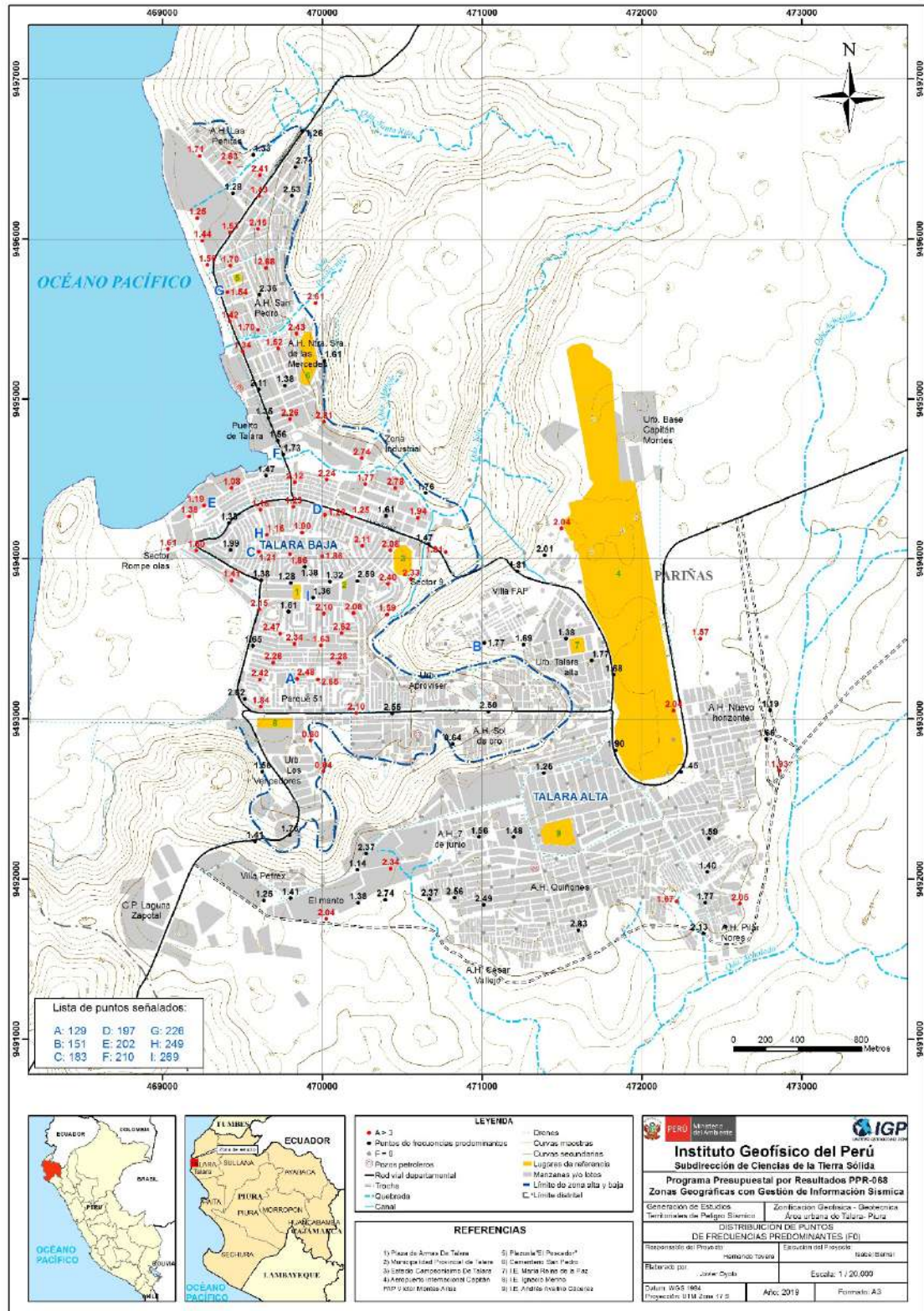
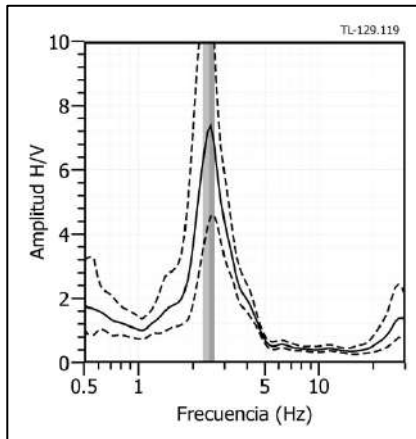
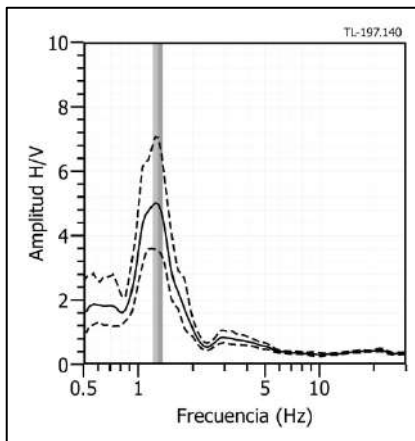


Figura 12. Distribución espacial de las frecuencias predominantes F_0 ($F > 3.0$ Hz). Los valores en rojo, corresponden a puntos con amplificaciones mayores a 3 veces. Las letras corresponden a los puntos cuyas razones espectrales son analizadas en el informe.

TL - 129



TL - 197



TL - 226

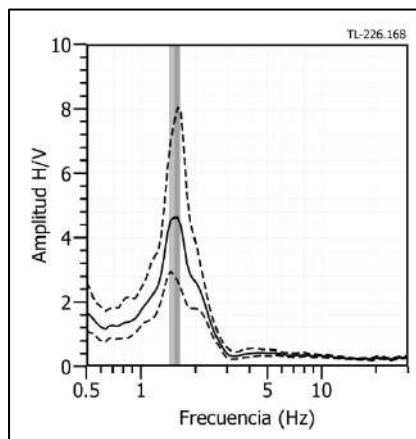
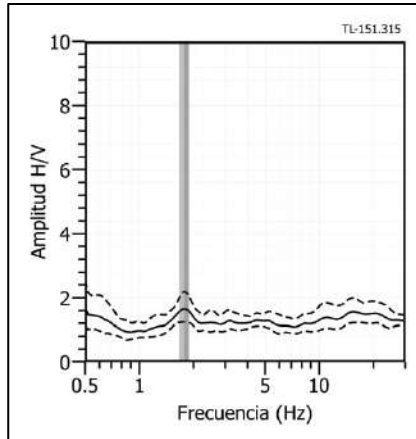


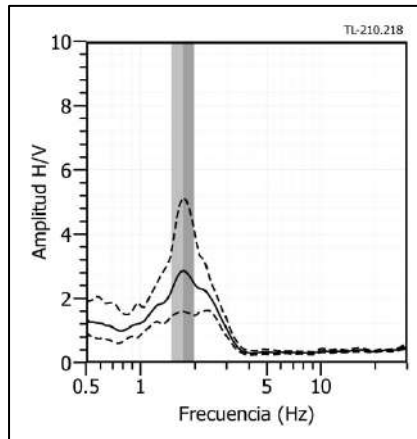
Figura 13. Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F_0 ($F \leq 3.0$ Hz): Para los puntos TL-129(A), TL-197(D) y TL-226(G), ubicados el primero y segundo en el centro de la ciudad por el parque 51 y por la Av. Bolognesi y el tercero al norte por el A.H. San Pedro Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.



TL - 151



TL - 210



TL - 269

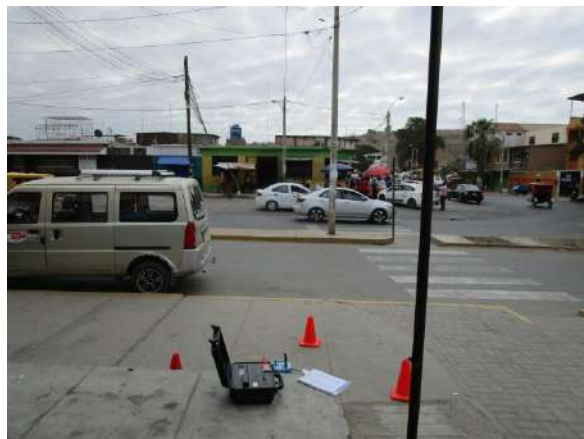
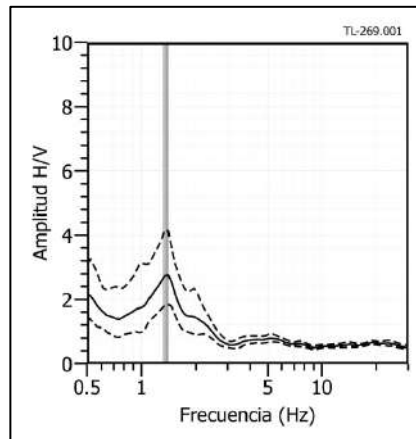
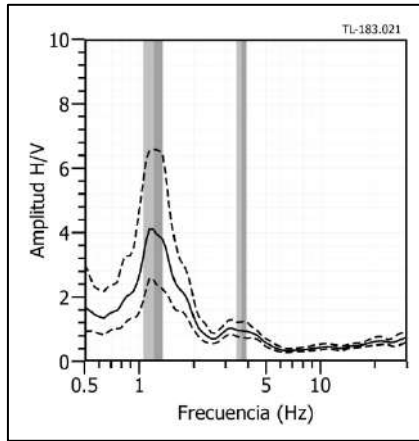


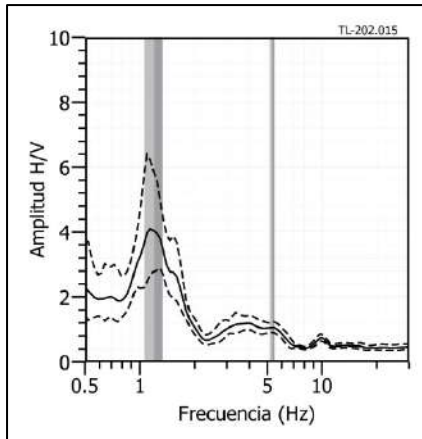
Figura 13. ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F_0 ($F \leq 3.0$ Hz): Para los puntos TL-151(B), TL-210(F) y TL-269(I), ubicados el primero por la Urb. Talara Alta, el segundo por el puerto de Talara y el tercero por la plaza de Armas. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.



TL - 183



TL - 202



TL - 249

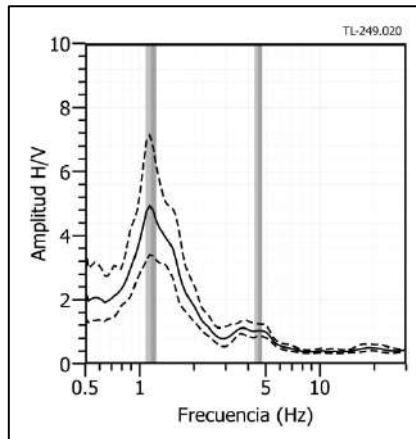


Figura 13. ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F_0 ($F \leq 3.0$ Hz): Para los puntos TL-183(C), TL-202(E) y TL-249(H), ubicados al noroeste de la plaza de Armas. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.



- **Frecuencia predominante F_1** : Muestra la distribución espacial de las frecuencias predominantes F_1 ($F > 3.0$ Hz). De acuerdo a la Figura 14, en este rango predominan frecuencias de entre 3.0 a 12.0 Hz, este rango de frecuencias está presente de manera uniforme al sur y este de la ciudad principalmente y de manera difusa al norte y centro. En la Figura 15, 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.



Estudio de Zonificación Sismo-geotécnica del área urbana de Talara

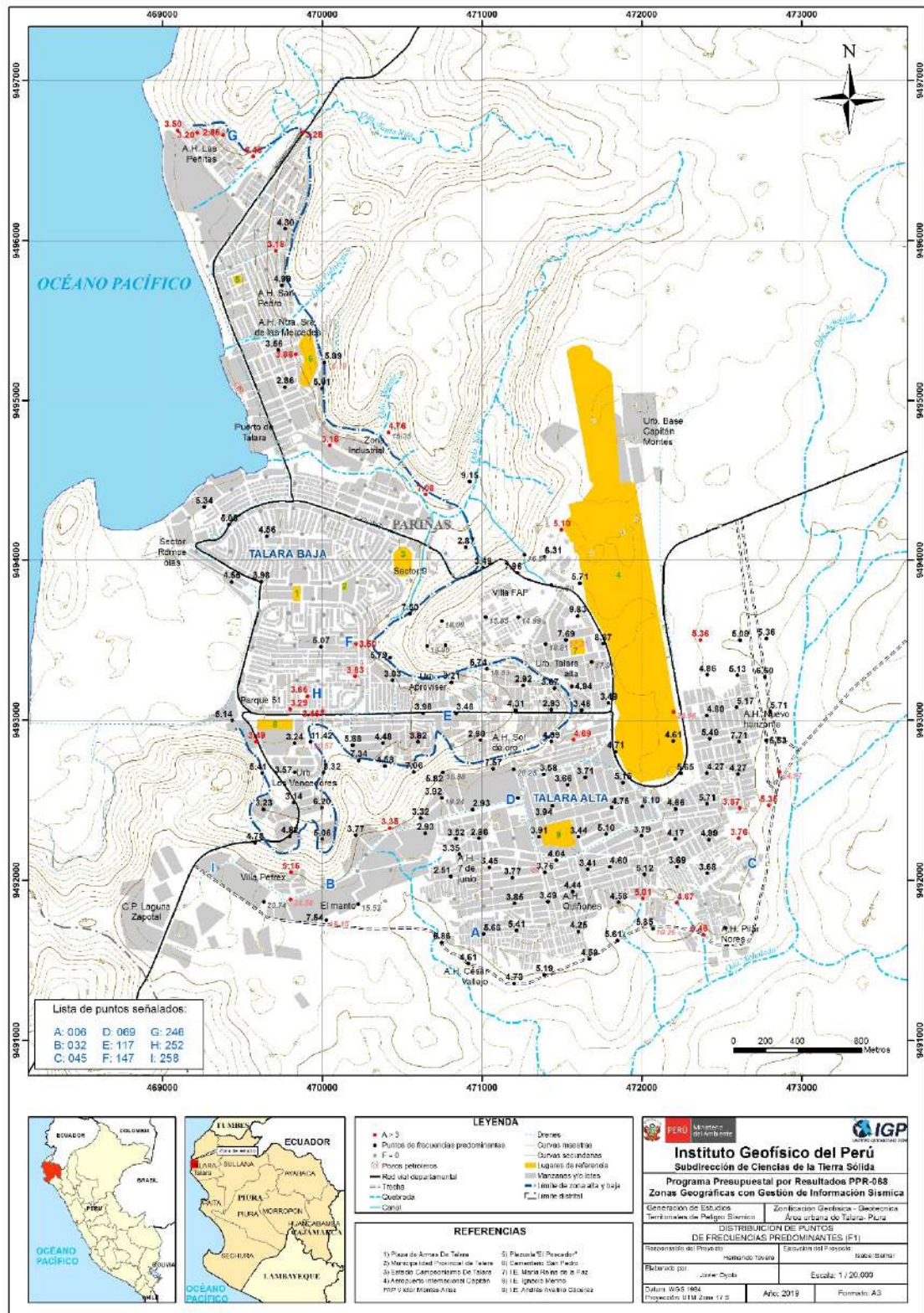
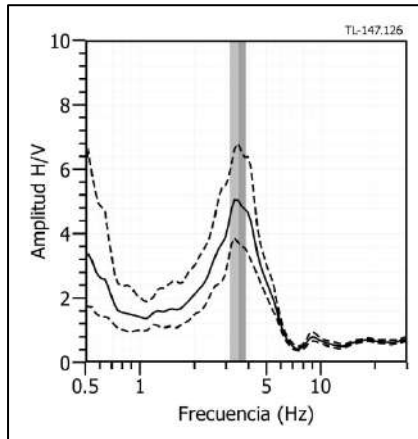
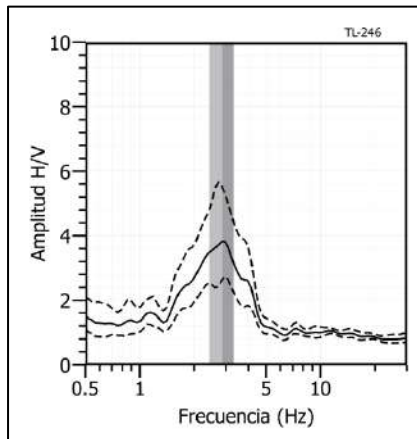


Figura 14. Distribución espacial de las frecuencias predominantes F_1 ($F > 3.0\text{Hz}$). Los valores en rojo, corresponden a puntos con amplificaciones mayores a 3 veces. Las letras corresponden a los puntos cuyas razones espectrales son analizadas en el informe.

TL - 147



TL - 246



TL - 252

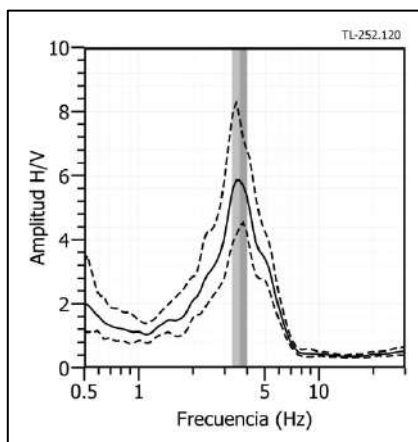
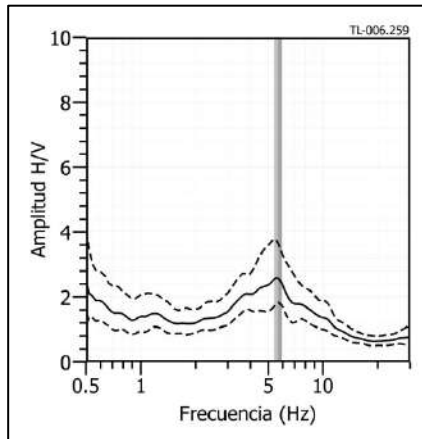


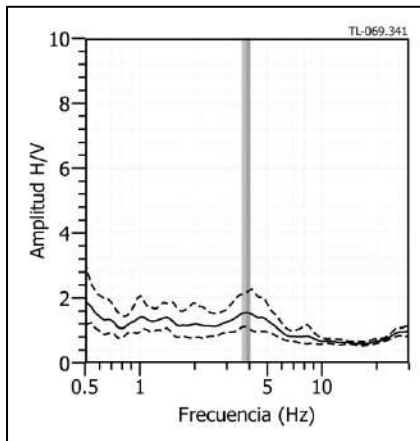
Figura 15. Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F1 ($F > 3.0\text{Hz}$): Para los puntos TL-147(F), TL-246(G) y TL-252(H), ubicados el primero y tercero al sur de la plaza de armas y el segundo en el A.H. Las Peñitas. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.



TL - 006



TL - 069



TL - 117

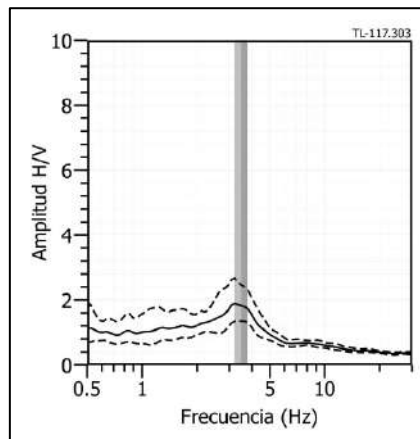
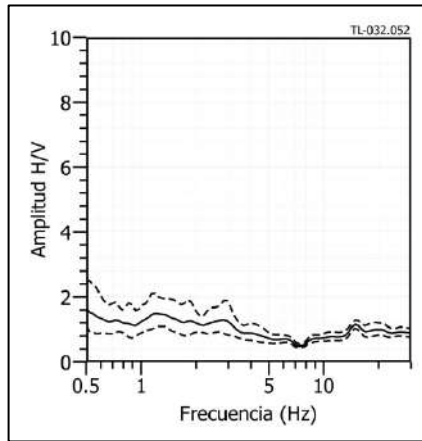


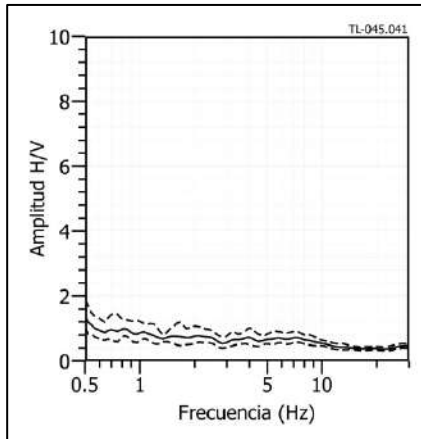
Figura 15. ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F_1 ($F > 3.0\text{Hz}$): Para los puntos TL-06(A), TL-69(D) y TL-117(E), ubicados al sur, el primero por el A.H. Cesar Vallejo, el segundo por el A.H. 7 de Junio y el tercero por el A.H. Sol de Oro. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.



TL - 032



TL - 045



TL - 258

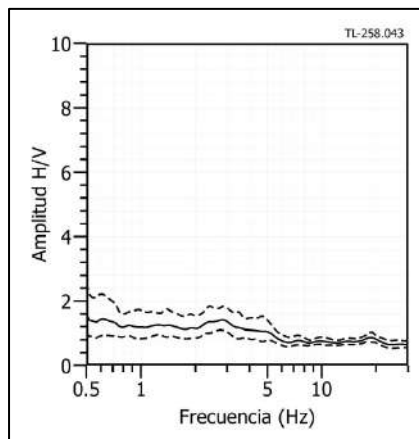


Figura 15. ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F_1 ($F > 3.0\text{Hz}$): Para los puntos TL-032(B), TL-045(C) y TL-258(I) ubicados al sur. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia 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, principalmente se distribuye de manera uniforme hacia los extremos Sur y Este del área de estudio (Talara Alta), con amplificaciones relativas menores a 3 veces, 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.

3.1.2.- Periodos Predominantes

Los valores de frecuencias fueron transformados a periodos dominantes a fin de construir el mapa el mapa de periodos. En la Figura 16, se muestra la distribución espacial de los valores de periodos dominantes para el área urbana de Talara, los cuales 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 de color gris claro y en rojo los puntos que presentan amplificaciones mayores a 3 veces.

El rango de periodos identificado en el área de estudio, varían desde 0.1 a 0.9 segundos, los cuales están distribuidos homogéneamente sectorizando área con periodos altos y bajos. Como primera área, existe el predominio de periodos de 0.1 segundos que se distribuyen en la Urb. Talara Alta y Villa FAP. Una segunda área presenta periodos en el rango de 0.2 y 0.3 segundos, que fueron identificados principalmente hacia el 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), ver Figura 23. Finalmente, los periodos altos mayores a 0.3 segundos son identificados en gran parte del 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), ver Figura 16. Asimismo, los periodos altos presentan amplificación mayor a tres veces, lo cual sugiere suelos 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 una capa superficial con espesores de 35 a 45 metros en Talara Baja (al centro y norte del área urbana); sin embargo, en la mayor parte de Talara Alta se presentan periodos cortos (0.2 y 0.3 segundos) asumiendo velocidades de 300 m/s y 350 m/s para las ondas de corte (V_s) se estima un espesor de la capa sedimentaria 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.



Estudio de Zonificación Sismo-geotécnica del área urbana de Talara

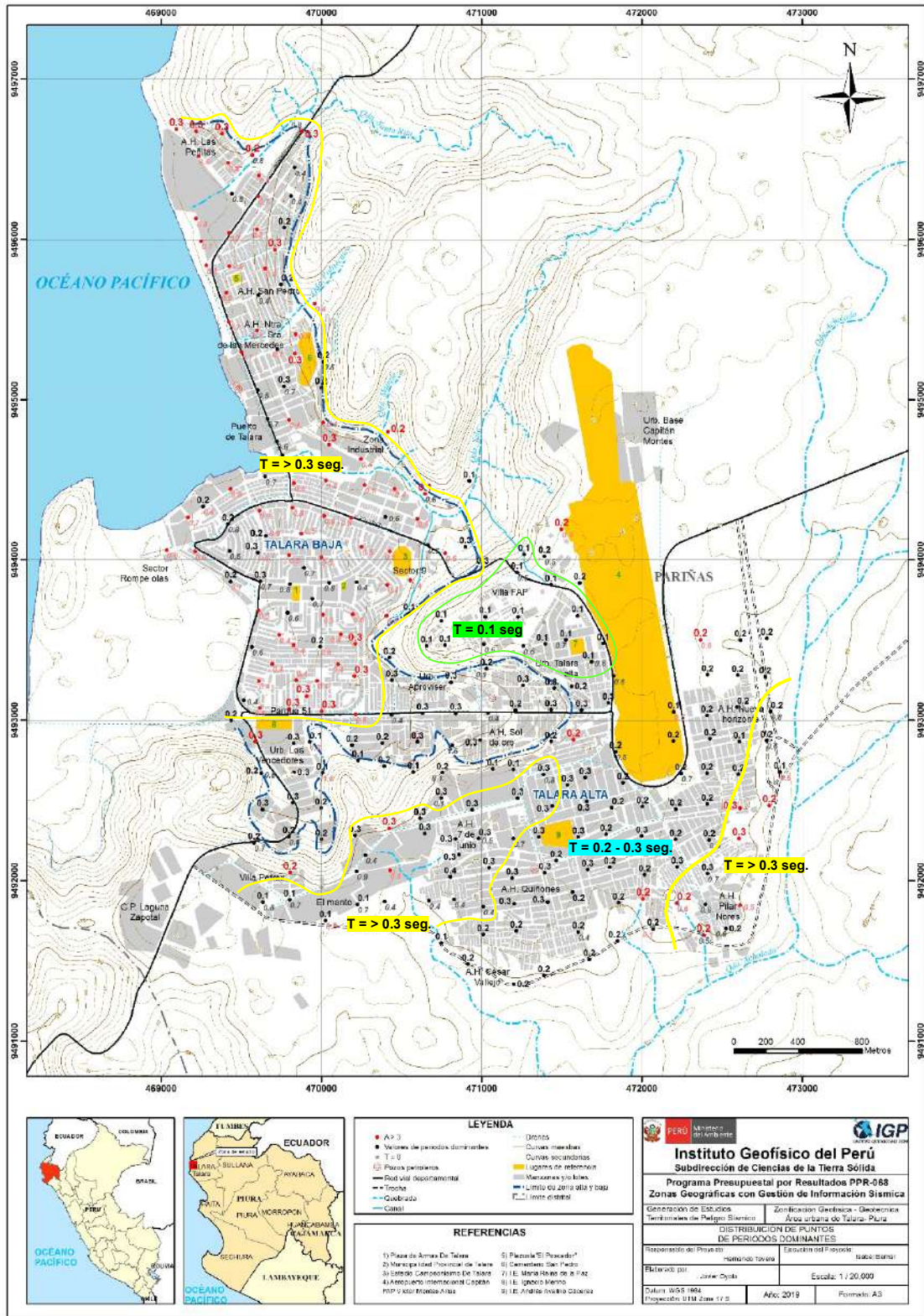


Figura 16. Mapa de la distribución espacial de los valores de periodos dominantes.

3.2.- Perfiles de MASW

En el área de estudio se realizaron 13 arreglos lineales a fin de identificar las velocidades de ondas de corte V_s confiables hasta los 30 metros de profundidad (07 arreglos en Talara Baja y 06 en Talara Alta). En la Figura 17, se presenta los resultados obtenidos para la línea LS01-TL y para el resto de perfiles, ver Anexo I.

Líneas sísmicas LS01-TL y LS02-TL: Ubicadas al norte del área urbana de Talara; en el A.H. Las Peñitas y zona Industrial, según la Figura 8. Se identifica una capa sísmica 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: Ubicado al norte del área urbana; en el A.H. San Pedro, según la Figura 8. 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 suelo moderadamente rígido. La superficie de contacto con el semi-espacio presenta velocidades $V_s > 472$ m/s, considera a suelo rígido.

Línea sísmica LS03-TL: Ubicada hacia el Oeste del Cercado de Talara, sector Rompe Olas, según la Figura 8. 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, el perfil investigado corresponde a suelo moderadamente rígido.

Línea sísmica LS04-TL: Ubicada en el Cercado de Talara, Parque 51, según la Figura 8. Se identifica dos capas sísmicas: la primera de 9 metros de espesor, con velocidad V_s de 138 m/s corresponde a suelo blando, la segunda capa, muestra velocidad V_s de 270 m/s con espesor de 9 metros corresponde a suelo moderadamente rígido. El semi-espacio presenta velocidades $V_s > 382$ m/s, considera a suelo rígido.

Líneas sísmicas LS05-TL y LS10-TL: Ubicadas en el Cercado de Talara, en el Sector 9 y en la Urb. Aproziser (Figura 8). Indican la presencia de dos capas de suelo: la primera de 5 a 9 metros de espesor con velocidad V_s entre 222 a 226 m/s, la segunda muestra velocidades V_s entre 275 a 287 m/s cuyo espesor varía entre 13 a 14 metros, ambas capas corresponden a suelo moderadamente rígido. La superficie de contacto con el semi-espacio presenta velocidades $V_s > 443$ m/s, corresponde a suelo rígido.

Línea sísmica LS06-TL: Ubicada en Talara Alta, en el Sector el Manto, según la Figura 8. Se identifica dos capas sísmicas: la primera de 5 metros de espesor, con velocidad V_s de 320 m/s corresponde a suelo moderadamente rígido, la segunda capa, muestra velocidad V_s de 430 m/s con espesor de 10 metros que junto con el semi-espacio, con velocidad $V_s > 368$ m/s, considera a suelo rígido.



Línea sísmica LS07-TL: Ubicada en Talara Alta, en el A.H. Quiñones (Sector 17), según la Figura 8. Se identifica dos capas sísmicas: la primera de 5 metros de espesor, con velocidad V_s de 357 m/s corresponde a suelo rígido, la segunda capa, muestra velocidad V_s de 265 m/s con espesor de 6 metros considera a suelo moderadamente rígido. La superficie de contacto con el semi-espacio presenta velocidades $V_s > 423$ m/s, corresponde a suelo rígido.

Línea sísmica LS08-TL: Ubicada al este de Talara Alta, en A.H. Nuevo Horizonte, según la Figura 8. Se identifica dos capas sísmicas: la primera de 4 metros de espesor con velocidad V_s de 189 m/s, la segunda con velocidad V_s de 258 m/s y espesor de 7 metros, ambas capas consideran a suelo moderadamente rígido. La superficie de contacto con el semi-espacio presenta velocidades $V_s > 489$ m/s, se considera como suelo rígido.

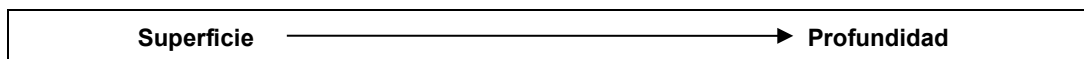
Línea sísmica LS09-TL: Ubicada en Talara Alta, en el A.H. 7 de Junio, según la Figura 8. Se identifica una capa sísmica de 11 metros de espesor con velocidad V_s de 257 m/s corresponde a suelo moderadamente rígido. El semi-espacio presenta velocidades $V_s > 380$ m/s, se considera como suelo muy rígido.

Línea sísmica LS12-TL: Ubicada al este del área de estudio, en la Urb. Talara Alta, según la Figura 8. Se identifica una capa sísmica de 5 metros de espesor con velocidad V_s de 343 m/s, corresponde a suelo moderadamente rígido. El semi-espacio presenta velocidades $V_s > 789$ m/s, se considera como suelo muy rígido.

Línea sísmica LS13-TL: Ubicada al sureste de Talara Alta, en el A.H. Pilar Nores, según la Figura 8. Se identifica dos capas sísmicas: la primera de 4 metros de espesor, con velocidad V_s de 179 m/s corresponde a suelo blando, la segunda capa, con velocidad V_s de 273 m/s y espesor de 7 metros se considera como suelo moderadamente rígido. La superficie de contacto con el semi-espacio presenta velocidades $V_s > 433$ m/s, corresponde a suelo rígido.



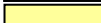
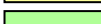


En la Tabla 6, se presenta el resumen de los valores obtenidos para los espesores de capas, velocidades V_p y V_s , así como las velocidades para la V_{s30} .

Tabla 6. Valores de espesor y V_s de los perfiles sísmicos obtenidos para el área de estudio.



Estudio de Zonificación Sismo-geotécnica del área urbana de Talara

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



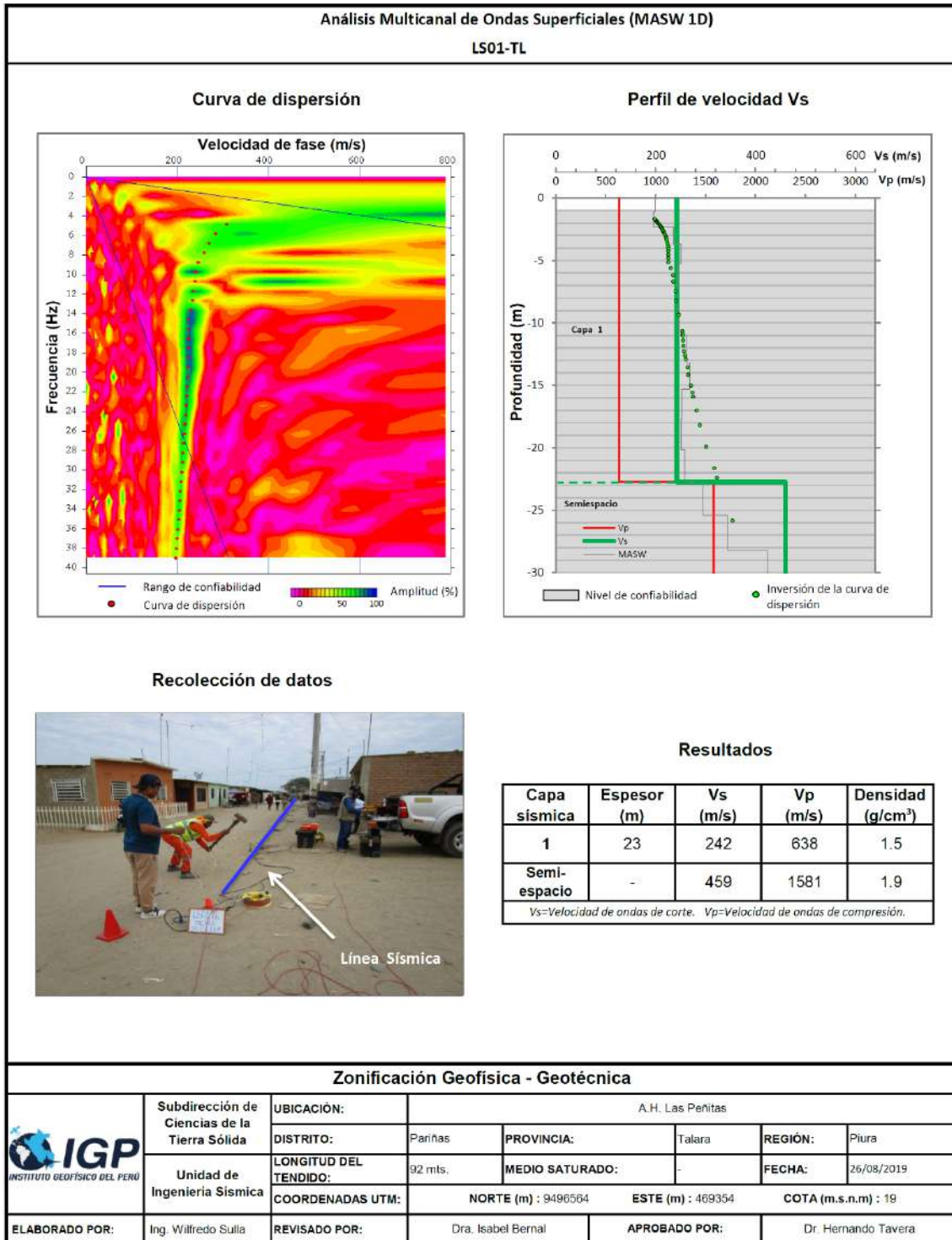


Figura 17. Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo lineal LS01-TL.

Finalmente, los resultados obtenidos definen principalmente 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:

Los resultados obtenidos en Talara Baja sugieren el predominio de suelos moderadamente rígidos en superficie, con espesores que varía en promedio de 18 a 25 metros, ver Figura 18. Por otro lado, el mismo tipo de suelo supera la profundidad investigada de 30 metros por el sector Rompe Olas (próximo a la zona de playa). De forma puntual, se ha identificado suelos blandos sobre el suelo predominante, distribuidos principalmente en el sector Parque 51 con espesor de 9 metros. Conforme incrementa la profundidad el grado de rigidez aumenta a suelos rígidos cuyo espesor supera la profundidad investigada.

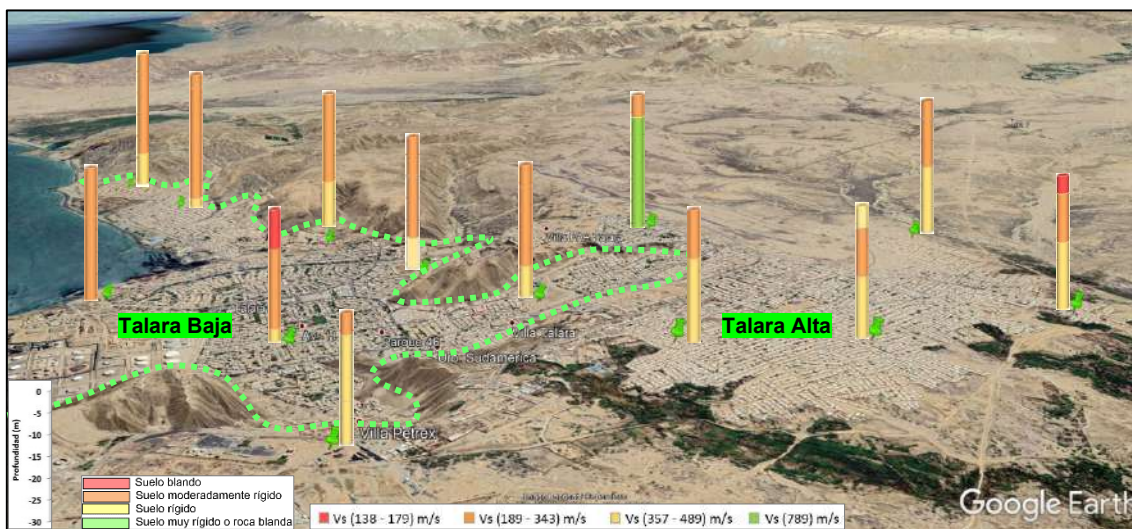


Figura 18. Distribución espacial de los perfiles del suelo sobre la superficie topográfica en el área urbana de Talara. Los puntos en verde representan la ubicación de los ensayos MASW

Los resultados en Talara Alta sugieren también el predominio de suelos moderadamente rígidos en superficie, pero de espesor variable entre 5 a 11 metros, siendo los menores por el sector El Manto y por la Urb. Talara Alta, pero en dirección este (A.H. Nuevo Horizonte), incrementa el espesor, según la Figura 8. Además, de forma puntual se presentan dos casos; la presencia de suelos blandos de poco espesor (4 metros) hacia el sureste (A.H. Pilar Nores) y la presencia de un suelo rígido (5 metros) sobre suelos moderadamente rígidos hacia el sur de Talara Alta (A.H. 7 de Junio), tal como muestra las Figuras 18 y 19. Conforme incrementa la profundidad corresponde a suelo rígido cuyo espesor supera la profundidad investigada. Solo en la Urb. Talara Alta se sugiere suelos muy rígidos en profundidad.

Los valores de velocidad Vs obtenidos en superficie se correlacionan con los depósitos marinos sobre el cual la mayor parte de Talara Baja se encuentra construida y los depósitos de conglomerado poco consolidado que se emplazan en Talara Alta. Por debajo sugiere depósitos consolidados constituidos principalmente de areniscas.





Figura 19. Secuencia litológica de un corte identificado próximo al ensayo LS05 (Sector 9, cercado).

3.3.- Perfiles de Tomografía Eléctrica

Se realizaron 10 líneas de tomografía eléctrica en el área urbana de Talara (04 perfiles en Talara Baja y 06 en Talara Alta), distribuida según la Figura 11. A continuación, se describe los resultados obtenidos con cada uno de los perfiles geoelectrónicos elaborados para la zona de estudio (Anexo II):

Las líneas **LE01-TL y LE02-TL** ubicadas en el extremo noroeste de Talara baja, en el A.H. Las Peñitas y la zona industrial, según la Figura 11. Se identifica el predominio de valores bajo resistivos a muy bajo resistivos ($<100 \Omega.m$), indica que el suelo presenta humedad y cuyo contenido aumenta en profundidad asociándose a los depósitos de origen marino. De manera puntual, en superficie aparecen valores medianamente resistivos (de 100 a 500 $\Omega.m$) lo que sugiere material poco húmedo característico de conglomerados y arenas de playa que son observados en superficie, tal como muestra la Figura 20. La línea **LE01-TL** al estar próximo al litoral se observa la interacción de las intrusiones marinas (Figura 20).

En estas líneas **LE03-TL y LE04-TL**, ubicadas al noroeste y sur del Centro Cívico de Talara Baja, sector Romoe Olas y el Parque 51, según la Figura 11. Se identifica el predominio de valores muy bajo resistivos ($<20 \Omega.m$), corresponden a suelos con alto contenido de humedad y están asociados a las arenas de origen marino, como indica en la Figura 20.



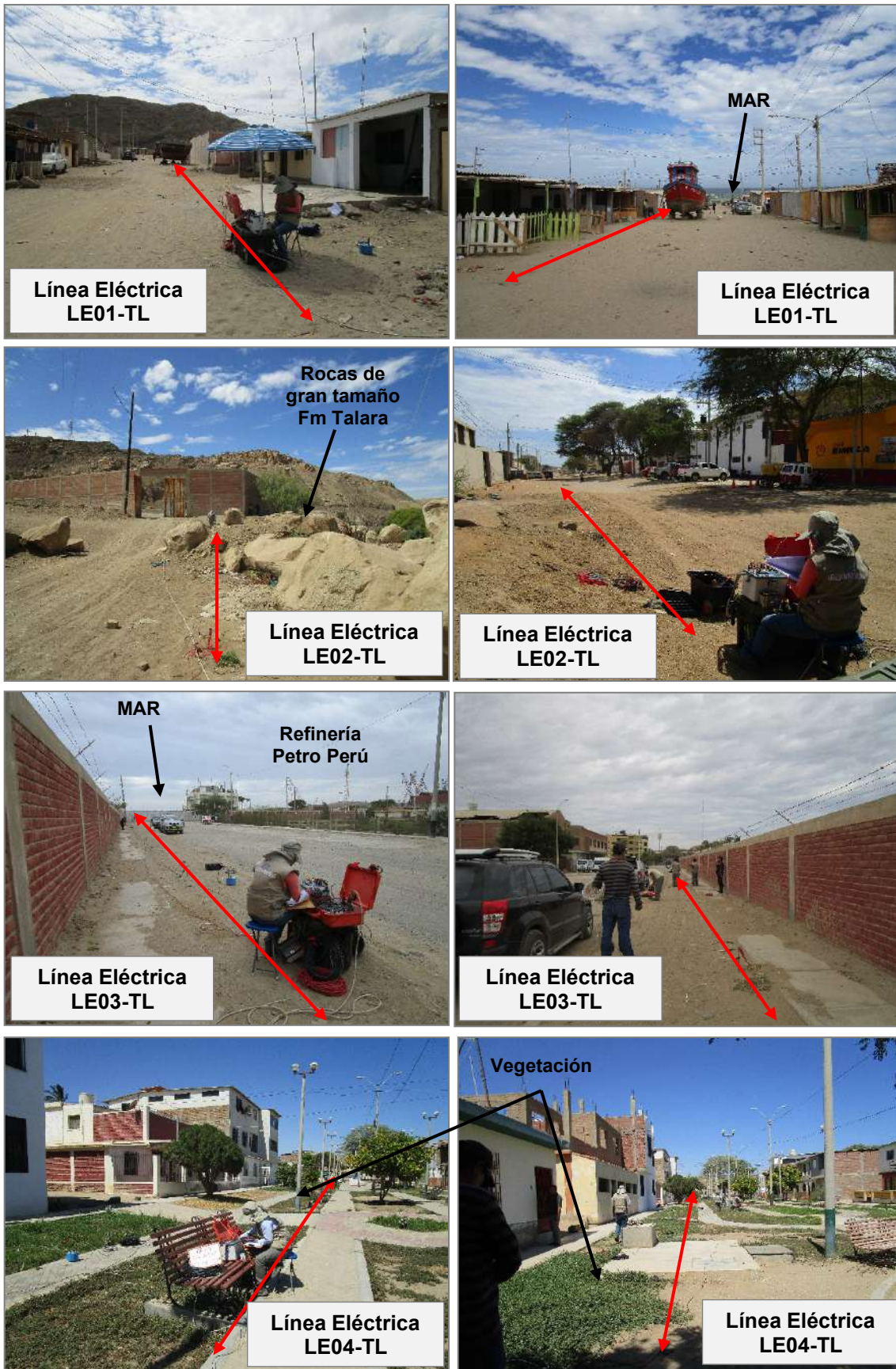


Figura 20. Vista de la línea eléctrica LE01-TL, LE02-TL, LE03-TL y LE04-TL.

Las líneas eléctricas **LE05-TL**, **LE07-TL**, **LE08-TL** y **LE09-TL** ubicadas en Talara Alta, en los sectores Villa FAP, A.H. Cesar Vallejo, A.H. Nuevo Horizonte y A.H. 7 de Junio (según la Figura 11). Se identifica valores bajo resistivos a muy bajo resistivos ($<100 \Omega.m$) desde pocos niveles de la superficie, esto sugiere 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. Y las líneas **LE07-TL** y **LE09-TL** estarían sobre la Formación Talara, que se compone de lutitas, conglomerados, areniscas cuarzosas, presentando contenido de humedad por la presencia de escorrentías y la actividad de las quebradas, ver Figura 21.





Figura21. Vista de la línea eléctrica LE05-TL, LE07-TL, LE08-TL y LE09-TL.

La línea **LE06-TL** ubicada en Talara Alta, en Villa Petrex, según Figura 11. Se identifica el predominio de valores bajo resistivos a muy bajo resistivos ($<100 \Omega.m$) desde superficie, sugieren suelos húmedos asociados a depósitos de arenas y conglomerados poco consolidados que conforman al Tablazo Talara (Anexo II). Por su proximidad al lote petrolero se debe considerar la existencia de oleoductos (gas y petróleo) en este sector, ver Figura 22.

La línea **LE10-TL** ubicada en el A.H. Sol de Oro, predominan los valores bajo a muy bajo resistivos ($<100 \Omega.m$), se asocia a depósitos de arenas recientes de origen marino, en la capa superficial se observan valores medianamente resistivos (100 a 500 $\Omega.m$) y correspondería a depósitos de material fino, ver Figura 22. A partir de los 15 metros de profundidad predominan los valores muy bajo resistivos ($<20 \Omega.m$), correspondiendo a medios saturados.

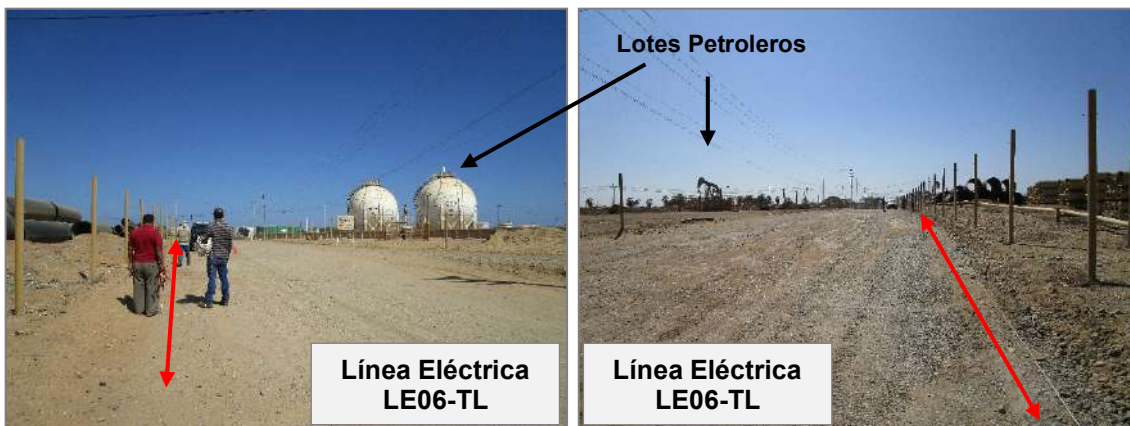




Figura 22. Vista de las líneas eléctrica LE06-TL y LE10-TL.

Geológicamente, el área de estudio se encuentra sobre material cuaternario y próximos a ellos existen afloramientos de areniscas y lutitas, pertenecientes a la formación Talara, 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 23, se presenta los resultados obtenidos para la línea LE01-TL y en el Anexo II, el resultado de las líneas restantes.



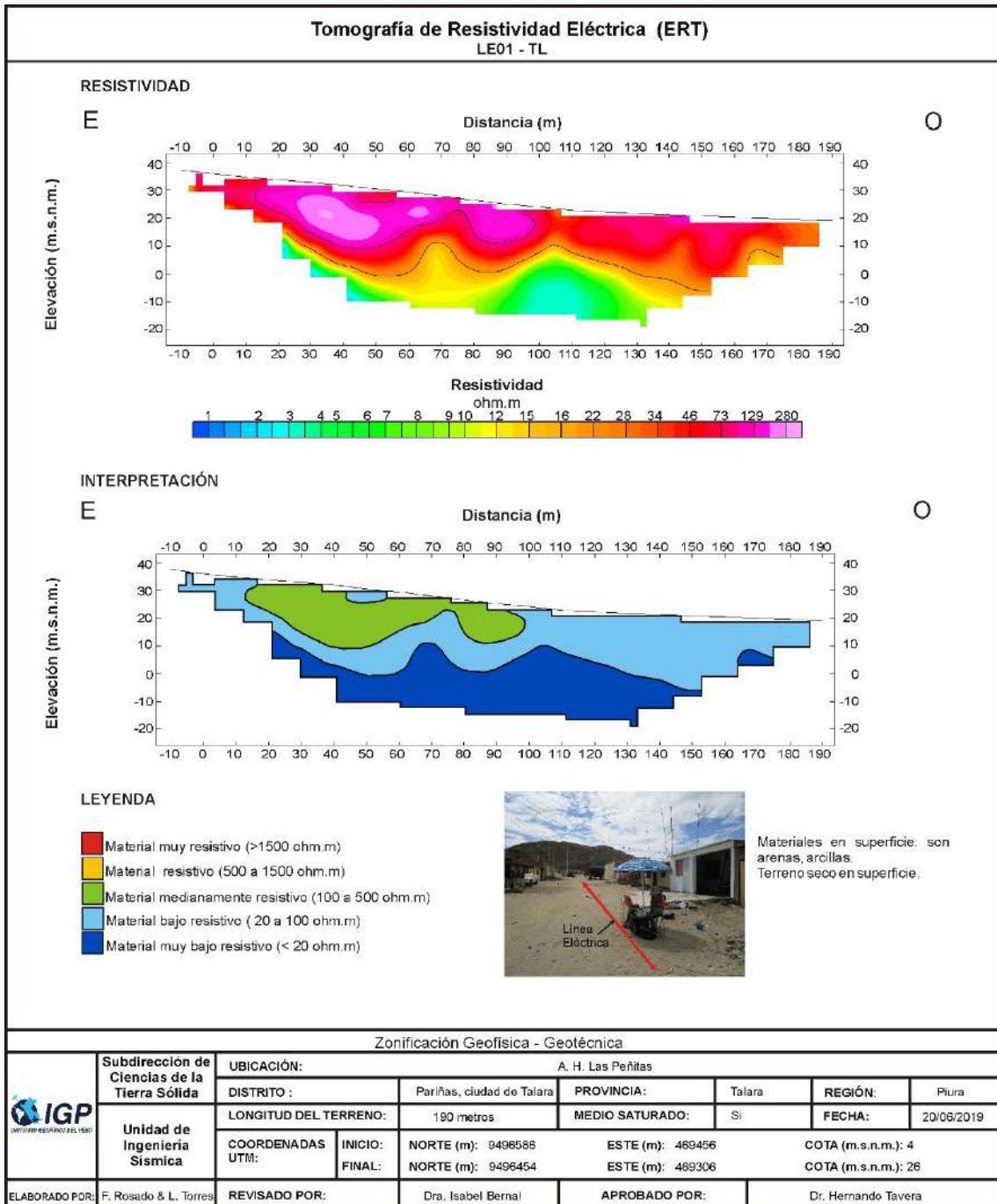


Figura 23. Resultado de tomografía de resistividad eléctrica para la línea LE01-TL.



Los resultados obtenidos en Talara Baja, sugieren 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, debido a la influencia de las intrusiones marinas y filtraciones producidas por escorrentía; mientras que, hacia el norte (A.H. Las Peñitas y la zona industrial), la existencia de quebradas que favorecen que el medio saturado se encuentre a partir de 5 metros de profundidad. El suelo está caracterizado por arenas no consolidadas que permiten el almacenamiento de agua subterránea, esto aumenta la posibilidad de producirse licuación de suelo durante la ocurrencia de un evento sísmico.

Por otro lado, Talara Alta presenta un medio parcialmente saturado cuyo suelo se encuentra caracterizado mayormente por conglomerado, arenas y finos. La presencia de vegetación hacia el sur (margen derecha de la quebrada Acholado), son indicios de contenido de humedad lo cual influye en su comportamiento dinámico.

De manera local, en los sectores Villa Petrex (Lote petrolero Graña y Montero) y el A.H. Sol de Oro no presenta humedad en superficie, sin embargo, por debajo de los 15 metros se observan el medio saturado.

Finalmente, el medio saturado en el área urbana de Talara se presenta desde pocos metros de la superficie (entre 3 a 5 metros), similares resultados también fueron identificados en el estudio realizado por INADUR, CEREN y PENUD (1999).



4. ZONIFICACIÓN GEOFÍSICA DE LOS SUELOS

El mapa de zonificación Geofísica se elabora en función de la integración de los resultados de los estudios geológicos, geotécnicos y geofísicos, con base en estos resultados, se delimita zonas con características físicas y dinámicas similares. Asimismo, el mapa de zonificación se realiza en función a la Norma de Construcción Sismorresistente E.030.

4.1. Integración de resultados

El área urbana de Talara situado próximos al Océano Pacífico, presenta una morfología variada que permiten separar el área de estudio en dos niveles topográficos; Talara Baja caracterizada principalmente por depósitos marinos y Talara Alta, por depósitos de 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 24):

TALARA BAJA.

Considerada el sector próximo a la orilla del mar, predominan en superficie suelos moderadamente rígidos ($V_s = 192 - 287$ m/s) con espesores que varían entre 18 a 25 metros. Estos suelos de grandes espesores, responden a periodos entre 0.3 a 0.9 segundos, se distribuyen de manera progresiva, siendo los mayores próximos a zona de playa y los menores en dirección Este. De manera local, por el Parque 51, se identifica suelos blandos de 9 metros de espesor sobre los suelos predominantes. Presenta suelos saturados desde niveles próximos a la superficie (3 a 5 metros), esto es debido a la influencia de las quebradas Yale, Mangle, Politécnico, Santa Rita, 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. Este último, también se mencionan en el estudio realizado por INADUR, CEREN y PENUD (1999), INDECI y PENUD (2010). En profundidad se emplazan los suelos rígidos cuyo espesor supera la profundidad de investigación.

De manera dispersa, los periodos menores a 0.3 segundos son identificados en áreas puntuales y próximos a pendiente abrupta (A.H. Las Peñitas, A.H. San Pedro y A.H. Ntra. Sra. de las Mercedes), el espesor del suelo es menor, pero se encuentran expuestos a escorrentías, caída de rocas, flujo de detritos, entre otros.

Los mayores amplificaciones del suelo se presentan en gran parte de Talara Baja, se encuentran 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 sufrirán aceleraciones que superen los



460 cm/s² para un periodo de retorno de 500 años (UNI y CISMID, 1992; IGP, 2014), lo cual es consistente con las características físicas identificadas en este estudio.

TALARA ALTA.

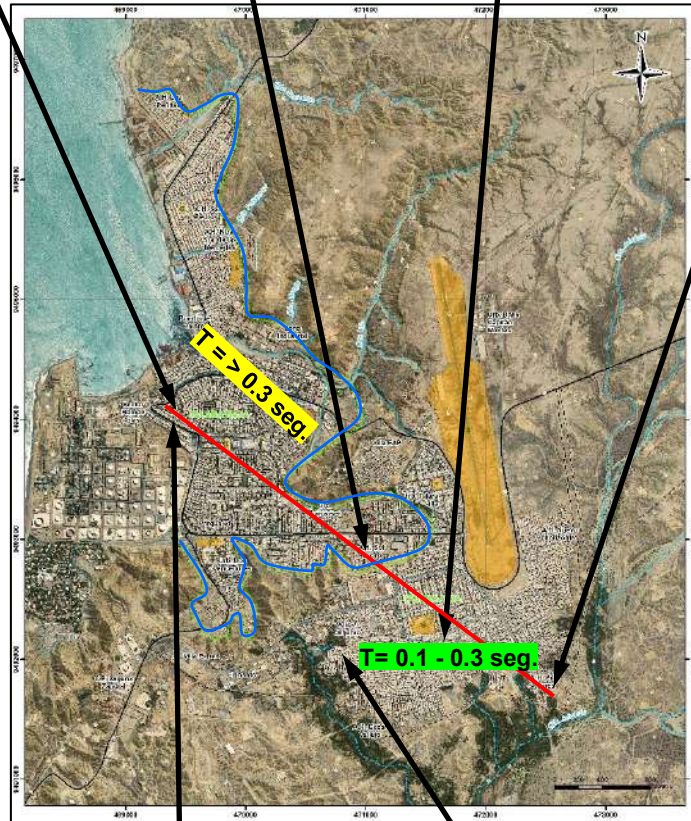
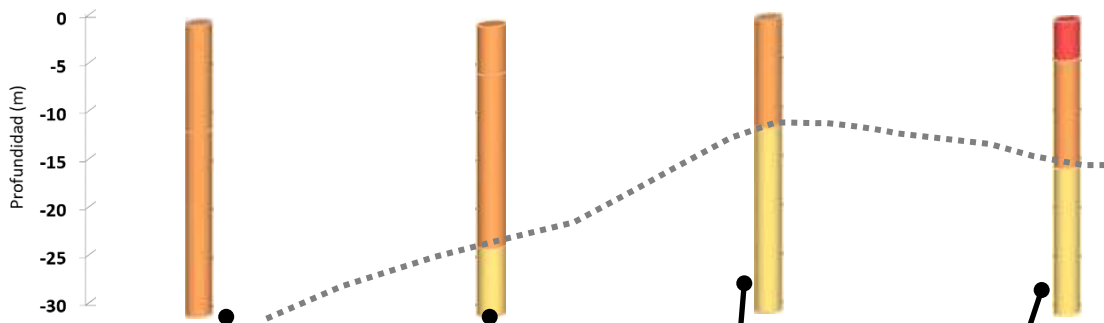
Considera el área que se encuentra al Sur y Este de Talara, predomina los suelos moderadamente rígidos en superficie ($V_s = 189$ a 343 m/s) con espesores que varían entre 5 a 18 metros, siendo los menores distribuidos por el sector El Manto, Villa FAP y la Urb. Talara Alta. Existe el predominio de periodos que varían entre 0.1 a 0.3 segundos y se distribuye por A.H. Cesar Vallejo, A.H. Quiñones, Urb. Talara Alta, A.H. Nuevo Horizonte y Villa Fap. Sin embargo, periodos mayores a 0.3 segundos son identificados por el A.H. 7 de junio, Villa Petrex, A.H. Pilar Nores y a lo largo de la margen derecha de la quebrada Acholado. Por debajo se encuentra el suelo rígido cuyo espesor supera la profundidad investigada (30 metros).

Suelos medianamente saturados son los que predominan en Talara Alta, lo cual es debido a la influencia de las quebradas Yale y Acholao y las 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 inundarse convirtiéndola inestable y susceptible a sufrir asentamientos, amplificaciones, el colapso de suelos y densificación del suelo (suelos antrópicos), tal como se menciona en el estudio realizado por CENEPRED (2017).

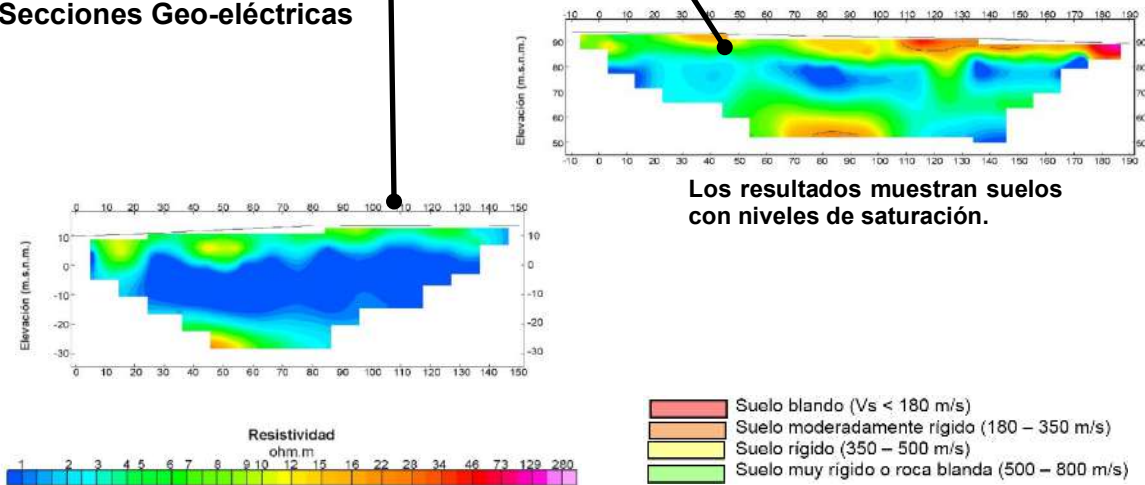
En general, el suelo al estar constituido de arenas, limos, acillas y a la existencia de saturación en niveles superficiales que, sumado a la ocurrencia de un evento sísmico de gran magnitud próximo a esta región, aumenta la probabilidad de generarse mayores amplificaciones y procesos de licuación. Por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



Perfiles de suelo (MASW)



Secciones Geo-eléctricas



Los resultados muestran suelos con niveles de saturación.

Figura 24. Mapa de la distribución de periodos dominantes y su relación con el espesor y tipo de suelo.



4.2. Mapa de Zonificación Geofísica

El mapa de Zonificación Geofísica para el área urbana de Talara, se elabora en función de la integración de los resultados de los estudios geológicos, geotécnicos y geofísicos. Las características dinámicas del suelo y sus propiedades mecánicas han permitido identificar en el área de estudio, de acuerdo a la Norma de Construcción Sismorresistente E.030, la existencia de suelos de Tipo S1, S2 y S4. Estos tipos de suelo corresponden a las Zonas I, II y IV respectivamente, donde el 60 % del área de estudio responde a periodos que varían entre 0.4 y 0.9 segundos.

Para el área urbana de Talara, se propone la siguiente zonificación Geofísica - Geotécnica (Figura 25).

- **ZONA I:** Considera los suelos más consolidados del área de estudio, constituido 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 a la profundidad investigada de 30 metros. El periodo de vibración natural varía entre 0.1 y 0.3 segundos, tiene un comportamiento rígido y es considerado como suelos Tipo S1 según la norma sismorresistente peruana; presenta suelos con 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 ubica al sureste de Talara Alta (I.E. Andrés Avelino Cáceres, Villa FAP, A.H. Nuevo Horizonte y A.H. Cesar Vallejo).

- **ZONA II:** Conformada por suelos consolidado, constituido por estratos de arenas y arcillas (depósito marino). Presenta velocidades de ondas de corte V_s de 220 m/s en promedio para la capa superficial y de hasta 472 m/s a la profundidad investigada de 30 metros. Tiene un comportamiento medianamente rígido, con periodos de vibración natural que varía entre 0.3 y 0.7 segundos, el nivel freático es superficial (3 metros) y según por el tipo de material explicado anteriormente, se clasifica como suelos Tipo S2 de acuerdo con la norma sismoresistente peruana; además; presenta suelos con 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 delimitan áreas que se encuentra influenciado por periodos largos que varían entre 0.8 y 0.9 segundos, comprende las zonas próximas al litoral, principalmente por el Sector Rompe Olas.

Sin embargo, 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 que su comportamiento comprende a suelos Tipo S4 de la norma sismoresistente peruana; se subdivide en:

- **Zona IVa:** Constituida por depósitos marinos y aluviales con alto contenido de humedad, corresponde a la zona de playa y las quebradas que desembocan al Océano Pacífico (quebradas Santa Rita, Politécnico, Mangle y Yale) las cuales son susceptibles sufrir grandes amplificaciones (ver Figura 25). Esta zona presenta baja capacidad de carga admisible ($< 1.0 \text{ Kg/cm}^2$), asimismo, puede generarse 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 25.

En las zonas I y II, las líneas inclinadas en rojo delimitan áreas donde los suelos presentan 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.

Las líneas inclinadas en negro delimitan áreas de muy baja amplificación ubicado en sectores de manera local, se sugiere que los suelos muestran mayor consistencia y por lo tanto menor el sacudimiento durante la ocurrencia de un evento sísmico.

En la Figura 6, se delimita con una línea discontinua, las zonas con niveles de inundación originada por lluvias intensas y/o el fenómeno El Niño en el año 2017. Estas zonas se encuentran ubicadas en el extremo sureste de Talara Alta.



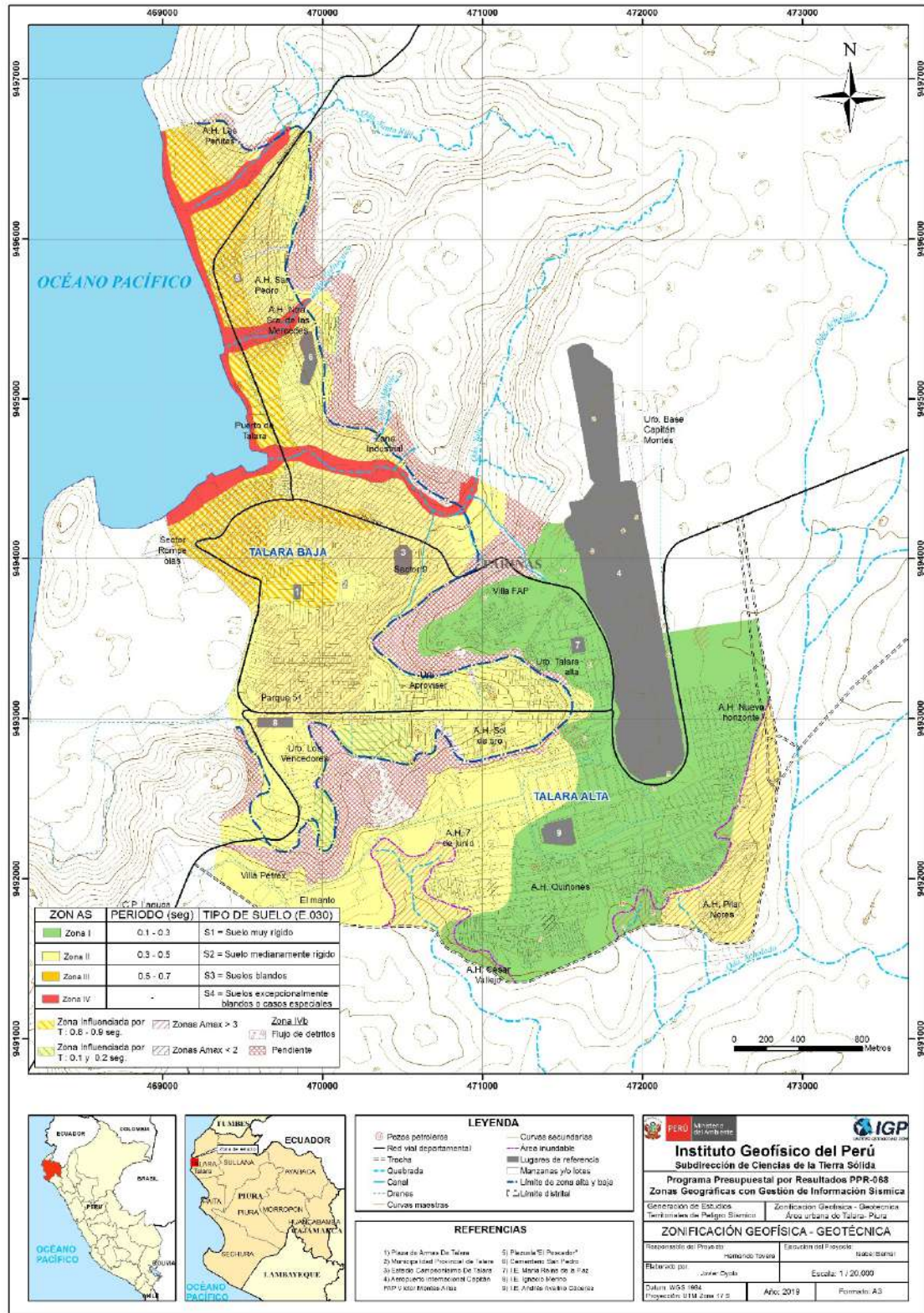


Figura 25. Mapa de Zonificación Geofísica – Geotécnica del área urbana de Talara.

9. CONCLUSIONES

- Talara se caracteriza por presentar seis unidades (geoformas) como son: 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 en mención. 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.

Además, la falta de un sistema de drenaje, en la construcción de vías de comunicación, favorecen la acumulación de las aguas pluviales principalmente, en los conos norte y sur de Talara.

Por otro lado, los tablazos constituidos por materiales meteorizados y predisuestas 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.

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.

- En base a los resultados de los ensayos geotécnicos y del laboratorio se ha determinado que los tipos de suelos presentes en la ciudad de Talara son seis (6), entre los que se tienen: 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 de las razones espectrales H/V, permiten mostrar que los suelos responden predominantemente a frecuencias de entre 0.3 a 2.8 en el cercado y extremo Norte de la ciudad y hacia los extremos Sur y Este, entre 3.0 a 12.0 Hz, con amplificaciones máximas relativas de hasta 4 veces.
- De los resultados obtenidos con el método sísmico, se identifica una capa superficial de suelos moderadamente rígidos (V_s 192 a 287 m/s) con espesores que varían entre 5 a 35 metros. Los mayores espesores, se identifica Talara Baja y hacia el sureste de Talara Alta. Por debajo presenta suelos rígidos ($V_s > 368$ m/s) cuyo espesor supera la profundidad de 30 metros. Solo en la Urb, Talara Alta el estrato profundo considera a suelo muy rígido.
- Los periodos de 0.1 a 0.3 segundos, se distribuyen principalmente en Talara Alta, mientras que periodos mayores a 0.3 segundos, predominan en Talara Baja, principalmente próximos a la orilla del mar (A.H. Las Peñita, A.H. San Pedro, A.H. Ntra, Sra. De las Mercedes y sector Rompe Olas). Los suelos con mayores amplificaciones se identifican en Talara Baja.
- 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 $T_0=4H/V_s$, donde 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 una capa superficial con espesores de 35 a 45 metros. Y al considerar V_s de 300 m/s y 350 m/s y T_0 de 0.2 y 0.3 segundos, se estima un espesor de la capa sedimentaria de 22 a 28 metros. Los resultados de este análisis sugieren que suelos de mayor espesor de la capa superficial del suelo se emplazan en Talara Baja y los menores en Talara Alta.
- Los suelos saturados en Talara, predominan 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. Por el predominio de suelos arenosos y alto nivel freático, ante la ocurrencia de un sismo de gran magnitud pueda experimentar el fenómeno de licuación del suelo, principalmente en el extremo Oeste de Talara Baja.
- Las áreas próximas al transcurso de las quebradas y la acción de las escorrentías (Sector de la refinería de Talara, Parque 51, A.H. Cesar Vallejo, A.H. 7 de junio), estas zonas 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 para el área urbana de Talara a partir de sus características físicas y dinámicas del suelo, han permitido identificar, de acuerdo con las consideraciones indicadas en la Norma de Construcción Sismorresistente E.030, la existencia de tres Tipos de suelos S1, S2 y S4.



10. RECOMENDACIONES

- Se debe realizar trabajos de limpieza y descolmatación de los cauces de quebradas y/o escorrentías, las cuales se encuentran en su mayoría canalizadas, así como, el mantenimiento periódico de las medidas estructurales ante la ocurrencia de inundaciones existentes en las quebradas Politécnico y Yale con la finalidad de contribuir en su propósito (ingreso de las aguas hacia la zona urbana).
- Realizar un adecuado mantenimiento de los drenes que evacuan las aguas del casco urbano, pues se ha evidenciado que éstos presentan en su interior desechos antrópicos y material orgánico.
- Se debe tener en cuenta que los suelos en la ciudad de Talara presentan dos características importantes, la primera es que están conformados por arenas mal graduadas, arenas limosas de compacidad relativa sueltas a muy sueltas, la segunda es la capacidad portante de los mismos, la cual es baja a muy baja, esto podría contribuir a la ocurrencia de asentamientos.
- Para suelos de cimentación con capacidad de carga portante muy baja, es decir, menor a 0.5 kg/cm^2 se debe considerar un mejoramiento de éstos mediante la aplicación de mezcla aglomerante, sustitución y compactación dinámica (modificación de la humedad del suelo). En suelos arenosos con presencia de nivel freático y zonas de inundación de podría reforzar con columnas de gravas para mitigar el problema de licuación y asentamientos.



11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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, pag. 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 tsunamis, 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 Oreman (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. Quaterly 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, Piura11-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.
- Tarbuck, E., D. Lutgens, F., K., (2005) - Ciencias de la Tierra. Una introducción a la Geología Física Pretince Hall. Cap16. 8a edición. 710 pp.
- Tavera, H., 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



ANEXO I

Perfiles Sísmicos MASW



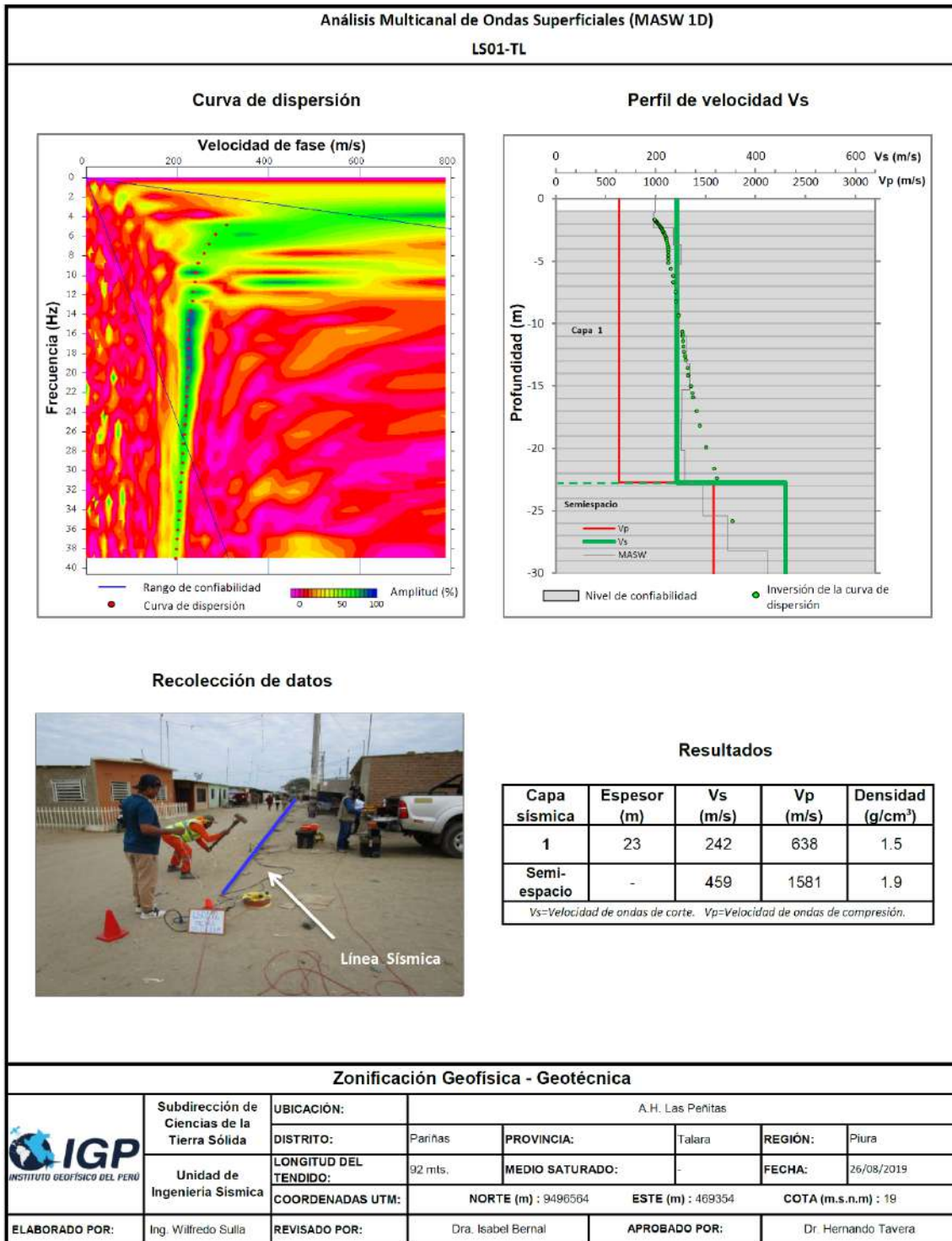


Figura 16. Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo sísmico LS01-TL.

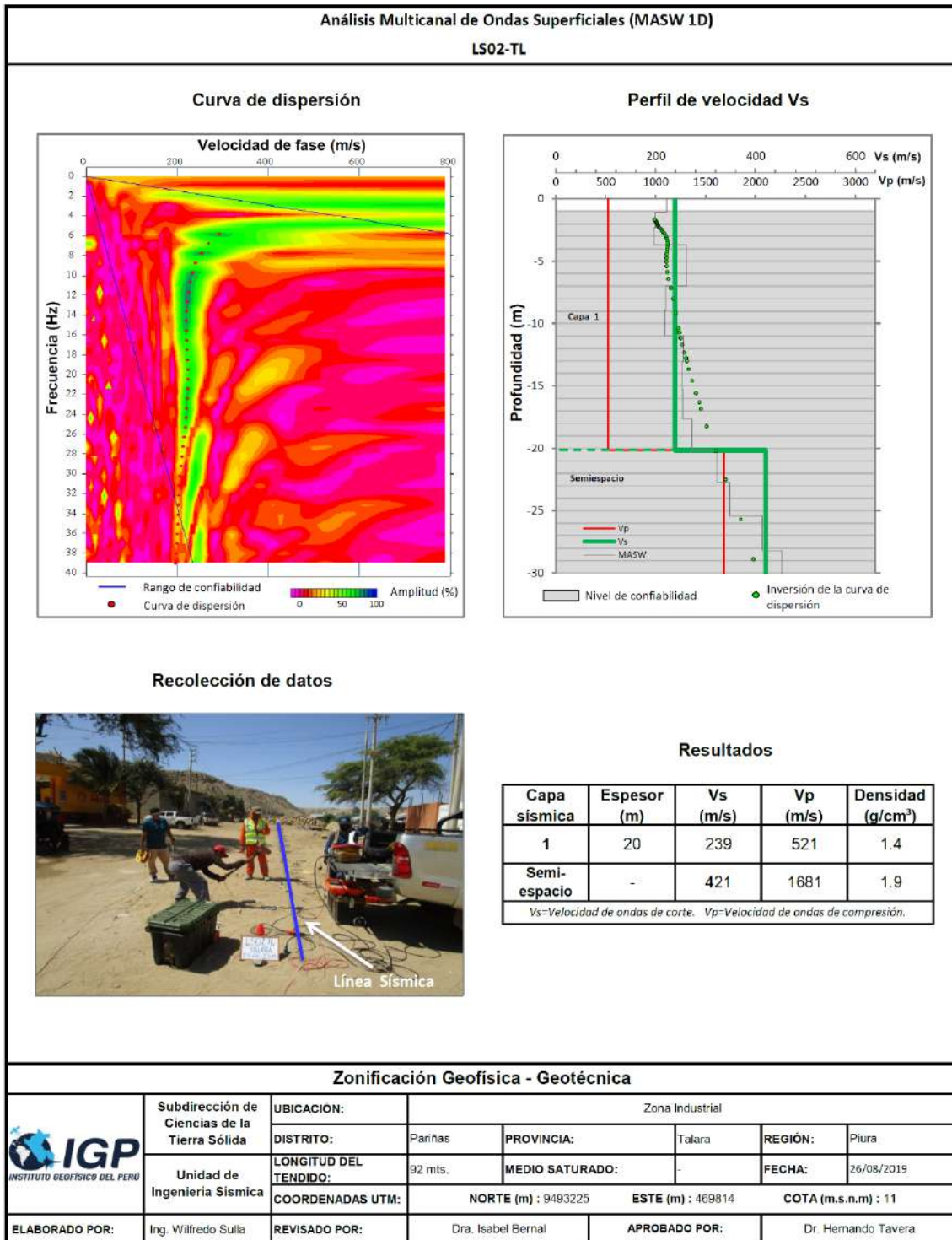


Figura 16. ...Continuación.../ Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo sísmico LS02-TL.

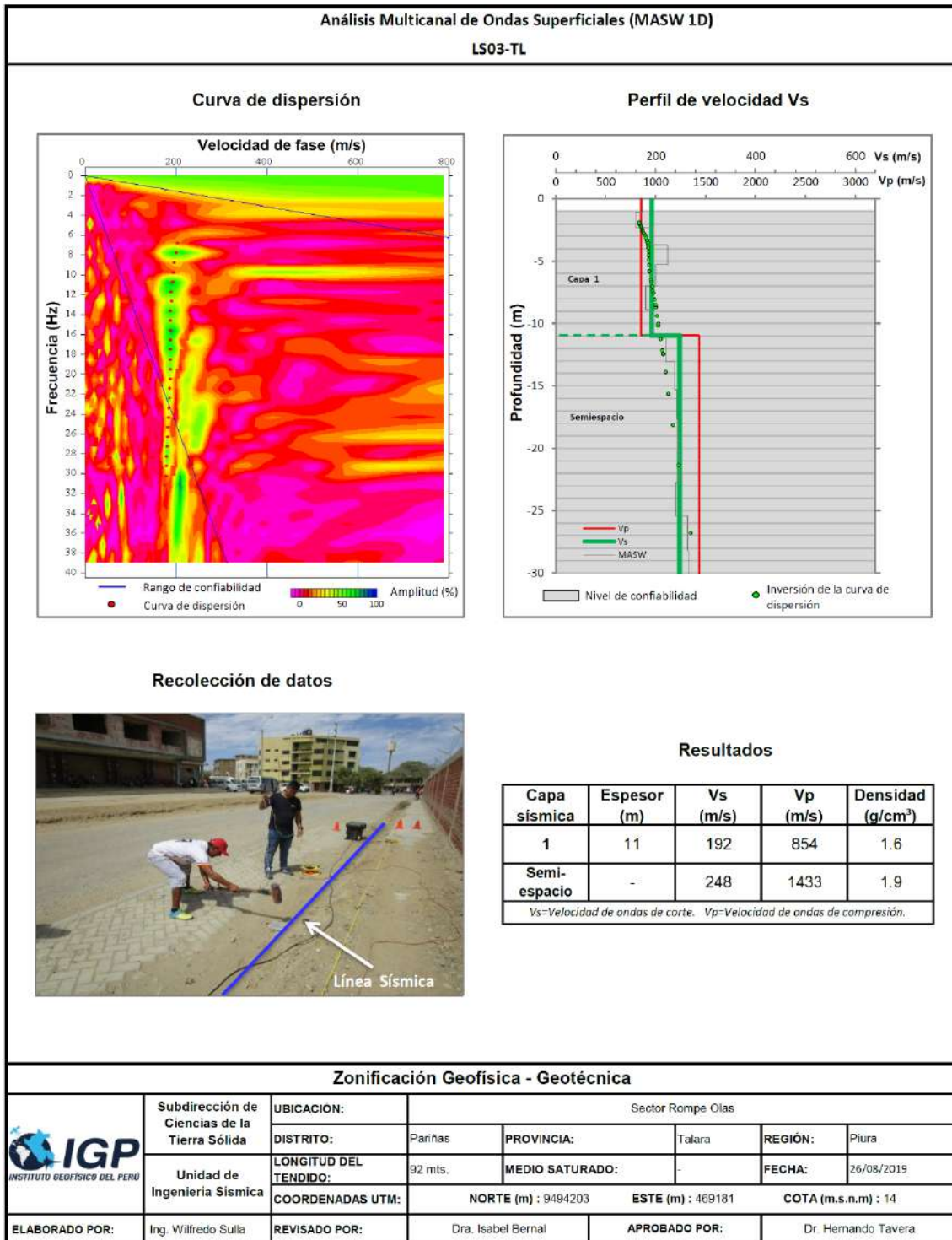


Figura 16. ...Continuación.../ Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo sísmico LS03-TL.



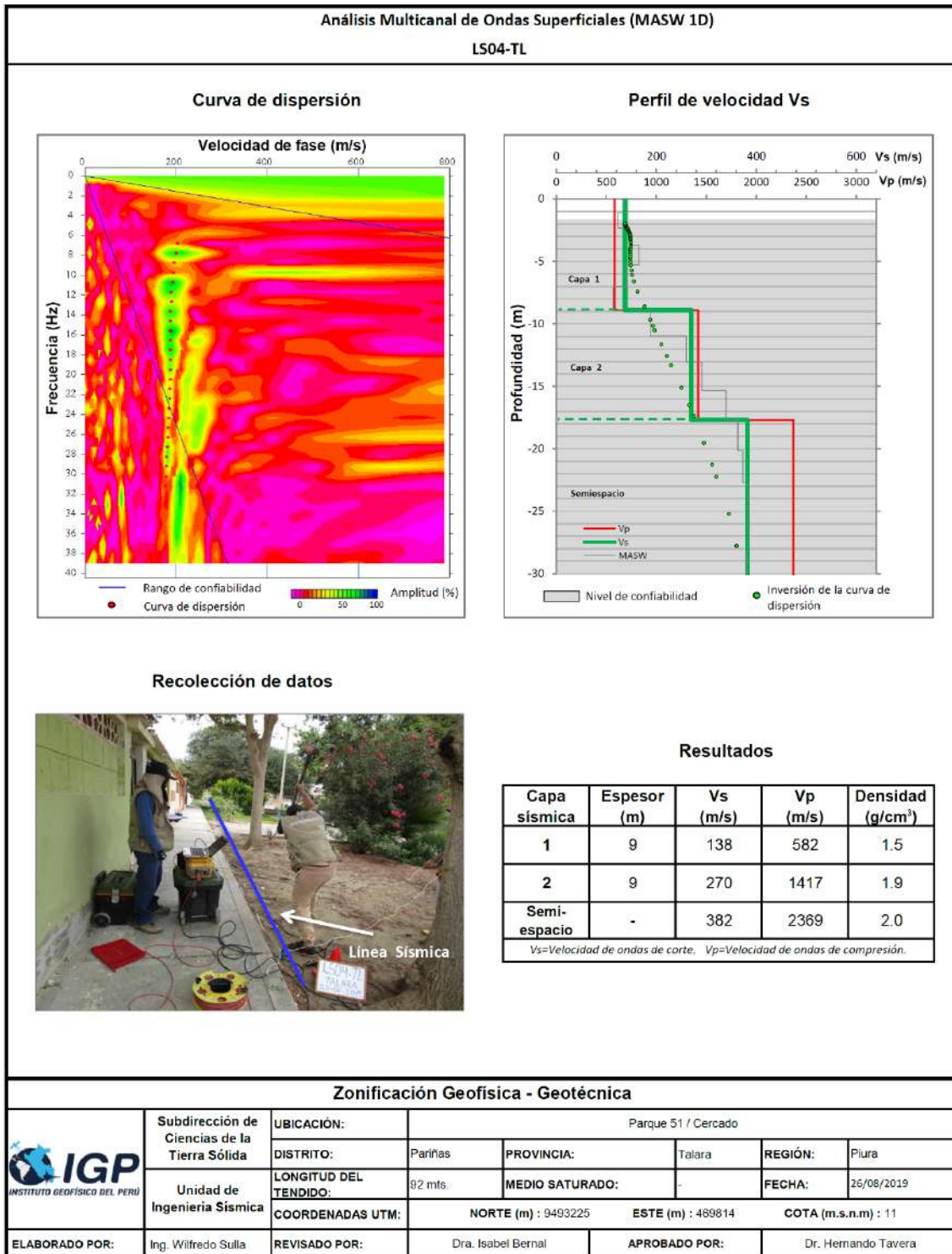


Figura 16. ...Continuación.../ Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo sísmico LS04-TL.

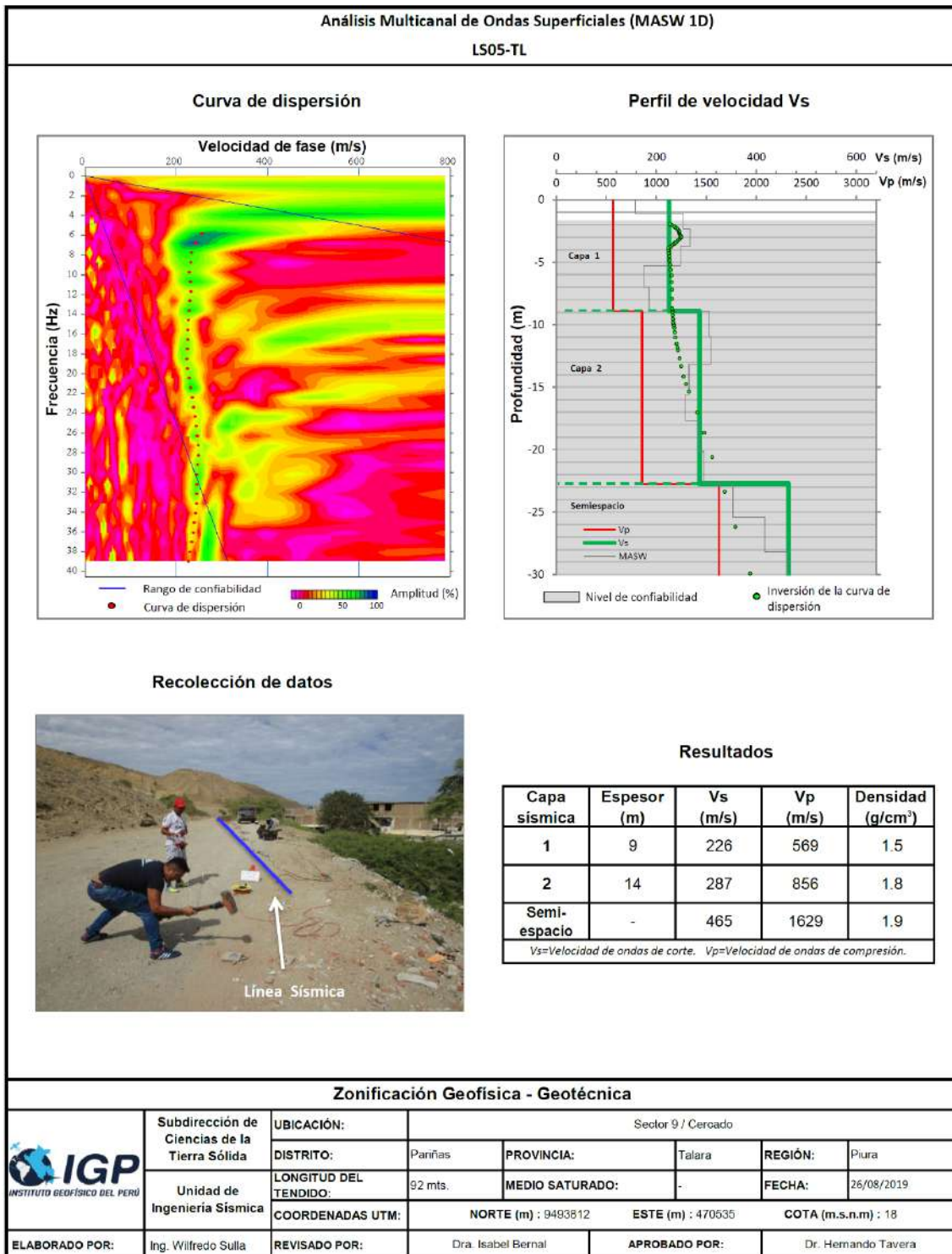


Figura 16. ...Continuación.../ Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo sísmico LS05-TL.

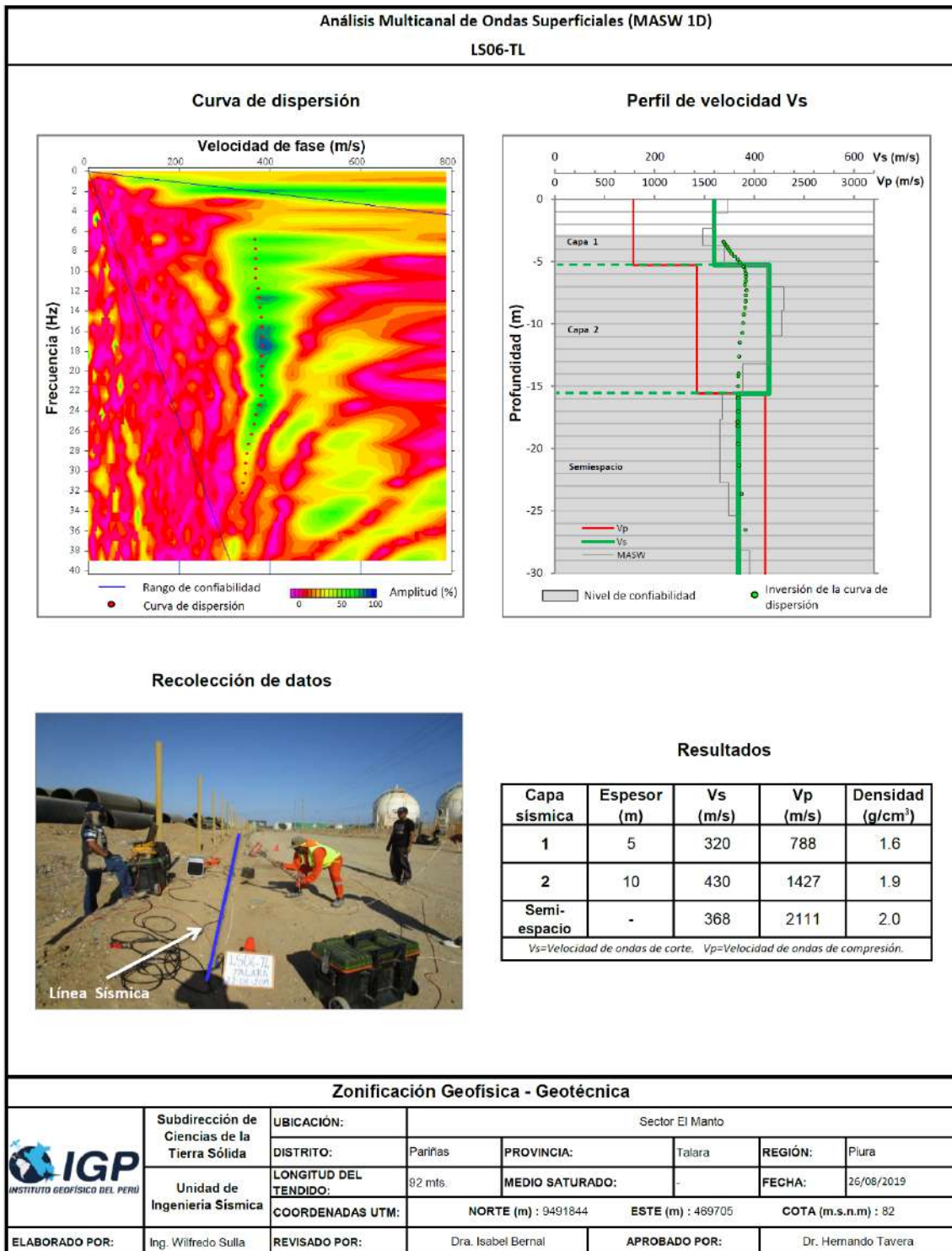


Figura 16. ...Continuación.../ Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo sísmico LS06-TL.

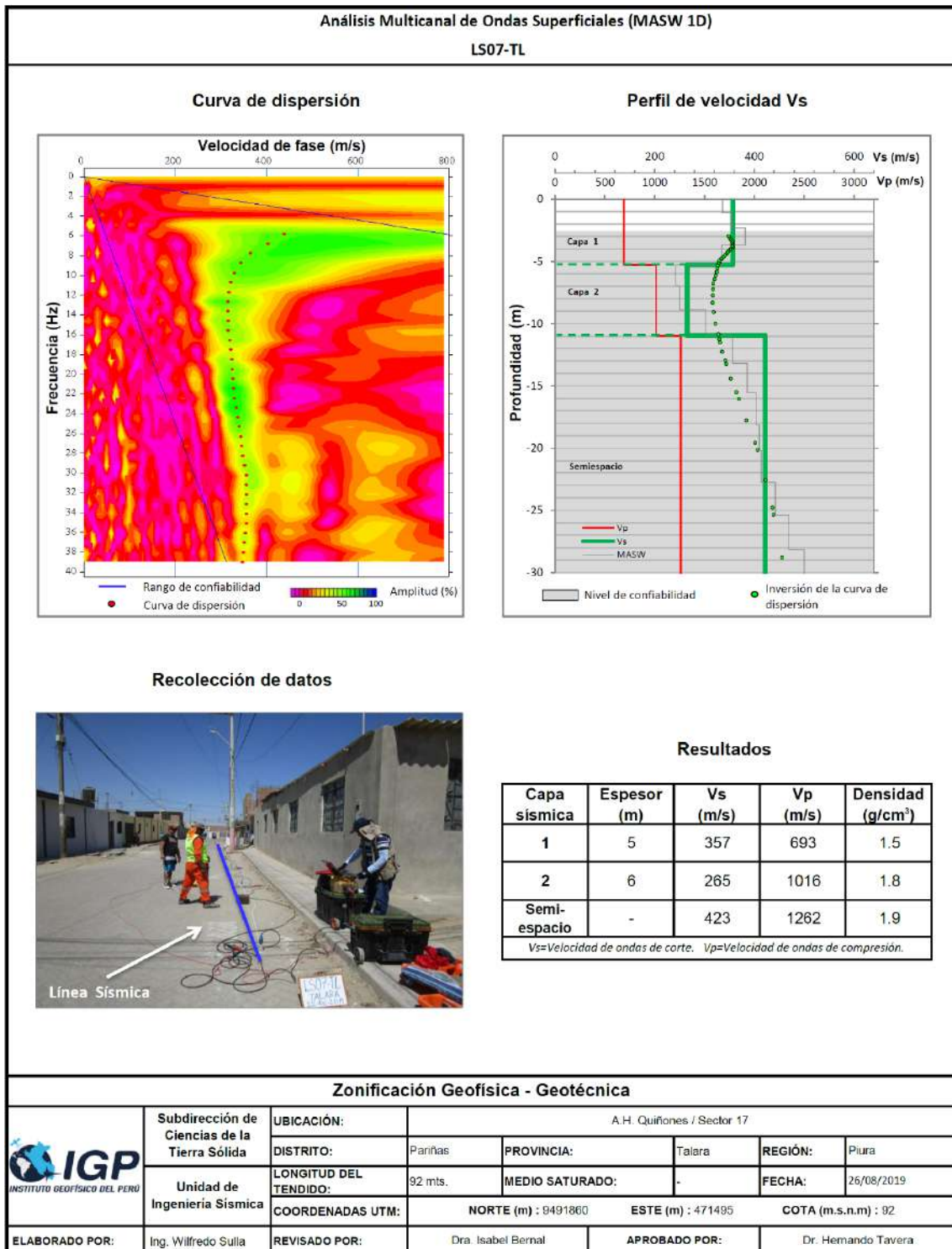


Figura 16. ...Continuación.../ Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo sísmico LS07-TL.

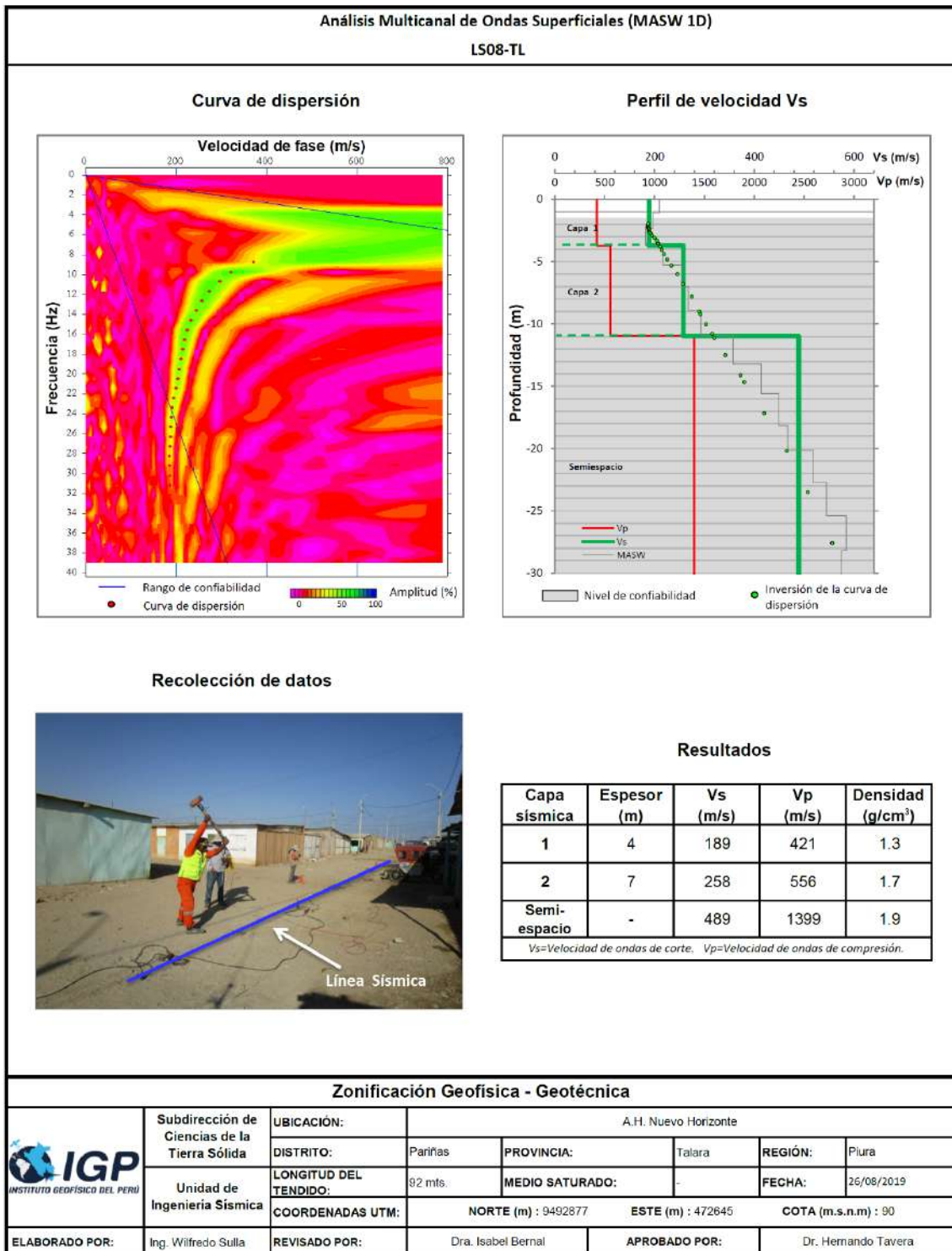


Figura 16. ...Continuación.../ Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo sísmico LS08-TL.



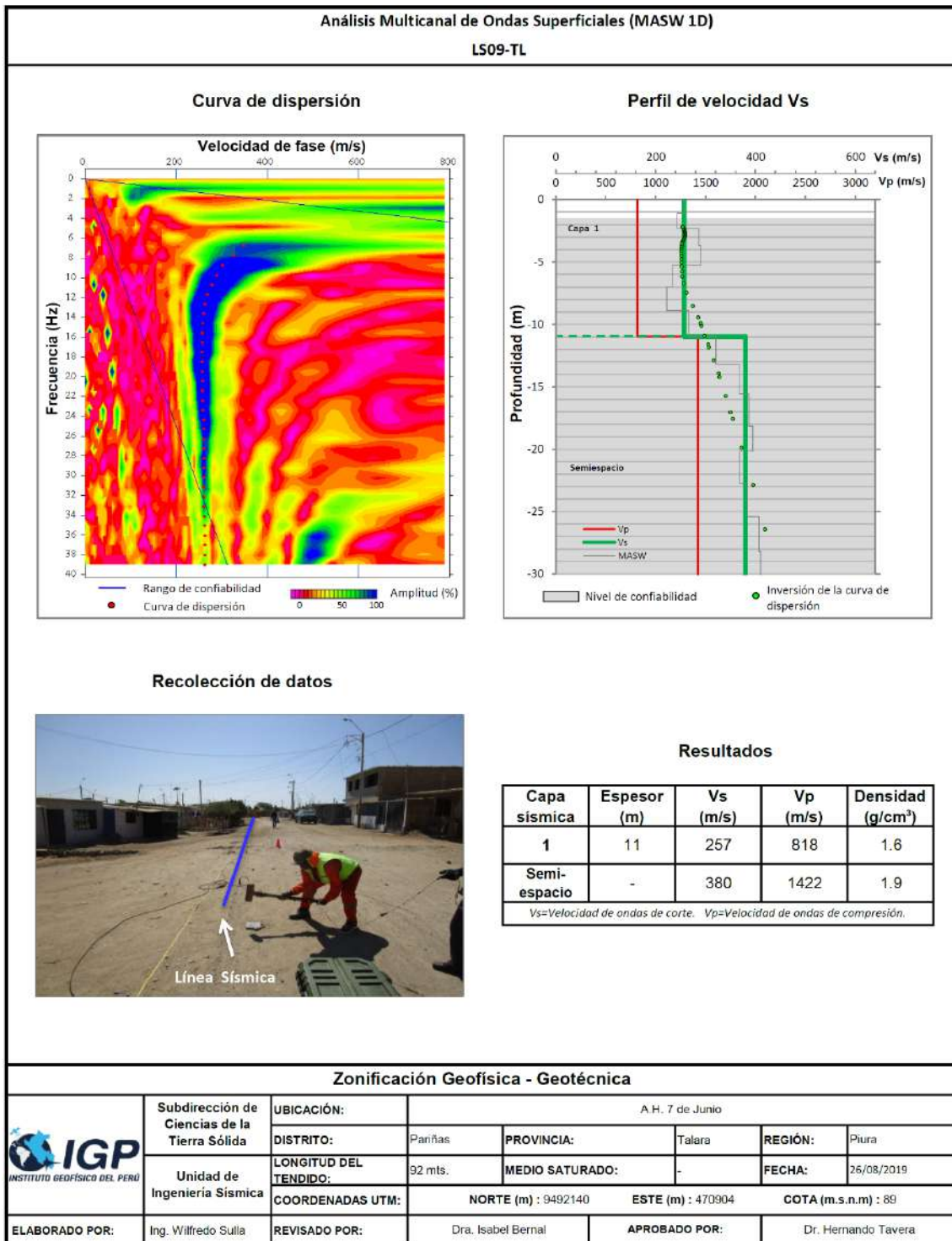


Figura 16. ...Continuación.../ Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo sísmico LS09-TL.



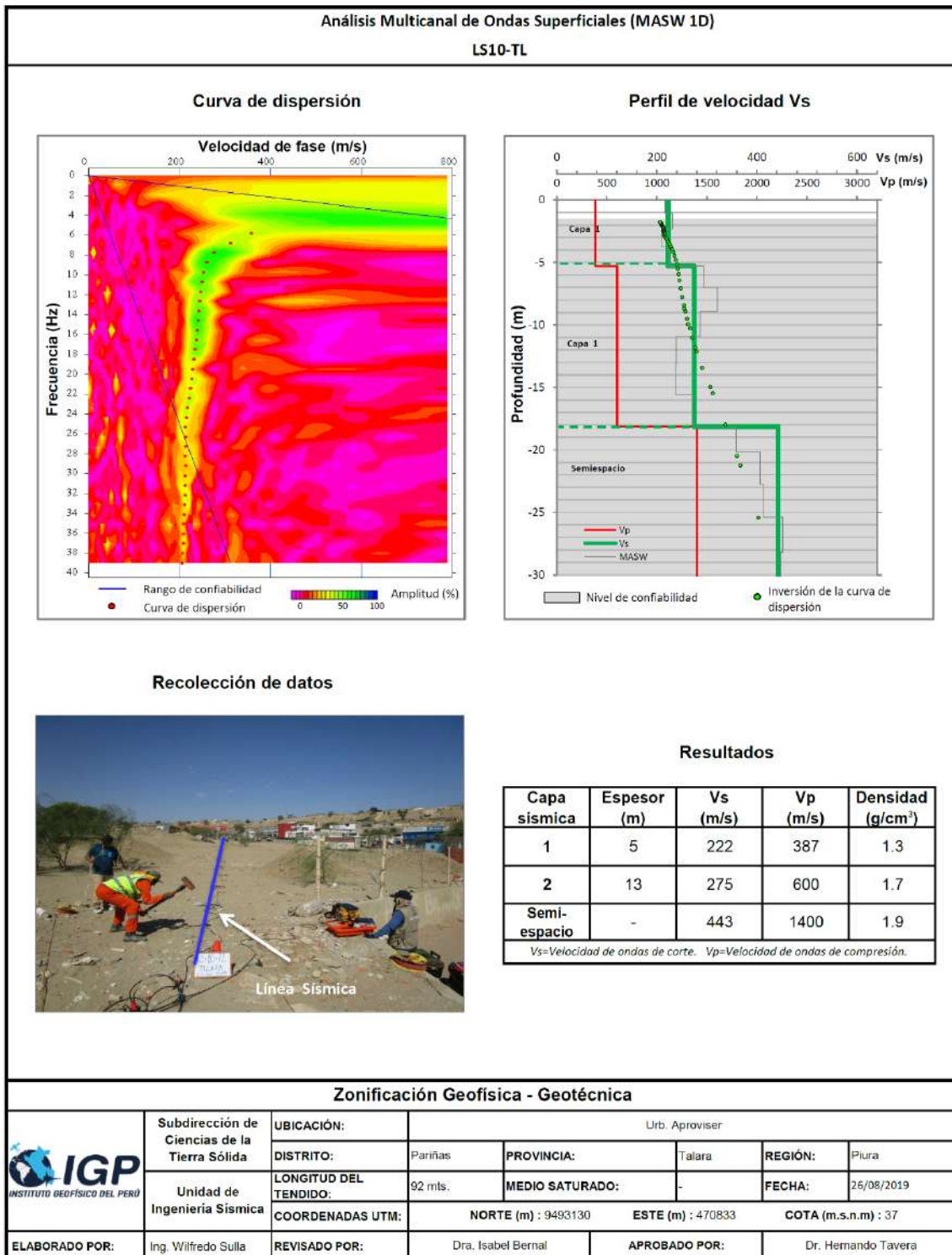


Figura 16. ...Continuación.../ Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo sísmico LS10-TL.

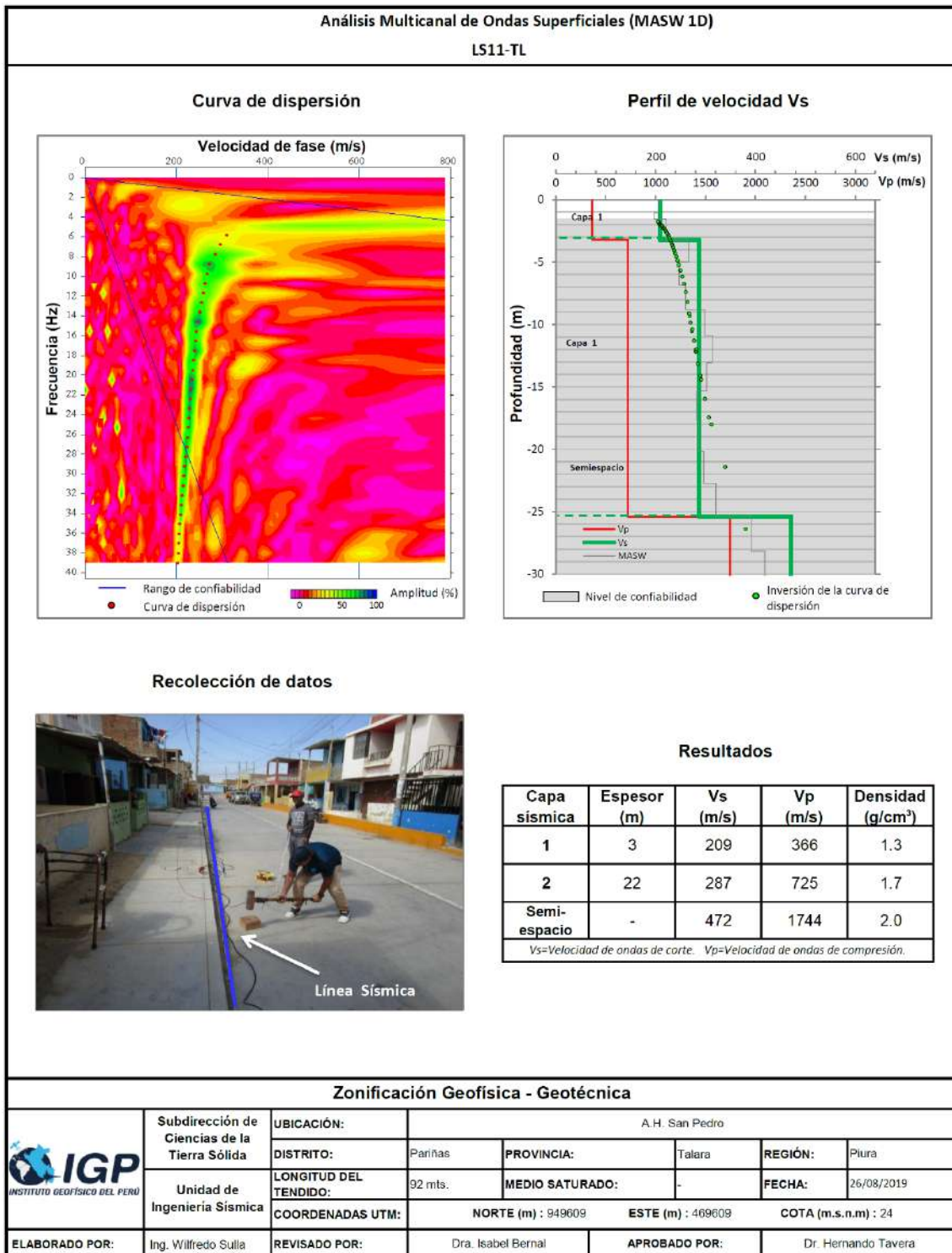


Figura 16. ...Continuación.../ Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo sísmico LS11-TL.

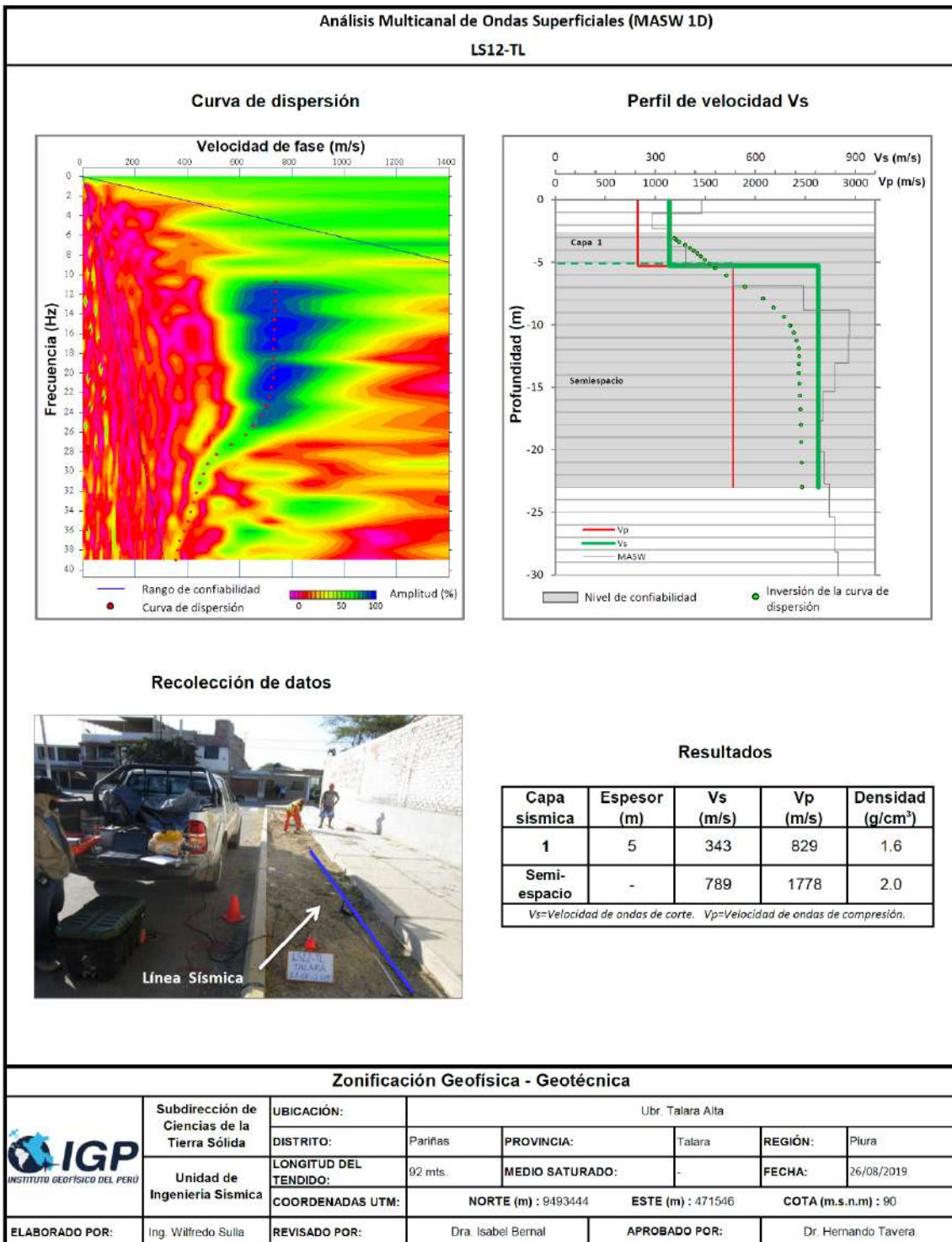


Figura 16. ...Continuación.../ Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo sísmico LS12-TL.

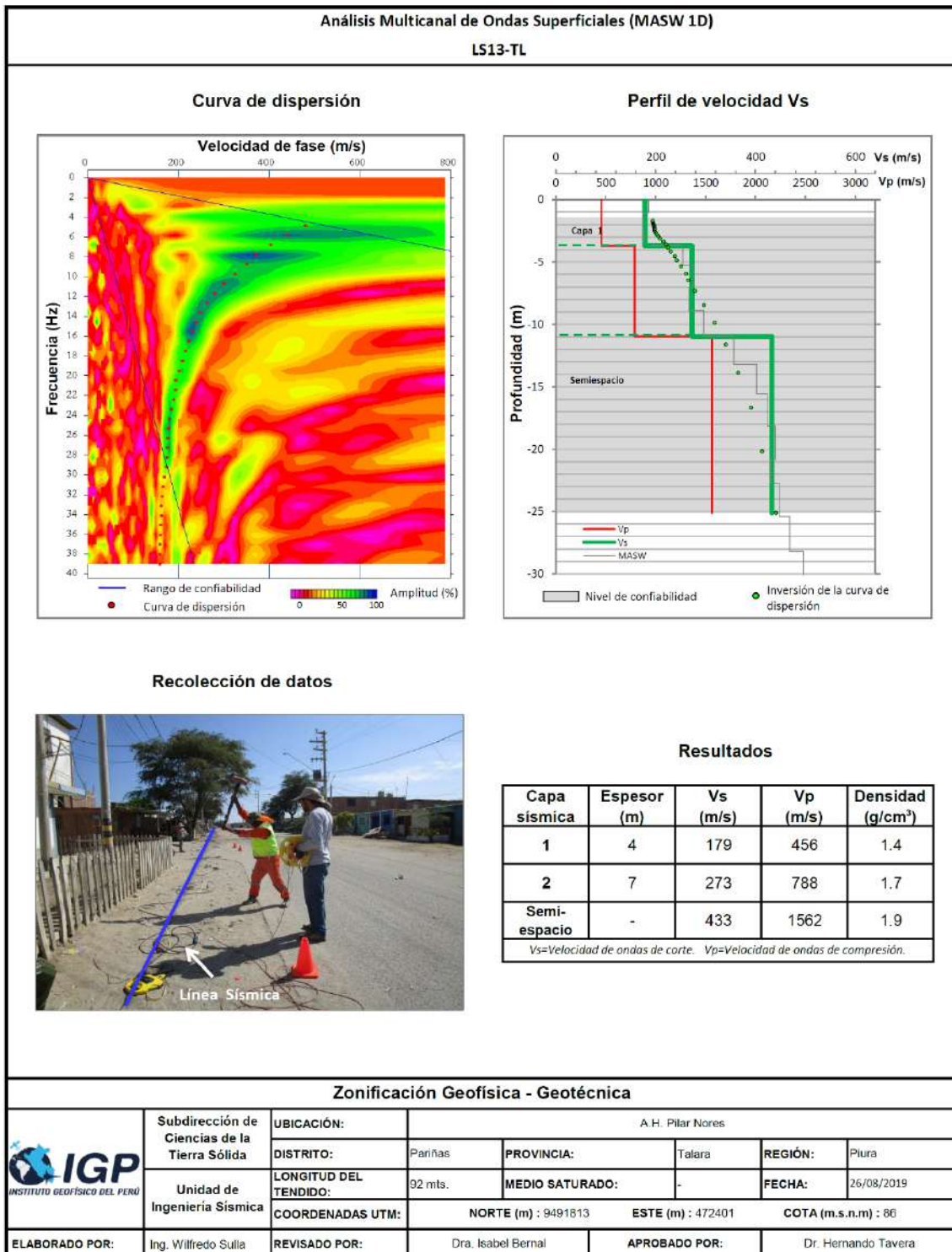


Figura 16. ...Continuación.../ Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo sísmico LS13-TL.

ANEXO II

Perfiles de Tomografía Eléctrica ERT



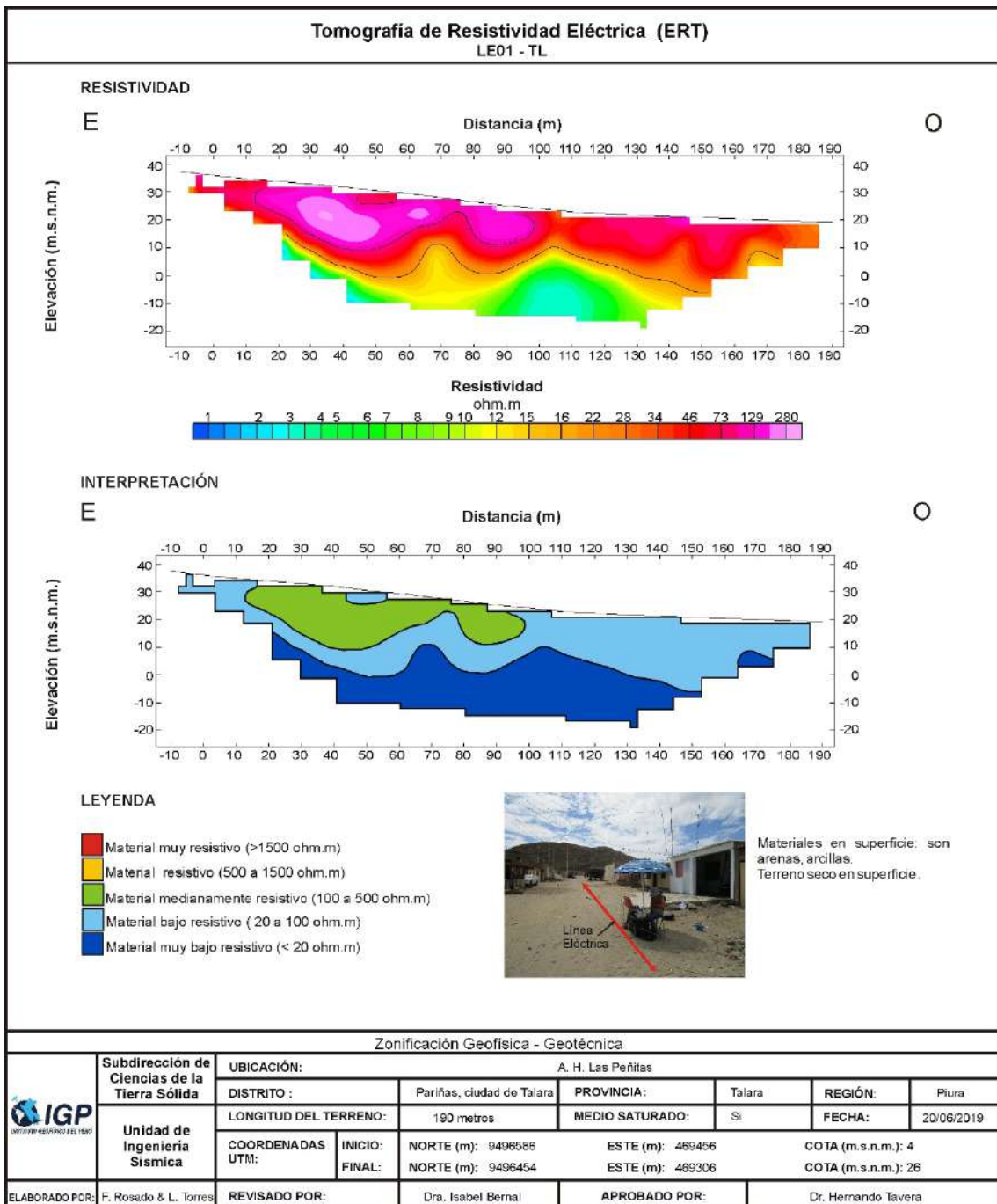


Figura 23. Resultado de tomografía de resistividad eléctrica para la línea LE01-TL.

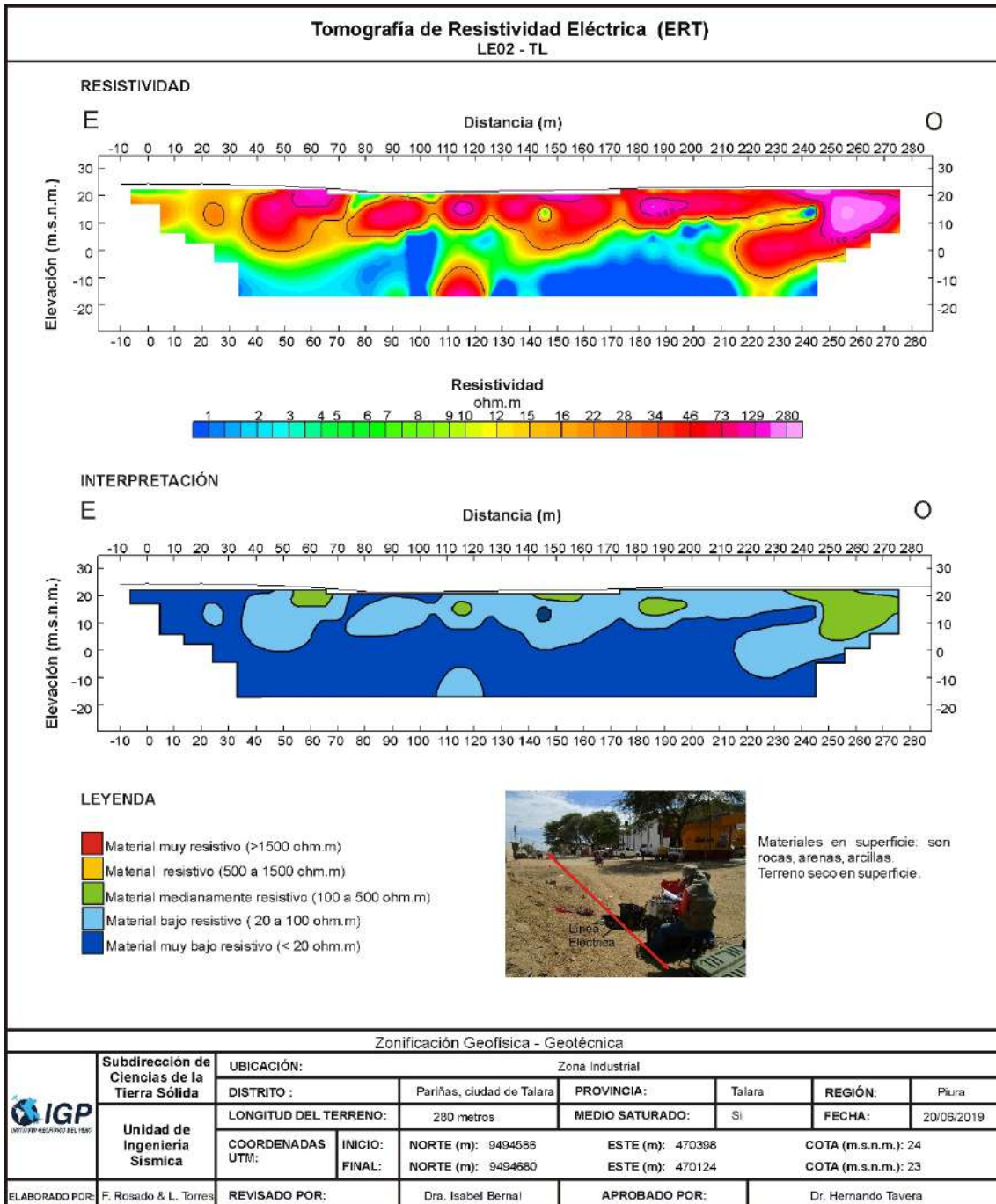


Figura 23. ...Continuación.../ Resultado de tomografía de resistividad eléctrica para la línea LE02-TL.



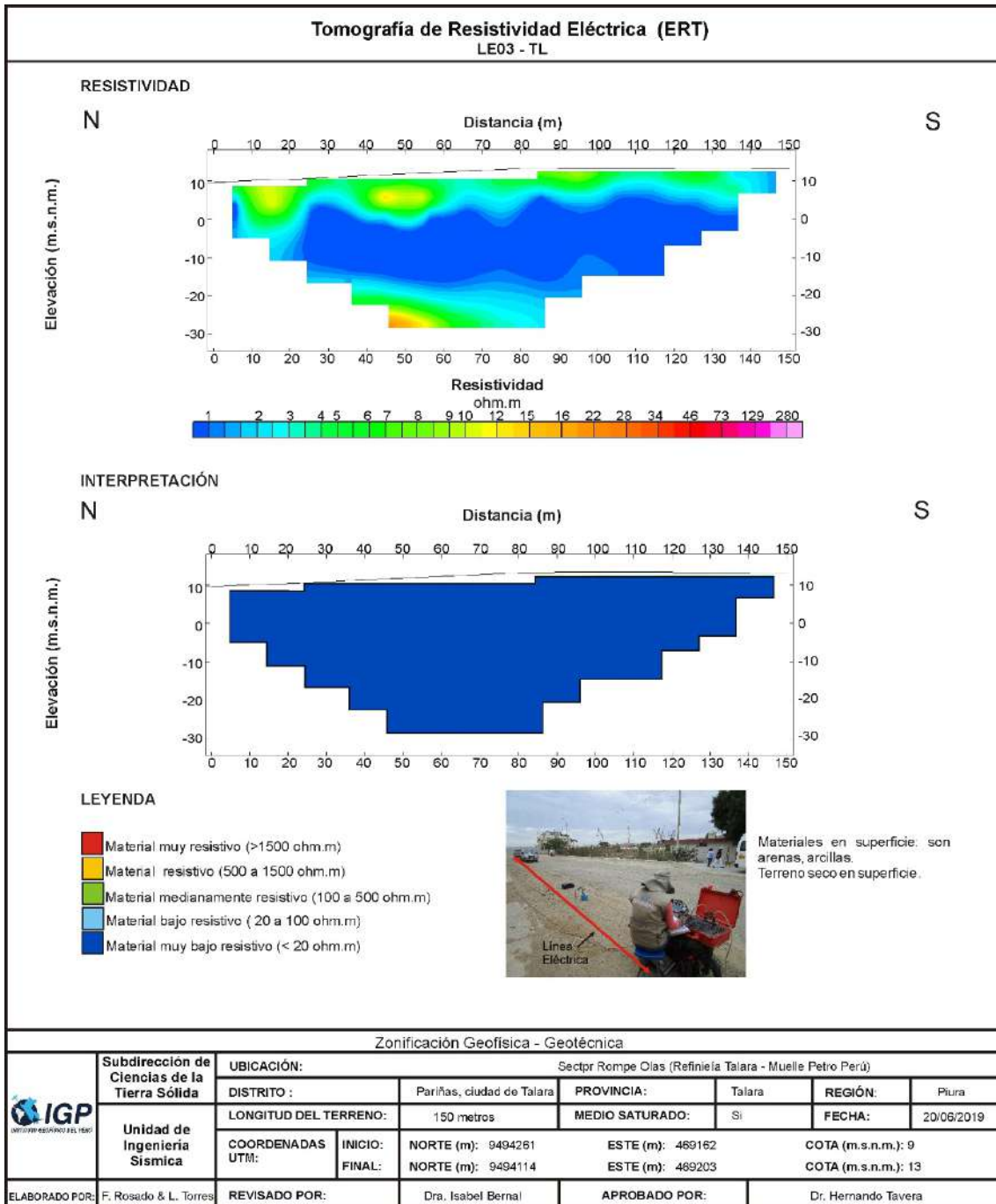


Figura 23. ...Continuación.../ Resultado de tomografía de resistividad eléctrica para la línea LE03-TL.



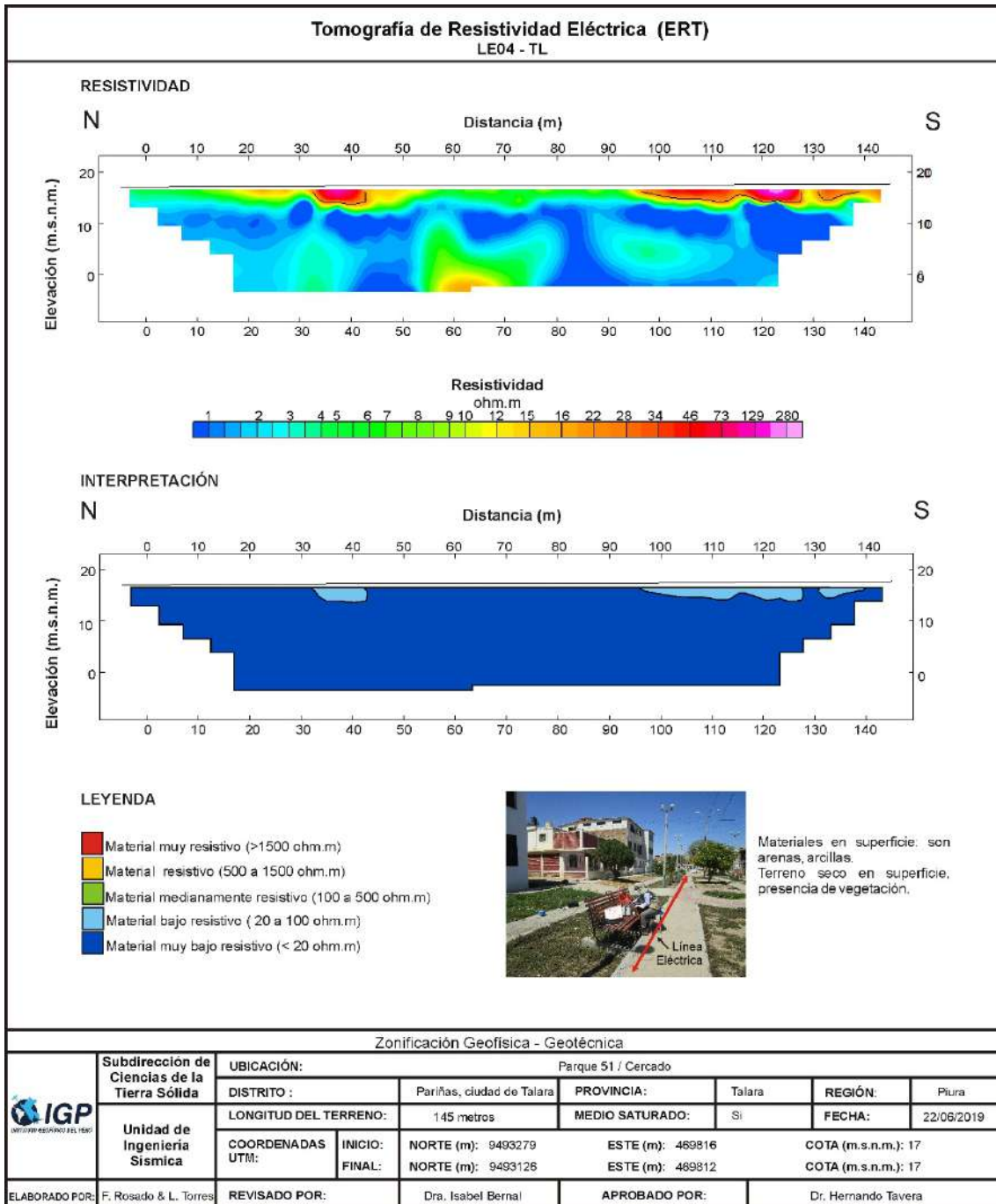


Figura 23. ...Continuación.../ Resultado de tomografía de resistividad eléctrica para la línea LE04-TL.



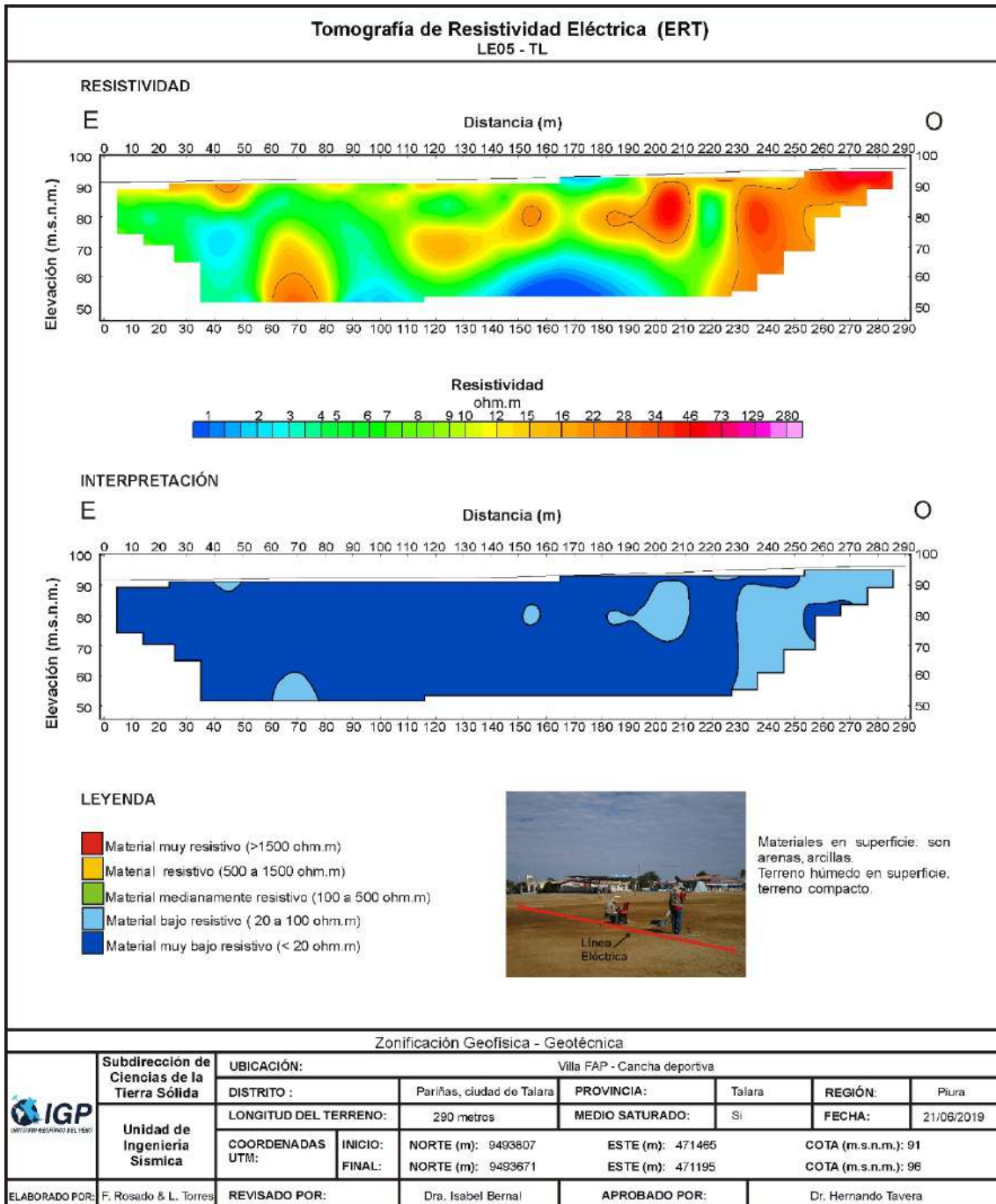


Figura 23. ...Continuación.../ Resultado de tomografía de resistividad eléctrica para la línea LE05-TL.

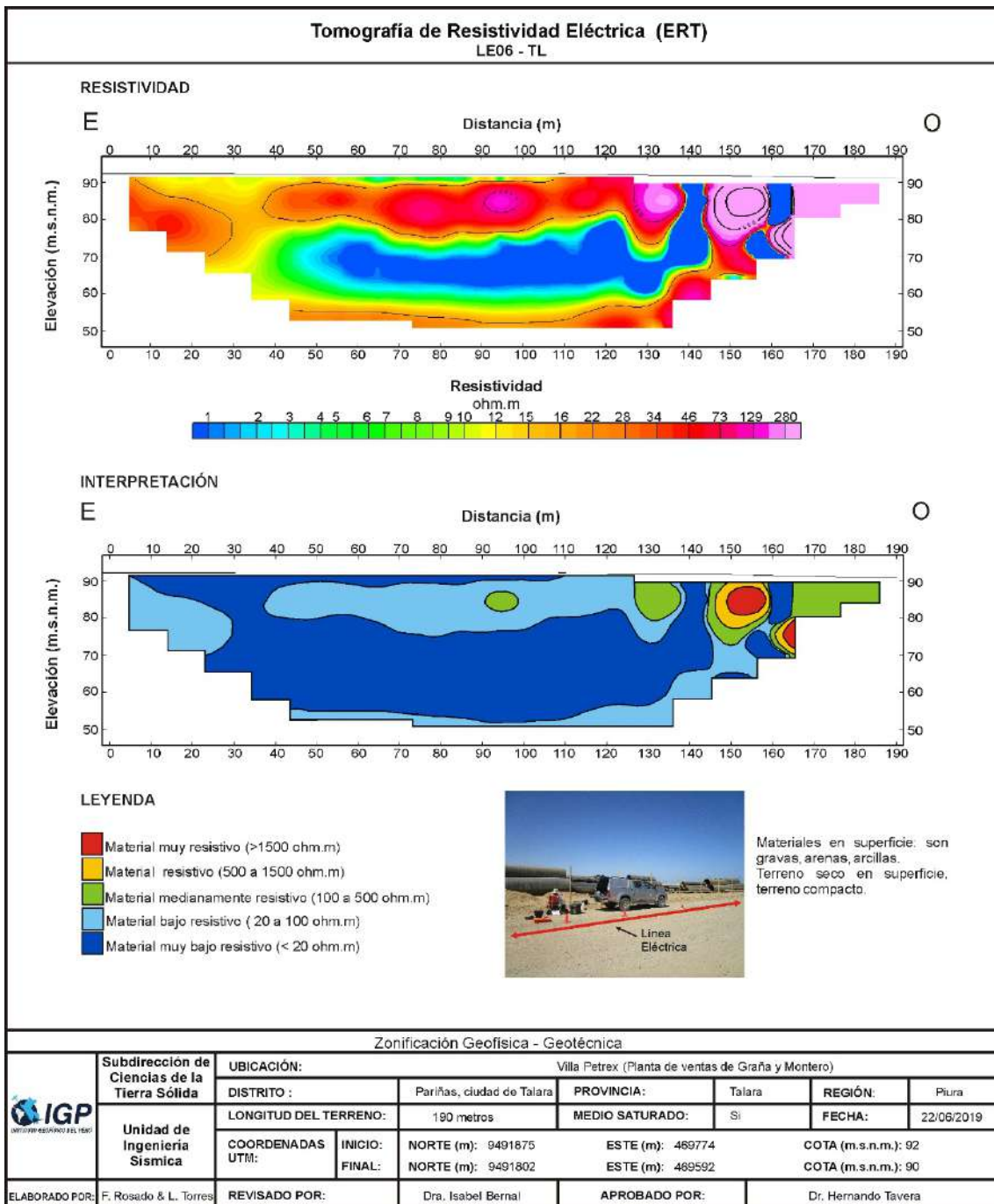


Figura 23. ...Continuación.../ Resultado de tomografía de resistividad eléctrica para la línea LE06-TL.



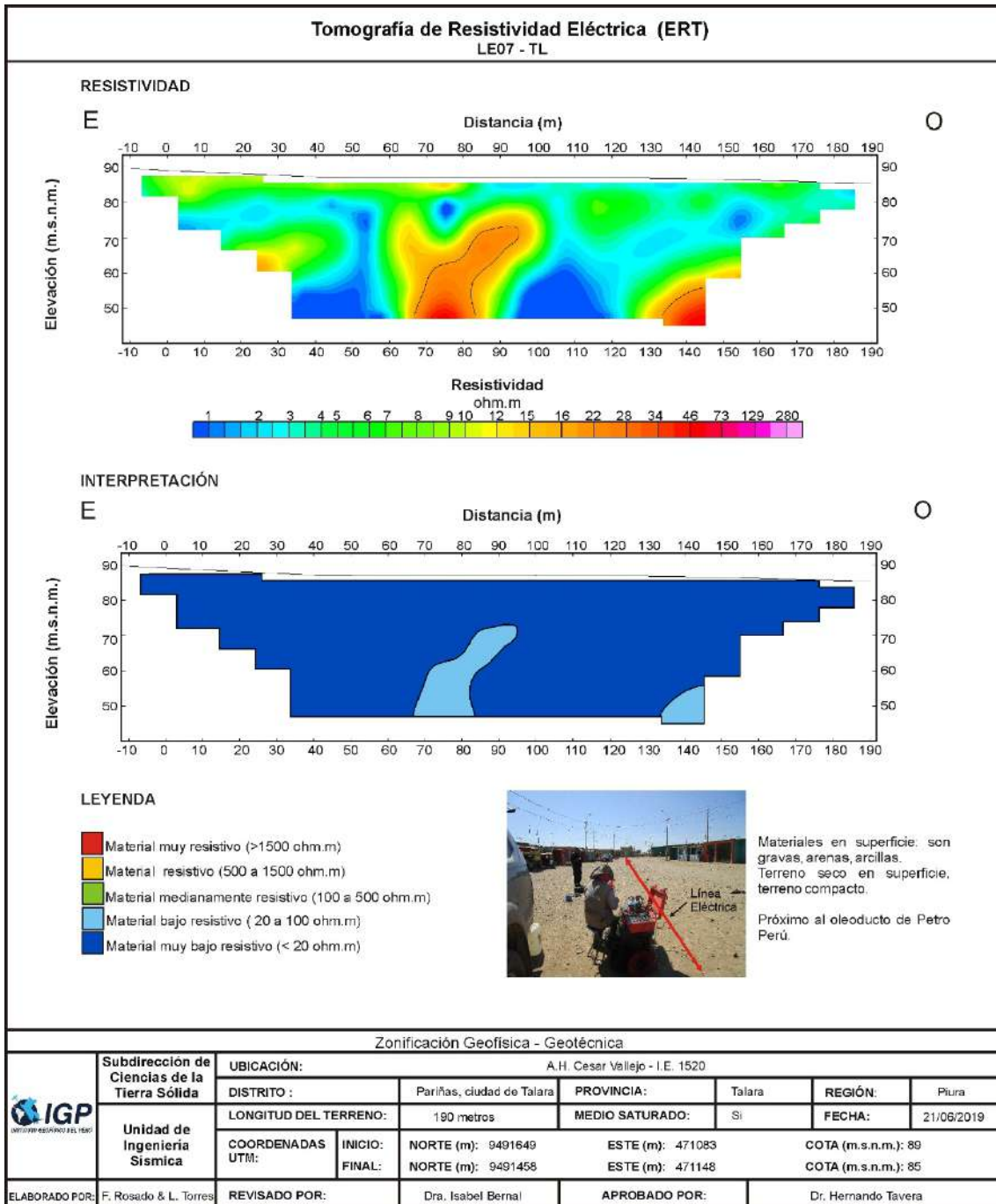


Figura 23. ...Continuación.../ Resultado de tomografía de resistividad eléctrica para la línea LE07-TL.

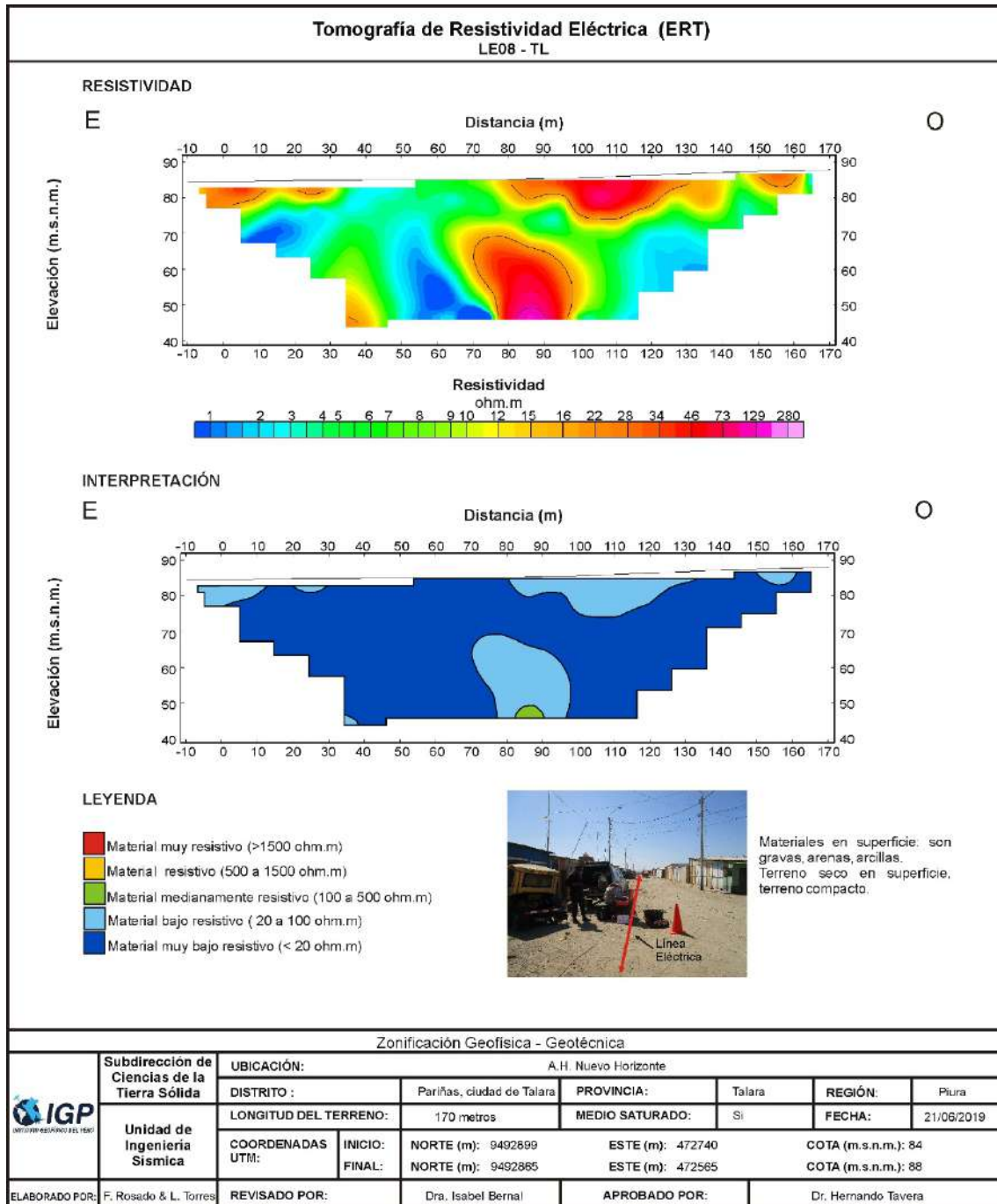


Figura 23. ...Continuación.../ Resultado de tomografía de resistividad eléctrica para la línea LE08-TL.

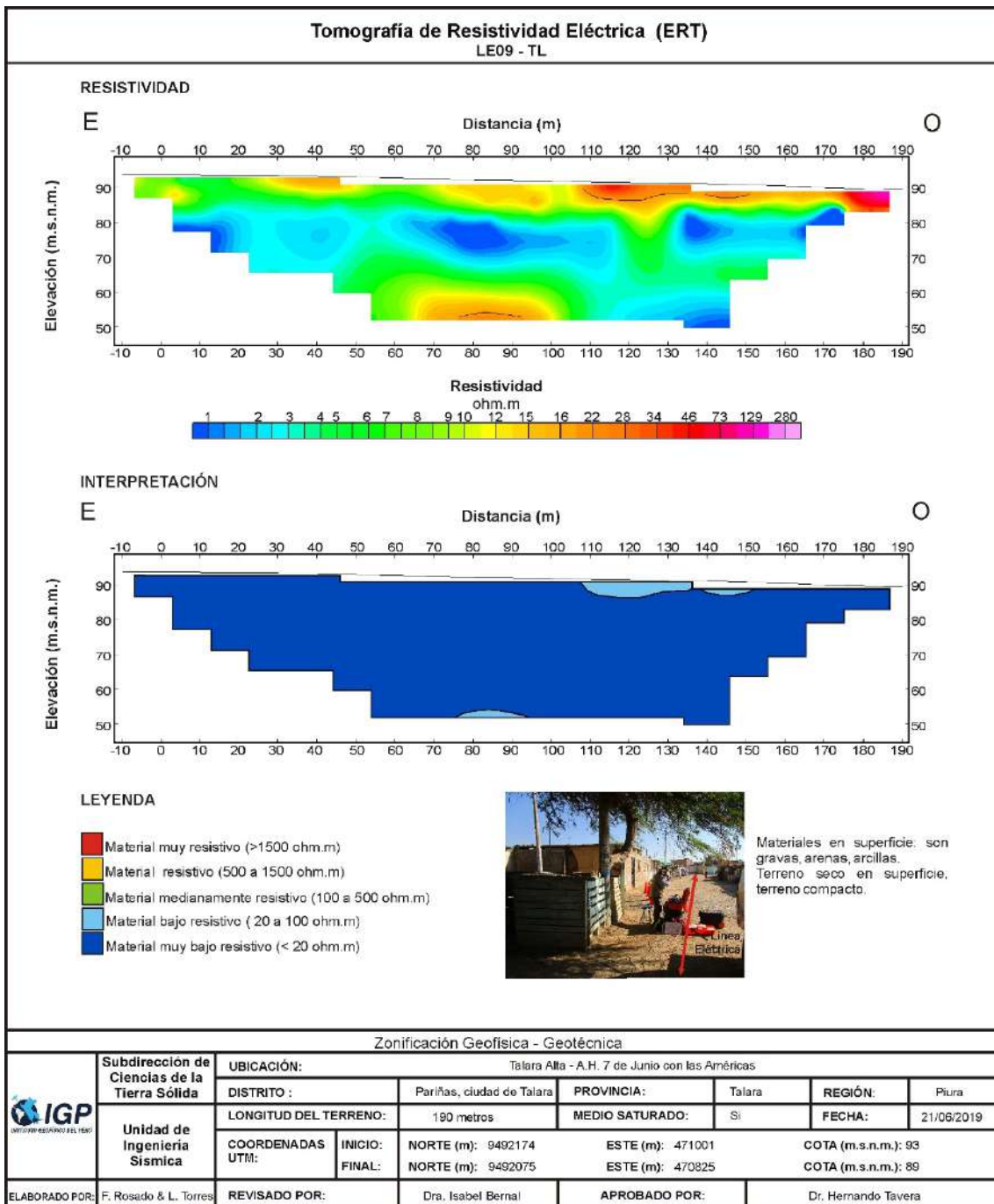


Figura 23. ...Continuación.../ Resultado de tomografía de resistividad eléctrica para la línea LE09-TL.



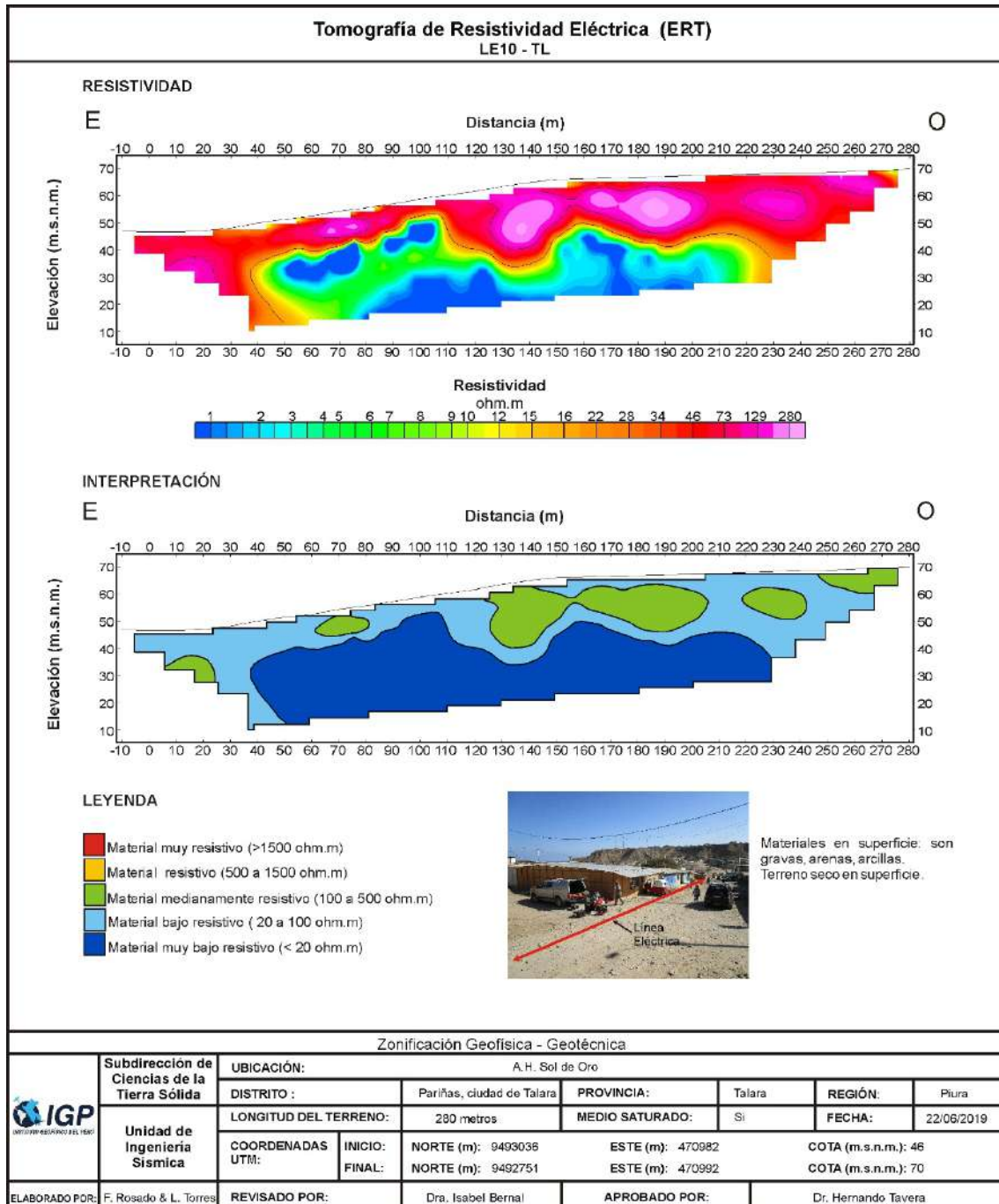


Figura 23. ...Continuación.../ Resultado de tomografía de resistividad eléctrica para la línea LE10-TL.

