



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

ZONIFICACIÓN GEOFÍSICA - GEOTÉCNICA DE SUELOS EN EL ÁREA URBANA DEL DISTRITO DE EL ALGARROBAL (Región Moquegua)

Informe Técnico N°007-2025/IGP CIENCIAS DE LA TIERRA SÓLIDA



Lima – Perú
Marzo, 2025

Instituto Geofísico del Perú

Presidente Ejecutivo: Hernando Tavera

Director Científico: Edmundo Norabuena

Director Ciencias de la Tierra Sólida: Juan Carlos Gómez

Informe Técnico

Zonificación Geofísica - Geotécnica de suelos en el área urbana del distrito El Algarrobal
(Región Moquegua)

Autores

Isabel Bernal, Lisbeth Bejarano, Wilfredo Sulla, Fabiola Rosado, Juan Carlos Gómez y
Hernando Tavera

Participantes:

Evaluación Geofísica: Isabel Bernal / Wilfredo Sulla / Kelly Pari / Fabiola Rosado / Lisbeth Bejarano / Jorge Salas / Javier Oyola / Luz Arredondo / Liliana Torres.

Cartografía: Javier Oyola.

Evaluación Geodinámica-Geotécnica: Astrid Baños / Marquinho Cabrera / Pilar Vivanco / Juan Carlos Gómez.

Apoyo técnico: Liliana Torres / Jesús Huarachi / Luz Arredondo.

Apoyo logístico: Robert Yupanqui / Augusto Cárdenas.

Apoyo administrativo: Marisol Enríquez / Susana Huaccachi

Este informe ha sido producido por el Instituto Geofísico del Perú Calle Badajoz 169

Mayorazgo

Teléfono: 51-1-3172300

**ZONIFICACIÓN GEOFÍSICA - GEOTÉCNICA
DE SUELOS EN EL ÁREA URBANA DEL DISTRITO EL ALGARROBAL**

**Distrito El Algarrobal - Provincia de Ilo
Región Moquegua**

**Lima - Perú
Marzo, 2025**

RESUMEN

Con la aplicación de métodos geofísicos y geotécnicos, se analiza y evalúa las características físicas y dinámicas de suelos en el área urbana del distrito El Algarrobal, provincia de Ilo - Región Moquegua. Los resultados evidencian que en el extremo NO del área de estudio, límite entre Pampa Inalámbrica y El Algarrobal predominan suelos rígidos ($V_{s30}=530$ a 670 m/s) y hacia su extremo Sur y SE, suelos medianamente rígidos ($V_{s30}=470$ a 500 m/s) conformados por capas de 5 a 35 metros de espesor. A nivel superficial, se identifica un horizonte de material muy resistivo (~20 metros de espesor), asociado a material compacto seco (caliche, ignimbritas, gravas) y emplazado sobre un horizonte de baja resistividad conformados por depósitos fluvio-aluviales (gravas, arenas, limos) con capacidad de retener aguas subterráneas. Hacia el extremo NE, próximo al río Osmore, predominan suelos mediadamente rígidos con alto contenido de humedad. A la profundidad de 1.5 metros y en dirección NO del área estudio, los suelos presentan capacidad de carga admisible alta a media (>3.0 y de 2.0 - 3.0 kg/cm²) y en dirección SO y NE, de baja a muy baja (<2.0 kg/cm²). Finalmente, en el área urbana de El Algarrobal predominan Suelos Tipo S1, S2, S3 y S4; es decir, suelos muy rígidos, rígidos, medianamente rígidos y blandos, con la presencia de una capa delgada de suelos blandos a nivel superficial.

A la solicitud sísmica, los suelos blandos y con altos niveles de humedad a nivel superficial, así como las zonas de quebradas rellenadas o en proceso de ser rellenadas y los terrenos inestables, podrían experimentar niveles altos de sacudimiento que afectarían a viviendas y/o elementos expuestos por efectos de asentamiento del terreno. Asimismo, la capa delgada de caliche presente en al área de estudio, podría actuar como un cascarón poco flexible ante los sacudimientos del suelo.

CONTENIDO

RESUMEN

1. INTRODUCCIÓN

- 1.1. Objetivo del estudio**
- 1.2. Área de estudio**
- 1.3. Condiciones locales de sitio**
- 1.4. Zonificación, Norma Técnica E.030**
- 1.5. Antecedentes**

2. GEOMORFOLOGÍA, GEOLOGÍA Y GEOTÉCNIA

- 2.1. Geomorfología**
 - 2.1.1. Levantamiento topográfico**
 - 2.1.2. Unidades geomorfológicas**
- 2.2. Geología Local**
- 2.3. Geodinámica Superficial**
- 2.4. Aspectos Geotécnicos**
 - 2.4.1. Clasificación de suelos (SUCS)**
 - 2.4.2. Capacidad de carga admisible**

3. EVALUACIÓN GEOFÍSICA

- 3.1. Método de Razones Espectrales – Vibración Ambiental**
 - 3.1.1. Adquisición de datos**
 - 3.1.2. Procesamiento y análisis**
 - 3.1.3. Resultados e interpretación**
- 3.2. Métodos Sísmicos MASW-MAM**
 - 3.2.1. Adquisición de datos**
 - 3.2.2. Procesamiento y análisis**
 - 3.2.3. Resultados e interpretación**

3.3. Método de Resistividad Eléctrica

3.3.1. Adquisición de datos

3.3.2. Procesamiento y análisis

3.3.3. Resultados e interpretación

4. ZONIFICACIÓN GEOFÍSICA - GEOTÉCNICA

4.1. Caracterización Física y Dinámica de los Suelos

4.2. Mapa de Zonificación Geofísica – Geotécnica

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS:

ANEXO 1 – Información Geológica – Geotécnica

**ANEXO 2 – Información Geofísica: Perfiles Sísmicos MASW-MAM
y Secciones de Tomografía Eléctrica**

1. INTRODUCCIÓN

La región sur del territorio peruano, 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 los departamentos de Arequipa, Moquegua y Tacna (Silgado, 1978; Tavera et al., 2016). Al ser los sismos cílicos, 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, de ahí la necesidad de realizar estudios que permitan conocer las propiedades físicas y el comportamiento dinámico del suelo ante la ocurrencia de eventos símicos.

El distrito del El Algarrobal, se encuentra ubicado en la región sur del Perú; en la provincia de Ilo y departamento de Moquegua, próximo al río Osmore y sector de Pampa Inalámbrica (Figura 1). Se emplaza sobre una llanura aluvial circundado en dirección Este por lomas y por taludes en dirección Norte; ambos con origen en la dinámica del río Osmore. Los fenómenos naturales que afectan directamente a la población de este distrito son principalmente los sismos que pueden generar altos niveles de sacudimiento del suelo y las lluvias extremas estacionales con procesos erosivos. A fin de conocer el comportamiento dinámico de los suelos en el área urbana del distrito del Algarrobal, se han realizado estudios multidisciplinarios aplicando metodologías que consideran información geofísica, geológica, geodinámica, geomorfológica y geotécnica. A diferencia de los métodos geológicos, los geofísicos permiten conocer la dinámica del suelo en base a su contenido de humedad, espesores y velocidades de las ondas de corte (V_s) en las capas que conforman su subsuelo. Los resultados obtenidos con ambas metodologías, son correlacionados a fin de delimitar los diferentes tipos de suelos generando el

mapa de Zonificación Geofísica y Geotécnica para el área urbana del distrito El Algarrobal. Por ende, los suelos acondicionan el diseño y la construcción de viviendas y estructuras apropiadas para cada tipo de suelo.



Figura 1: Vista panorámica de la Plaza de Armas del distrito El Algarrobal.

Finalmente, los Mapas de Zonificación Geofísica – Geotécnica de suelos, 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 la zona de estudio. Asimismo, debe considerarse como herramienta de gestión de riesgo de desastres (GRD) a ser utilizado por las autoridades locales y regionales.

1.1. Objetivo del estudio

El presente estudio tiene como objetivo obtener el mapa de Zonificación Geofísica – Geotécnica para el área urbana del distrito El Algarrobal, provincia de Ilo en la región Moquegua, a partir de conocer los parámetros físicos de la estructura del suelo y su comportamiento dinámico ante la ocurrencia de sismos, mediante la integración de los resultados obtenidos con diferentes métodos geofísicos, geológicos y geotécnicos. Asimismo, es de interés del presente estudio que las autoridades dispongan de un documento técnico que les ayude en el desarrollo y ejecución de proyectos orientados a la gestión del ordenamiento territorial y desarrollo sostenible de la ciudad.

1.2. Área de estudio

El área urbana del distrito El Algarrobal, se encuentra ubicado en la región sur del Perú; en la provincia de Ilo y departamento de Moquegua (Figura 2); en las coordenadas 17° 37' 22" sur y 71° 16' 06" oeste. La Municipalidad del distrito se ubica próximo al río Osmore a una elevación media de 115 m s.n.m. y en el extremo Este de Pampa Inalámbrica (zona de expansión urbana), a una elevación promedio de 215 m s.n.m. Este distrito tiene una población de 3,717 habitantes (INEI, 2018), concentrándose en mayor número en Pampa Inalámbrica, sobre una superficie llana; delimitada por un talud presente en dirección al río Osmore y de los cerros Loreto y Canicora. Los fenómenos naturales que afectan directamente a esta población son los sismos que pueden generar altos niveles de sacudimiento

del suelo y las lluvias extremas estacionales, que, en conjunto, causarían daños a la población e infraestructura.

En la Figura 2 (a,b), se presenta imágenes del área de estudio para los años 1952 y 2010 con la presencia de un área desértica con quebradas y ausencia de población. Para el año 2025 (Figura 1c), en el área de El Algarrobal se evidencia el acelerado incremento de la población sobre quebradas rellenas y otras en proceso de ser rellenada principalmente en dirección oeste. Para este estudio, el cartografiado y mapa base se realiza a una escala de 1/30,000.

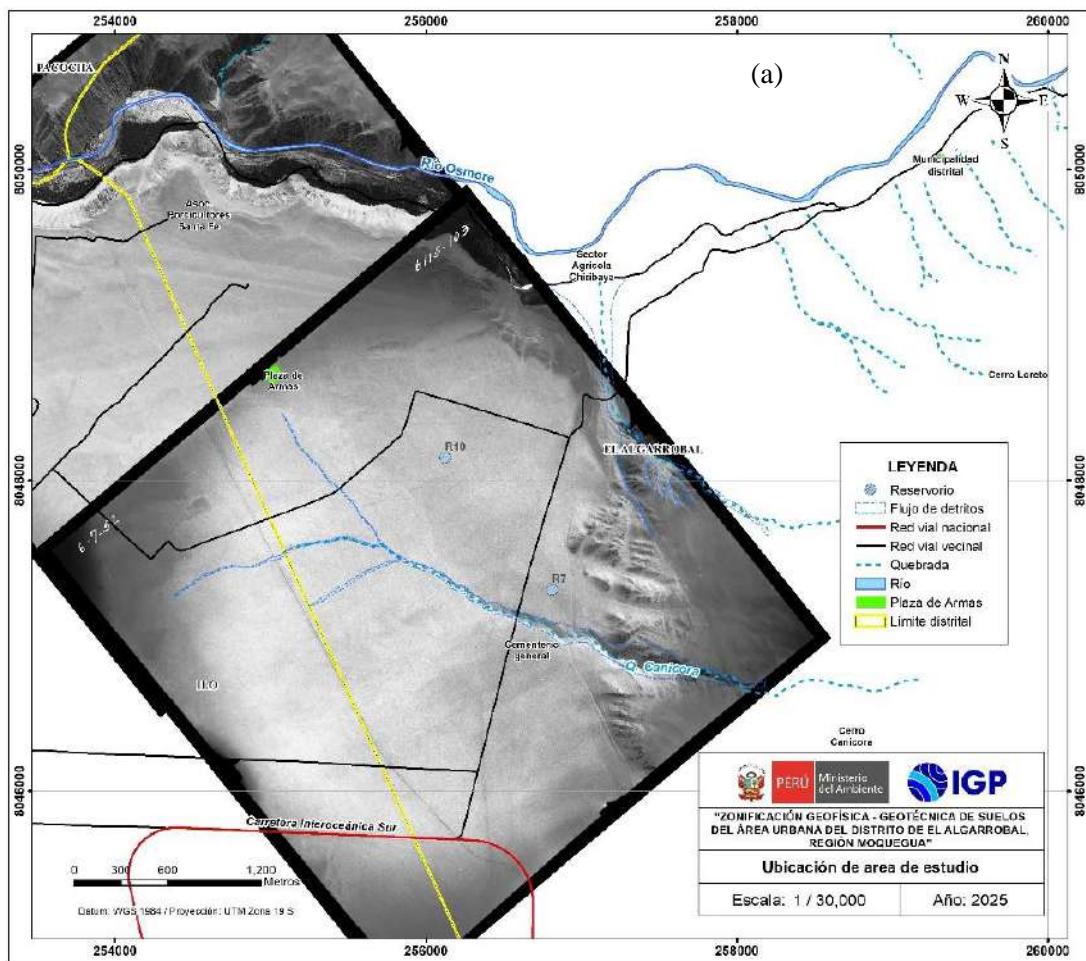


Figura 2: Características del área de estudio en el año 1952 (a) y 2010 (b). El área en dirección NE, delimitada por la línea amarilla, corresponde al área de estudio. Con líneas discontinuas de color celeste, se delimita la presencia de quebradas y sus ramificaciones. A modo de referencia se considera la ubicación de reservorios R7 (1992) y R10 (2014).

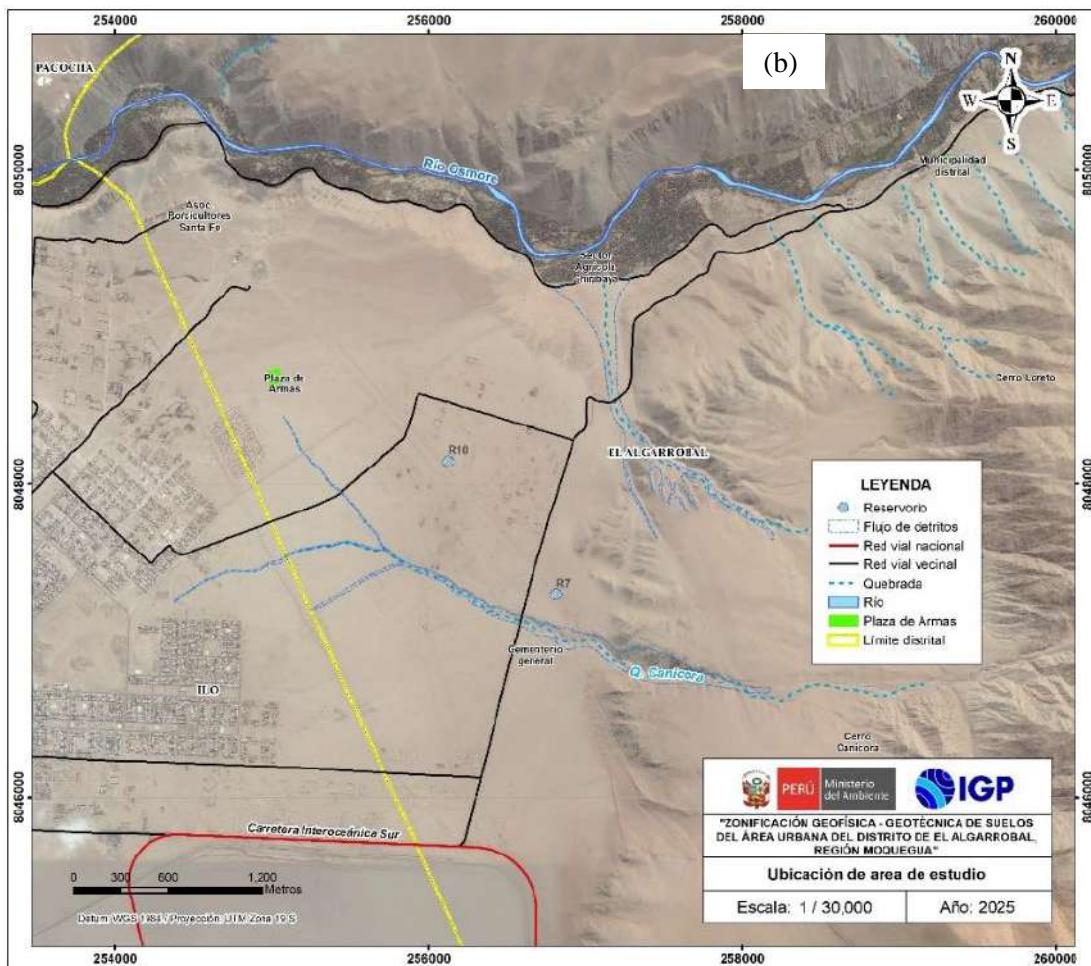


Figura 2: Características del área de estudio en el año 1952 (a) y 2010 (b). El área en dirección NE, delimitada por la línea amarilla, corresponde al área de estudio. Con líneas discontinuas de color celeste, se delimita la presencia de quebradas y sus ramificaciones. A modo de referencia se considera la ubicación de reservorios R7 (1992) y R10 (2014).

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 (Lermo y Chávez-García, 1994 a, b; Bard y SESAME, 2004; Bernal, 2002, 2023). Estos controlan la amplificación de las ondas sísmicas causantes de los daños a observarse en superficie después de ocurrido un evento sísmico.

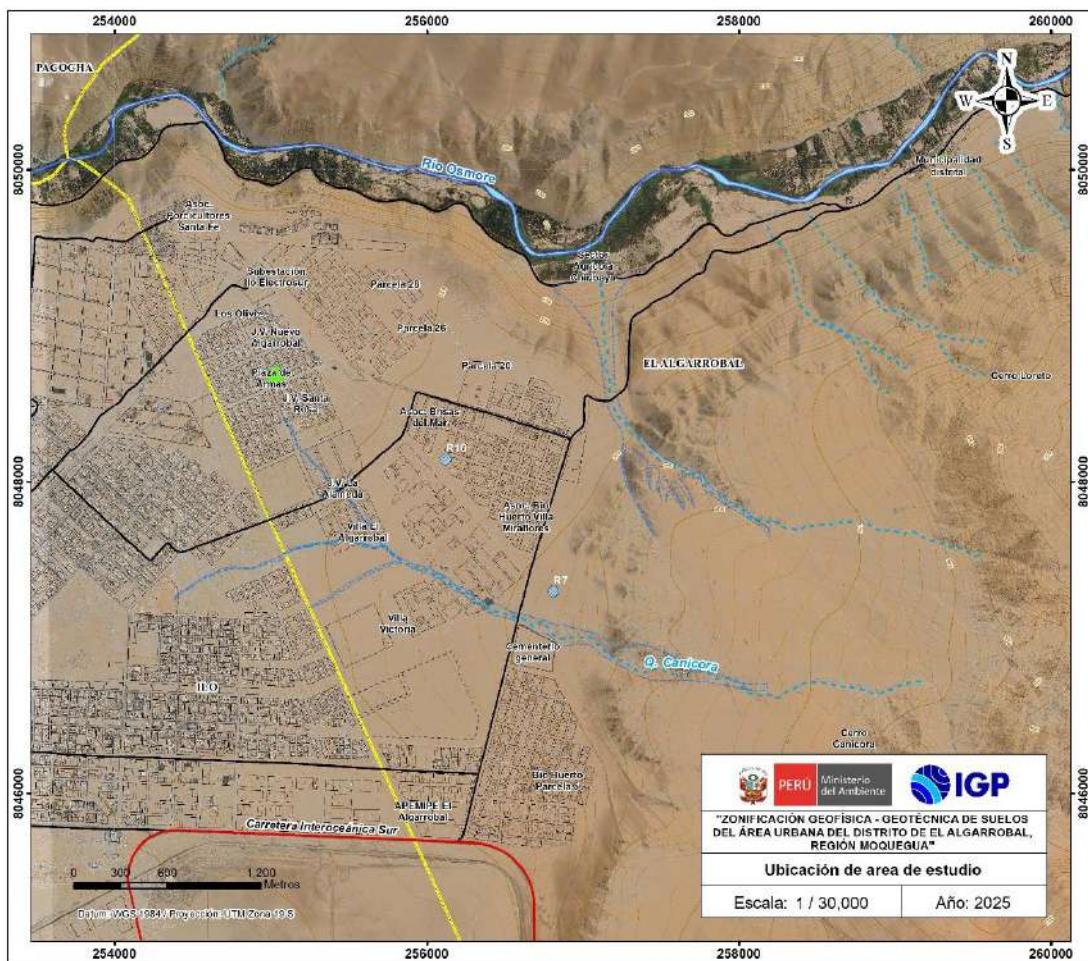


Figura 2: c) Mapa actual de área de estudio. El sector en dirección NE, delimitada por la línea amarilla, corresponde al área de estudio, donde se evidencia el incremento de la población en El Algarrobal. Con líneas discontinuas, de color celeste, se delimita la presencia de quebradas y sus ramificaciones. R7 (1992) y R10 (2014), corresponden a la ubicación de reservorios.

La metodología a seguir en este estudio, con el objetivo de lograr el mayor conocimiento sobre el comportamiento dinámico del suelo o efectos de sitio, considera estudios multidisciplinarios de geofísica, sismología, geología, geomorfología y geotécnica. Cada uno de estos campos de investigación provee información básica de observaciones de campo y la toma de datos in situ, para lo cual es necesario disponer de mapas catastrales actualizados de la zona de estudio y también, las zonas de futura expansión urbana.

En general, los efectos que produce cada tipo de suelo sobre la propagación y amplitud de las ondas sísmicas, permiten tipificar los suelos y estimar su comportamiento dinámico. El resultado final es el Mapa de

Zonificación Geofísica – Geotécnica que debe constituirse como el documento más importante en las tareas y programas de gestión del riesgo de desastres 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 y actualizada según Resolución Ministerial N° 355-2018-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. En base a lo descrito anteriormente, se establecen 5 tipos de perfiles cuyas características se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1: Clasificación de perfiles de suelos de la Norma E.030 (2018).

Perfil	Vs30 (m/s)	Descripción
S0	> 1500	Roca dura
S1	500 a 1500	Roca o suelos muy rígidos
S2	180 a 500	Suelos intermedios
S3	< 180	Suelos blandos
S4	Clasificación basada en el EMS	Condiciones Excepcionales

La velocidad de propagación de ondas de corte para los primeros 30 metros (Vs30) se determina con la siguiente fórmula:

$$Vs30 = \frac{\sum_{i=1}^n di}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{di}{Vsi} \right)}$$

Dónde:

di = espesor de cada uno de los estratos n.

Vsi = velocidad de ondas de corte (m/s).

En este estudio, el mapa de Zonificación Geofísica - Geotécnica se realiza en función de las características mecánicas, físicas y dinámicas de los suelos que conforman el terreno de cimentación del área de estudio. De acuerdo a los estudios de zonificación realizados por el IGP, el rango de velocidades de los perfiles de suelo S1 y S2 se subdividen, a fin de analizar con mayor detalle las velocidades de ondas de corte que caracterizan a los suelos identificados en la zona de estudio (Tabla 2).

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. En general, para cualquier estudio se deberá considerar el tipo de suelo que mejor describa las condiciones locales de cada zona de interés. Para este estudio, la Zonificación Geofísica – Geotécnica se realiza en función de las características mecánicas y dinámicas de los suelos que conforman el terreno de cimentación del área de estudio.

Tabla 2: Clasificación de perfiles de suelos adaptados a la zona de estudio, a partir de lo establecido en la Norma Peruana de Diseño Sismorresistente E.030 (2018).

Perfil	Velocidades de ondas de corte - V_{530}	Periodos T_0 (s)	Tipos de suelos	Simbología
S0	>800	-	Roca dura	
S1	500 a 800	0.1-0.2	Suelos muy rígidos o roca fracturada	
S2	350 a 500	0.2-0.4	Suelos rígidos	
S3	200 - 350	0.5-0.7	Suelos intermedios (medianamente rígidos)	
S4	<200	>0.7	Suelos blandos	
S5	Condiciones Excepcionales		Suelos inestables por su composición (pantanos, rellenos, licuables, sólicos)	
			Suelos inestables por topografía	
<i>Zonas con factor de amplificación relativa >2.0 veces</i>				

1.5. Antecedentes

En el año 2023, la Municipalidad Distrital El Algarrobal realizó el “Plan de prevención y reducción del riesgo de desastres de la Municipalidad Distrital El Algarrobal ante sismos de gran magnitud 2023-2027”, su diagnóstico indicó que la zona urbana del distrito está expuesta a los peligros de sismos, sequías, fenómenos de El Niño y La Niña, vientos anómalos e incendios urbanos.

En este mismo año, el Gobierno Regional de Moquegua desarrolló la “Evaluación de riesgo originado por inundación fluvial en el distrito El Algarrobal, provincia Mariscal Nieto, Departamento de Moquegua” concluyendo que el distrito El Algarrobal se encuentra predominantemente en zona de Riesgo Alto ante la ocurrencia del fenómeno de inundación fluvial con un periodo de retorno de 100 años, tomando en cuenta la anomalía de precipitación pluvial supere la normal climática.

Luque et al., (2020), según el Boletín Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica N° 75 “Peligro Geológico en la región Moquegua”, en el distrito El Algarrobal se han identificado zonas críticas susceptibles a peligros geológicos como: derrumbes, huaicos, inundación y erosión fluvial.

En el año 2018, la Municipalidad Distrital del Algarrobal elaboró el “Plan de prevención y reducción del riesgo de desastres del distrito de El Algarrobal 2019-2022”, el informe técnico menciona que, en la cuantificación del nivel de vulnerabilidad, el proceso de urbanización no tiene un adecuado manejo del territorio lo que deriva a un alto nivel de exposición. Asimismo, en todo el valle la exposición al peligro de deslizamientos es constante debido a las altas pendientes que se presentan principalmente en los alrededores de las instalaciones de la municipalidad.

En el año 2018, el Instituto Geofísico del Perú, realizó el estudio “Zonificación sísmica-geotécnica de las áreas urbanas de las ciudades de Ilo y Pampa Inalámbrica” cuyos resultados indican en el área de Pampa Inalámbrica, se identifica la existencia de rocas moderadamente duras (V_s 826 a 1013 m/s) en superficie y suelos rígidos (V_s 421 a 489 m/s) a moderadamente rígidos (V_s 265 a 353 m/s), en dirección Este y Noreste con espesores entre 4 y 5 metros que suprayacen a suelos rígidos y a muy rígidos en profundidad. Estas características corresponden a suelos Tipo S2, según la Norma peruana de Construcción Sismorresistente. Asimismo, a nivel superficial presenta una capacidad de carga admisible entre 1.0 – 2.0 kg/cm².

Tavera et al., (2014) mediante el proyecto de cooperación con el Banco Mundial presentan el estudio “Re-evaluación del peligro probabilístico para el Perú”, indicando que el Perú se encuentra en una región altamente sísmica. El estudio de peligro sísmico permitió obtener los mapas de aceleración horizontal (PGA) y para un periodo de retorno de 500 años en El Algarrobal se espera aceleraciones de hasta 460 gals. Asimismo, en el año 2001, la Universidad Nacional de San Agustín (UNSA) en convenio con INDECI desarrollaron el proyecto “Evaluación de peligros de la ciudad de Ilo”, el cual indica que el sector más crítico de la ciudad lo constituye algunas áreas de Pampa Inalámbrica por la falta de consistencia de los suelos y el alto contenido de sales que la hace sumamente frágil. Por la alta salinidad en los suelos, se le considera como un área de peligro medio frente a un evento sísmico.

El Servicio de Geología y Minería (1964) elaboró el Boletín N° 7, “Geología de los cuadrángulos de Ilo y Locumba (Hojas 36-t y 36-u)”, este proyecto determinó que el área de estudio geológicamente está cubierta en su mayoría de depósitos aluviales constituidos de gravas semi-consolidadas con intercalaciones lenticulares de arena gruesa, arcilla y tufo re-depositados, que no muestran una adecuada estratificación.

2. GEOMORFOLOGÍA, GEOLOGÍA Y GEOTÉCNIA

2.1. Geomorfología

La geomorfología estudia las diferentes formas del relieve de la superficie terrestre (geoformas) y los procesos que las generan. A continuación, se describen las unidades geomorfológicas identificadas en el área urbana del distrito El Algarrobal en base a sus características físicas y los procesos que las han originado.

2.1.1. Levantamiento topográfico

-Modelo Digital de Elevación (MDE): Para El Algarrobal se ha obtenido un modelo digital de elevación, a partir del raster AP_16542_FBS_F6830_RT1 adquirido de la plataforma EARTH DATA, donde se ha reconocido que, hacia el extremo Este, se ubican las mayores elevaciones las cuales alcanzan altitudes superiores a los 700 m s.n.m., mientras que, en la parte del valle de El Algarrobal, las altitudes son inferiores a los 100 m s.n.m. (Figura 3). En dirección Este, hay un cambio en la pendiente del terreno por la presencia de los cerros Canicora y Loreto.

El área urbana del distrito El Algarrobal, se encuentra asentada sobre terrenos con pendientes de muy baja ($<5^\circ$) a baja (5° - 20°), mientras que, hacia la zona norte y noreste del área urbana se observan pendientes fuertes (35° - 50°), por la presencia de depresiones y cerros (Tabla 3).

Tabla 3: Rangos de pendientes del terreno

PENDIENTE EN GRADOS ($^\circ$)	CLASIFICACIÓN
< 5	Muy baja
$5 - 20$	Baja
$20 - 35$	Media
$35 - 50$	Fuerte
> 50	Muy Fuerte

Fuente: Fidel et al., (2006)

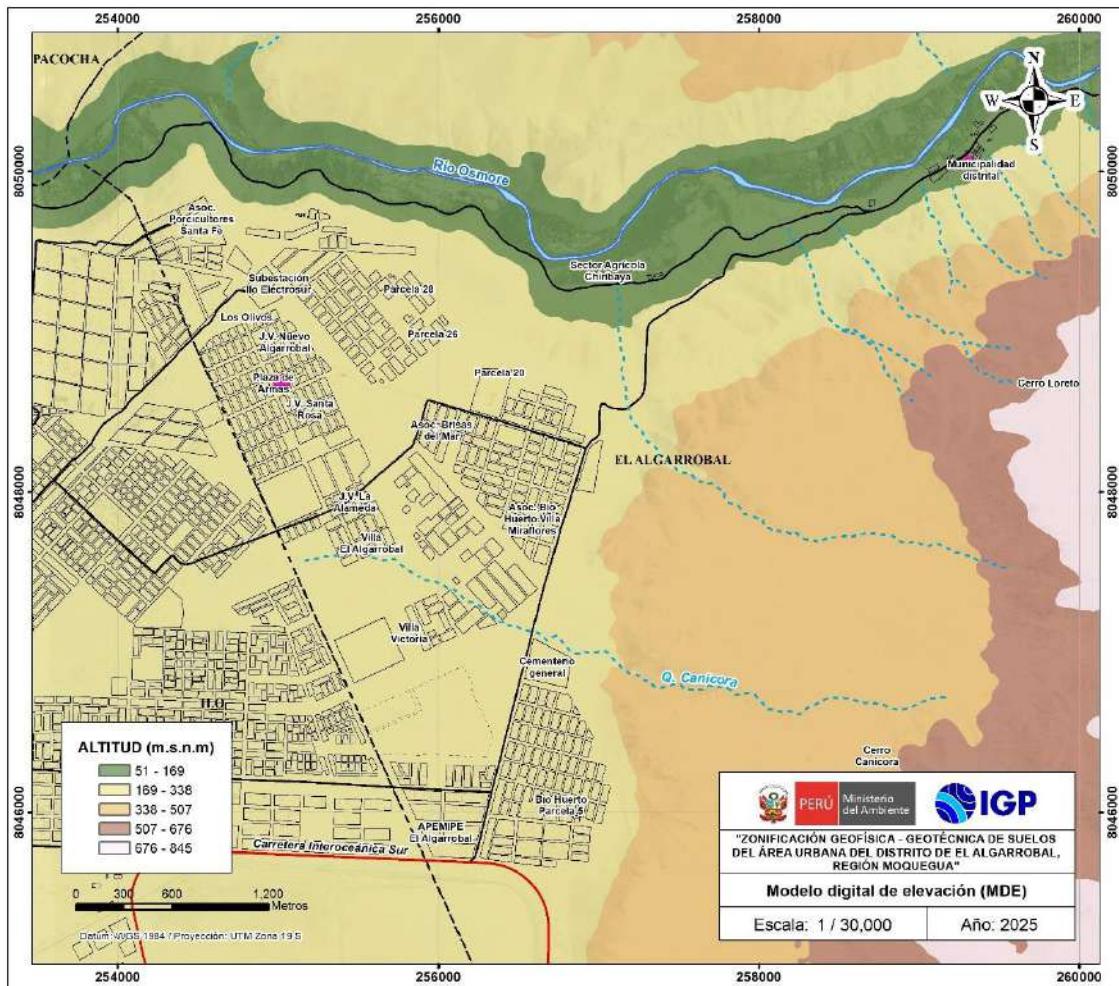


Figura 3: Modelo Digital de Elevación del área urbana del distrito El Algarrobal.

2.1.2. Unidades Geomorfológicas

Las principales unidades geomorfológicas identificadas en el distrito El Algarrobal son:

Loma: Se disponen en formas irregulares a alargadas, de grandes extensiones y altura superior a los 300 metros, presentan pendientes mayores a 20° y cubiertas parcialmente por mantos de arena. Esta geoforma se delimitó al norte y este de la zona urbana, Figura 4.



Figura 4: Loma identificada en la zona norte y este de la zona de estudio.

Lecho fluvial: Es el canal excavado por el flujo de un río y los sedimentos que éste transporta durante todo su desarrollo y evolución. En la zona de estudio, esta geoforma es el resultado de la dinámica del río Osmore, que pertenece a la intercuenca Osmore (superficie de 525.64 km²), subcuenca Bajo Ilo-Moquegua y cuenca del río Moquegua. El río Osmore discurre por una pendiente muy baja (<5°), ver Figura 5, y presenta una dirección de flujo de noreste a suroeste (zona norte), en su recorrido cambia la dirección de sureste a noroeste (zona central) y finalmente, continúa en dirección noreste a suroeste hasta su desembocadura en el Océano Pacífico. (Figura 5).



Figura 5: Lecho fluvial del río Osmore.

Terraza fluvial: Superficies horizontales o ligeramente inclinadas, cuyo relieve presenta pendientes menores a 7°. Esta unidad se delimitó en ambas márgenes del río Osmore y comprende capas escalonadas que indican los períodos de inundación del río en mención, Figura 6.



Figura 6: Terrazas escalonadas en el margen del río Osmore.

Llanura: Esta geoforma presenta pendientes muy bajas ($<5^\circ$) y bajas (5° - 20°). Comprende una capa de arena suelta la cual cubre gravas subredondeadas de origen polimítico. Sobre esta llanura se establece el área urbana del distrito El Algarrobal ver Figura 7.



Figura 7: Llanura del distrito del Algarrobal, donde se emplaza el área urbana.

Finalmente, en la Figura 8 se presenta el mapa de geomorfología del área urbana del distrito El Algarrobal, elaborado con la información recolectada en campo.

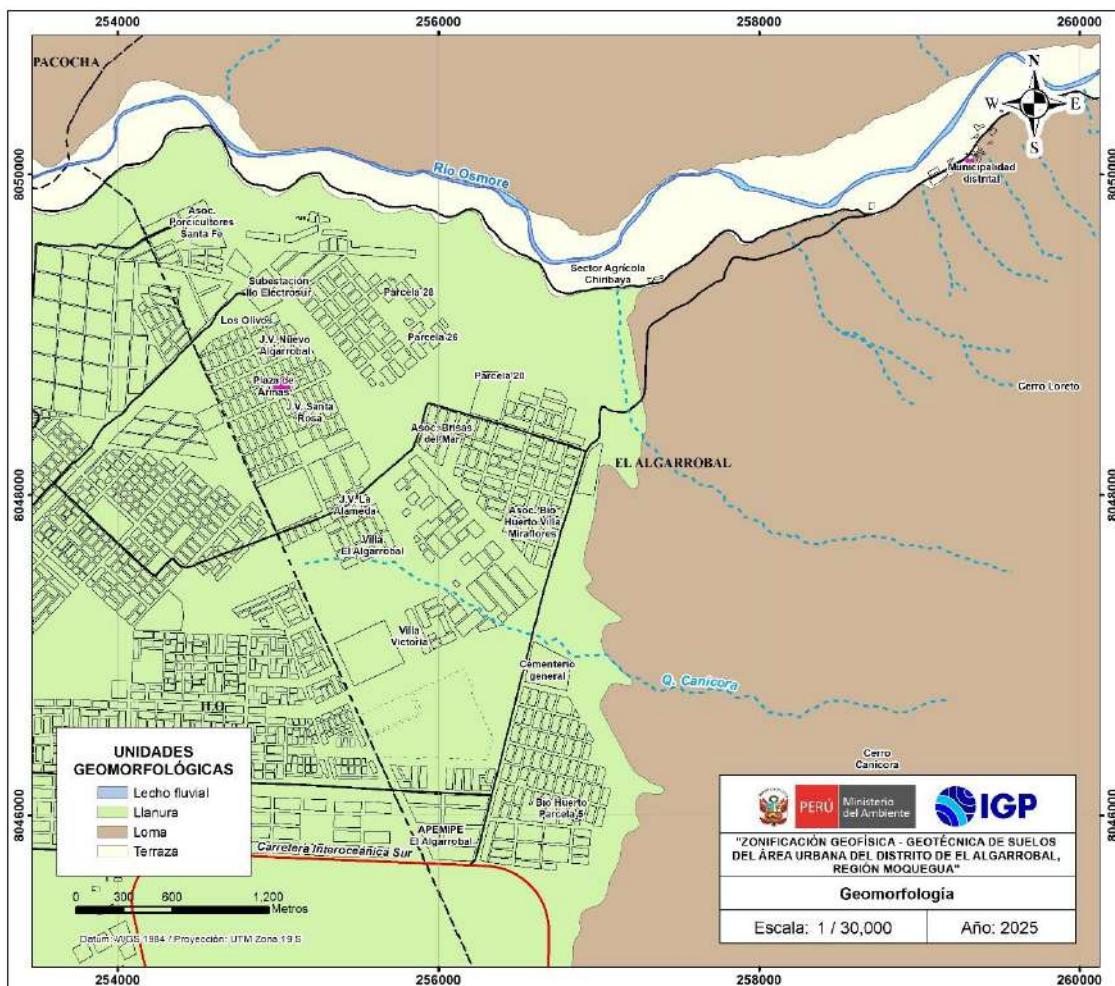


Figura 8: Mapa Geomorfológico del área urbana del distrito El Algarrobal, donde la población se asienta principalmente en la llanura.

2.2. Geología Local

El análisis de la geología regional ha sido desarrollado en base a información consolidada por el INGEMMET (2000) a escala 1/100,000 (Cuadrángulo Geológica de llo 36-t); mientras que, para la geología local se ha hecho uso de información recolectada directamente en campo para el presente estudio a la escala 1/30,000. De acuerdo con estos resultados, se ha logrado identificar las siguientes unidades geológicas cartografiadas en El Algarrobal, todas indicadas en la Tabla 4.

Tabla 4: Rangos de la Columna cronoestratigráfica del área de estudio.

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS	SÍMBOLO	LITOLOGÍA
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	Depósito eólico	Q-eo	Arenas finas
			Depósito fluvial	Q-fl	Gravas y bloques redondeados con arenas y limos
			Depósito aluvial 1	Q-all	Arenas, limos, bloques, gravas redondeadas a subredondeadas de naturaleza polimíctica.
			Depósito aluvial 2	Q-al2	Arenas, bloques, gravas subredondeadas.
			Depósito proluvial	Q-pl	Arenas, bloques y gravas angulosas
			Depósito coluvial	Q-cl	Bloques y gravas angulosas de granodioritas, dioritas con arenas y limos.
MESOZOICO	CRETÁCICO	INFERIOR	Super Unidad Ilo	Ki-bc/i-di	Diorita cuarcífera, tonalita y granodioritas
	JURÁSICO	INFERIOR A MEDIO	Super Unidad Punta Coles	Jim-bc/pc-di	Diorita de grano fino, diorita cuarcífera

Fuente: Adaptada del cuadrángulo de INGEMMET, 2000

Súper Unidad Punta Coles (Jim-bc/pc-di): Se ha identificado en el sur del área de estudio. Corresponden a cuerpos ígneos intrusivos de composición cuarzodioritas de grano medio a fino, presentan un grado de meteorización alto a medio. Además, los cuerpos intrusivos son cortados por

venillas de cuarzo los cuales se encuentran fuertemente meteorizados y generan zonas de debilidad (fracturas), Figura 9.



Figura 9: Súper Unidad Punta Coles, afloramiento de cuarzodioritas de meteorización alta cortada por venillas de cuarzo. La roca se llega a romper con 3 a 4 golpes con picota.

Súper Unidad Ilo (Ki-bc/i-di): Consisten en cuarzodioritas de grano medio, grueso con variaciones a tonalita y granodioritas. Afloramientos meteorizados y fracturados los cuales caen al borde de la red vial o pista en la ruta El Algarrobal-puerto Ilo, Figura 10.



Figura 10: Contacto de la Súper Unidad Ilo con la Súper Unidad Punta Coles.

Depósito coluvial (Q-cl): Comprenden bloques y gravas angulosas de granodioritas, dioritas con arenas y limos. Afloran en las laderas de las lomas, principalmente en la parte noreste de la zona de estudio, Figura 11.

Depósito proluvial (Q-pl): Corresponden a depósitos de flujos y quebradas los cuales comprenden bloques, gravas, arenas. Se encuentran formando pequeños abanicos en la parte baja de las lomas (parte posterior y adyacentes a la Municipalidad del distrito El Algarrobal), Figura 11.



Figura 11: Depósitos proluviales (Q-pl), coluviales (Q-cl) y aluviales (Q-al1) en el valle El Algarrobal.

Depósito aluvial 2 (Q-al2): Consiste en arenas, bloques, gravas subredondeadas de naturaleza polimíctica, se encuentran cubriendo los afloramientos intrusivos.

Depósito aluvial 1 (Q-al1): Comprenden arenas, limos, bloques, gravas redondeadas a subredondeadas de naturaleza polimíctica. Se delimitaron en ambas márgenes del río Osmore.

Depósitos fluviales (Q-fl): Corresponden a gravas y bloques redondeados en una matriz fina de arenas y limos. Se establecen a lo largo del río Osmore, Figura 12.

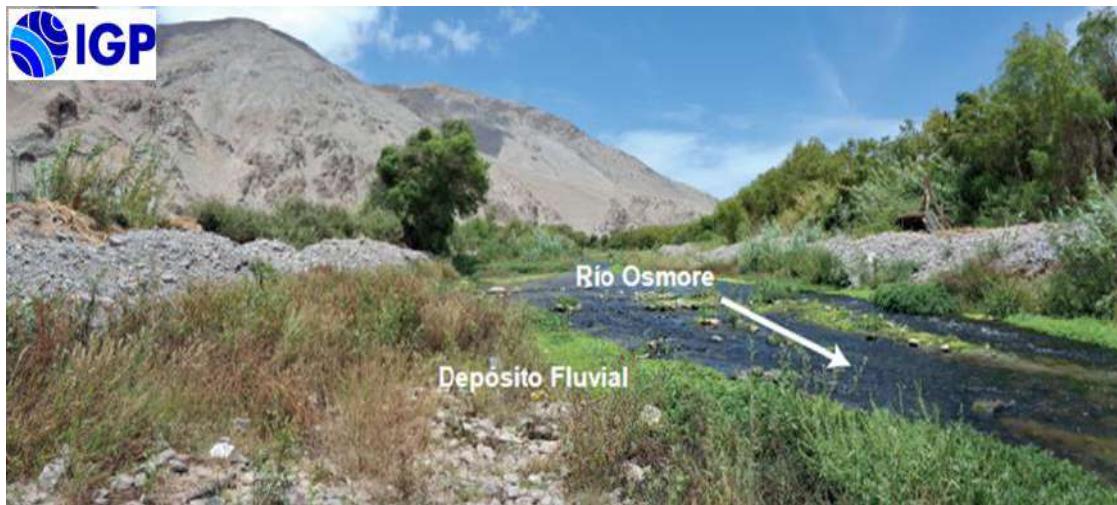


Figura 12: Depósito fluvial establecido a lo largo del río Osmore.

Depósitos eólicos (Qh-eo): Constituido por arenas finas que no sobrepasan el metro de espesor, que cubrieron parcialmente las lomas (zona sureste de la zona de estudio) y en tramos de la Ruta El Algarrobal-Puerto Ilo.

Las unidades geológicas, antes descritas han sido cartografiadas en campo y representadas en el mapa geológico de la Figura 13.

2.3.-Geodinámica Superficial

La Geodinámica estudia los fenómenos geológicos que provocan modificaciones en la superficie terrestre producto de la interacción de procesos (internos y externos) que originan cambios físicos, químicos y/o morfológicos que alteran y modifican el relieve actual. Durante los trabajos de campo, en el área urbana del distrito El Algarrobal, se identificó los siguientes eventos geodinámicos:

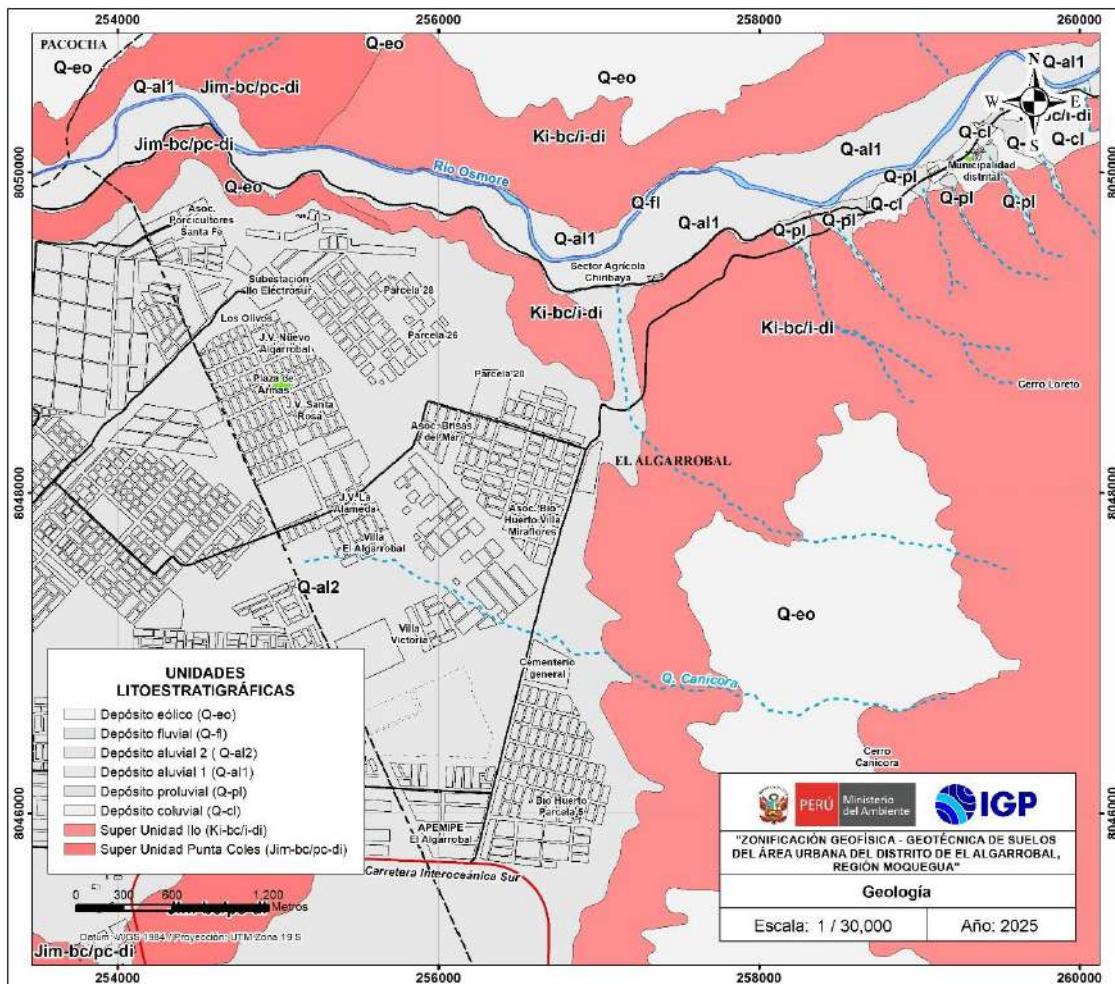


Figura 13: Mapa geológico del distrito de El Algarrobal.

-Caída de rocas: Es un tipo de movimiento en masa en el cual uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de una ladera, sin que a lo largo de esta superficie ocurra desplazamiento cortante apreciable. Una vez desprendido, el material cae desplazándose principalmente por el aire pudiendo efectuar golpes, rebotes y rodamiento (Varnes, 1978). Este evento se delimitó en los taludes de las vías de acceso al distrito del Algarrobal (Figura 14); asimismo, se identificaron áreas con probabilidad de ocurrencia por presentar taludes con pendiente mayor a 30° y rocas fracturadas.

-Flujo de detritos: Estos flujos se caracterizan por presentar material saturado (bloques, gravas, arenas, limos y arcillas contenidos en agua) que se desplazan a grandes velocidades, a través de quebradas o canales de

pendiente considerable que finalmente se acumularán en el frente de onda como abanico de detritos.



Figura 14: Caída de rocas, por el sector de Poquera.

Al este, sur y suroeste del distrito del Algarrobal se evidencia la presencia de un abanico de detritos sobre el cual, se desarrollan terrenos de cultivo. En la zona de estudio, los flujos de detritos, producto del incremento de las precipitaciones; se identificaron en las quebradas Canicora e Higueral. De suscitarse nuevamente este evento podría afectar viviendas, terrenos de cultivo y vías de acceso asentadas en la parte baja, Figura 15.

Cabe mencionar que aguas arriba del distrito, en la quebrada Guaneros, se evidencio flujos de detritos ocurridos recientemente que alcanzaron hasta 1.80 m de altura. Según testimonio de los pobladores de la zona este flujo de detritos se suscitó el 10 de febrero del 2019, Figura 16.



Figura 15: Depósito de flujo de detritos, quebrada Higueral.



Figura 16: Depósito de flujo de detritos recientes, quebrada Guaneros.

-Inundación fluvial: Las inundaciones fluviales causadas por el desbordamiento de los ríos y los arroyos, es atribuida al aumento brusco del volumen de agua más allá de lo que un lecho o cauce es capaz de transportar sin desbordarse, durante lo que se denomina crecida (consecuencia del exceso de lluvias). El 10 de febrero 2019 el río Osmore; producto de precipitaciones extraordinarias; alcanzó un caudal de 180 m³, se desbordó en ambas márgenes, y afectó la vida y salud de los habitantes de los sectores de El Algarrobal, Florida, fundo San Antonio y fundo El Hueso; terrenos de cultivo, infraestructuras de comunicación (puente colgante, carreteras) y una bocatoma, Figura 17.



Figura 17: Sector del Algarrobal afectado por el desborde del río Osmore, afectando el puente colgante.

Finalmente, en la Figura 18 se presenta el mapa de geodinámica del área urbana del Algarrobal, elaborado con la información recolectada en campo.



Figura 18: Mapa geodinámico del distrito El Algarrobal.

2.4 Aspectos geotécnicos

Con la finalidad de obtener la información geotécnica de los suelos de cimentación en el área urbana de El Algarrobal, en coordinación con la Municipalidad, se ejecutaron exploraciones a cielo abierto (calicatas) y cortes directos para la clasificación de suelos (SUCS) y la estimación de la capacidad de carga admisible de los suelos.

Para el análisis geotécnico, en el área urbana El Algarrobal, se realizaron 11 calicatas, 02 posteos y 09 ensayos de penetración dinámica ligera (DPL). Las muestras extraídas se analizaron en el laboratorio con la finalidad de determinar la composición granulométrica, plasticidad, corte directo y realizar el cálculo de la capacidad de carga admisible de los suelos de cimentación.

-Exploraciones a cielo abierto (calicatas, norma ASTM 420): En el área de estudio se realizaron 11 calicatas con profundidades de exploración de aproximadamente a 3 metros (Anexo 1), extrayendo muestras en bolsas herméticas con capacidad de 5kg. Las características físicas de las calicatas se muestran en la Tabla 5. La exploración geotécnica ha permitido identificar suelos conformados de material carbonatado (caliche) compacto a muy compacto intercalado con niveles de arenas limosas con grava y arena limosa con arcilla, con alto contenido de humedad, en zonas próximas al río Osmore.

Tabla 5: Ubicación de calicatas.

CALICATA	COORDENADAS UTM		ELEVACIÓN (m s.n.m.)	PROFUNDIDAD (m)	NIVEL FREÁTICO A (m)
	ESTE (m)	NORTE (m)			
CAL-01	254661	8049570	170	2.50	N.P.
CAL-02	255979	8049217	207	1.50	N.P.
CAL-03	255440	8048508	185	2.70	N.P.
CAL-04	255299	8047405	198	3.00	N.P.
CAL-05	256055	8046653	227	3.00	N.P.
CAL-06	256919	8046106	258	3.40	N.P.
CAL-07	258628	8049800	92	3.20	N.P.
CAL-08	256414	8048406	221	1.60	N.P.
CAL-09	256369	8047809	238	2.50	N.P.
CAL-10	255947	8046129	210	3.10	N.P.
CAL-11	259012	8050256	87	2.40	2.40

Fuente: IGP, 2024. Dónde: N.P. = No presenta

-Exploraciones con posteadora manual: A fin de obtener muestras del suelo, se realizaron sondeos exploratorios (perforaciones) en suelos blandos (arcillas y arenas) hasta una profundidad de 5 a 6 metros. En cada uno de los ensayos se llevó a cabo una detallada descripción de los tipos de suelos encontrados y el contenido de humedad que presenta. La ubicación de los posteos y resultados obtenidos se muestran en la Tabla 6; mientras que, el registro de perforaciones se describe en el Anexo 1.

Tabla 6: Ubicación de posteos y clasificación de suelos SUCS.

POSTEO	COORDENADAS UTM		ELEVACIÓN (m s.n.m.)	PROFUNDIDAD (m)	TIPO DE SUELO (SUCS)	PROF. DEL NIVEL FREÁTICO (m)
	ESTE (m)	NORTE (m)				
Post-01	254075	8050286	19	1.20	SM	N.P.
Post-02	259523	8050443	86	1.60	SM	N.P.

Fuente: IGP, 2024. Dónde: NP= No Presenta

-Ensayo de penetración dinámica ligera – DPL (Norma DIN 4094):

El DPL es un equipo de campo de registro continuo donde se contabiliza y registra el "N", que es el número de golpes dados por un martillo de 10 kg. Este martillo se deja caer por gravedad desde una altura de 0.5 metros (medida desde la parte superior del tambor de acero), para profundizar tramos cada 10 cm, a través de una punta cónica de 60° que se encuentra en el extremo inferior. Este ensayo permite estimar el ángulo de fricción de suelos específicos, que ayudarán a calcular mediante fórmulas empíricas la capacidad portante (resistencia al corte) de los suelos en kg/cm², además, se puede tener las propiedades de compacidad de los suelos.

En la Tabla 7, se indica la ubicación de los ensayos de Penetración Dinámica Ligera (DPL) realizados en el área de estudio, registrándose el número de golpes y el ángulo de fricción interna calculado en base a los parámetros de compacidad (correlación del valor de N) establecida por Terzaghi y Peck (1973) y densidad relativa según la fórmula de Meyerhof (1956). La ficha del ensayo se adjunta en el Anexo 1 de Geotécnica y el mapa de ubicación de ensayos geotécnicos en el área de estudio, en la Figura 19.

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

Dónde:

ϕ = Ángulo de fricción interna

Dr=Densidad relativa

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

DPL	COORDENADAS UTM		ELEVACIÓN (m s.n.m.)	PROF. (m)	NÚMERO DE GOLPES	Φ
	ESTE (m)	NORTE (m)				
DPL-1	255382	8049440	191	1.40	45	32.6
DPL-2	254882	8049008	187	0.50	45	32.6
DPL-4	256762	8047589	247	0.40	45	32.6
DPL-5	256454	8045441	199	0.90	45	34.7
DPL-6	257478	8049631	65	3.60	9	24.3
DPL-7	259458	8050295	94	0.50	45	32.6
DPL-8	260090	8050769	91	2.90	5	20.9
DPL-9	257007	8049344	52	2.10	20	27.2
DPL-10	254472	8049930	216	1.00	45	32.6

Fuente: IGP (2024). Dónde: Φ = ángulo de fricción interna

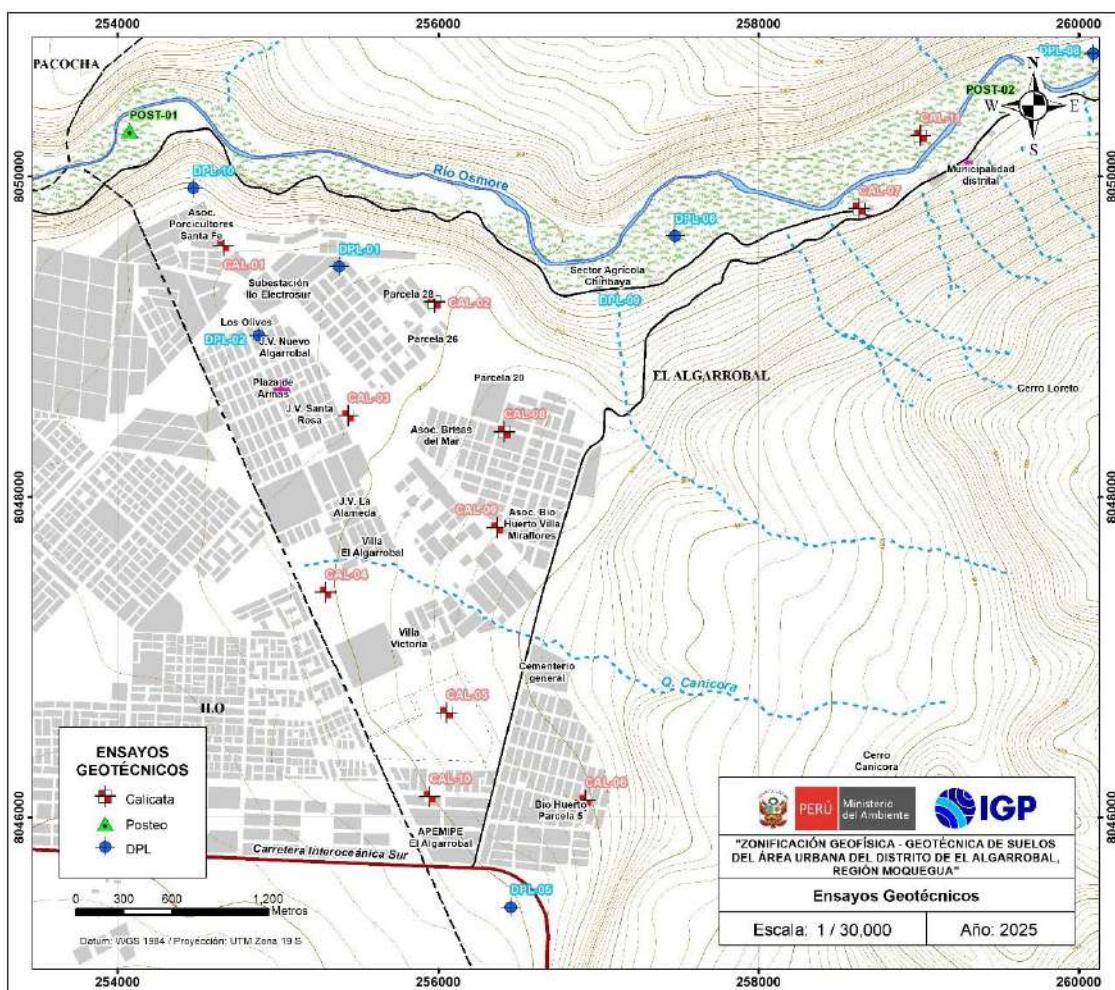


Figura 19: Mapa de ubicación de ensayos geotécnicos.

Los ensayos DPL alcanzaron una profundidad en promedio de 1.5 metros esta información permite inferir que los suelos del área urbana de El Algarrobal y anexos, presentan resistencia y correspondería a suelos constituidos por gravas.

2.4.1. Clasificación de Suelos (SUCS)

En base a la información recolectada de las calicatas y los resultados obtenidos de los ensayos granulométricos y de plasticidad, se han identificado, en el área urbana de El Algarrobal, 04 tipos de suelos (Figura 20 y Tabla 8), los mismos que han sido agrupados haciendo uso del Sistema de Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y cuyos resultados son:

-Suelo tipo GP-GM: Grava mal graduada con limo y arena con contenido de humedad de 0.9 %. Constituyen suelos de compacidad media a suelta, este tipo de suelo se ha identificado en la Asoc. Porcicultores Santa Fe y próximos a la Subestación Ilo-Electrosur, abarcando 159 ha que representa el 13 % del área de estudio.

-Suelo tipo SM: Arena limosa con grava y arena limosa con contenido de humedad de 1.2-1.4 % y 25.2 % respectivamente. Constituyen suelos de compacidad suelta. Este tipo de suelos se identificó en la junta vecinal Santa Rosa, en la Parcela 28 y en zona agrícola frente a las instalaciones de la Municipalidad, abarcando 379 ha que representa el 31% del área de estudio.

-Suelo tipo SP: Arena mal graduada, contenido de humedad de 0.7 %. Constituyen suelos de compacidad media. Este tipo de suelos se identificó en la asociación Bio Huerto Villa Miraflores, abarcando 7 ha que representa el 1 % del área de estudio.

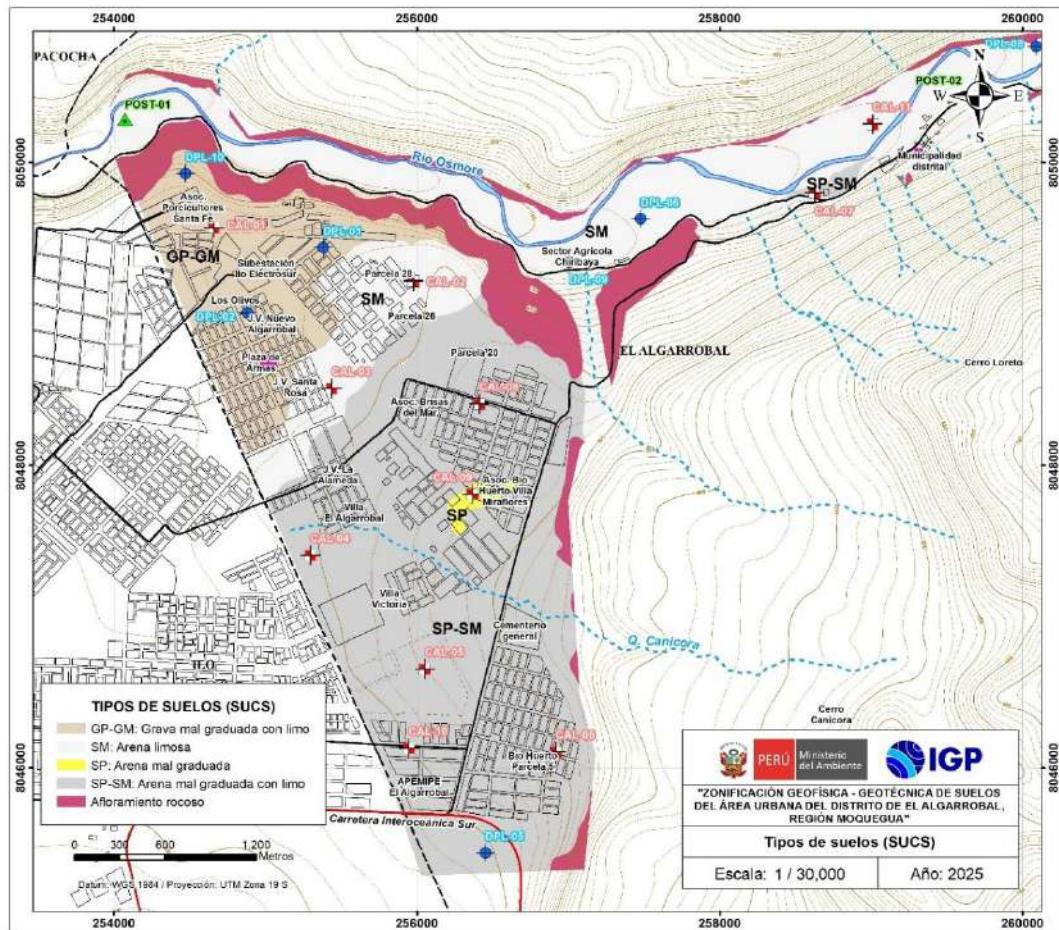


Figura 20: Mapa de clasificación de suelos SUCS en el área urbana del distrito El Algarrobal.

-Suelo tipo SP-SM: Arena mal graduada con limo y arena mal graduada con limo y grava, con contenido de humedad entre 0.8 a 2.8 %, constituyen suelos de compacidad suelta. Se ha identificado en los terrenos próximos a Villa El Algarrobal y Villa Victoria, además, en la Asoc. Brisas del Mar, Asoc. Pequeños Industriales Villa Panamericana y en los alrededores de la empresa Aceitunas de Ilo S. A., abarcando 547 ha que representa el 45% del área de estudio.

2.4.2. Capacidad de Carga Admisible

En base a la información recolectada de las calicatas y los resultados obtenidos de los ensayos de corte directo, se determina la capacidad de carga admisible.

Tabla 8: Clasificación SUCS de los suelos del distrito El Algarrobal.

CALICATA	PROFUNDIDAD (m)	NIVEL FREÁTICO (m)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	LÍMITE LÍQUIDO (%)	LÍMITE PLÁSTICO (%)	ÍNDICE PLÁSTICO (%)	CLASIFICACIÓN SUCS	DENOMINACIÓN
CAL-01	2.40	N.P	0.9	NP	NP	NP	GP-GM	Grava mal graduada con limo y arena
CAL -02	1.50	N.P	1.4	NP	NP	NP	SM	Arena limosa con grava
CAL -03	1.60	N.P	1.2	NP	NP	NP	SM	Arena limosa con grava
CAL -04	1.70	N.P	0.8	NP	NP	NP	SP-SM	Arena mal graduada con limo
CAL -05	2.40	N.P	1.0	NP	NP	NP	SP-SM	Arena mal graduada con limo
CAL -06	1.70	N.P	2.2	NP	NP	NP	SP-SM	Arena mal graduada con limo
CAL -07	2.0	N.P	1.4	NP	NP	NP	SP-SM	Arena mal graduada con limo y grava
CAL -08	1.60	N.P	2.8	NP	NP	NP	SP-SM	Arena mal graduada con limo
CAL -09	2.50	N.P	0.7	NP	NP	NP	SP	Arena mal graduada
CAL -10	1.60	N.P	2.0	NP	NP	NP	SP-SM	Arena mal graduada con limo
CAL -11	1.80	N.P	25.2	NP	NP	NP	SM	Arena limosa

Fuente: IGP, 2024. Dónde: N.P. =No presenta

-Ensayo de corte directo (Norma ASTM D – 3080): La finalidad del ensayo de corte directo es determinar la resistencia al esfuerzo de corte de una muestra de suelo, sometida a fatigas y/o deformaciones (esfuerzos verticales y horizontales) que simulen la que existe o existirá 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 carga admisible de los suelos del Algarrobal están basados en datos de laboratorio de Mecánica de Suelos (Anexo 1 – 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.

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

-Capacidad de carga admisible: 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 admisible de las 11 muestras de suelos extraídas en el área urbana del Algarrobal, se presentan en la Tabla 9.

Tabla 9: Capacidad de carga admisible para muestras extraídas en el distrito El Algarrobal.

MUESTRA	Capacidad de carga última (kg/cm ²)	Capacidad de carga admisible (kg/cm ²)	Falla de Corte
CAL - 01	21.01	7.00	Corte General
CAL - 02	16.92	5.64	Corte General
CAL - 03	6.74	2.25	Corte General
CAL - 04	4.98	1.66	Corte General
CAL - 05	4.06	1.35	Corte General
CAL - 06	4.39	1.46	Corte General
CAL - 07	8.68	2.89	Corte General
CAL - 08	9.10	3.03	Corte General
CAL - 09	10.39	3.46	Corte General
CAL - 10	4.81	1.60	Corte General
CAL - 11	10.90	3.63	Corte General
DIMENSIONES DE CIMENTACIÓN	Profundidad: 1.50 m y ancho: 1.50 m		

Según los resultados, indicados en la Tabla 10, se ha determinado que el área urbana del Algarrobal, en su mayoría ha sido construida sobre con cimentaciones de 1.5 metros de profundidad, presentándose 4 rangos de capacidad de carga admisible descritos a continuación:

Tabla 10: Rango de capacidad de carga admisible.

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

Fuente: IGP (2018)

-Capacidad de carga admisible muy baja: Comprende rangos de capacidad de carga menores a 1.0 kg/cm², correspondiente a suelos, tales como: Arena limosa (SM). Identificado en el extremo este del Algarrobal.

-Capacidad de carga admisible baja: Comprende rangos de capacidad de carga de 1.0 a 2.0 kg/cm², correspondiente a suelos, tales como: Arena mal graduada con limo (SP-SM). Identificado en el extremo sur del Algarrobal.

-Capacidad de carga admisible media: Comprende rangos de capacidad de carga de 2.0 a 3.0 kg/cm², correspondiente a suelos, tales como: Arena limosa (SM). Identificado en la zona central y extremo este del Algarrobal

-Capacidad de carga admisible alta: Comprende rangos de capacidad de carga mayores a 3.00 kg/cm², correspondiente a suelos, tales como: Grava mal gradada con limo (GP-GM), arena limosa (SM) y arena mal gradada (SP). Identificado en la zona central y extremo norte de El Algarrobal.

Finalmente, en la Figura 21 se presenta el mapa de capacidad de carga admisible del área urbana del Algarrobal, elaborado con la información recolectada en campo.

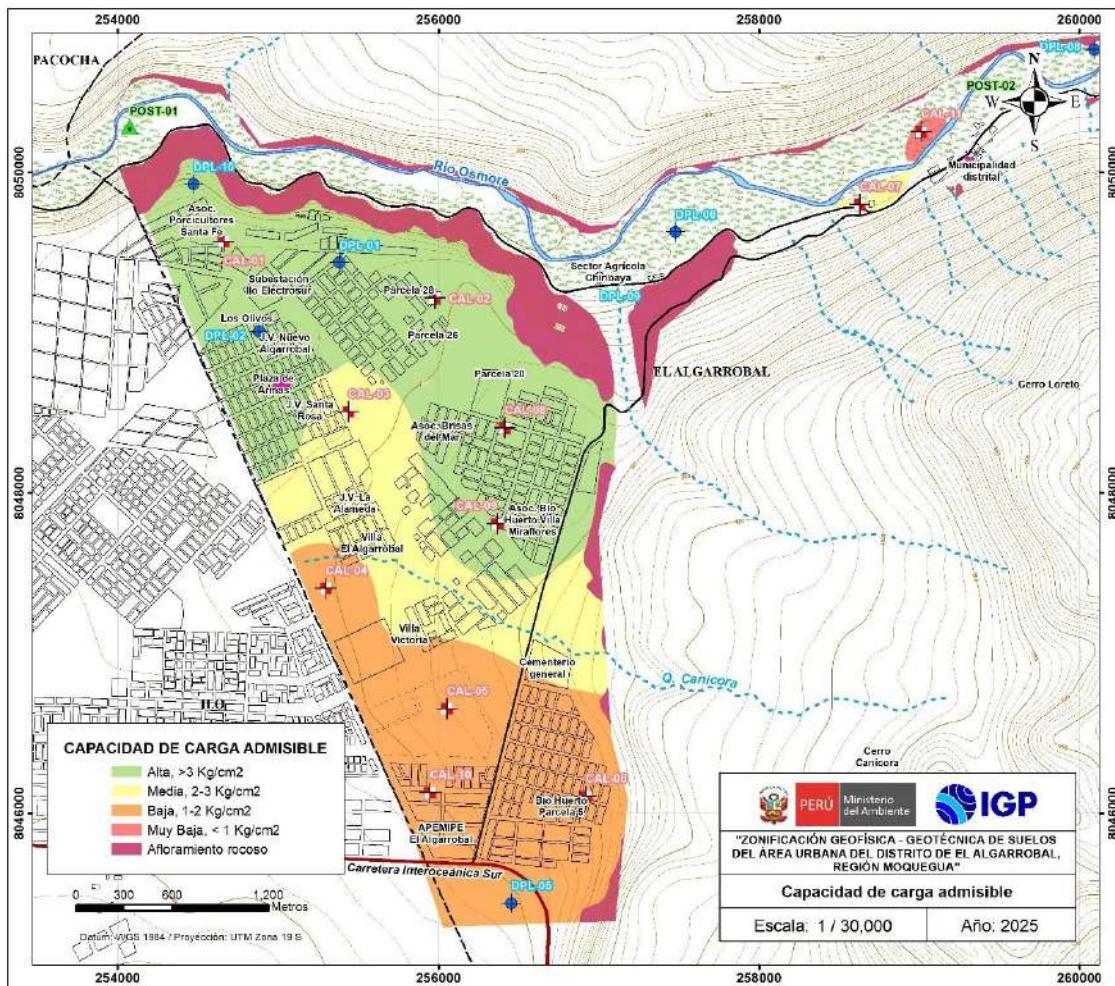


Figura 21: Mapa de capacidad de carga admisible del suelo para el área urbana del distrito El Algarrobal.

3. EVALUACIÓN GEOFÍSICA

A fin de conocer los diferentes parámetros físicos que controlan el comportamiento dinámico de la estructura del suelo en el área urbana del distrito El Algarrobal, se procede a aplicar diferentes métodos geofísicos, cuyos resultados se correlacionan entre sí y con los aspectos geo-ambientales de la zona de estudio. A continuación, se describe cada método aplicado y se presenta los resultados obtenidos.

3.1. Método de razones espectrales – vibración ambiental

El método de razones espectrales (H/V) permite caracterizar la respuesta dinámica del suelo a partir del periodo de respuesta del suelo y en algunos casos, estimar su amplificación, ante la solicitud 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 (Nakamura, 1989; SESAME, 2004). Asimismo, debe entenderse que la variación de las propiedades físicas de los tipos de suelo, espesor, geometría y composición litológica, condicionan la amplificación de las ondas sísmicas.

3.1.1. Adquisición de datos

Para la adquisición de los registros de vibración ambiental, se utilizaron sensores Lennartz y registradores CityShark II (Figura 22). Cada registro presenta una duración de 15 minutos, lo cual permite disponer de buena cantidad de datos para su posterior análisis. En el área urbana del distrito El Algarrobal, se ha recolectado en campo un total de 105 registros de vibración ambiental en puntos distribuidos de manera equidistante, tal como se observa en la Figura 23.



Figura 22: Equipo sísmico utilizado para el registro de vibraciones ambientales: sensor Lennartz (2N) y registradores CityShark II.

En la Figura 24, se muestran ejemplos de señales de vibración ambiental obtenidos en el punto ALG-044 ubicada próximo a la Plaza de Armas, cuyo registro presenta mayor amplificación de la señal y/o saltos transitorios y en el punto ALG-017, ubicado en el mercado El Algarrobal, donde se observa registros de poca amplitud. Esta diferencia en la forma de los registros, se asocia a que dichos puntos, están ubicados sobre suelos con diferente consistencia o rigidez, permitiendo clasificarlos y a la vez zonificar el área de estudio en base a la respuesta sísmica del suelo.

3.1.2. Procesamiento y análisis

Para aplicar la técnica de Razones Espectrales H/V, los registros de vibración ambiental fueron tratados por ventanas de 20 segundos, para luego calcularse FFT a fin de obtener espectros para cada componente de registro, para luego sumar las horizontales (H) antes de dividirlas entre la

vertical (H/V). Finalmente, en cada señal se procedió a identificar la frecuencia predominante considerando un rango de interés que fluctúa entre 0.5 a 20 Hz y picos/rangos con amplificaciones relativas de al menos 2 veces. En la Figura 25, se observa los resultados obtenidos para el punto ALG-50.

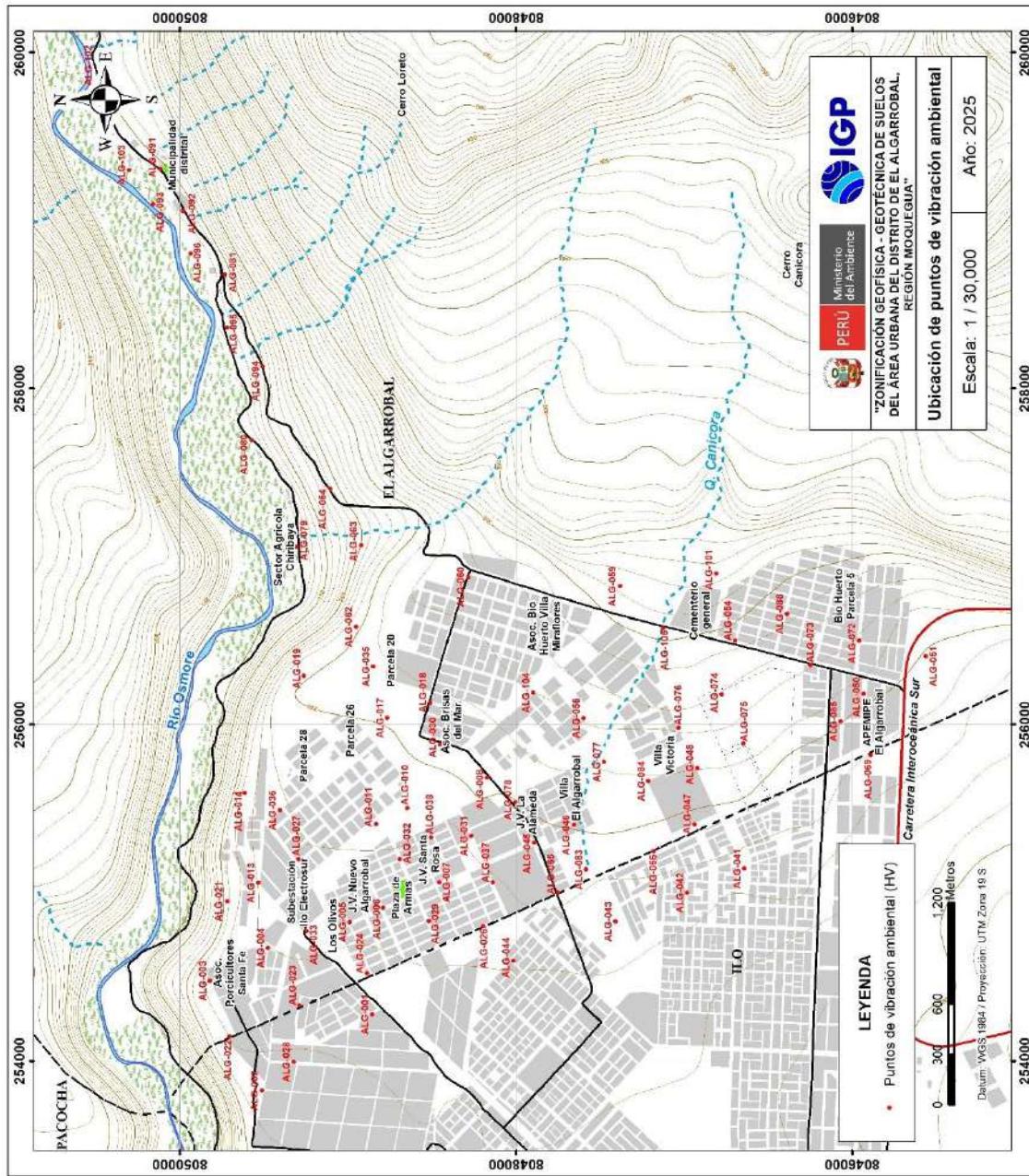


Figura 23: Distribución espacial de los puntos de registros de vibración ambiental, en el área urbana del distrito del Algarrobal.

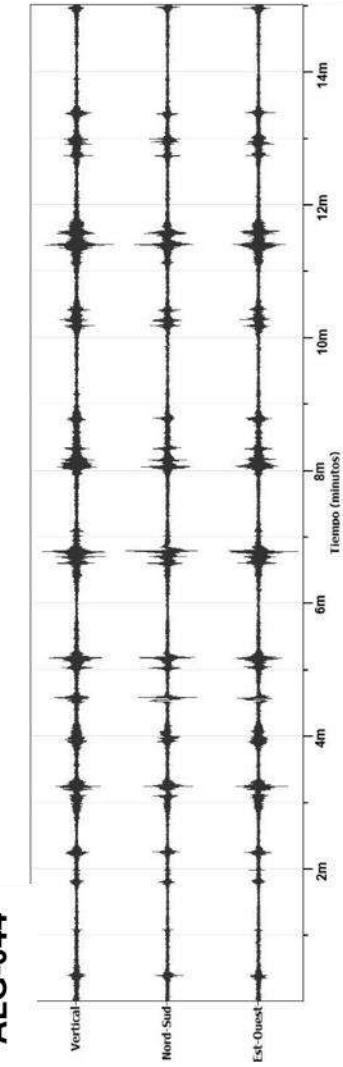
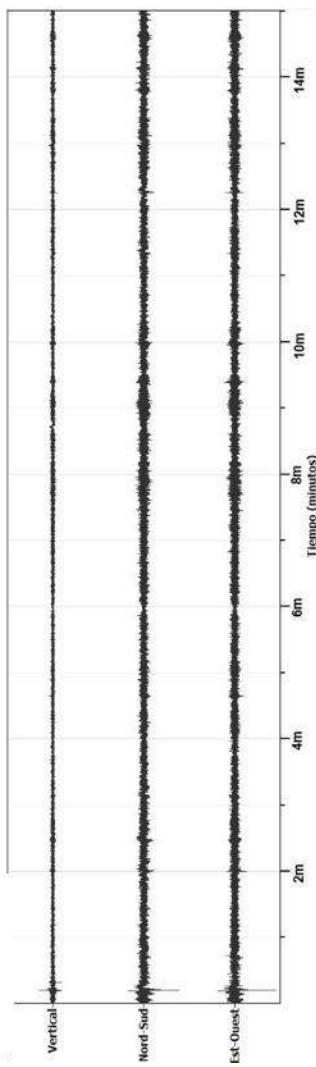


Figura 24: Ejemplos de registros de vibración ambiental, con ruido constante (ALG-017) y ruido transitorio (ALG-044).

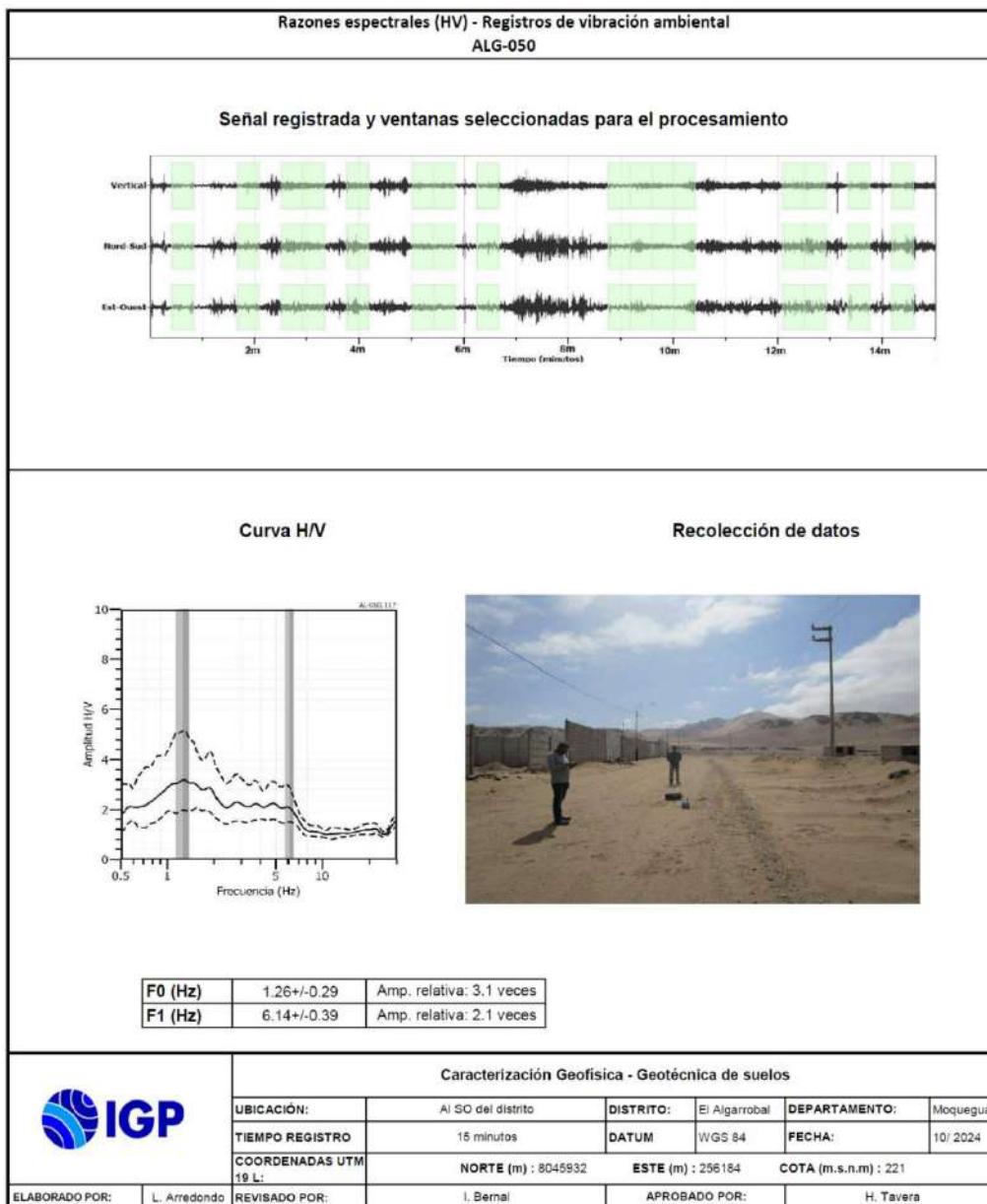


Figura 25: Resultados obtenidos con el método de razones espectrales (H/V) para el punto ALG-050. Arriba, la señal registrada y abajo la curva promedio de las razones espectrales (H/V) en línea gruesa y su desviación estándar en líneas discontinuas. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

Para la interpretación de los resultados se considera que: 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, 2004; Bernal, 2006). Asimismo, se evalúa la correspondencia de los parámetros

físicos-dinámicos encontrados con los aspectos geológicos, geomorfológicos y geotécnicos que domina a la zona de estudio.

3.1.3. Resultados e interpretación

Los suelos del área urbana del distrito del Algarrobal, responden a un rango de frecuencias F1, que fluctúa entre 1.10 y 18 Hz que corresponde a periodos de respuesta que fluctúa entre periodos de 0.1 y 0.9 segundos. En la Figura 26, se presenta la distribución espacial de los periodos de respuesta del suelo en el área de estudio, donde se observa el predominio de dos rangos de periodos que fluctúan entre 0.1-0.2 segundos, en el sector próximo al río y de 0.2-0.6 segundos, hacia el extremo oeste de El Algarrobal. Según esta Figura, los periodos menores a 0.5 segundos se centran en hacia el extremo NO del Algarrobal, principalmente por la Plaza de Armas, Asoc. Porcicultores Santa Fe, Subestación Ilo Electrosur, J.V. La Alameda. Villa el Algarrobal y APEMIPE El Algarrobal y los periodos largos mayores a 0.5 segundos hacia el extremo SE. Asimismo, los periodos cortos de 0.1-0.2 segundos, predominan por la Municipalidad Distrital, Sector Agrícola Chiribaya y extremo NE de la Asoc. Bio Huerto Villa Miraflores. Los periodos cortos, se asocian a la respuesta de una capa sedimentaria superficial y los periodos largos (>0.6 segundos), se asocian a la interfase de capas profundas y mayor espesor.

En la Figura 27, se muestra la distribución de razones espectrales representativas para diferentes sectores del área de estudio.

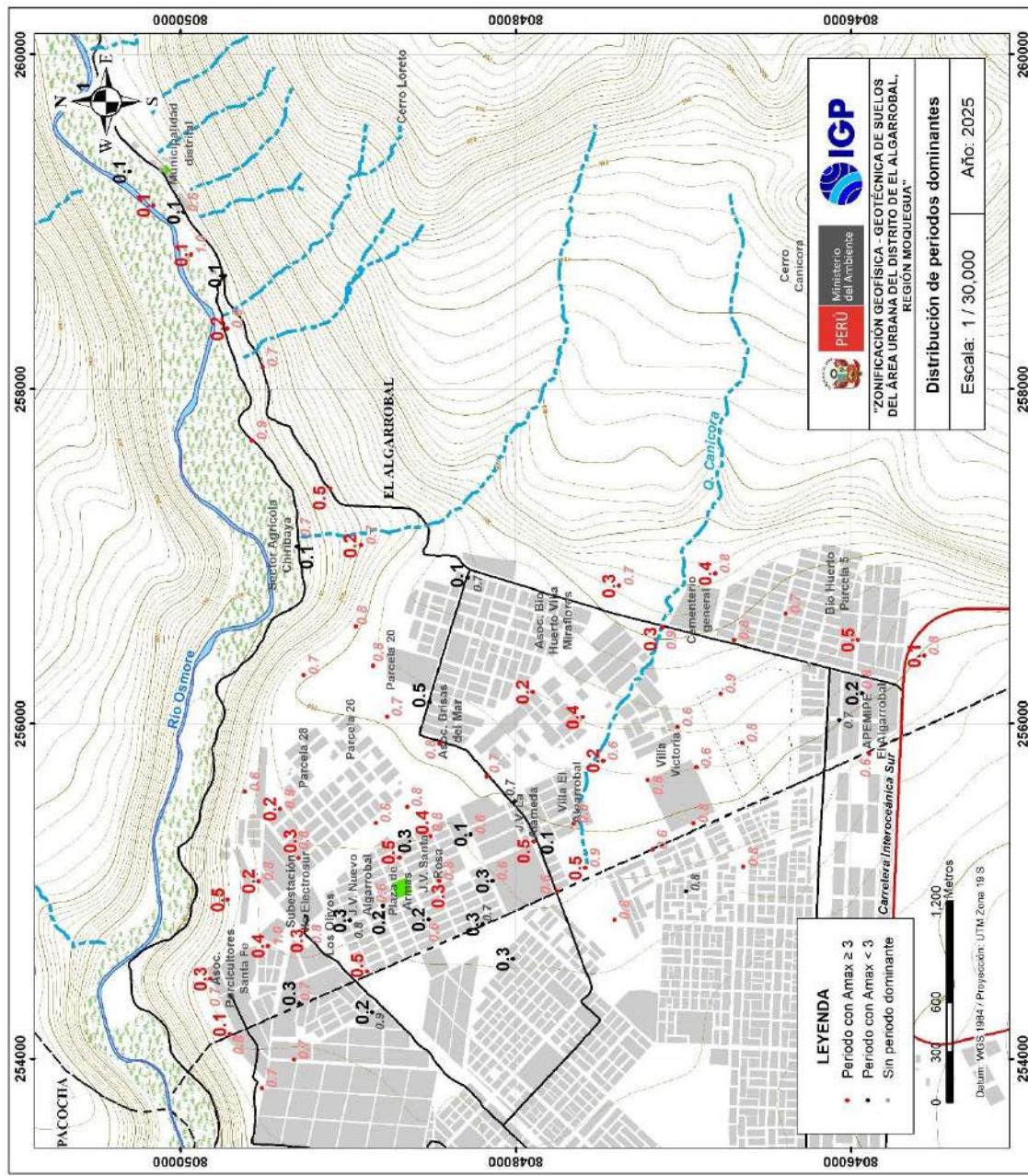


Figura 26: Distribución espacial de los períodos dominantes del suelo. Los períodos largos ($T_0 \geq 0.6$ segundos) presentan números en menor tamaño. Los valores en rojo, corresponden a puntos con amplificaciones mayores a 3.0 veces.

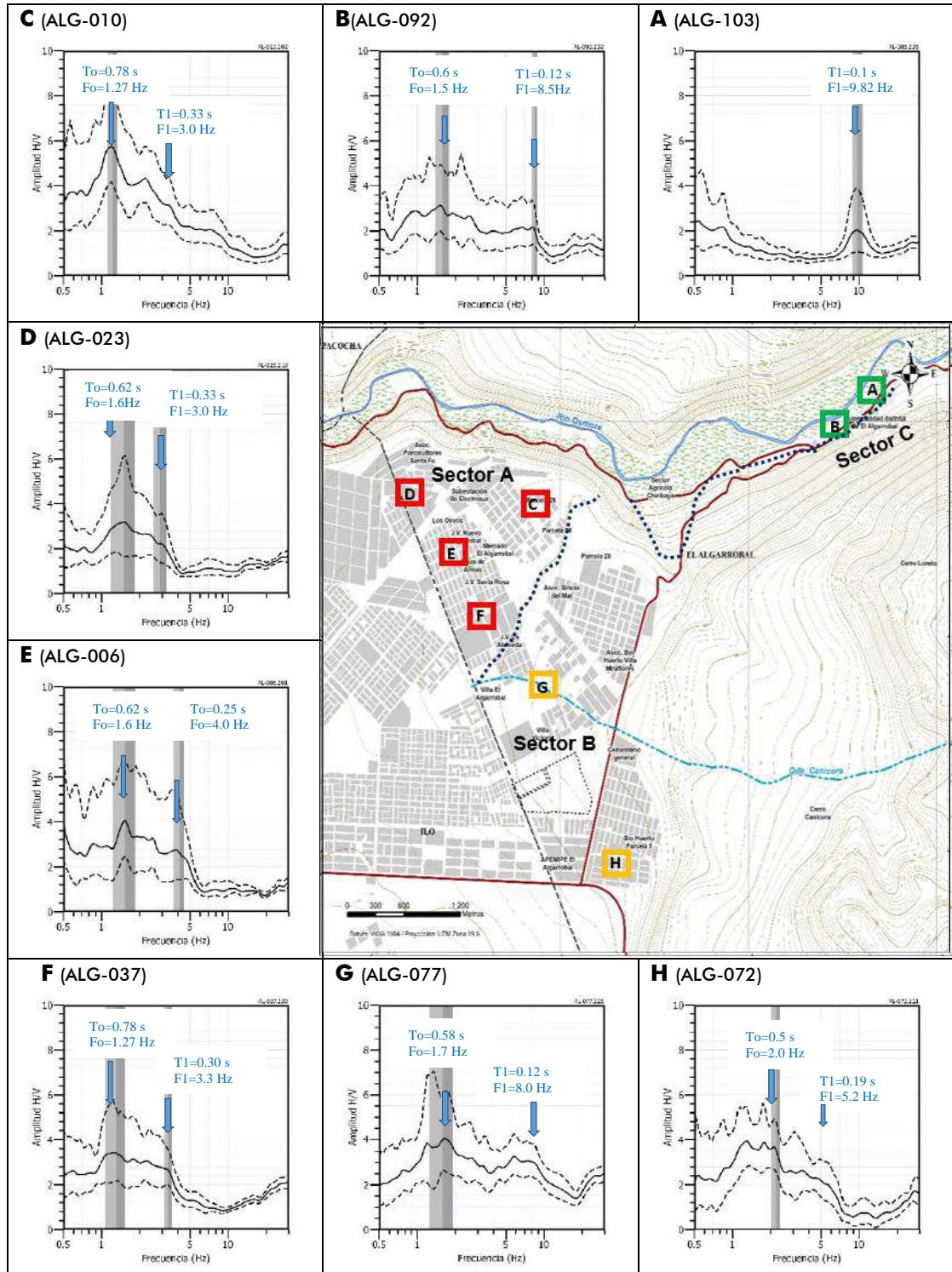


Figura 27: Razones espectrales obtenidas para los puntos de A hasta H, distribuidas en el área de estudio. Las flechas indican el periodo predominante de respuesta del suelo.

-Sector A	Los suelos responden a en una banda de periodos (To), entre 0.2-0.6 segundos, identificados en el extremo NO y zona céntrica del área de estudio (Asoc. Porcicultores Santa Fe, Subestación Ilo Electrosur, J.V. Nuevo Algarrobal, Plaza de Armas, Santa Rosa, J.V. La Alameda).
-Sector B	Los suelos responden en dos rangos de periodos de 0.1-0.2 y 0.5-0.8 segundos con moderada amplificación, identificados en el extremo SE del área de estudio (Villa El Algarrobal, Asoc. Brisas del Mar, Parcela 20, Bio Huerto Parcela 5, APEMIPE El Algarrobal).
-Sector C	Los suelos responden a periodos cortos que fluctúan entre 0.1 y 0.2 segundos con amplificaciones moderadas, identificados en el sector próximo al río Osmore (Municipalidad Distrital, Sector Agrícola Chiribaya). La forma de las curvas H/V, conforme se tiende a la municipalidad, muestra un pico bien definido, evidenciando la presencia de suelos homogéneos poco compactos a nivel superficial.

Estos resultados evidencian la presencia de suelos con respuesta dinámica compleja ante la ocurrencia de sismos, debido a que no solo responde a un único periodo, como lo observado alrededor de la Municipalidad El Algarrobal; a diferencia de lo obtenido por la Plaza de Armas, donde los suelos responden en una banda de periodos que varían en ancho entre los extremos NO y SE del área de estudio, evidenciando que en este sector los suelos no son uniformes y presentan una respuesta dinámica compleja ante sismos. Los suelos más rígidos en el área de estudio se identificaron hacia el Talud y los cerros Canicora y Loreto.

3.2. Métodos Sísmicos MASW-MAM

El ensayo de Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW) o sísmica activa (Park, 1999), permite determinar la estratigrafía del subsuelo bajo un punto; es decir, conocer la velocidad de propagación de las ondas de corte Vs en el subsuelo a partir del análisis de la dispersión de ondas superficiales generadas por una fuente de energía impulsiva y registrada por arreglos lineales de estaciones sísmicas.

El ensayo de Análisis Multicanal de Microtremores (MAM) o sísmica de Microtremores (Louie, 2001), es otro método para conocer la estructura del subsuelo a partir de la velocidad de ondas de corte, pero en este caso se hace uso de registros de ruido sísmico (vibración generada por la actividad humana), cuya contribución es principalmente en bajas frecuencias, lo que permite investigar a mayores profundidades. La combinación de los métodos MASW y MAM permite obtener información del subsuelo a niveles superficiales y en profundidad.

3.2.1. Adquisición de datos

Para la aplicación de los métodos sísmicos se ha utilizado un sismógrafo digital, modelo GEODE de Geometrics, 24 sensores o geófonos de baja frecuencia (4.5 Hz). Para el método MASW, se usó como fuente de impacto y/o energía para generar las ondas sísmicas, un martillo de 20 lbs (Figura 28) y para MAM el ruido ambiental. La geometría del tendido fue variable, estuvo en función de la geomorfología y accesibilidad a la zona de estudio.



Figura 28: Equipos utilizados en la adquisición de datos MASW – MAM, en el área urbana del Algarrobal.

Las coordenadas y características de cada línea son presentados en la Tabla 11 y su distribución espacial en la Figura 29.

Tabla 11: Coordenadas y características de las líneas sísmicas MASW-MAM realizadas en el área urbana del Algarrobal, codificadas como LS01-ALG, ..., LS13-ALG.

Línea Sísmica	Coordenadas UTM – WGS84		Cota (m s.n.m.)	Espaciamiento entre geófonos (m)	Longitud total (m)	
	Este (m)	Norte (m)				
1	LS01-ALG	254461	8049820	181	3	69
2	LS02-ALG	255618	8049182	204	3	69
3	LS03-ALG	254945	8048661	192	3	69
4	LS04-ALG	257079	8049295	66	3	69
5	LS05-ALG	256358	8048816	221	3	69
6	LS06-ALG	255908	8048533	206	3	69
7	LS07-ALG	255338	8047578	204	3	69
8	LS08-ALG	256690	8047957	238	3	69
9	LS09-ALG	255901	8046826	225	4	92
10	LS10-ALG	256497	8047074	260	3	69
11	LS11-ALG	256229	8045885	211	3	69
12	LS12-ALG	257084	8046078	270	3	69
13	LS13-ALG	259299	8050113	111	3	69

3.2.2. Procesamiento y análisis

Para los ensayos MASW–MAM, los datos sísmicos recolectados fueron procesados con el programa de computación SeisImager y en su procedimiento, se aplicó la Transformada Rápida de Fourier (FFT) para obtener la curva de dispersión que relaciona la velocidad de fase de las ondas superficiales con la frecuencia (Reynolds, 2011). Seguidamente, cada curva de dispersión perteneciente a un mismo arreglo (MASW y MAM), fue sometida a un proceso de inversión a fin de obtener los perfiles Vs en una dimensión (1D) para el punto central de la línea, ver Figura 30.

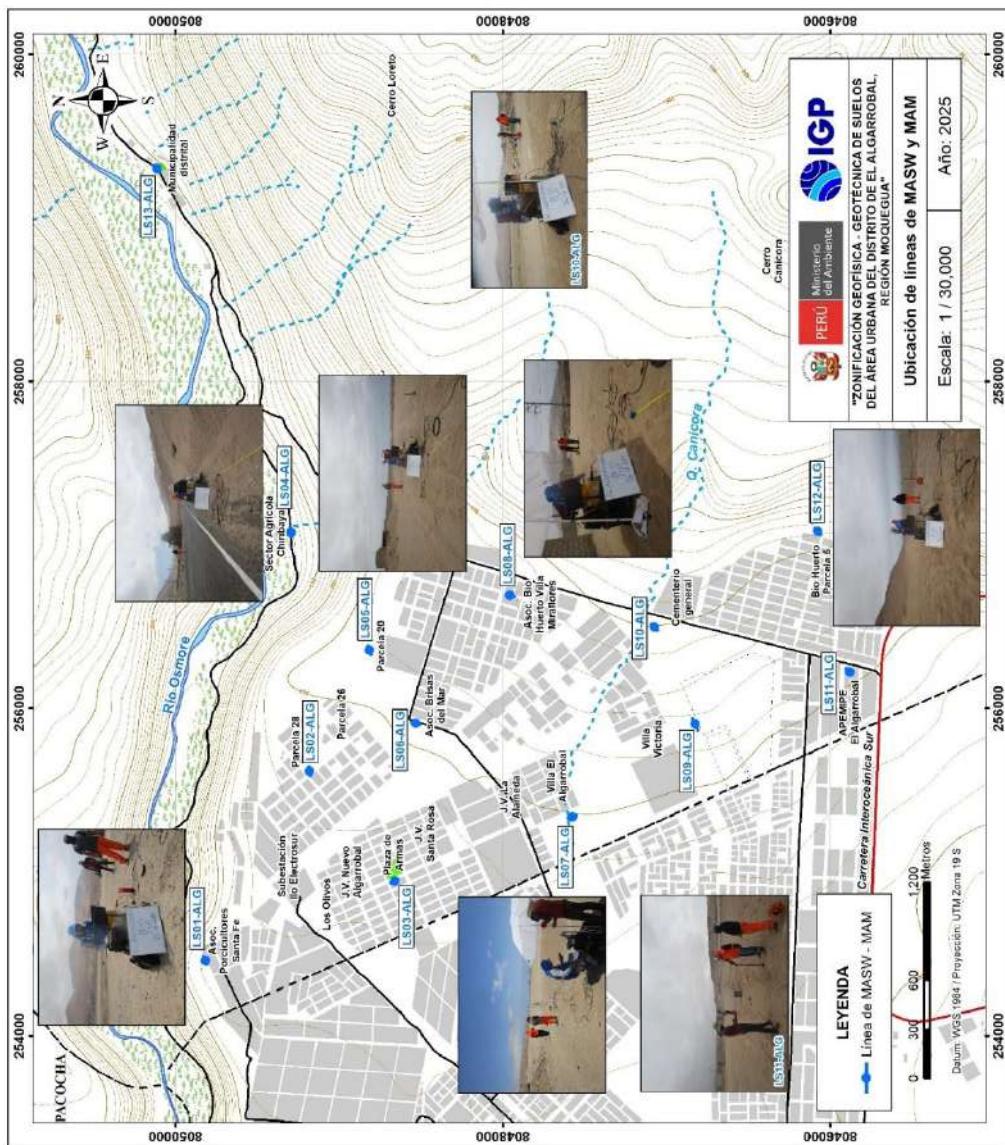


Figura 29: Distribución espacial de líneas de MASW - MAM, codificadas como LS1-ALG, ..., LS13-ALG.

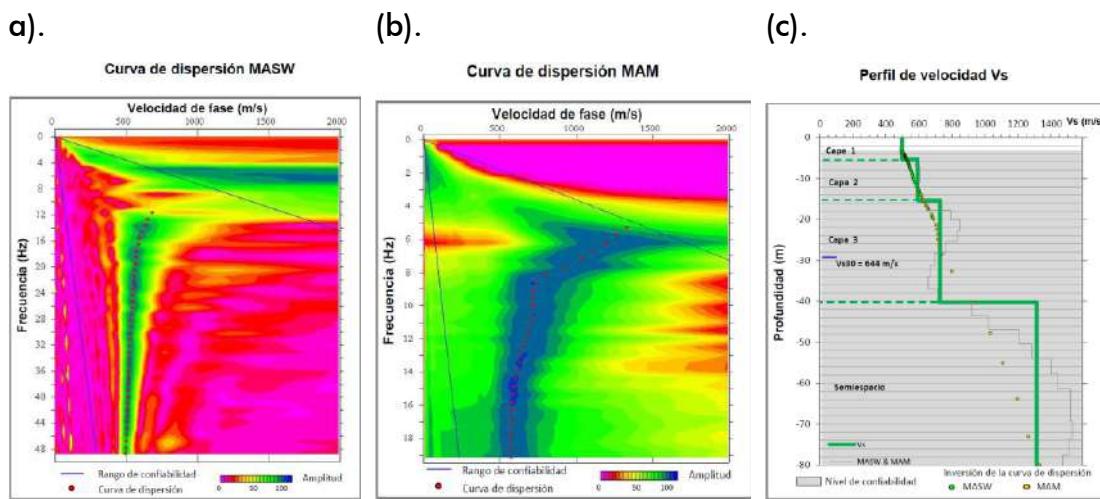


Figura 30: Curvas de dispersión obtenidas con los métodos de MASW (a) y MAM (b) y el perfil de velocidad obtenido a partir de la combinación de ambos métodos (c).

Para el análisis de los resultados obtenidos, se considera la clasificación de suelos adaptada a partir de la Norma de Diseño Sismorresistente (2018), tal como se muestra en la Tabla 12.

Tabla 12: Clasificación de los suelos en función de las velocidades de ondas de corte (Vs), según Norma E.030 (2018) adaptada para el área de estudio.

Clasificación de los perfiles de suelo			
Nº	Vs (m/s)	Adaptación al área de estudio	
1	> 1500	Roca moderadamente dura a dura	
2	800 a 1500		
3	500 a 800	Suelos muy rígidos	
4	350 a 500	Suelos rígidos	
5	180 a 350	Suelos intermedios (medianamente rígido)	
6	< 180	Suelos blandos	

3.2.3. Resultados e interpretación

A continuación, se describen las características observadas en los perfiles de velocidad de ondas de corte (Vs) obtenidos con los métodos sísmicos MASW – MAM con resolución de 34 a 80 metros de profundidad. En la Figura 31, se presenta el perfil sísmico obtenido para la línea LS01-ALG y en el Anexo 2, para las líneas restantes.

Línea sísmica LS01-ALG: Realizada en la Asociación Porcicultores Santa Fe, siendo la profundidad de resolución promedio del perfil de 76 metros. Este perfil permite identificar la existencia de tres (3) capas sísmicas: La primera de 7 metros de espesor y velocidad Vs de 356 m/s corresponde a suelo rígido, la segunda capa de 21 metros de espesor y velocidad Vs de 547 m/s, junto a la tercera capa de 22 metros de espesor y velocidad Vs de 707 m/s corresponden a suelo muy rígido. El semiespacio, con velocidad Vs > 956 m/s, sugiere roca moderadamente dura a dura.

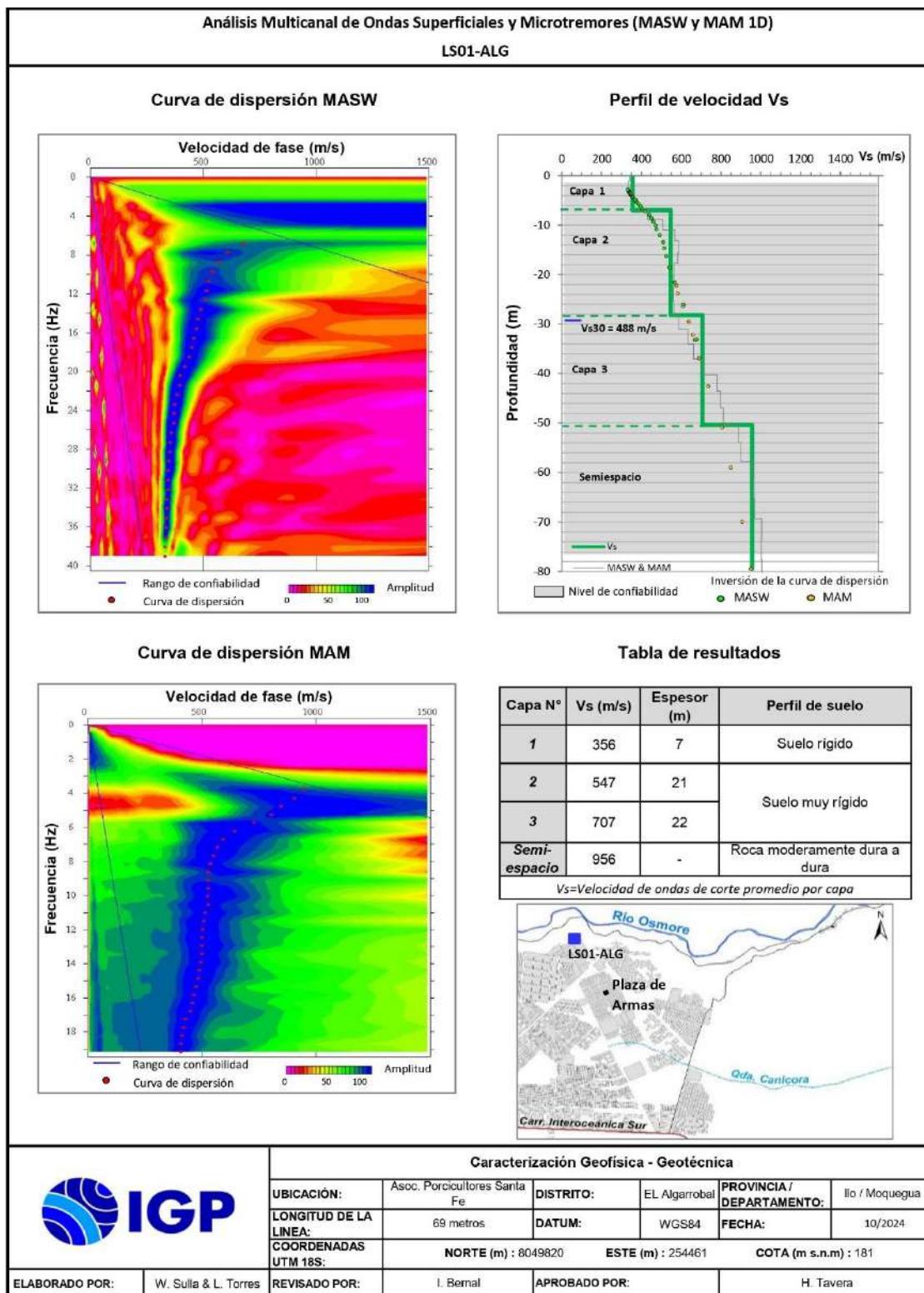


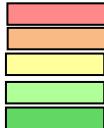
Figura 31: Resultados obtenidos con el ensayo MASW - MAM para la línea sísmica LS01-ALG.

En el Anexo 3, se describen los resultados obtenidos en el resto de líneas sísmicas realizadas en la zona de estudio.

En la Tabla 13, se resumen los valores de velocidad de ondas de corte (V_s) para cada uno de los perfiles de suelo obtenidos y teniendo en cuenta, lo indicado en la Tabla 12.

Tabla 13: Valores de espesor y V_s de los perfiles sísmicos obtenidos para el área de estudio.

Línea Sísmica	Superficie		Profundidad						
	Nº DE CAPA								
	V_s (m/s)	Esp. (m)	VS30 (m/s)						
LS01-ALG	356	7	547	21	707	22	956	-	488
LS02-ALG	433	5	684	12	796	29	1010	-	670
LS03-ALG	499	5	594	10	728	25	1313	-	644
LS04-ALG	250	5	411	8	715	10	1274	-	504
LS05-ALG	302	5	485	13	724	-	-	-	474
LS06-ALG	325	4	445	9	636	21	881	-	499
LS07-ALG	349	4	472	9	719	-	-	-	538
LS08-ALG	402	7	571	18	821	18	1230	-	531
LS09-ALG	295	4	421	5	583	49	804	-	481
LS10-ALG	347	7	491	11	648	23	877	-	489
LS11-ALG	432	7	664	24	970	12	1369	-	588
LS12-ALG	348	7	533	16	693	51	898	-	490
LS13-ALG	321	9	534	17	952	9	1411	-	468



- Suelo blando ($V_s < 180$ m/s)
- Suelo intermedio - medianamente rígido (180 - 350 m/s)
- Suelo rígido (350 - 500 m/s)
- Suelo muy rígido (500 - 800 m/s)
- Roca moderadamente dura a dura ($V_s > 800$ m/s)

En el área urbana del distrito El Algarrobal, se ha identificado el predominio de suelos medianamente rígidos ($V_s=250$ a 350 m/s) de 4 a 9 metros de espesor, hacia la parte media del área urbana que comprende a la Asociación Brisas del Mar, Parcela 20 y Villa El Algarrobal, hasta el pie del cerro Canicora (en dirección sureste) y suelos rígidos ($V_s=356$ a 499 m/s) de 5 a 7 metros de espesor en dirección NO; entre la Plaza de Armas, Parcela 28 y la Asoc. Porcicultores Santa Fe, ver Figura 32. Por debajo de estas capas se ha identificado una capa de suelos con rangos de velocidades V_s entre 530 y 680 m/s que corresponde a materiales muy rígidos con espesores de 10 a 25 metros. Estos suelos sobreyacen a la roca moderadamente dura a dura ($V_s>800$ m/s), identificándose en algunos sectores afloramientos rocosos.

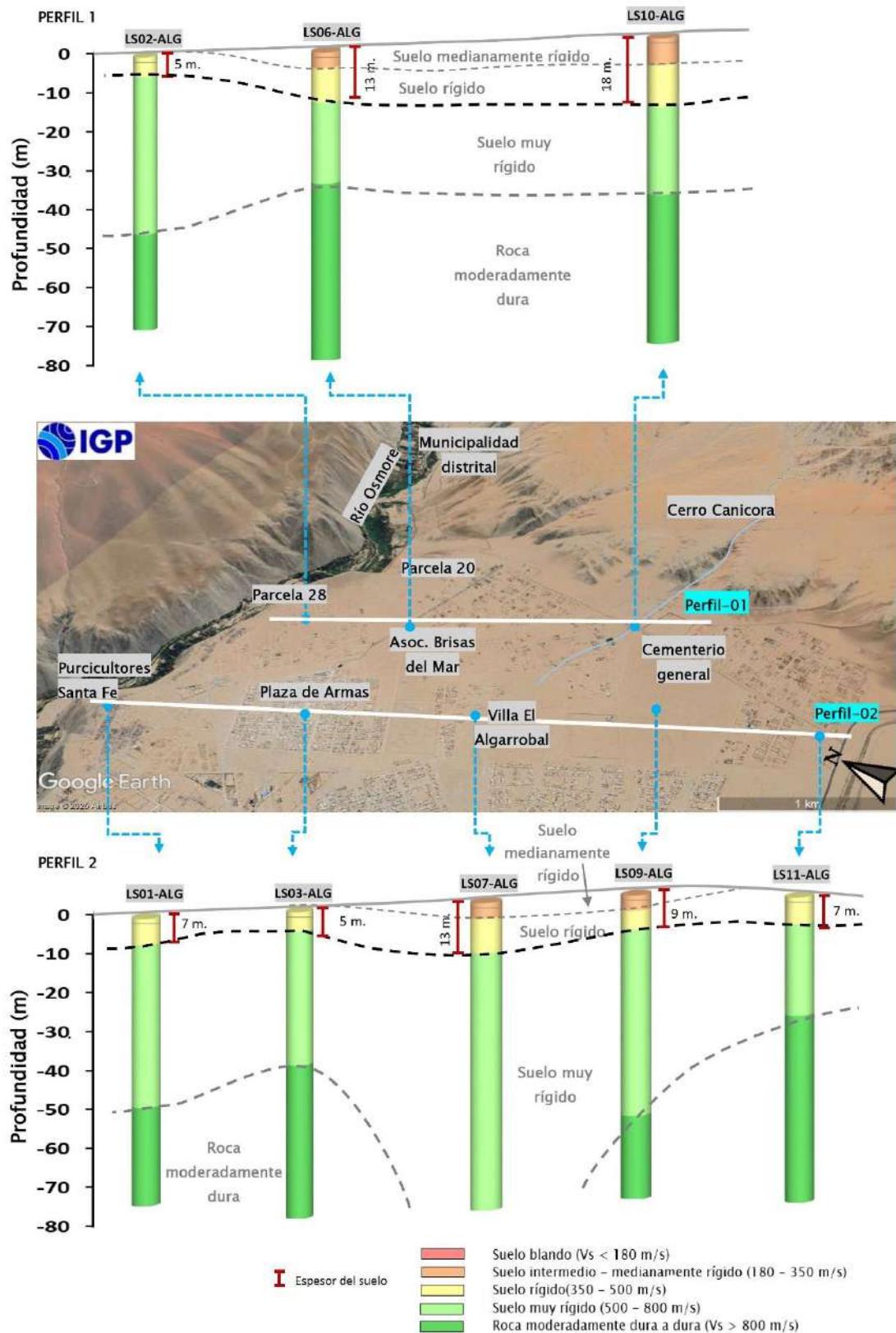


Figura 32: Resultados de MASW-MAM ubicados a lo largo de los perfiles 01 y 02, muestran la disposición de las capas de suelos identificados en el distrito El Algarrobal.

En este contexto, la suma de espesores de los suelos medianamente rígidos y rígidos varían de 5 y 7 metros hacia los extremos NO y SE del límite urbano y entre 13 y 18 metros son identificados en la parte media del área urbana, ver Figura 32. Los suelos superficialmente con menor consistencia corresponden a depósitos de arenas (medianamente rígidos) y depósitos de grava (rígidos). Ambos depósitos cubren al afloramiento rocoso que afloran en los extremos del área urbana.

Asimismo, en la margen izquierda del río Osmore se han identificado suelos medianamente rígidos a rígidos de 9 a 13 metros de espesor (Municipalidad del distrito y el sector agrícola Chiribaya respectivamente) y corresponden al depósito de origen aluvial.

Para el área de estudio, con Vs30 calculado, entre 449 y 500 m/s corresponde a suelos Tipo S2 y entre 530 y 670 m/s a suelos Tipo S1; es decir predominan suelos medianamente rígidos a rígidos respectivamente (Adaptación de la clasificación de suelos de la Norma sismorresistente E.030 al área de estudio).

3.3 Método de Resistividad Eléctrica

El método de Resistividad Eléctrica - ERT, permite determinar las variaciones de resistividad y conductividad eléctrica de las rocas y suelos para conocer su contenido de humedad o el nivel freático en su estructura. En general, los materiales que conforman el suelo muestran diversos rangos de valores de resistividad (ρ) que dependen principalmente de la porosidad, conductividad de las partículas y del contenido de agua o de sales disueltas en las fracturas de las rocas.

3.3.1. Adquisición de datos

Los datos recolectados en campo corresponden al registro de valores de resistividad obtenidos en 09 líneas de ERT utilizando un equipo de Resistividad / IP Syscal Pro (Figura 33). Asimismo, en la Figura 34 se presenta su distribución espacial y en la Tabla 14 se presenta las características de las líneas ERT realizadas en el área urbana del Algarrobal.

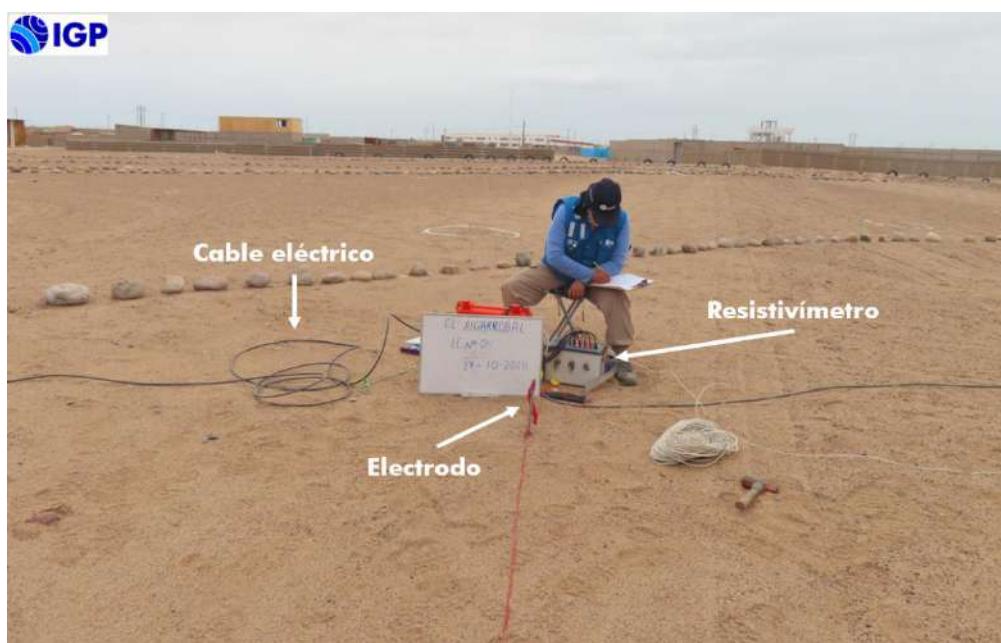


Figura 33: Equipos utilizados en la adquisición de datos ERT.

3.3.2. Procesamiento y análisis

Para el procesamiento de los datos recolectados en campo, fue necesario realizar la corrección por efectos de topografía usando algoritmos de inversión propios de métodos geoeléctricos y de procesamiento de imágenes.

Asimismo, para la interpretación de los resultados se debe tener en cuenta que son varios los factores que influyen en las propiedades físicas de los suelos (grado de saturación, porosidad y forma del poro, salinidad del fluido, tipo y composición de la roca, temperatura, 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 15, se presentan algunos valores de resistividad relacionados con los diferentes tipos de suelos y rocas.

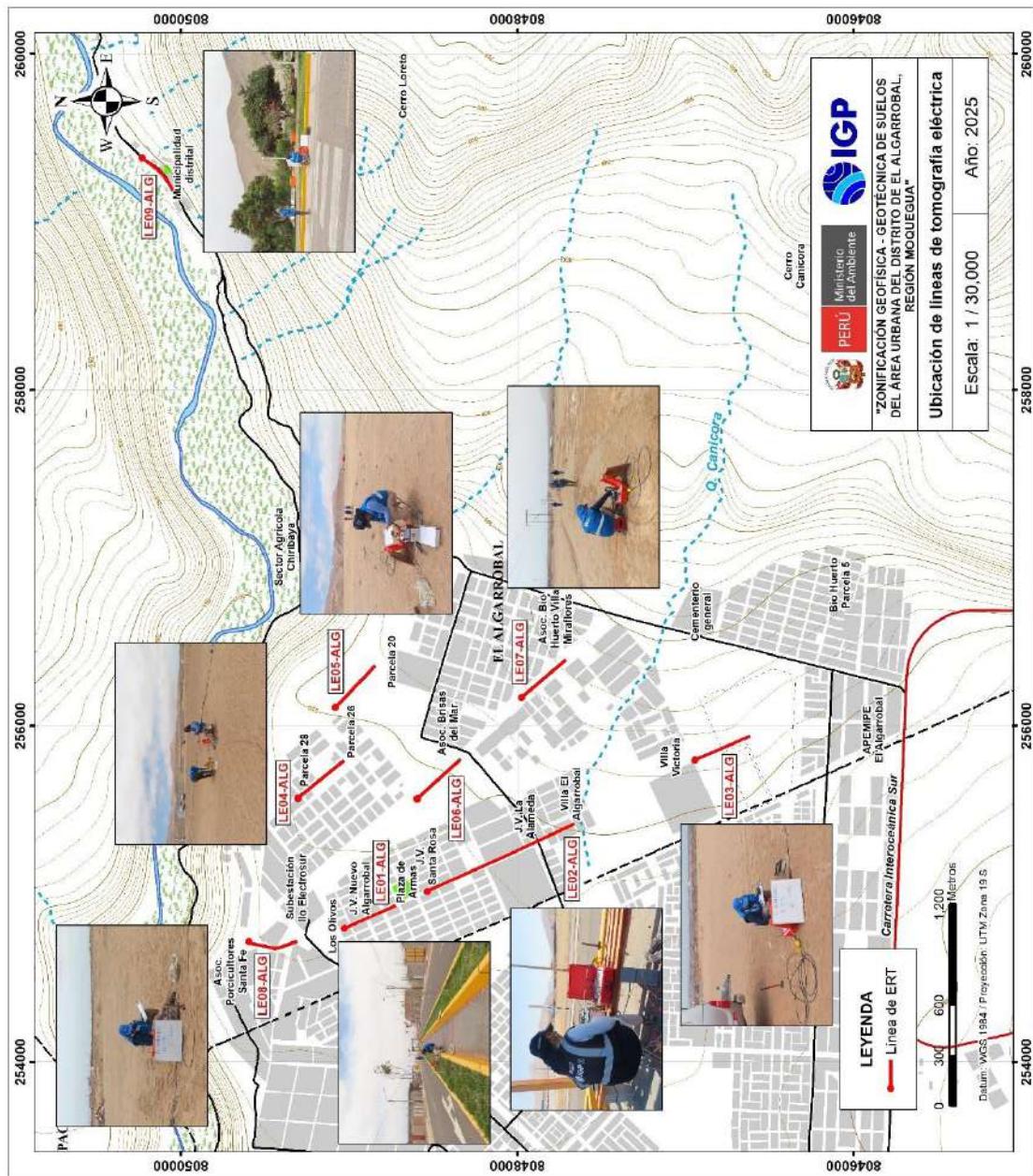


Figura 34: Distribución espacial de las líneas de ERT codificadas como LE01-ALG... LE09-ALG en el área urbana del Algarrobal.

Tabla 14: Coordenadas y características del ensayo ERT realizados en El Algarrobal.

Línea Eléctrica	Coordenadas UTM – WGS84		Cota (m s.n.m.)	Espaciamiento entre electrodos (m)	Longitud total (m)
	Este (m)	Norte (m)			
LE01- ALG	254787	8049051	231	20	360
	254930	8048723	231		
LE02- ALG	255416	8047661	252	20	980
	255007	8048556	252		
LE03- ALG	255794	8046935	259	20	340
	255938	8046616	267		
LE04- ALG	255573	8049302	239	20	340
	255793	8049030	244		
LE05- ALG	256105	8049084	247	20	340
	256359	8048844	258		
LE06- ALG	255568	8048595	243	20	340
	255801	8048337	251		
LE07- ALG	256163	8047975	268	20	340
	256393	8047710	284		
LE08- ALG	254705	8049584	231	20	280
	254718	8049308	227		
LE09- ALG	259378	8050233	142	20	280
	259170	8050040	139		

Tabla 15: Valores representativos de resistividad (modificado de UNC, 2000).

*MATERIAL	RESISTIVIDAD (ohm-m)
Arcillas saturadas	5-20
Arcillas no saturadas	20-40
Limos saturados	20-100
Limos no saturados	100-200
Arenas saturadas	100-200
Arenas no saturadas	400-700
Grava saturada	300-500
Grava no saturada	500-2000
Roca fracturada saturada	100-2000
Roca fracturada	1500-5000
Roca sana	>5000

3.3.3. Resultados e interpretación

A continuación, se describen las características observadas en las secciones geoeléctricas con resolución de hasta los 80 metros de profundidad. En la Figura 35, se presenta la sección obtenida para las líneas LE01-ALG y LE02-ALG. En el Anexo 2, se presentan las secciones restantes.

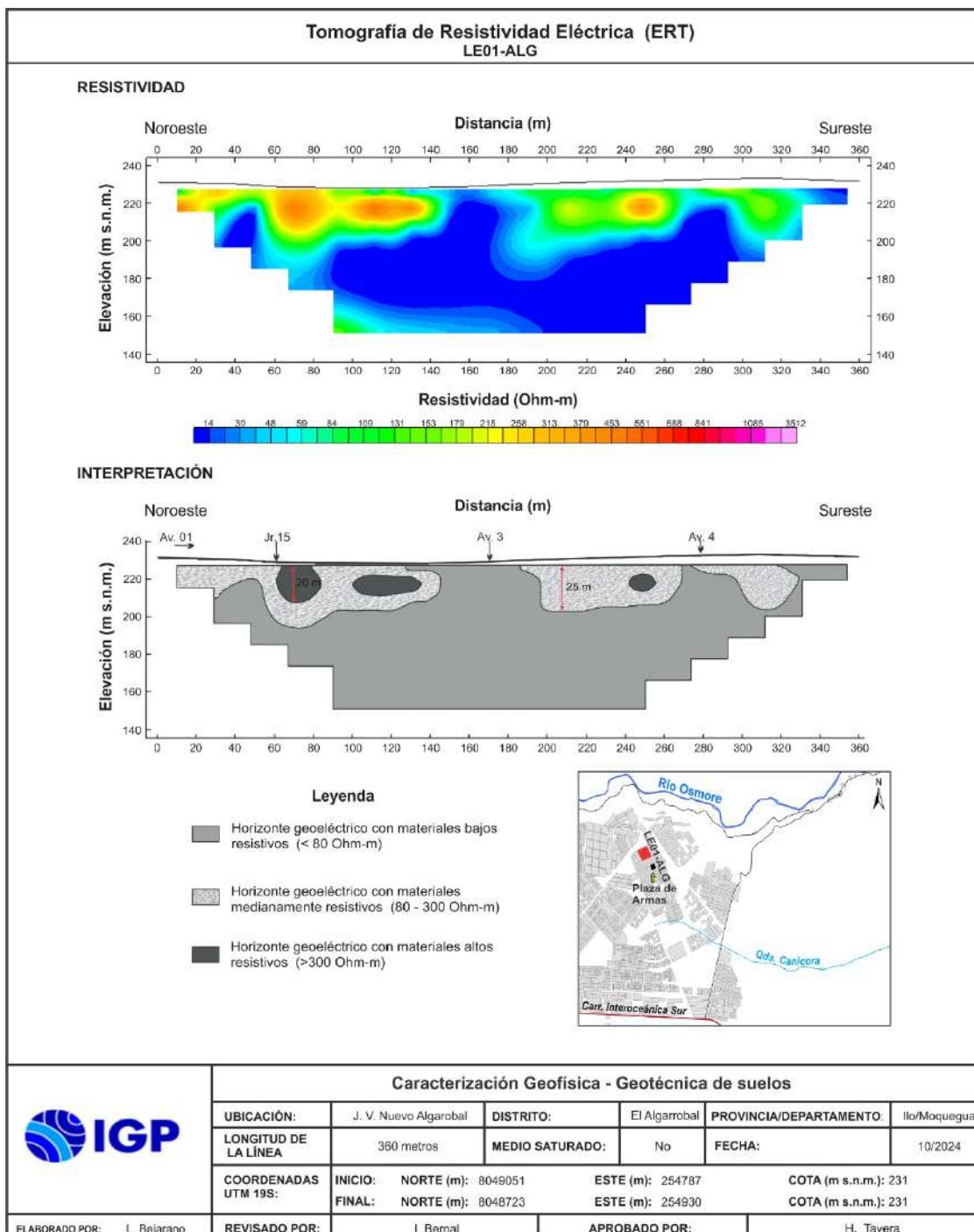


Figura 35: a) Resultado de tomografía de resistividad eléctrica para la línea LE01-ALG.

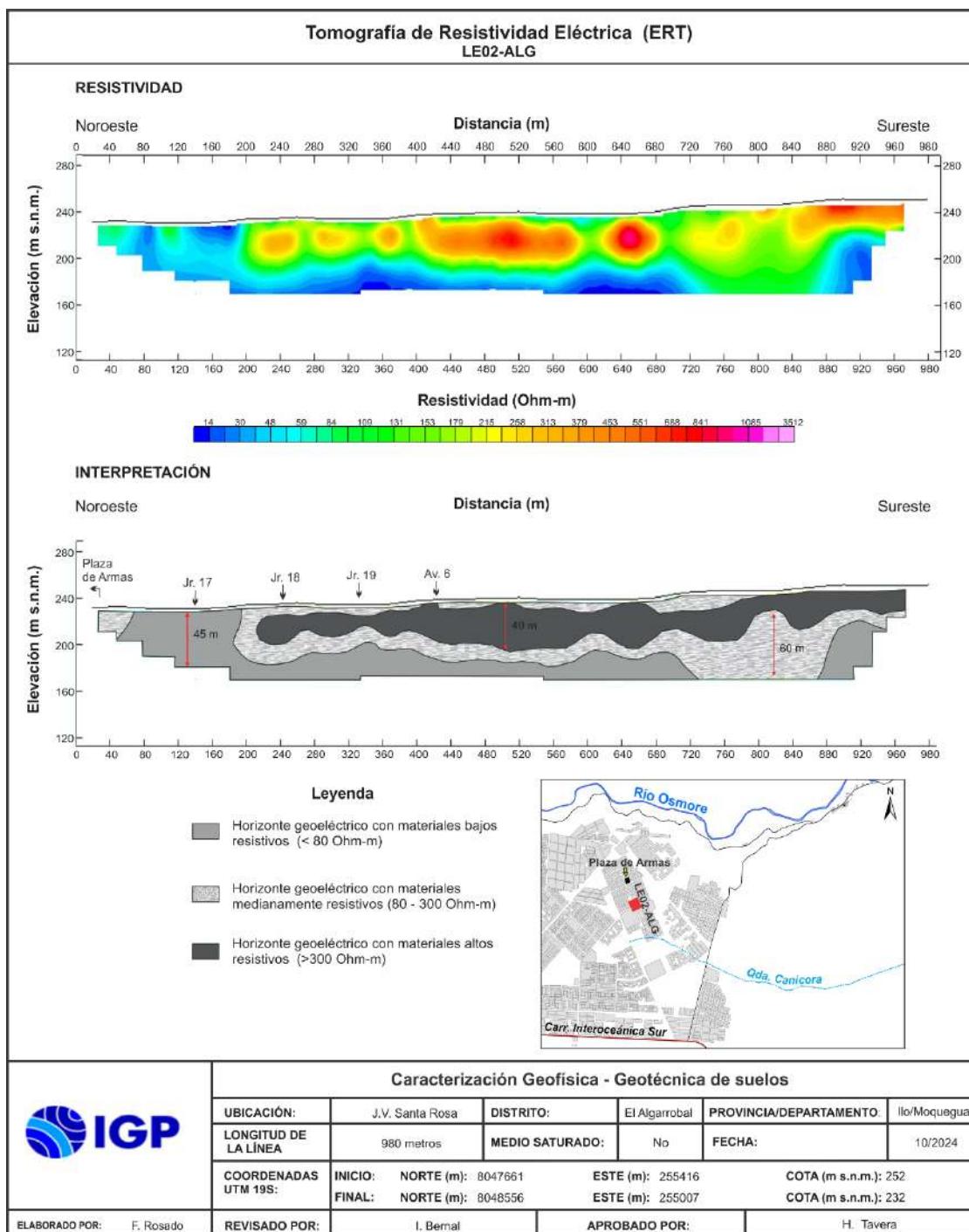


Figura 35: b) Resultado de tomografía de resistividad eléctrica para la línea LE02-ALG.

-Sección geoeléctrica LE01-ALG: Realizada en el extremo NO de la Plaza de Armas de Nuevo Algarrobal sobre una longitud de 360 metros y en dirección NO-SE. En esta sección se presentan dos horizontes geoeléctricos. El primero horizonte, presenta materiales medianamente resitivos (80 a 300 Ohm-m) con espesor desde la superficie a profundidad de 25-30 metros. Asimismo, en este horizonte se identifica dos anomalías, a la altura de la Av.

3 y próximo a la plaza (en la sección, entre los 140 y 180 metros de distancia y en su extremo SE), donde los materiales presentan baja resistividad (> 80 Ohm-m). El segundo horizonte, presenta materiales de baja resistividad (<80 Ohm-m) con espesores promedio de 40 metros (Figura 35a).

-Sección geoeléctrica LE02-ALG: Realizada en el extremo SE de la Plaza de Armas de Nuevo Algarrobal sobre una longitud de 980 metros y en dirección NO-SE (J.V. Santa Rosa hasta la Villa El Algarrobal). En esta sección se presentan dos horizontes geoeléctricos. El primer horizonte, presenta materiales medianamente resistentes (80 a 300 Ohm-m) con espesor que se incrementan de NO a SE, de 25 a 50 metros. Asimismo, en este horizonte se identifica una anomalía, próximo a la Plaza de Armas (extremo NO de la sección), donde los materiales presentan baja resistividad a nivel superficial (> 80 Ohm-m). El segundo horizonte, presenta materiales de baja resistividad (<80 Ohm-m) hasta profundidades que superan la profundidad analizada (Figura 35b). En el Anexo 2, se describen los resultados obtenidos en el resto de secciones geoeléctricas.

De acuerdo a los resultados obtenidos en las secciones de tomografía eléctrica para el área urbana del distrito El Algarrobal, se ha identificado la presencia de suelos con bajas resistividades con las siguientes características:

-Hacia el extremo NO del área de estudio (Asoc. Porcicultores Santa Fe, en el sector Los Olivos, J.V. El Algarrobal, Parcela 28 y Plaza de Armas), se ha identificado el predominio de suelos compuestos para material con baja resistividad que superan los 40 metros de espesor, con un horizonte a nivel superficial de material con moderada resistividad con espesores de 25 a 30 metros.

-Hacia el extremo SE del área de estudio (J.V. Santa Rosa, Asoc. Brisas del Mar, Parcelas 20 y 28, Asoc. Bio Huerto Villa Miraflores y Urb. Villa Victoria), se han identificado suelos con tres horizontes geoelectricos,

compuesto con materiales altamente resistentes, medianamente resistentes y bajos resistentes, con espesores que varían en profundidad, entre 18-80, 10-60 y 30-40 metros respectivamente (Figura 36).

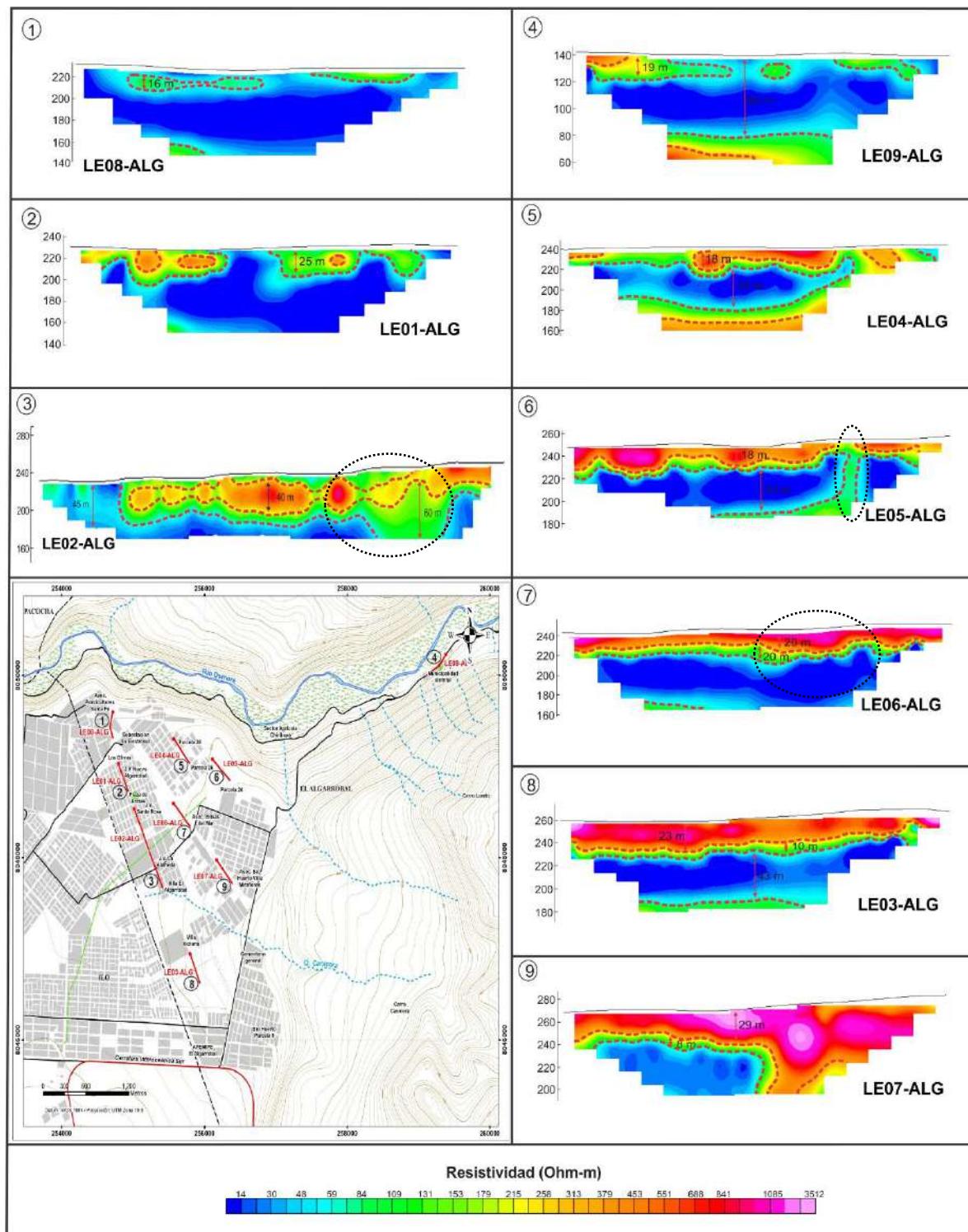


Figura 36: Ubicación de las líneas de tomografía eléctrica LE01-ALG,..., LE09-ALG. Los horizontes en rojo corresponden a depósitos de material con alta resistividad ($> 100 \text{ Ohm.m}$) y en azul, con baja resistividad ($< 80 \text{ Ohm.m}$). Las elipses discontinuas, delimitan sectores con anomalías.

Los valores bajo resistivos, en El Algarrobal Alto, se asocian a depósitos fluvio-aluviales (gravas, arenas, limos) con la capacidad de contener agua subterránea en profundidad y a nivel superficial, al no tener ninguna evidencia de la presencia de humedad en el terreno, se asocian a un cambio en las características físicas de los materiales que conforman el suelo (composición de la roca, suelos salitrosos). Hacia el extremo NE del área de estudio, próximo al río Osmore, predominan suelos con alto contenido de humedad con espesores de 20 a 60 metros.

4. ZONIFICACIÓN GEOFÍSICA - GEOTÉCNICA

La caracterización física y dinámica de los suelos del área urbana del distrito El Algarrobal fue realizada con información obtenida de la aplicación de métodos geofísicos y su correlación con información geológica y geotécnica, siendo los resultados obtenidos los siguientes:

4.1. Caracterización física y dinámica de los suelos

El área urbana del distrito del Algarrobal se encuentra ubicada a una altura promedio de 110 m s.n.m., próximo al río Osmore y la zona de expansión del área urbana, se establece en el extremo Este de Pampa Inalámbrica, a una elevación de 215 m s.n.m., el cual se emplaza sobre depósitos aluviales (arenas, bloques, gravas) y depósitos eólicos, que cubren a los afloramientos intrusivos.

Los suelos en el extremo NO de El Algarrobal responden a en una banda de periodos dominantes que fluctúa entre 0.2 y 0.6 segundos y en dirección SE, responde en dos rangos de periodos de 0.1-0.4 y 0.6-0.8 segundos con moderada amplificación. A diferencia de lo observado, en el sector próximo al río Osmore donde los suelos responden a un único periodo que fluctúan entre 0.1 y 0.2 segundos con amplificaciones moderadas. La forma de las curvas H/V, evidencian que el suelo al responder a dos rangos de periodos con altas amplificaciones presenta una respuesta dinámica compleja ante sismos.

Para una mejor descripción el área de estudio se divide en 4 sub áreas Figura 37). A continuación, se realiza un análisis por sectores de los resultados:

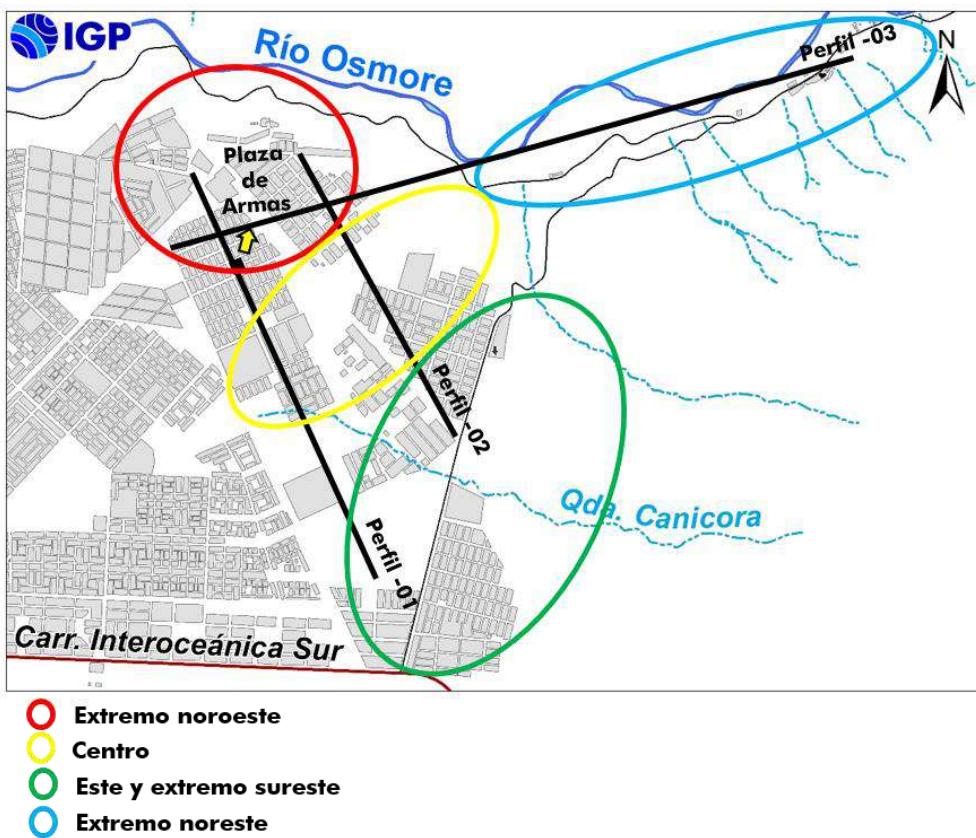


Figura 37: Delimitación de subáreas para una mejor descripción de la estructura del suelo, a partir de la correlación de los resultados obtenidos con los métodos de ERT y MASW-MAM.

Extremo noroeste del distrito del Algarrobal comprende la Asoc. Porcicultores Santa Fe, J.V. Nuevo Algarrobal, la Parcela 28 y la J.V. Santa Rosa. Los resultados permiten definir:

- Una capa de suelo rígido a muy rígido constituido por gravas con limo.
- Velocidades de onda Vs30 de 530 y 670 m/s y espesores de entre 20 a 40 metros, ver Figura 38.
- Presentan suelos compuestos de materiales bajos resistivos predominante en la Asoc. Porcicultores Santa Fe y la J.V. Nuevo Algarrobal. En la Parcela 28, estos suelos se presentan principalmente por debajo de los 10 metros, en profundidad.
- Estos suelos responden en una banda de períodos que fluctúa entre 0.2-0.6 segundos, con moderadas a bajas

amplificaciones (2 veces).

- A mayor profundidad, se tiene la presencia de roca moderadamente dura a dura.

Extremo sureste del distrito del Algarrobal comprende la Asoc. Huerto Villa Miraflores, APEMIPE El Algarrobal, Bio Huertos Parcela 5, Cementerio General, J.V. El Algarrobal y Villa El Algarrobal. Los resultados permiten definir:

- Una capa de suelo medianamente rígido a rígido, constituido por arenas, limo y bloques de roca.
- Velocidades de ondas Vs30 de entre 470 y 500 metros y espesores de 10 a 20 metros, conforme se tiende hacia los cerros, en dirección Este, estos espesores tienden a disminuir (Figuras 38).
- Presentan suelos compuestos de materiales altamente resistivos, en superficie, con espesores entre 20 y 30 metros, asociado a material compacto seco y por debajo de este horizonte, predomina un estrato compuesto por materiales bajos resistivos, con espesores de 25 a 40 metros, asociados a depósitos fluvio-aluviales, con la capacidad de contener agua subterránea; sin embargo, al no encontrar evidencia se asocia al cambio de las características del material (gravas, arenas, limos). Hacia el extremo NE del área de estudio predominan suelos poco resistentes, evidenciando la presencia de alto contenido de humedad por su proximidad al río Osmore.
- Estos suelos responden a dos rangos de periodos (T₀) que fluctúan entre 0.2-0.4 y 0.5-0.8 segundos con amplificaciones de 2 a 3 veces.
- A mayor profundidad, se tiene la presencia de suelo muy rígido y roca moderadamente dura a dura.

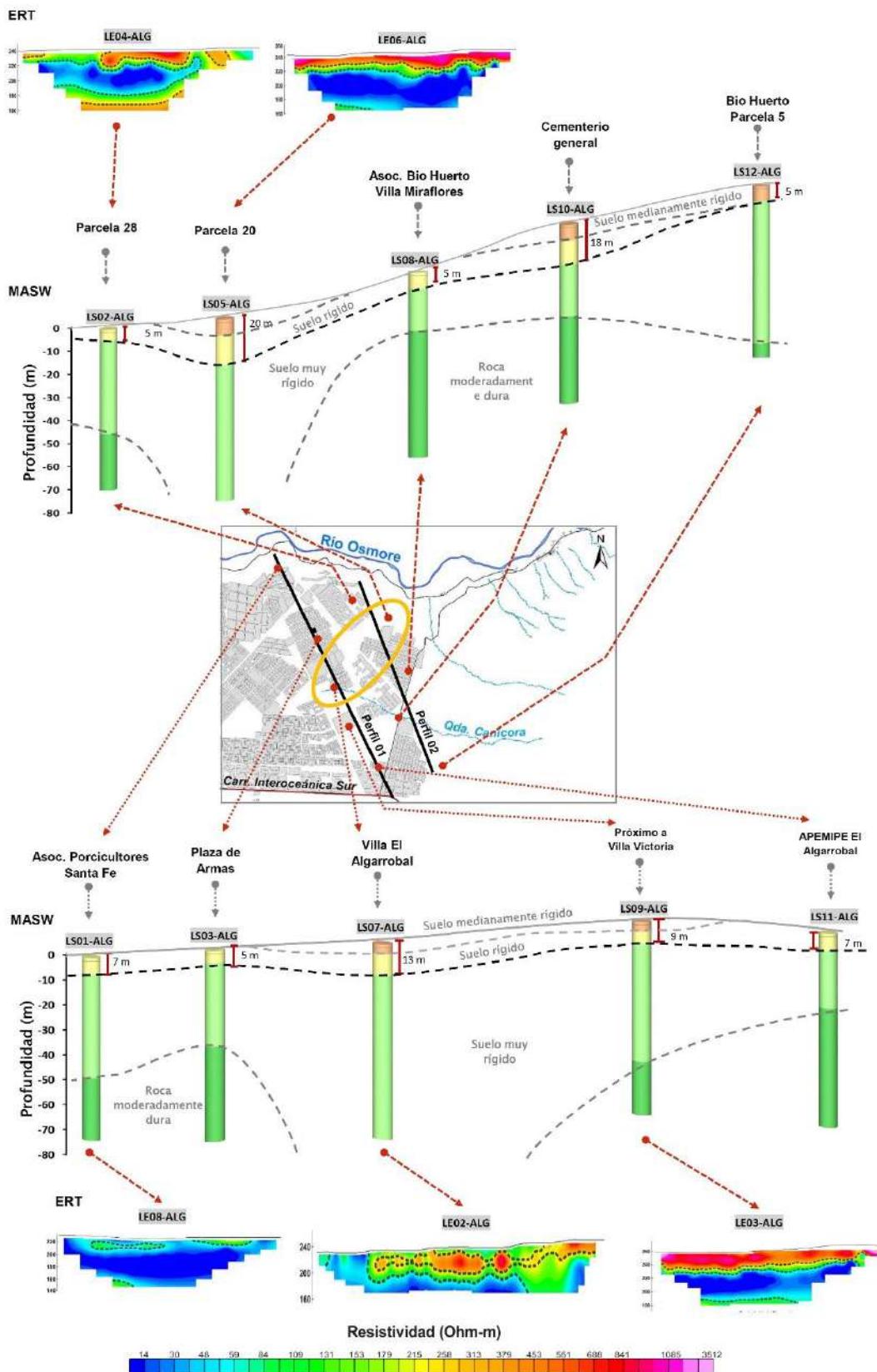


Figura 38: Estructura del suelo identificado en el área urbana del distrito El Algarrobal. Presentación de los resultados en perfiles con orientación NO-SE. Perfil-01 realizado hacia el extremo Oeste del área de estudio (cruza la plaza de Armas) y el Perfil-02 hacia sul extremo Este, a partir de la correlación de los resultados obtenidos con los métodos de H/V, ERT y MASW-MAM.

Extremo noreste y centro del distrito del Algarrobal comprende de NE a SO, el Sector agrícola Chiribaya, la Municipalidad Distrital, Parcela 28 y Plaza de Armas (Figura 39). Los resultados permiten definir:

- Una capa de suelo medianamente rígido, constituido por suelos arenoso limosos
- Velocidades de ondas Vs30, de 468-500 m/s en el sector próximo al río Osmore y de 474-644 m/s próximo a la Plaza de Armas, con espesores promedio de 9-13 y 5-20 metros respectivamente. Los mayores espesores se identifican por la Parcela 20 (20 metros) y hacia la Plaza de Armas disminuye considerablemente en su espesor (5 metros).
- Presentan suelos compuestos de materiales bajos resistivos en superficie y pueden llegar a tener 60 metros de espesor. Sin embargo, en la línea LS05-ALG, se identifica en superficie un horizonte de alta resistividad, en promedio de 20 metros de espesor, asociado a suelos compactos secos (caliche, ignimbritas, gravas) que se presenta en la zona, por debajo los materiales son bajos resistivos.
- Los suelos responden principalmente a periodos de 0.1 y 0.2 segundos, y conforme se tiende hacia el Sector de Chiribaya, los suelos muestran sensibilidad a periodos largos (≥ 0.5 segundos) y hacia la Parcela 20 los suelos responden en dos rangos que fluctúan entre 0.2-0.4 y 0.5-0.8 segundos.
- A mayor profundidad, se tiene la presencia de suelo muy rígido y roca moderadamente dura a dura.

Los periodos dominantes se encuentran relacionados con las condiciones físicas del suelo, 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 300 m/s y 400 m/s para las ondas de corte (V_s) y periodos de 0.1 y 0.6 segundos, se estima una capa superficial

de suelos medianamente rígidos a rígidos, con espesores de entre 8 a 60 metros. Estos resultados se correlacionan con los obtenidos como los ensayos sísmicos.

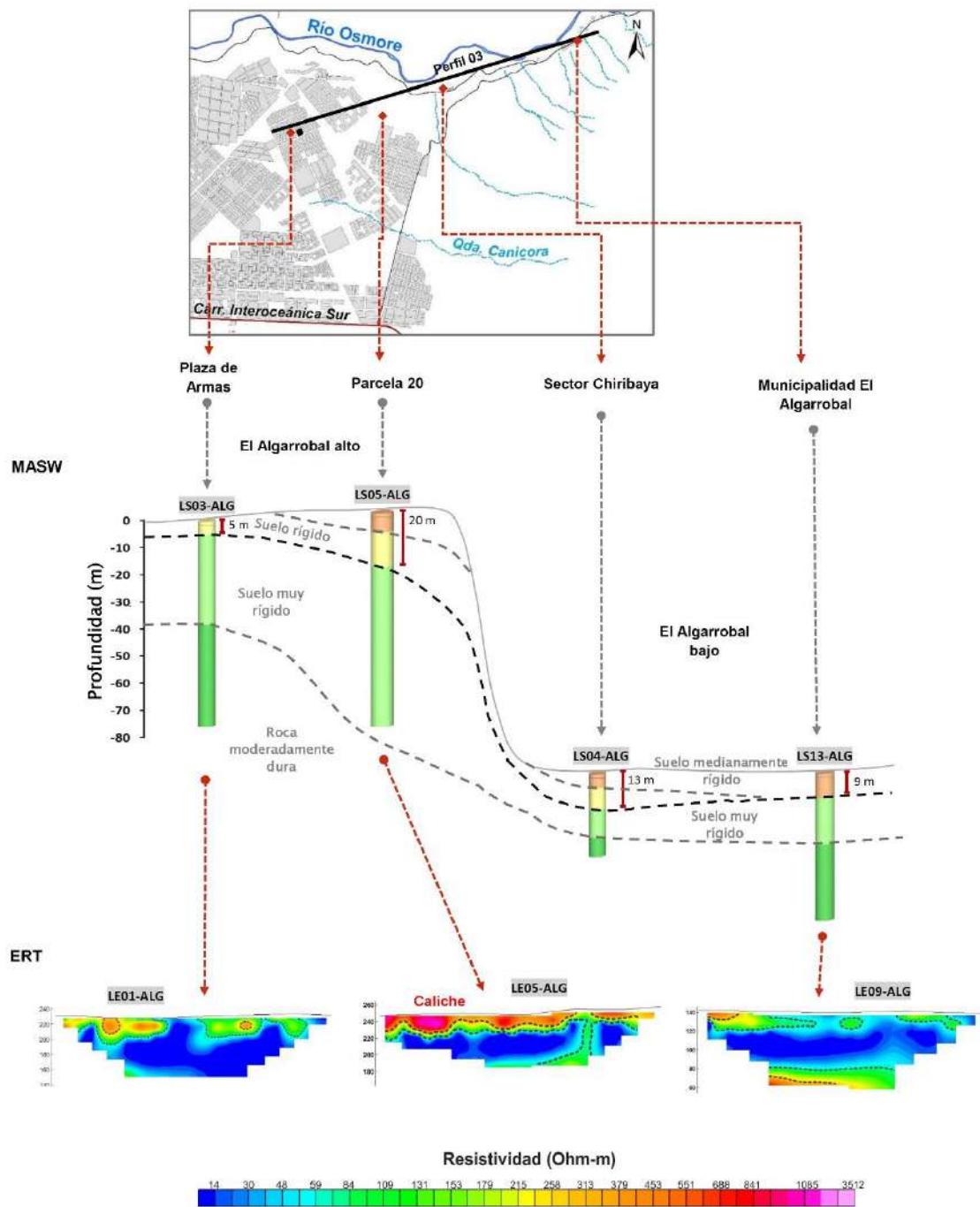


Figura 39: Estructura del suelo identificado del NE-SO del área urbana del distrito del Algarrobal, Perfil-03, contiene los sectores próximos al río Osmore y extremo Oeste de El Algarrobal, a partir de la correlación de los resultados obtenidos con los métodos de H/V, ERT y MASW-MAM.

4.2. Mapa de Zonificación Geofísica – Geotécnica

El mapa de zonificación geofísica-geotécnica para el área urbana del distrito del Algarrobal, se elabora en función de la integración de los resultados de los estudios geológicos, geotécnicos y geofísicos, delimitando zonas cuyos suelos presentan características de respuesta similares ante la ocurrencia de un sismo. Las características dinámicas del suelo y sus propiedades mecánicas, han permitido identificar en el área de estudio, de acuerdo a la Norma de Construcción Sismorresistente E.030, adaptada a la zona de estudio, la existencia de suelos de Tipo S1, S2, S3 y S4, donde el 85 % del área de estudio responde a rangos de periodos que varían entre 0.2 y 0.6 segundos con amplificaciones mayores e iguales a tres veces y un 15% a periodos de 0.1 a 0.2 segundos.

Para el área urbana del distrito El Algarrobal, se propone la siguiente zonificación geofísica- geotécnica (Figura 40).

-ZONA I: Con comportamiento rígido a muy rígido, conformado principalmente por grava e ignimbritas, cubiertos por una capa delgada de arena limosa. Presenta velocidades de ondas de corte Vs30 de 530-670 m/s, con una vibración natural de suelo que responden en una banda de periodos de 0.2-0.6 segundos con bajas amplificaciones, definiendo la existencia de suelos Tipo S1, que tienen un comportamiento rígido. A nivel superficial, no se ha identificado contenido de humedad y los suelos presentan capacidad de carga admisible alta ($>3 \text{ kg/cm}^2$) a un 1.5 metros de profundidad. Esta zona comprende aproximadamente el 35 % del área de estudio (Figuras 40), identificados en el extremo NO del área de estudio (Asoc. Porcicultores Santa Fe, Subestación Ilo Electrosur, J.V. Nuevo Algarrobal, Plaza de Armas, J.V. Santa Rosa, J.V. La Alameda).

-ZONA II: Considera suelos rígidos a medianamente rígidos, conformados principalmente por gravas, arenas y limos. Presenta

velocidades de ondas de corte Vs30 de entre 470-500 m/s, con una vibración natural de suelo que responden a dos rangos de periodos (To) entre 0.2-0.4 y 0.5-0.8 segundos, ambos definen la existencia de suelos Tipo S2, que tiene un comportamiento medianamente rígido. A nivel superficial, se identifica un horizonte de material muy resistivo (~20 metros de espesor), asociado a material compacto seco (caliche, ignimbritas, gravas), emplazado sobre un horizonte de baja resistividad asociado a depósitos fluvio-aluviales (gravas, arenas, limos) con la capacidad de contener aguas subterráneas; Sin embargo, al no tener evidencia de la humedad, a nivel superficial se al cambio del tipo de material que conforman estos horizontes. Los suelos presentan capacidad de carga admisible media a baja ($1.0-3.0 \text{ kg/cm}^2$) a 1.5 metros de profundidad. Esta zona comprende el 70 % del área de estudio, que corresponde a los sectores de Villa El Algarrobal, Asoc. Brisas del Mar, Parcela 20, Bio Huerto Parcela 5 y APEMIPE El Algarrobal.

-ZONA III: Considera suelos medianamente rígidos a blandos, con velocidades de ondas sísmica Vs30 menor a 350 m/s, que responden a periodos (To) de 0.1 y 0.2 segundos, que definen la existencia de suelos Tipo S3, correspondiendo a una capa delgada de suelos blandos asentada sobre un estrato con comportamiento medianamente rígido a blando. Los suelos presentan alto contenido de humedad por encontrarse en un sector próximo al río Osmore y una capacidad de carga admisible muy baja ($<1 \text{ kg/cm}^2$) a 1.5 metros de profundidad. Esta zona comprende al 4% del área de estudio, que corresponde al Sector de la Municipalidad Distrital y sector Agrícola Chiribaya. (Figuras 30).

-ZONA IV: Considera suelos blandos, definiendo la existencia de suelos Tipo S4, correspondiendo a suelos blandos a excepcionalmente flexibles, identificados en las márgenes del río Osmore y zonas de quebradas rellenadas.

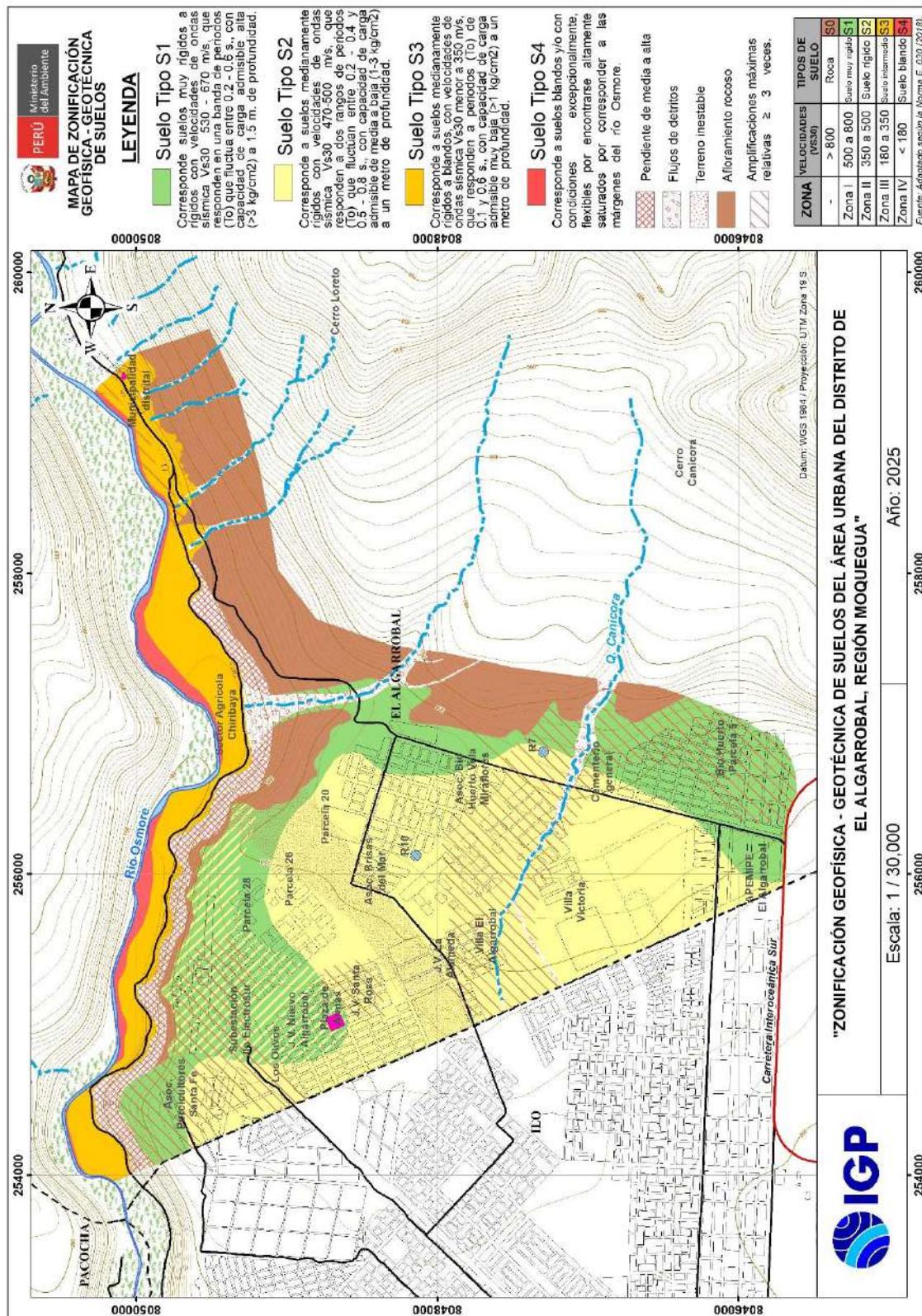


Figura 40: Mapa de Zonificación Geofísica - Geotécnica de los suelos del distrito El Algarrobal. (Escala 1/30,000).

Asimismo, en el mapa de zonificación, con las líneas inclinadas en rojo se delimitan áreas donde los suelos presentan amplificaciones relativas mayores a 3 veces, sugiriendo que los mayores sacudimientos además de la zona de suelos blandos y con mayor contenido de humedad, se presentarían de manera sectorizada también en estos lugares cuyos suelos a nivel superficial son poco compactos. Con un área en color rojo se delimitan las zonas inundables (próximo al río Osmore) y con puntos en rojo las zonas de terreno en estado de deformación.

El sector delimitado por puntos rojos sobre el mapa de zonificación, corresponde a una zona que presenta terrenos inestables, evidenciado por la discontinuidad en las características físicas del suelo según la Figura 41, cuyos resultados se presentan por tramos identificados a continuación:

- a)** Tramo NE de El Algarrobal, entre las Parcelas 20 y 26. Según la Figura 31 (a), se observa una discontinuidad vertical en las secciones de eléctrica que coincide con la línea discontinua en el mapa, y según los resultados de sísmica, a este mismo sector no se alcanza el material muy rígido. Asimismo, según las razones espectrales, estas varían en forma y amplitud a los extremos de esta línea discontinua.
- b)** Tramo Central de El Algarrobal, próximo a la Asoc. Brisas del Mar. Según la Figura 31 (b), se observa que el espesor de suelos medianamente consolidadas incrementa respecto a su extremo NO, siguiendo la tendencia del Tramo NE.
- c)** Tramo SO de El Algarrobal en el sector del Parque Ecológico, según la Figura 31 (c), se observa una discontinuidad vertical en las secciones de eléctrica que coincide con la línea discontinua en el mapa y abarca un área mayor respecto al tramo NE y según los resultados de sísmica, a este mismo sector no se alcanza el material muy rígido.

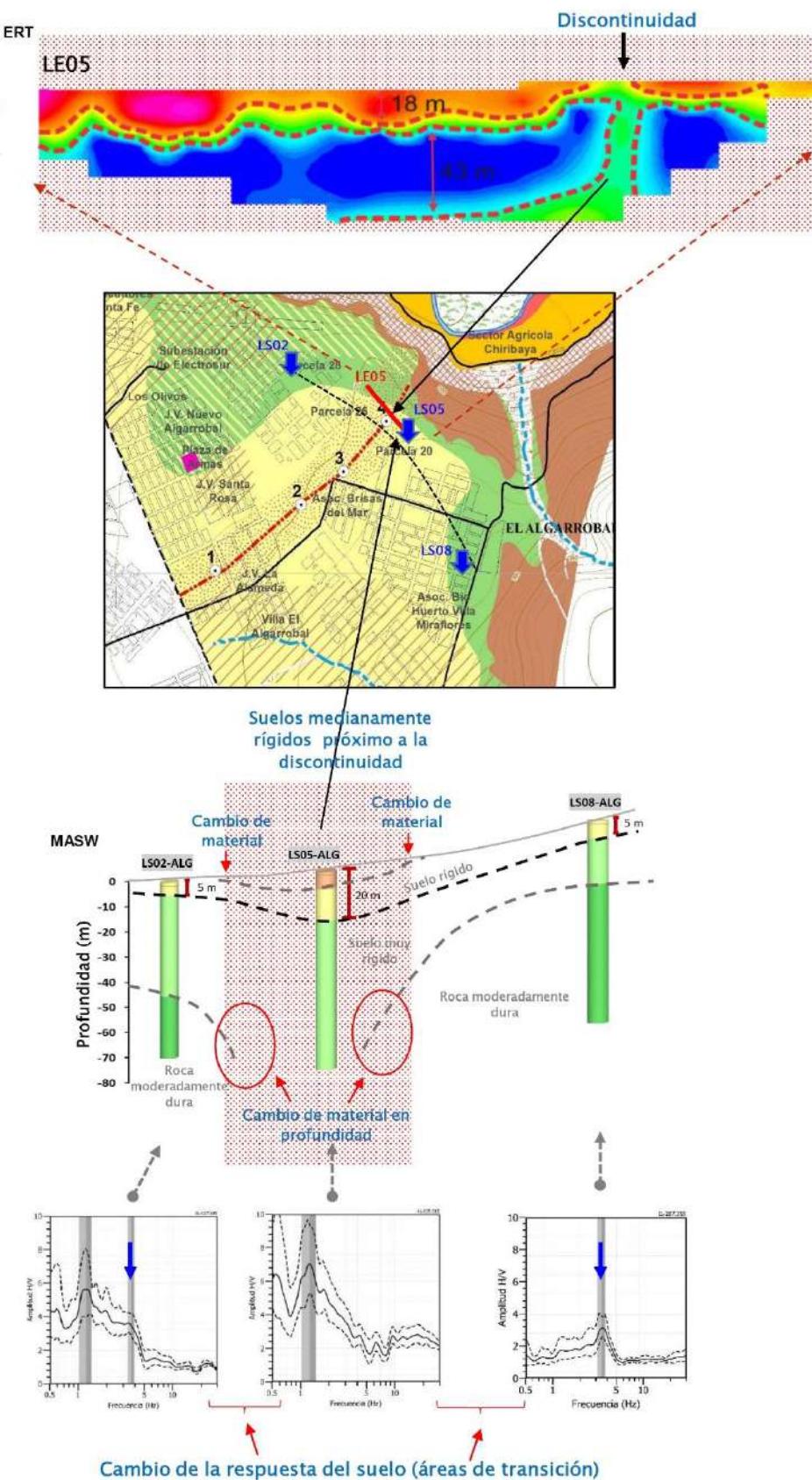


Figura 41: Correlación de los resultados geofísicos, en la zona cuyos terrenos muestran mayor inestabilidad. a) Tramo NE del área urbana del distrito El Algarrobal.

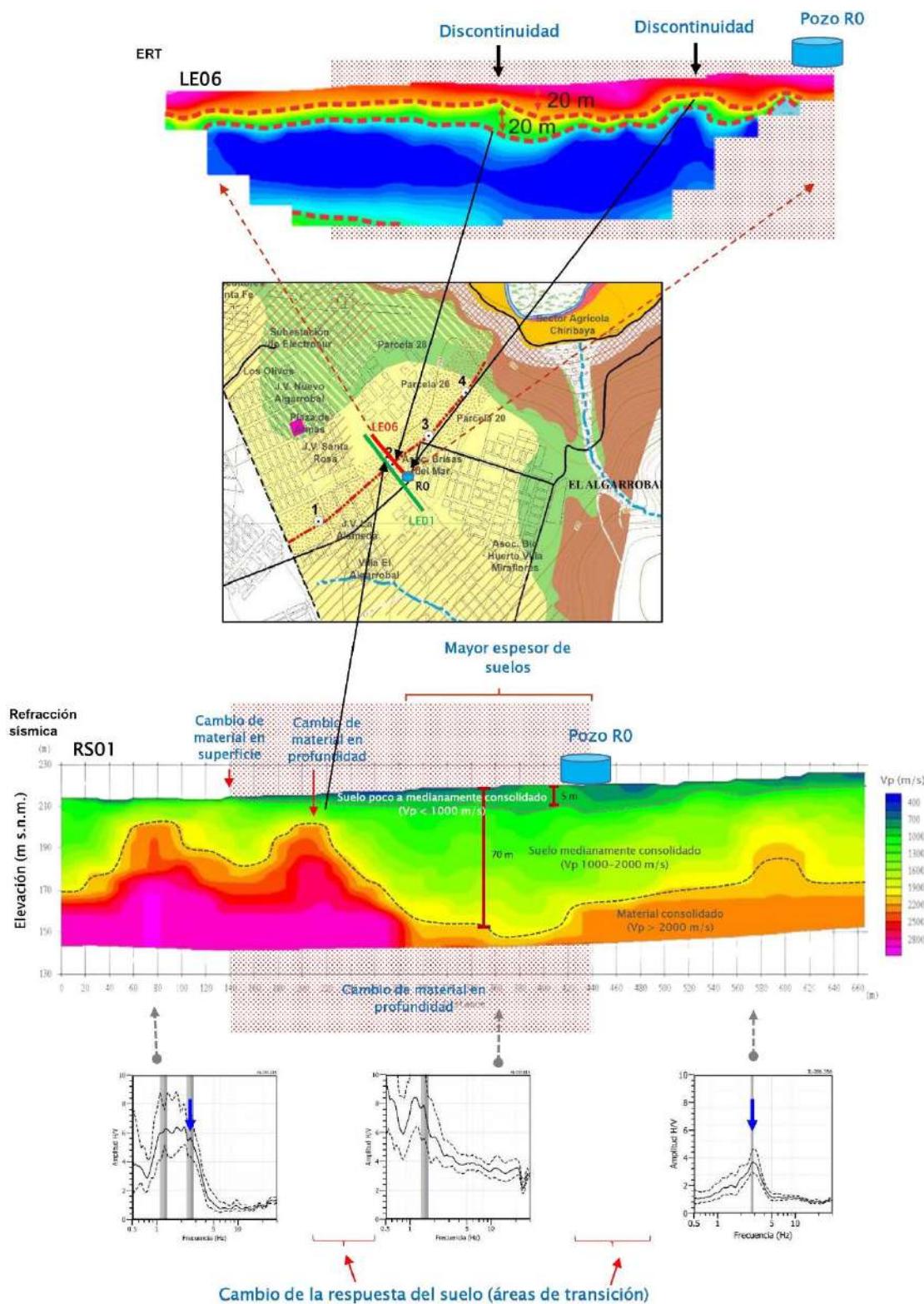


Figura 41: Continuidad.../. Correlación de los resultados geofísicos, en la zona cuyos terrenos muestran mayor inestabilidad. b) Tramo Central del área urbana del distrito El Algarrobal.

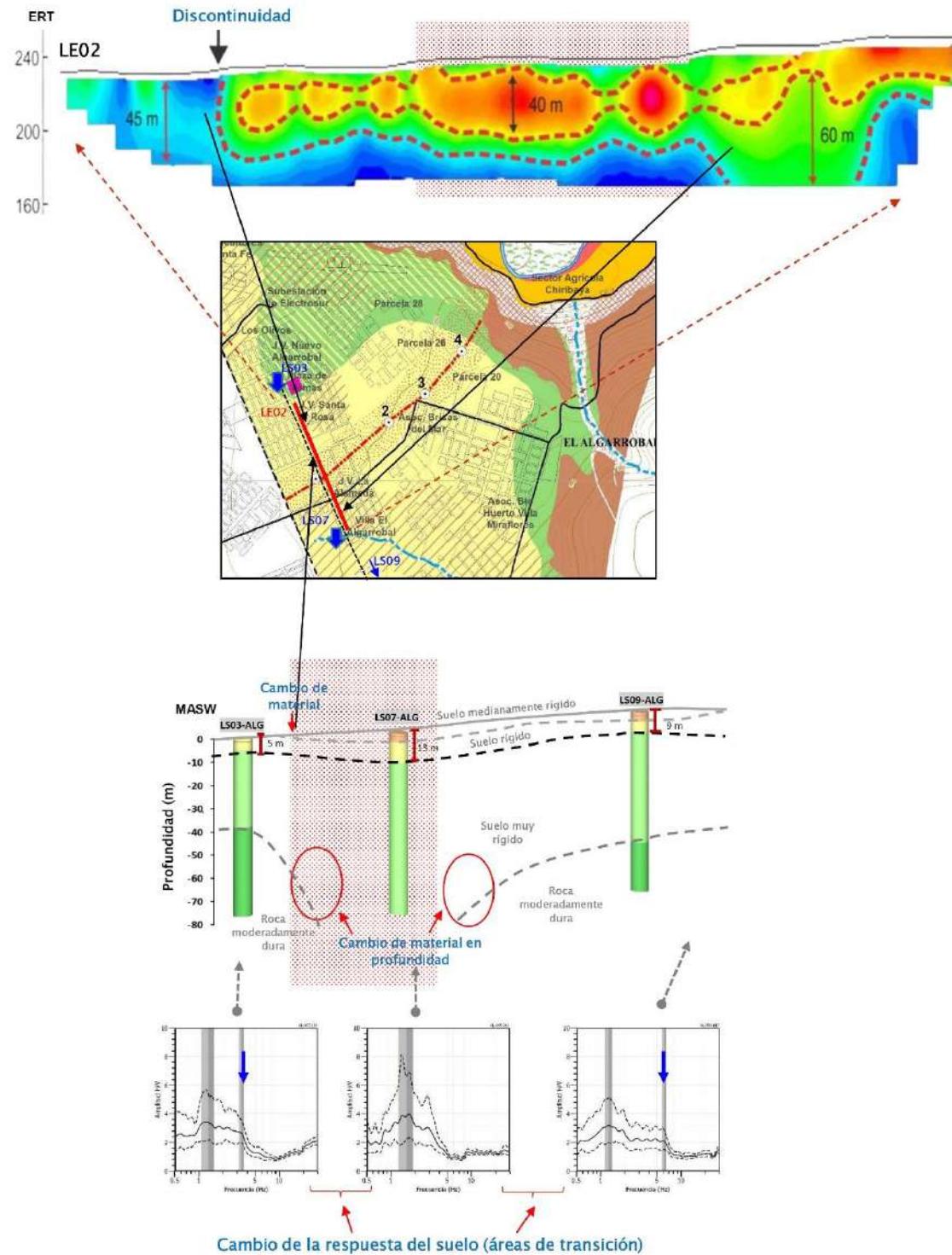


Figura 41: Continuidad.../. Correlación de los resultados geofísicos, en la zona cuyos terrenos muestran mayor inestabilidad. c) Tramo SO del área urbana del distrito El Algarrobal.

CONCLUSIONES

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

- El área urbana del distrito El Algarrobal se asienta sobre una llanura aluvial con elevaciones circundado por lomas en dirección Este y por taludes en dirección Norte, con pendientes de 5 a 20° y constituidas por rocas ígneas; lecho fluvial, terraza y llanura conformadas por arenas, limos y gravas y su origen se debe a la dinámica del río Osmore.
- Geológicamente, se identificaron la existencia de depósitos aluviales y proluviales debido a la actividad de las quebradas que circundan El Algarrobal; coluviales (clastos producto de la erosión de rocas intrusivas); eólicos en forma de mantos de arena y fluviales producto de la dinámica del río Osmore. En el caso del basamento rocoso está conformada por rocas ígneas intrusivas de la Súper Unidad Punta Coles e Ilo, que actualmente se encuentran meteorizadas y fracturadas.
- Geodinámicamente los eventos suscitados en El Algarrobal son caída de rocas, flujo de detritos e inundaciones fluviales. El primero delimitado hacia la zona norte en la zona de lomas (rocas intrusivas). El segundo, debido a la activación de las quebradas Canicora e Higueral que descienden de las lomas y arrastran clastos y sedimentos (arenas y finos) hasta desembocar en el río Osmore. Finalmente, las inundaciones se producen por el incremento del caudal del río en mención debido a los materiales provenientes de las quebradas que se activan. Los dos últimos eventos tienen como factor desencadenante las precipitaciones extraordinarias.

- Los tipos de suelo encontrados en el área urbana del distrito El Algarrobal, están conformados principalmente por grava mal graduada con limo (GP-GM) y arena mal graduada (SP), en el sector de Pampa Inalámbrica, los suelos presentan capacidad de carga admisible alta a media ($>3.0 \text{ kg/cm}^2$ y de $2.0\text{-}3.0 \text{ kg/cm}^2$) hacia el extremo NO del área de estudio (entre J.V. La Alameda y la Asoc. Porcicultorios Santa FE) y de baja a muy baja ($1.0\text{-}2.0 \text{ kg/cm}^2$ y $<1.0 \text{ kg/cm}^2$), hacia su extremo SE. Estos suelos se encuentran cubiertos por carbonatos de calcio y sales comúnmente llamados caliches. Y hacia el sector próximo al río Osmore, predomina suelos con capacidad de carga admisible muy baja.
- Según su comportamiento dinámico, los suelos del área urbana del Algarrobal, responden principalmente a periodos que fluctúan entre 0.2-0.6 segundos (Asoc. Porcicultores Santa Fe, Subestación Ilo Electrosur, J.V. Nuevo Algarrobal, Plaza de Armas, J.V. Santa Rosa, J.V. La Alameda) y a periodos que fluctúan entre 0.1-0.2 y 0.5-0.8 segundos hacia su extremo SE con moderada amplificación (Villa El Algarrobal, Asoc. Brisas del Mar, Parcela 20, Bio Huerto Parcela 5, APEMIPE El Algarrobal). En el sector ubicado próximo al río, los suelos responden a un único periodo que varía entre 0.1 y 0.2 segundos, con amplificaciones de hasta 3 veces. Estos resultados evidencian que los suelos, presentan una respuesta dinámica compleja ante sismos, debido a su estratificación.
- En el área urbana del Algarrobal, se ha identificado el predominio de suelos rígidos ($V_s30=530$ a 670 m/s) y medianamente rígidos ($V_s30=470$ a 500 m/s), en dirección NO y SE respectivamente, distribuidos en capas de 5, 10 y 35 metros de espesor. En el sector próximo al río, por la Municipalidad de El Algarrobal predominan suelos mediadamente rígidos a blandos, en capas de 9 y 17 metros de espesor. A nivel superficial se identifica una capa delgada de suelos suelto y/o poco compactos. Estos depósitos, se emplazan sobre materiales muy rígidos y/o roca moderadamente dura ($V_s = 804$ a 1411 m/s). En cuanto

a los ensayos ubicados por Villa El Algarrobal y Parcela 20 (parte media del área urbana), no se identificó roca en profundidad.

- Los suelos hacia el extremo oeste del área urbana de El Algarrobal, presentan a nivel superficial un horizonte de alta resistividad, con un espesor en promedio de 20 metros, asociado a la presencia de material compacto seco (caliche, ignimbritas, gravas), emplazados sobre materiales bajos resistivos asociados a depósitos fluvio-aluviales (gravas, arenas, limos) con la capacidad de contener agua subterráneas; sin embargo al no encontrar evidencia de este fluido, estos valores bajos, se asociaría al cambio de las características litológicas de material que conforman estas capas del subsuelo. Y hacia el sector próximo al río Osmore, los suelos presentan alto contenido de humedad desde la superficie hasta profundidades que superan el rango estudio (60 metros) esta característica se asocia a actividad agrícola y proximidad al río.
- De acuerdo a la Norma Técnica E.030, los suelos presentes en el área urbana del distrito de El Algarrobal corresponden al Tipo S1, S2, S3 y S4, que comprenden suelos muy rígidos, rígidos, medianamente rígidos y blandos. A nivel superficial, se identifica la presencia de una capa delgada de suelos sueltos y otras de material rígido asociados a la presencia de caliche. Asimismo, de acuerdo a los resultados obtenidos en este estudio, se ha delimitado el sector que atraviesa el parque ecológico, extremo norte de la Asociación Brisas del Mar y entre las Parcelas 26 y 20, donde predominan terrenos inestables, y que ante la demanda sísmica pudiera experimentar un mayor nivel de sacudimiento del suelo.

BIBLIOGRAFÍA

ARYU E. I. R. L. (2024). *Estudio de Mecánica de suelos para habilitación urbano industrial de la asociación Pequeños Industriales Villa Panamericana.*

Bernal, I., (2006). *Microzonificación sísmica de la ciudad de Tlaxcala, México, Tesis de Maestría, Posgrado en Ciencias de la Tierra, UNAM.*

Gobierno Regional de Moquegua (2023). *Evaluación de riesgo originado por inundación fluvial en el distrito El Algarrobal, provincial de Mariscal Nieto, departamento de Moquegua.*

Ingeniería y Control de Calidad en Obras Civiles –ICCAL (2024). *Estudio de mecánica de suelos para la creación del servicio de práctica deportiva y/o recreativa en el parque de la manzana 26 lote 09 del PROMUVI 1 distrito de El Algarrobal de la provincia de Ilo del departamento de Moquegua.*

Instituto Geofísico del Perú- IGP (2018). *Zonificación sísmica-geotécnica de las áreas urbanas de las ciudades de Ilo y Pampa Inalámbrica. Repositorio IGP, 206pp.*

Instituto Nacional de Estadística e Informática – INEI (2018). *Perú Resultados definitivos – Tomo I*

Lermo, J. y Chavez-Garcia, F.J. (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.

Louie, J. (2001). *Faster, Better: Shear-Wave Velocity to 100 Meters Depth From Refraction Microtremor Arrays. Bulletin of the Seismological Society of America.* Pg. 20. DOI: 10.1785/0120000098.

Meyerhof, G., G., (1956) – Penetración Test and Bearing Capacity of Cohesionalless Soils. *Journal of the Soils Mechanics and Foundations División, ASCE, Vol 82 N°SM1, Proc. Paper 886, Jan. 1956, pp-19.*

Municipalidad Distrital de El Algarrobal (2013). Plan de prevención y reducción de riesgo de desastres de la Municipalidad Distrital de El Algarrobal ante sismos de gran magnitud 2023-2027.

Municipalidad Distrital de El Algarrobal (2018). Plan de prevención y reducción de riesgo de desastres de la Municipalidad Distrital de El Algarrobal 2019-2022.

Nakamura, Y. (1989): A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremors on the ground surface, Quarterly Report of Railway Technical Research Institute, 30(1):25-33.

Norma Técnica de edificaciones E.030. 2018. Aprobada por resolución ministerial N°355-2018- VIVIENDA.

Reynolds, J.M. (2011). An Introduction to Applied and Environmental Geophysics. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, 2nd ed., 712 pp.

Silgado, E. (1978) - Historia de los sismos más notables ocurridos en el Perú (1513 -1974). Instituto de Geología y Minería. Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 3, 130 p.

SESAME. Guidelines for the Implementation of the H/V Spectral Ratio Technique on Ambient Vibrations, Research Report WP12, Available online at: <http://sesame-fp5.obs.ujf-grenoble.fr/index.htm>. 2004.

Servicio de Geología y Minería (1964). Boletín N°7, geología de los cuadrangulos de Ilo y Locumba (Hojas 36-t y 36-u).

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.

Terra South S. A. C. (2024). *Estudio de mecánica de suelos, EMS-041-2024 para el proyecto: Creación del servicio de movilidad urbana en el jirón 03 del PROMUVI I; distrito de El Algarrobal de la provincia de Ilo del departamento de Moquegua*.

ANEXO 1
Información Geológica – Geotécnica

CALICATAS

 PERÚ Ministerio del Ambiente	 IGP																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
REGISTRO DE CALICATAS																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
ZONIFICACIÓN GEOFÍSICA-GEOTÉCNICA DE SUELOS DEL ÁREA URBANA DEL DISTRITO EL ALGARROBAL																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
CALICATA: CAL-01 UBICACIÓN: A 80 m. en dirección NO de la planta de Tratamiento de Agua Ilo (PLANTA 2 EPS ILO) DISTRITO: El Algarrobal PROVINCIA: Ilo REGIÓN: Moquegua PROFUNDIDAD (m): 2.50 NIVEL FREÁTICO (m): N.P. FECHA: noviembre 2024 COORDENADAS UTM: NORTE (m): 8049570 ESTE (m): 254661 COTA (m.s.n.m): 170																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
ELABORADO POR: Astrid Baños REVISADO POR: Juan Carlos Gómez A. RESPONSABLE DEL PROYECTO: Hernando Tavera																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2" style="text-align: center; width: 10%;">PROF. (m)</th> <th rowspan="2" style="text-align: center; width: 10%;">MUESTRAS</th> <th rowspan="2" style="text-align: center; width: 10%;">HUMEDAD (%)</th> <th rowspan="2" style="text-align: center; width: 10%;">DENSIDAD (g/cm³)</th> <th rowspan="2" style="text-align: center; width: 10%;">GRÁFICO</th> <th rowspan="2" style="text-align: center; width: 10%;">SUSC</th> <th rowspan="2" style="text-align: center; width: 10%;">REGISTRO FOTOGRÁFICO DE PERFIL</th> <th rowspan="2" style="text-align: center; width: 10%;">DESCRIPCIÓN</th> </tr> <tr> <th style="text-align: center;">D_h</th> <th style="text-align: center;">D_s</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.00</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>0.10</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>0.20</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>0.30</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>0.40</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>0.50</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>0.60</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>0.70</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>0.80</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>0.90</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>1.00</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>1.10</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>1.20</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>1.30</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>1.40</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>1.50</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>1.60</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>1.70</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>1.80</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>1.90</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2.00</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2.10</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2.20</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2.30</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2.40</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2.50</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2.60</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2.70</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2.80</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2.90</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3.00</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="8" style="text-align: center;">MCAL-01</td> </tr> <tr> <td colspan="8" style="text-align: center;">OBSERVACIONES:</td> </tr> <tr> <td colspan="8" style="text-align: center;">REGISTRO FOTOGRÁFICO CAL-01</td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;">  </td> <td colspan="4" style="text-align: center;">  </td> </tr> <tr> <td colspan="8" style="text-align: center; font-size: small;"> La calicata se realizó en las inmediaciones de la planta de Tratamiento de Agua Ilo (PLANTA 2 EPS ILO) </td> </tr> <tr> <td colspan="8" style="text-align: center; font-size: small;"> Grava mal graduada con limo y arena de compacidad suelta a media a 2.40 m. de profundidad. </td> </tr> </tbody></table>		PROF. (m)	MUESTRAS	HUMEDAD (%)	DENSIDAD (g/cm³)	GRÁFICO	SUSC	REGISTRO FOTOGRÁFICO DE PERFIL	DESCRIPCIÓN	D _h	D _s	0.00								0.10								0.20								0.30								0.40								0.50								0.60								0.70								0.80								0.90								1.00								1.10								1.20								1.30								1.40								1.50								1.60								1.70								1.80								1.90								2.00								2.10								2.20								2.30								2.40								2.50								2.60								2.70								2.80								2.90								3.00								MCAL-01								OBSERVACIONES:								REGISTRO FOTOGRÁFICO CAL-01																La calicata se realizó en las inmediaciones de la planta de Tratamiento de Agua Ilo (PLANTA 2 EPS ILO)								Grava mal graduada con limo y arena de compacidad suelta a media a 2.40 m. de profundidad.							
PROF. (m)	MUESTRAS									HUMEDAD (%)	DENSIDAD (g/cm³)	GRÁFICO	SUSC	REGISTRO FOTOGRÁFICO DE PERFIL	DESCRIPCIÓN																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
		D _h	D _s																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
0.00																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0.10																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0.20																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0.30																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0.40																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0.50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0.60																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0.70																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0.80																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0.90																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
1.00																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
1.10																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
1.20																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
1.30																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
1.40																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
1.50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
1.60																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
1.70																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
1.80																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
1.90																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
2.00																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
2.10																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
2.20																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
2.30																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
2.40																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
2.50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
2.60																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
2.70																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
2.80																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
2.90																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
3.00																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
MCAL-01																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
OBSERVACIONES:																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
REGISTRO FOTOGRÁFICO CAL-01																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
La calicata se realizó en las inmediaciones de la planta de Tratamiento de Agua Ilo (PLANTA 2 EPS ILO)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
Grava mal graduada con limo y arena de compacidad suelta a media a 2.40 m. de profundidad.																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

REGISTRO DE CALICATAS								
			CALICATA: CAL-02					
			UBICACIÓN: Asociación Bío Huerto Villa Miraflores	DISTRITO: El Algarrobal	PROVINCIA: Ilo	REGIÓN: Moquegua		
			PROFUNDIDAD (m): 1.50	NIVEL FREÁTICO (m): N.P.		FECHA: noviembre 2024		
			COORDENADAS UTM					
			NORTE (m): 8049217	ESTE (m): 255979	COTA (m.s.n.m): 207			
ELABORADO POR: Astrid Barros			REVISADO POR: Juan Carlos Gómez A.	RESPONSABLE DEL PROYECTO: Hernando Tavera				
(m)	PROF.	MUESTRAS	HUMEDAD (%)	DENSIDAD (g/cm³)	GRÁFICO	SUSC	REGISTRO FOTOGRÁFICO DE PERFIL	DESCRIPCIÓN
0.40								
0.50								
0.60								
0.70								
0.80								
0.90								
1.00								
1.10								
1.20								
1.30								
1.40								
1.50	MCAI-02							
1.60								
1.70								
1.80								
1.90								
2.00								
2.10								
2.20								
2.30								
2.40								
2.50								
2.60								
2.70								
2.80								
2.90								
3.00								
OBSERVACIONES:								
REGISTRO FOTOGRÁFICO CAL-02								
<p>La calicata se realizó en la Asociación Bío Huerto Villa Miraflores.</p> <p>Arena limpia con grava y bloques, compacidad media a suelta.</p>								



PERÚ

Ministerio
del Ambiente



REGISTRO DE CALICATAS

**ZONIFICACIÓN GEOFÍSICA-GEOTÉCNICA
DE SUELOS DEL ÁREA URBANA DEL
DISTRITO EL ALGARROBAL**

CALICATA:	CAL-03		
UBICACIÓN:	A 285 m. en dirección SSE del mercado El Algarrobal		
DISTRITO:	El Algarrobal	PROVINCIA:	Ilo
PROFOUNDIDAD (m):	2.70	NIVEL FREÁTICO (m):	N.P.
		COORDENADAS UTM	
NORTE (m):	8048508	ESTE (m):	255410
REVISADO POR:	Juan Carlos Gómez A.	COTA (m.s.n.m):	185
ELABORADO POR:	Astrid Baños	RESPONSABLE DEL PROYECTO:	Hernando Tavera

(m)	PROF.	MUESTRAS	HUMEDAD (%)	DENSIDAD (g/cm³)	GRÁFICO	SUCS	REGISTRO FOTOGRÁFICO DE PERFIL	DESCRIPCIÓN	
								Dh	Ds
0.00									
0.20									
0.30									
0.40									
0.50									
0.60									
0.70									
0.80									
0.90									
1.00									
1.10									
1.20									
1.30									
1.40									
1.50									
1.60	MCAL-03								
1.70									
1.80									
1.90									
2.00									
2.10									
2.20									
2.30									
2.40									
2.50									
2.60									
2.70									
2.80									
2.90									
3.00									

OBSERVACIONES:

REGISTRO FOTOGRÁFICO CAL-03



La calicata se realizó en las inmediaciones del mercado El Algarrobal.

Arena limosa con grava, compacidad suelta a 1.60 m. de profundidad.



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

REGISTRO DE CALICATAS								
				CAL-04				
ZONIFICACIÓN GEOFÍSICA-GEOTÉCNICA DE SUELOS DEL ÁREA URBANA DEL DISTRITO EL ALGARROBAL		CALICATA: UBICACIÓN: DISTRITO: PROFOUNDIDAD (m):	A 1350 m, en dirección sur del mercado El Algarrobal El Algarrobal 3.00	PROVINCIA: NIVEL FREÁTICO (m):	Ilo N.P.			
ELABORADO POR:		NORTE (m):	8047405	ESTE (m):	255299 COTA (m.s.n.m): 198			
		REVISADO POR:	Juan Carlos Gómez A.	RESPONSABLE DEL PROYECTO:	Hernando Tavera			
(m)	PROF.	MUESTRAS	HUMEDAD (%)	DENSIDAD (gr/cm3)	GRÁFICO	SUCS	REGISTRO FOTOGRÁFICO DE PERFIL	DESCRIPCIÓN
				Dh Ds				
0.00								
0.10								
0.20								
0.30								
0.40								
0.50								
0.60								
0.70								
0.80								
0.90								
0.99								
1.00								
1.09								
1.19								
1.29								
1.39								
1.49								
1.59								
1.69								
1.79								
1.89								
1.99								
2.09								
2.19								
2.29								
2.39								
2.49								
2.59								
2.69								
2.79								
2.89								
2.99								
3.00								
MICAL-04								
OBSERVACIONES:								
REGISTRO FOTOGRÁFICO CAL-04								
<p>La calicata se realizó en las inmediaciones de Área 9A (propiedad municipal). Arena mal graduada con limo y grava, compacidad media.</p>								



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

REGISTRO DE CALICATAS						
CALICATA:			CAL-05			
UBICACIÓN:						
DISTRITO: El Algarrobal			PROVINCIA: Ilo		REGION: Moquegua	
PROFUNDIDAD (m): 3.00			NIVEL FREÁTICO (m): N.P.		FECHA: noviembre 2024	
COORDENADAS UTM						
NORTE (m): 8045653			ESTE (m): 256059		COTA (m.s.n.m): 227	
REVISADO POR: Juan Carlos Gómez A.			RESPONSABLE DEL PROYECTO: Hernando Tavera			
(m)	PROF.	MUESTRAS	HUMEDAD (%)	DENSIDAD (gr/cm³)	DESCRIPCIÓN	
					Dh	Ds
0.00						
0.10						
0.20						
0.30						
0.40						
0.50						
0.60						
0.70						
0.80						
0.90						
1.00						
1.10						
1.20						
1.30						
1.40						
1.50						
1.60						
1.70						
1.80						
1.90						
2.00						
2.10						
2.20						
2.30						
2.40						
2.50						
2.60						
2.70						
2.80						
2.90						
3.00						
3.00	M CAL-05					
3.10						
3.20						
3.30						
3.40						
3.50						
3.60						
3.70						
3.80						
3.90						
4.00						
4.10						
4.20						
4.30						
4.40						
4.50						
4.60						
4.70						
4.80						
4.90						
5.00						
5.10						
5.20						
5.30						
5.40						
5.50						
5.60						
5.70						
5.80						
5.90						
6.00						
6.10						
6.20						
6.30						
6.40						
6.50						
6.60						
6.70						
6.80						
6.90						
7.00						
7.10						
7.20						
7.30						
7.40						
7.50						
7.60						
7.70						
7.80						
7.90						
8.00						
8.10						
8.20						
8.30						
8.40						
8.50						
8.60						
8.70						
8.80						
8.90						
9.00						
9.10						
9.20						
9.30						
9.40						
9.50						
9.60						
9.70						
9.80						
9.90						
10.00						
10.10						
10.20						
10.30						
10.40						
10.50						
10.60						
10.70						
10.80						
10.90						
11.00						
11.10						
11.20						
11.30						
11.40						
11.50						
11.60						
11.70						
11.80						
11.90						
12.00						
12.10						
12.20						
12.30						
12.40						
12.50						
12.60						
12.70						
12.80						
12.90						
13.00						
13.10						
13.20						
13.30						
13.40						
13.50						
13.60						
13.70						
13.80						
13.90						
14.00						
14.10						
14.20						
14.30						
14.40						
14.50						
14.60						
14.70						
14.80						
14.90						
15.00						
15.10						
15.20						
15.30						
15.40						
15.50						
15.60						
15.70						
15.80						
15.90						
16.00						
16.10						
16.20						
16.30						
16.40						
16.50						
16.60						
16.70						
16.80						
16.90						
17.00						
17.10						
17.20						
17.30						
17.40						
17.50						
17.60						
17.70						
17.80						
17.90						
18.00						
18.10						
18.20						
18.30						
18.40						
18.50						
18.60						
18.70						
18.80						
18.90						
19.00						
19.10						
19.20						
19.30						
19.40						
19.50						
19.60						
19.70						
19.80						
19.90						
20.00						
20.10						
20.20						
20.30						
20.40						
20.50						
20.60						
20.70						
20.80						
20.90						
21.00						
21.10						
21.20						
21.30						
21.40						
21.50						
21.60						
21.70						
21.80						
21.90						
22.00						
22.10						
22.20						
22.30						
22.40						
22.50						
22.60						
22.70						
22.80						
22.90						
23.00						
23.10						
23.20						
23.30						
23.40						
23.50						
23.60						
23.70						
23.80						
23.90						
24.00						
24.10						
24.20						
24.30						
24.40						
24.50						
24.60						
24.70						
24.80						
24.90						
25.00						
25.10						
25.20						
25.30						
25.40						
25.50						
25.60						
25.70						
25.80						
25.90						
26.00						
26.10						
26.20						
26.30						
26.40						
26.50						
26.60						
26.70						
26.80						
26.90						
27.00						
27.10						
27.20						
27.30						
27.40						
27.50						
27.60						
27.7						



PERÚ

Ministerio
del Ambiente



REGISTRO DE CALICATAS								
						CAL-06		
ZONIFICACIÓN GEOFÍSICA-GEOTÉCNICA		UBICACIÓN:		PROVINCIA:		REGION:		
DE SUELOS DEL ÁREA URBANA DEL		El Algarrobal		Ilo		Moquegua		
DISTRITO EL ALGARROBAL		PROFUNDIDAD (m):		NIVEL FREÁTICO (m):		FECHA:		
		3.40		N.P.		noviembre 2024		
				COORDENADAS UTM				
		NORTE (m):		ESTE (m):		COTA (m.s.n.m):		
		8045106		256919		258		
ELABORADO POR:		Astrid Baños		REVISADO POR:		Juan Carlos Gómez A.		
						RESPONSABLE DEL PROYECTO:		
						Hernando Tavera		
(m)	PROF.	MUESTRAS	HUMEDAD (%)	DENSIDAD (gr/cm³)	GRÁFICO	SUCS	REGISTRO FOTOGRÁFICO DE PERFIL	DESCRIPCIÓN
				Dh Ds				
0.00								
0.10								
0.20								
0.30								
0.40								
0.50								
0.60								
0.70								
0.80								
0.90								
1.00								
1.10								
1.20								
1.30								
1.40								
1.50								
1.60								
1.70								
1.80								
1.90								
2.00								
2.10								
2.20								
2.30								
2.40								
2.50								
2.60								
2.70								
2.80								
2.90								
3.00								
3.10								
3.20								
3.30								
3.40								
3.50								
3.60								
3.70								
3.80								
3.90								
4.00								
4.10								
4.20								
4.30								
4.40								
4.50								
4.60								
4.70								
4.80								
4.90								
5.00								
5.10								
5.20								
5.30								
5.40								
5.50								
5.60								
5.70								
5.80								
5.90								
6.00								
6.10								
6.20								
6.30								
6.40								
6.50								
6.60								
6.70								
6.80								
6.90								
7.00								
7.10								
7.20								
7.30								
7.40								
7.50								
7.60								
7.70								
7.80								
7.90								
8.00								
8.10								
8.20								
8.30								
8.40								
8.50								
8.60								
8.70								
8.80								
8.90								
9.00								
9.10								
9.20								
9.30								
9.40								
9.50								
9.60								
9.70								
9.80								
9.90								
10.00								
10.10								
10.20								
10.30								
10.40								
10.50								
10.60								
10.70								
10.80								
10.90								
11.00								
11.10								
11.20								
11.30								
11.40								
11.50								
11.60								
11.70								
11.80								
11.90								
12.00								
12.10								
12.20								
12.30								
12.40								
12.50								
12.60								
12.70								
12.80								
12.90								
13.00								
13.10								
13.20								
13.30								
13.40								
13.50								
13.60								
13.70								
13.80								
13.90								
14.00								
14.10								
14.20								
14.30								
14.40								
14.50								
14.60								
14.70								
14.80								
14.90								
15.00								
15.10								
15.20								
15.30								
15.40								
15.50								
15.60								
15.70								
15.80								
15.90								
16.00								
16.10								
16.20								
16.30								
16.40								
16.50								
16.60								
16.70								
16.80								
16.90								
17.00								
17.10								
17.20								
17.30								
17.40								
17.50								
17.60								
17.70								
17.80								
17.90								
18.00								
18.10								
18.20								
18.30								
18.40								
18.50								
18.60								
18.70								
18.80								
18.90								
19.00								
19.10								
19.20								
19.30								
19.40								
19.50								
19.60								
19.70								
19.80								
19.90								
20.00								
20.10								
20.20								
20.30								
20.40								
20.50								
20.60								
20.70								
20.80								
20.90								
21.00								
21.10								
21.20								
21.30								
21.40								
21.50								
21.60								
21.70								
21.80								
21.								



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

REGISTRO DE CALICATAS								
			CALICATA: A 50 m. al oeste de Aceitunas Ilo SA					
			DISTRITO: El Algarrobal	PROVINCIA: Ilo	REGIÓN: Moquegua	CAL-07		
			PROFUNDIDAD (m): 3.20	NIVEL FREÁTICO (m): N.P.	FECHA: noviembre 2024			
			COORDENADAS UTM					
			NORTE (m): 8045800	ESTE (m): 258628	COTA (m.s.n.m): 92			
			REVISADO POR: Juan Carlos Gómez A.	RESPONSABLE DEL PROYECTO: Hernando Tavera				
(m)	PROF.	MUESTRAS	HUMEDAD (%)	DENSIDAD (gr/cm³)	GRÁFICO	SUCS	REGISTRO FOTOGRÁFICO DE PERFIL	DESCRIPCIÓN
0.00								
0.10								
0.20								
0.30								
0.40								
0.50								
0.60								
0.70								
0.80								
0.90								
1.00								
1.10								
1.20								
1.30								
1.40								
1.50								
1.60								
1.70								
1.80								
1.90								
2.00								
2.10								
2.20								
2.30								
2.40								
2.50								
2.60								
2.70								
2.80								
2.90								
3.00								
3.10								
3.20								
3.30								
3.40								
3.50								
3.60								
3.70								
3.80								
3.90								
4.00								
4.10								
4.20								
4.30								
4.40								
4.50								
4.60								
4.70								
4.80								
4.90								
5.00								
5.10								
5.20								
5.30								
5.40								
5.50								
5.60								
5.70								
5.80								
5.90								
6.00								
6.10								
6.20								
6.30								
6.40								
6.50								
6.60								
6.70								
6.80								
6.90								
7.00								
7.10								
7.20								
7.30								
7.40								
7.50								
7.60								
7.70								
7.80								
7.90								
8.00								
8.10								
8.20								
8.30								
8.40								
8.50								
8.60								
8.70								
8.80								
8.90								
9.00								
9.10								
9.20								
9.30								
9.40								
9.50								
9.60								
9.70								
9.80								
9.90								
10.00								
10.10								
10.20								
10.30								
10.40								
10.50								
10.60								
10.70								
10.80								
10.90								
11.00								
11.10								
11.20								
11.30								
11.40								
11.50								
11.60								
11.70								
11.80								
11.90								
12.00								
12.10								
12.20								
12.30								
12.40								
12.50								
12.60								
12.70								
12.80								
12.90								
13.00								
13.10								
13.20								
13.30								
13.40								
13.50								
13.60								
13.70								
13.80								
13.90								
14.00								
14.10								
14.20								
14.30								
14.40								
14.50								
14.60								
14.70								
14.80								
14.90								
15.00								
15.10								
15.20								
15.30								
15.40								
15.50								
15.60								
15.70								
15.80								
15.90								
16.00								
16.10								
16.20								
16.30								
16.40								
16.50								
16.60								
16.70								
16.80								
16.90								
17.00								
17.10								
17.20								
17.30								
17.40								
17.50								
17.60								
17.70								
17.80								
17.90								
18.00								
18.10								
18.20								
18.30								
18.40								
18.50								
18.60								
18.70								
18.80								
18.90								
19.00								
19.10								
19.20								
19.30								
19.40								
19.50								
19.60								
19.70								
19.80								
19.90								
20.00								
20.10								
20.20								
20.30								
20.40								
20.50								
20.60								
20.70								
20.80								
20.90								
21.00								
21.10								
21.20								
21.30								
21.40								
21.50								
21.60								
21.70								
21.80								
21.90								
22.00								
22.10								
22.20								
22.30								
22.40								



PERÚ

Ministerio
del Ambiente



REGISTRO DE CALICATAS

ZONIFICACIÓN GEOFÍSICA-GEOTÉCNICA DE SUELOS DEL ÁREA URBANA DEL DISTRITO EL ALGARROBAL		CALICATA:	Asociación de vivienda Brisas del Mar	CAL-08	
DISTRITO:	El Algarrobal	PROVINCIA:	Ilo	REGIÓN:	Moquegua
PROFUNDIDAD (m):	1.60	NIVEL FREÁTICO (m):	N.P.	FECHA:	noviembre 2024
ELABORADO POR:		NORTE (m):	8045406	ESTE (m):	25614 COTA (m.s.n.m): 221
REVISADO POR:		REVISADO POR:	Juan Carlos Gómez A.	RESPONSABLE DEL PROYECTO:	Hernando Taveras

(m) PROF. MUESTRAS	HUMEDAD [%]	DENSIDAD [gr/cm³] Dh Ds	GRÁFICO	SUCS	REGISTRO FOTOGRÁFICO DE PERFIL	DESCRIPCIÓN	
						Dh	Ds
0.80							
1.10							
1.20							
1.30							
1.40							
1.50							
1.60							
1.70							
1.80							
1.90							
2.00							
2.10							
2.20							
2.30							
2.40							
2.50							
2.60							
2.70							
2.80							
2.90							
3.00							
MCAL-08							

Observaciones:

REGISTRO FOTOGRÁFICO CAL-08



La calicata se realizó en la Asociación de vivienda Brisas del Mar.

Arena mal graduada con límo y presencia de caliche.



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

REGISTRO DE CALICATAS								
			CALICATA: CAL-09					
			UBICACIÓN:	El Algarrobal	PROVINCIA:	Ilo		
			DISTRITO:	N.P.	REGIÓN:	Moquegua		
			PROFUNDIDAD (m):	2.50	NIVEL FREÁTICO (m):			
			FECHA: noviembre 2024					
			COORDENADAS UTM					
			NORTE (m):	8047809	ESTE (m):	256369		
			REVISADO POR:	Juan Carlos Gómez A.	COTA (m.s.n.m.):	238		
			ELABORADO POR:	Astrid Baños	RESPONSABLE DEL PROYECTO:	Hernando Tavera		
(m)	PROF:	MUESTRAS	HUMEDAD (%)	DENSIDAD (g/cm³)	GRÁFICO	SUCS	REGISTRO FOTOGRÁFICO DE PERFIL	DESCRIPCIÓN
0.00								
0.10								
0.20								
0.30								
0.40								
0.50								
0.60								
0.70								
0.80								
0.90								
1.00								
1.10								
1.20								
1.30								
1.40								
1.50								
1.60								
1.70								
1.80								
1.90								
2.00								
2.10								
2.20								
2.30								
2.40								
2.50								
MCAL-09								
2.60								
2.70								
2.80								
2.90								
3.00								

OBSERVACIONES:

REGISTRO FOTOGRÁFICO CAL-09	

La calicata se realizó en las inmediaciones de la Asociación Bio Huerto Villa Miraflores - primera etapa.

Arena mal graduada con grava y mínimamente bloques.



PERÚ

Ministerio
del Ambiente



REGISTRO DE CALICATAS															
			CALICATA: CAL-10												
			UBICACIÓN:	Asociación de vivienda Villa Panamericana											
			DISTRITO:	El Algarrobal	PROVINCIA:	Ilo									
			PROFUNDIDAD (m):	3.10	NIVEL FREÁTICO (m):	N.P.									
			COORDENADAS UTM												
			NORTE (m):	8045129	ESTE (m):	255947									
			REVISADO POR:	Juan Carlos Gómez A.	RESPONSABLE DEL PROYECTO:	Hernando Távara									
			ELABORADO POR:	Astrid Barrios											
PROF. (m)	MUESTRAS	HUMEDAD [%]	DENSIDAD [g/cm³]	GRÁFICO	SUOS	REGISTRO FOTOGRÁFICO DE PEBIL	DESCRIPCIÓN								
							DN	Ds							
							0.60								
							0.10								
							0.20								
							0.30								
							0.40								
							0.50								
							0.60								
							0.70								
							0.80								
							0.90								
							1.00								
							1.10								
							1.20								
							1.30								
							1.40								
							1.50								
							1.60								
							1.70								
							1.80								
							1.90								
							2.00								
							2.10								
							2.20								
2.30															
2.40															
2.50															
2.60															
2.70															
2.80															
2.90															
3.00															
MCAL-10															
OBSERVACIONES:															
REGISTRO FOTOGRÁFICO CAL-10															
<p>La calicata se realizó en la Asociación de vivienda Villa Panamericana.</p> <p>Arena mal graduada con limo, compacidad suelta a media a 2.60 m. de profundidad.</p>															

 PERÚ Ministerio del Ambiente					
REGISTRO DE CALICATAS					
ZONIFICACIÓN GEOFÍSICA-GEOTÉCNICA DE SUELOS DEL ÁREA URBANA DEL DISTRITO EL ALGARROBAL ELABORADO POR: Astrid Baños		CALICATA: Fundo "Los Maldonado" UBICACIÓN: El Algarrobal DISTRITO: El Algarrobal PROFUNDIDAD (m): 2.40 NORTE (m): 8050256 ESTE (m): 259012 NIVEL FREÁTICO (m): 2.40 FECHA: noviembre 2024 CORDENADAS UTM: Norte (m): 8050256 Este (m): 259012 COTA (m.s.n.m): 87 REVISADO POR: Juan Carlos Gómez A. RESPONSABLE DEL PROYECTO: Hernando Taveras			
		(m)	PROF.: 0.05 0.10 0.15 0.20 0.25 0.30 0.35 0.40 0.45 0.50 0.55 0.60 0.65 0.70 0.75 0.80 0.85 0.90 0.95 1.00 1.05 1.10 1.15 1.20 1.25 1.30 1.35 1.40 1.45 1.50 1.55 1.60 1.65 1.70 1.75 1.80 1.85 1.90 1.95 2.00 2.05 2.10 2.15 2.20 2.25 2.30 2.35 2.40 MCAL-11	MUESTRAS HUMEDAD (%) DH Ds	DENSIDAD (g/cm³) GRÁFICO
				SM	Arena limosa con arcilla, humedad media
				SM	Arena limosa con alto contenido de humedad y raíces. Arena de grano medio a fino, compacidad suelta.
OBSERVACIONES:					
REGISTRO FOTOGRÁFICO CAL-11					
					
La calicata se realizó en las inmediaciones del Fundo "Los Maldonado".			Nivel freático a 2.40 m. de profundidad.		

POSTEOS

 PERÚ Ministerio del Ambiente					
REGISTRO DE POSTEOS					
ZONIFICACIÓN GEOFÍSICA - GEOTÉCNICA DE SUELOS DEL ÁREA URBANA DEL DISTRITO EL ALGARROBAL		POSTEO: UBICACIÓN: DISTRITO: El Algarrobal PROVINCIA: Ilo PROFUNDIDAD (m): 1.60 NIVEL FREÁTICO (m): N.P. COORDENADAS UTM: NORTE (m): 8050286 ESTE (m): 254075 COTA (m.s.n.m.): 19 ELABORADO POR: Astrid Baños REVISADO POR: Juan Carlos Gómez A. RESPONSABLE DEL PROYECTO: Hernando Taveras			
PROF. (m) 0.00 0.10 0.20 0.30 0.40 0.50 0.60 0.70 0.80 0.90 1.00 1.10 1.20 1.30 1.40 1.50 1.60 1.70 1.80 1.90 2.00 2.10 2.20 2.30 2.40 2.50 2.60 2.70 2.80 2.90 3.00	MUESTRAS HUMEDAD (%) DENSIDA D (gr/cm ³) Dh Ds	GRÁFICO CH SM	SUCS REGISTRO FOTOGRÁFICO DE PERFIL	DESCRIPCIÓN Arcilla inorgánica de media a alta plasticidad, humedad baja. Arena limpia, compacidad suelta, humedad media.	
OBSERVACIONES:					
REGISTRO FOTOGRÁFICO POST - 01					
					
El ensayo se realizó en las inmediaciones de terrenos de cultivo. El tipo de suelo reconocido mediante el ensayo de posteo es arena limpia de compacidad suelta.					



PERÚ

Ministerio
del Ambiente



REGISTRO DE POSTEOS

POST - 02

**ZONIFICACIÓN GEOFÍSICA - GEOTÉCNICA
DE SUELOS DEL ÁREA URBANA DEL
DISTRITO EL ALGARROBAL**

POSTEO:

UBICACIÓN:

El Algarrobal

PROVINCIA:

Ilo

REGIÓN:

Moquegua

DISTRITO:

1.60

NIVEL FREÁTICO (m):

N.P.

FECHA:

nov. 2024

PROFOUNDIDAD (m):

COORDENADAS UTM

NORTE (m):

8050443

ESTE (m):

259523

COTA (m.s.n.m):

86

ELABORADO POR: Astrid Baños

REVISADO POR: Juan Carlos Gómez A.

RESPONSABLE DEL PROYECTO:

Hernando Tavera

(m)	PROF.	MUESTRAS	HUMEDAD (%)	DENSIDA D (g/cm³)	GRÁFICO	SUCS	REGISTRO FOTOGRÁFICO DE PERFIL	DESCRIPCIÓN	
								Dh	Ds
0.00									
0.10									
0.20									
0.30									
0.40									
0.50									
0.60									
0.70									
0.80									
0.90									
1.00									
1.10									
1.20									
1.30									
1.40									
1.50									
1.60									
1.70									
1.80									
1.90									
2.00									
2.10									
2.20									
2.30									
2.40									
2.50									
2.60									
2.70									
2.80									
2.90									
3.00									

OBSERVACIONES:

REGISTRO FOTOGRÁFICO POST - 02



El ensayo se realizó en las inmediaciones de terrenos de cultivo.

El tipo de suelo reconocido mediante el ensayo de posteo es arena llimosa de compacidad suelta a media.

ENSAYOS DE PENETRACIÓN DINÁMICA LIGERA



ENSAYO DE PENETRACIÓN DINÁMICA LIGERA (NORMA DIN - 4094)

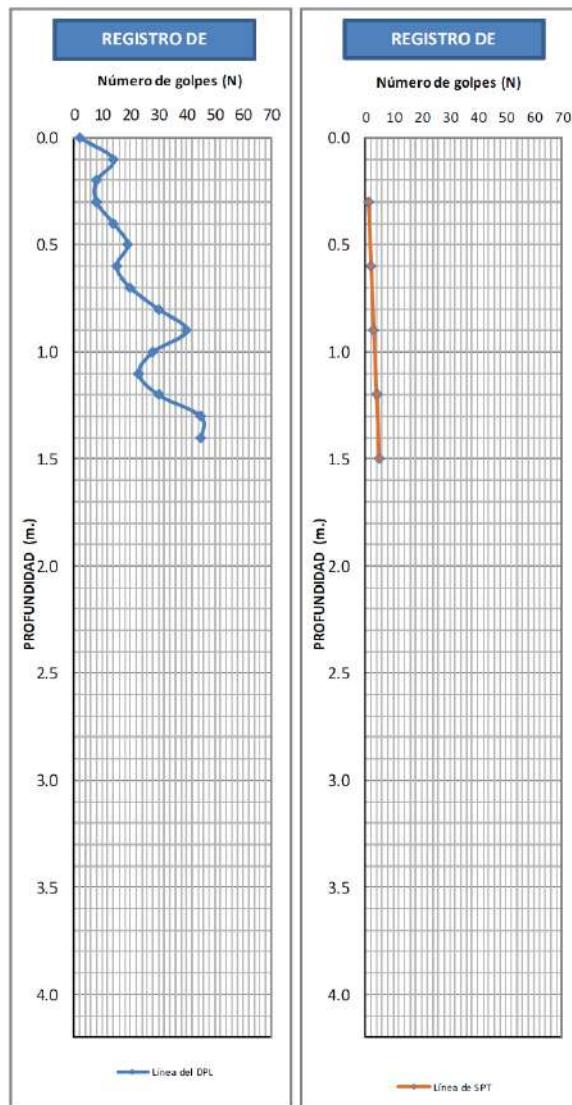
PROYECTO: ZONIFICACIÓN GEOFÍSICA - GEOTÉCNICA DE SUELOS DEL ÁREA URBANA
DEL DISTRITO EL ALGARROBAL

UBICACIÓN:

PROFOUNDIDAD (m): 1.40 m
COORDENADAS (m): 255382 E
8049440 N
FECHA: noviembre, 2024
ELABORADO POR: Astrid Baños
APROBADO POR:
RESPONSABLE DEL PROYECTO: Hernando Tavera

ENSAYO: **DPL-1****HOJA:** 1/10**N.F:** NO presenta nivel freático**Correlación entre DPL y SPT**

PROF. (m.)	N _{dpl} (golpes)	N _{spt} (golpes)	C' _{spt} (Tn/m ²)	Ø' _{spt} (°)	Compacidad Relativa
0.00	2				
0.10	14				
0.20	8	5.18		25.2	Suelta
0.30	8				
0.40	14				
0.50	19	8.29		27.9	Suelta
0.60	15				
0.70	20				
0.80	30	15.54		32.6	Media
0.90	40				
1.00	28				
1.10	23	13.99		31.7	Media
1.20	30				
1.30	45				
1.40	45	15.54		32.6	Media
1.50					
1.60					
1.70					
1.80					
1.90					
2.00					
2.10					
2.20					
2.30					
2.40					
2.50					
2.60					
2.70					
2.80					
2.90					
3.00					
3.10					
3.20					
3.30					
3.40					
3.50					
3.60					
3.70					
3.80					
3.90					
4.00					
4.10					
4.20					



OBSERVACIONES: El ensayo concluyó a 1.40 m. de profundidad debido al rebote ofrecido por la resistencia del suelo.



ENSAYO DE PENETRACIÓN DINÁMICA LIGERA

(NORMA DIN - 4094)

PROYECTO: ZONIFICACIÓN GEOFÍSICA - GEOTÉCNICA DE SUELOS DEL ÁREA URBANA
DEL DISTRITO EL ALGARROBAL

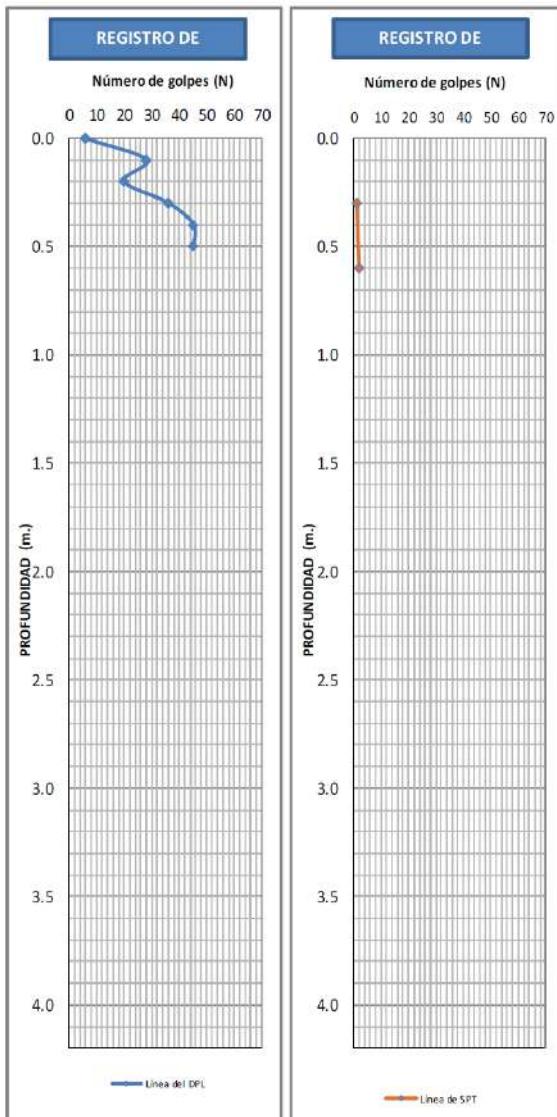
UBICACIÓN:

PROFUNDIDAD (m): 0.50 m
COORDENADAS (m): 254882 E
8049008 N
FECHA: noviembre, 2024
ELABORADO POR: Astrid Baños
APROBADO POR:
RESPONSABLE DEL PROYECTO: Hernando Tavera

ENSAYO: **DPL-2**
HOJA: 2/10
N.F: **NO** presenta nivel freático

Correlación entre DPL y SPT

PROF. (m.)	N _{dpl} (golpes)	N _{spt} (golpes)	C' _{spt} (Tn/m ²)	Ø' _{spt} (")	Compacidad Relativa
0.00	6				
0.10	28				
0.20	20	14.50	0.0	32.0	Media
0.30	36				
0.40	45				
0.50	45	15.54	0.0	32.6	Media
0.60					
0.70					
0.80					
0.90					
1.00					
1.10					
1.20					
1.30					
1.40					
1.50					
1.60					
1.70					
1.80					
1.90					
2.00					
2.10					
2.20					
2.30					
2.40					
2.50					
2.60					
2.70					
2.80					
2.90					
3.00					
3.10					
3.20					
3.30					
3.40					
3.50					
3.60					
3.70					
3.80					
3.90					
4.00					
4.10					
4.20					



OBSERVACIONES: El ensayo concluyó a 0.50 m. de profundidad debido al rebote ofrecido por la resistencia del suelo.



ENSAYO DE PENETRACIÓN DINÁMICA LIGERA

(NORMA DIN - 4094)

PROYECTO: ZONIFICACIÓN GEOFÍSICA - GEOTÉCNICA DE SUELOS DEL ÁREA URBANA
DEL DISTRITO EL ALGARROBAL

UBICACIÓN:

PROFUNDIDAD (m): 0.50 m
COORDENADAS (m): 256762 E

ENSAYO: **DPL-4**

8047589 N

HOJA: 4/10

FECHA: noviembre, 2024

N.F: NO presenta nivel freático

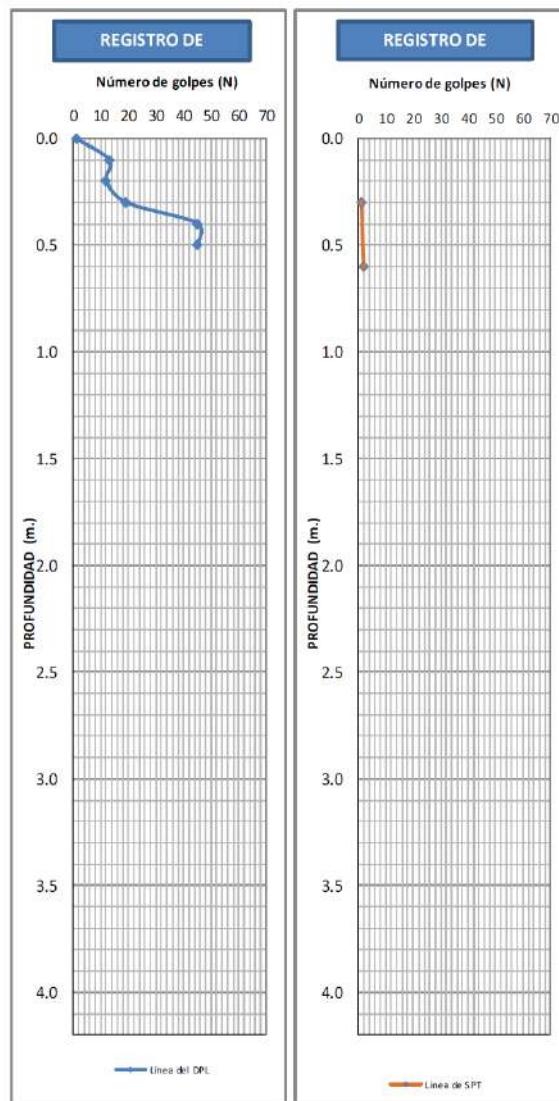
ELABORADO POR: Astrid Baños

APROBADO POR:

RESPONSABLE DEL PROYECTO: Hernando Tavera

PROF. (m.)	N _{dpl} (golpes)	N _{spt} (golpes)	C' _{spt} (Tn/m ²)	Ø' _{spt} (°)	Compacidad Relativa
0.00	1				
0.10	13				
0.20	12	7.60	0.0	27.3	Suelta
0.30	19				
0.40	45				
0.50	45	15.54	0.0	32.6	Media
0.60					
0.70					
0.80					
0.90					
1.00					
1.10					
1.20					
1.30					
1.40					
1.50					
1.60					
1.70					
1.80					
1.90					
2.00					
2.10					
2.20					
2.30					
2.40					
2.50					
2.60					
2.70					
2.80					
2.90					
3.00					
3.10					
3.20					
3.30					
3.40					
3.50					
3.60					
3.70					
3.80					
3.90					
4.00					
4.10					
4.20					

Correlación entre DPL y SPT



OBSERVACIONES: El ensayo concluyó a 0.50 m. de profundidad debido al rebote ofrecido por la resistencia del suelo.



ENSAYO DE PENETRACIÓN DINÁMICA LIGERA
(NORMA DIN - 4094)

PROYECTO: ZONIFICACIÓN GEOFÍSICA - GEOTÉCNICA DE SUELOS DEL ÁREA URBANA
 DEL DISTRITO EL ALGARROBAL

UBICACIÓN:

PROFUNDIDAD (m): 0.90 m
COORDENADAS (m): 256454 E
 8045441 N
FECHA: noviembre, 2024
ELABORADO POR: Astrid Baños
APROBADO POR:
RESPONSABLE DEL PROYECTO: Hernando Tavera

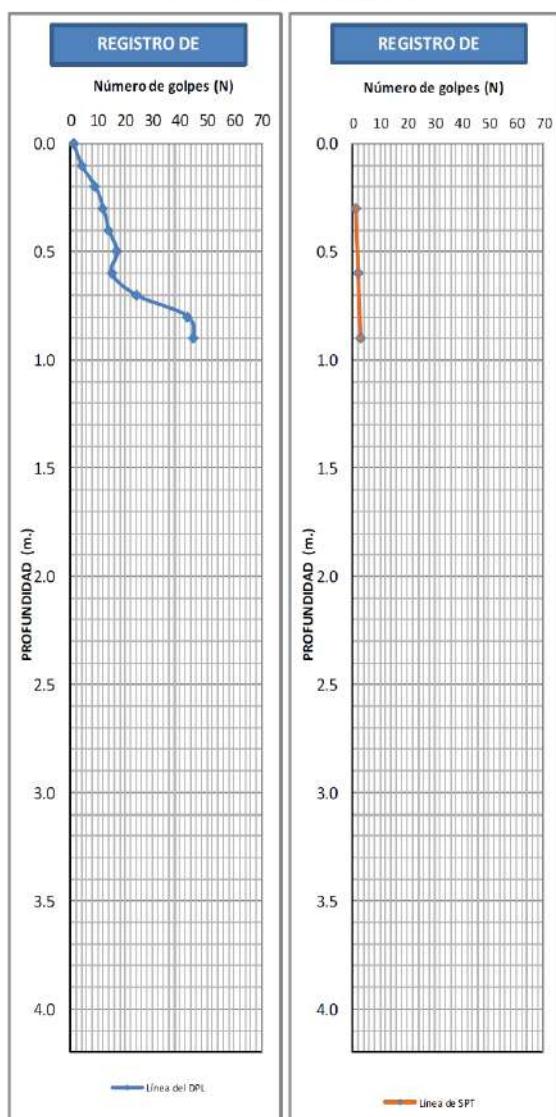
ENSAYO: **DPL-5**

HOJA: 5/10

N.F: **NO** presenta nivel freático

Correlación entre DPL y SPT

PROF. (m.)	N _{dpl} (golpes)	N _{spt} (golpes)	C' _{spt} (Tn/m ²)	Ø' _{spt} (°)	Compacidad Relativa
0.00	1				
0.10	4				
0.20	9	4.32	0.0	24.3	Suelta
0.30	12				
0.40	14				
0.50	17	7.94	0.0	27.6	Suelta
0.60	15				
0.70	24				
0.80	43	19.34	0.0	34.7	Media
0.90	45				
1.00					
1.10					
1.20					
1.30					
1.40					
1.50					
1.60					
1.70					
1.80					
1.90					
2.00					
2.10					
2.20					
2.30					
2.40					
2.50					
2.60					
2.70					
2.80					
2.90					
3.00					
3.10					
3.20					
3.30					
3.40					
3.50					
3.60					
3.70					
3.80					
3.90					
4.00					
4.10					
4.20					



OBSERVACIONES: El ensayo concluyó a 0.90 m. de profundidad debido al rebote ofrecido por la resistencia del suelo.



ENSAYO DE PENETRACIÓN DINÁMICA LIGERA

(NORMA DIN - 4094)

PROYECTO: ZONIFICACIÓN GEOFÍSICA - GEOTÉCNICA DE SUELOS DEL ÁREA URBANA
DEL DISTRITO EL ALGARROBAL.

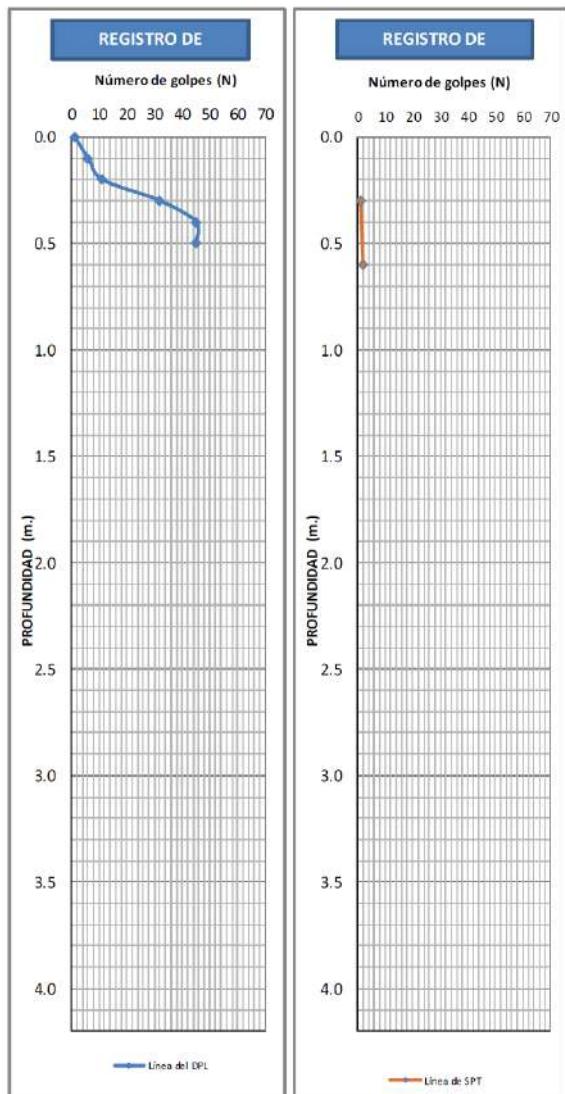
UBICACIÓN:

PROFUNDIDAD (m): 0.50 m
COORDENADAS (m): 259458 E
8050295 N
FECHA: noviembre, 2024
ELABORADO POR: Astrid Baños
APROBADO POR:
RESPONSABLE DEL PROYECTO: Hernando Tavera

ENSAYO: **DPL-7**
HOJA: 7/10
N.F: NO presenta nivel freático

Correlación entre DPL y SPT

PROF. (m.)	N _{dpl} (golpes)	N _{spt} (golpes)	C' _{spt} (Tn/m ²)	Ø' _{spt} (°)	Compacidad Relativa
0.00	1				
0.10	6				
0.20	11	8.46	0.0	28.0	Suelta
0.30	32				
0.40	45				
0.50	45	15.54	0.0	32.6	Media
0.60					
0.70					
0.80					
0.90					
1.00					
1.10					
1.20					
1.30					
1.40					
1.50					
1.60					
1.70					
1.80					
1.90					
2.00					
2.10					
2.20					
2.30					
2.40					
2.50					
2.60					
2.70					
2.80					
2.90					
3.00					
3.10					
3.20					
3.30					
3.40					
3.50					
3.60					
3.70					
3.80					
3.90					
4.00					
4.10					
4.20					



OBSERVACIONES: El ensayo concluyó a 0.50 m. de profundidad debido al rebote ofrecido por la resistencia del suelo.



ENSAYO DE PENETRACIÓN DINÁMICA LIGERA

(NORMA DIN - 4094)

PROYECTO: ZONIFICACIÓN GEOFÍSICA - GEOTÉCNICA DE SUELOS DEL ÁREA URBANA
DEL DISTRITO EL ALGARROBAL

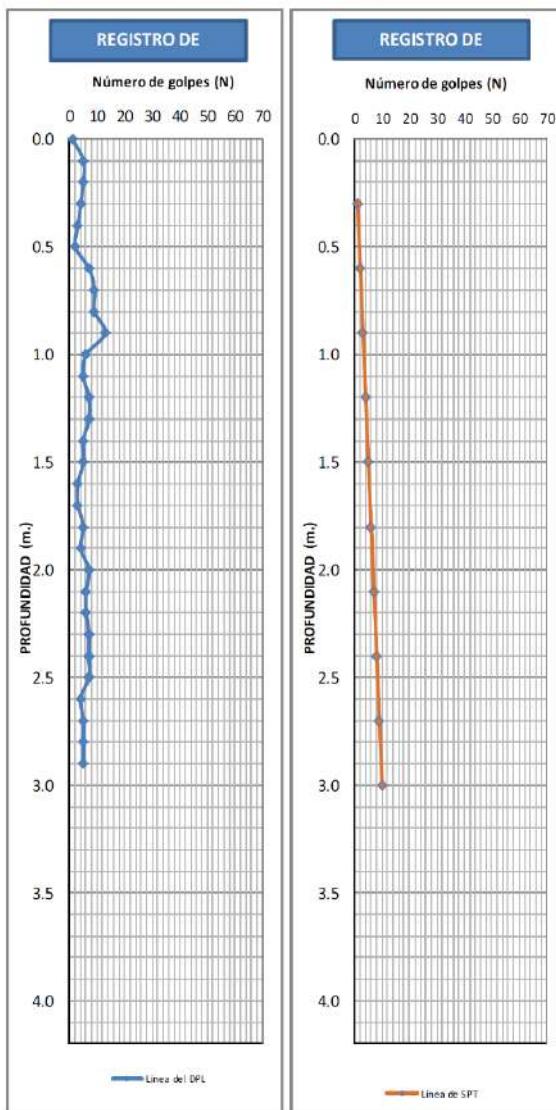
UBICACIÓN:

PROFUNDIDAD (m): 2.90 m
COORDENADAS (m): 260090 E
8050769 N
FECHA: noviembre, 2024
ELABORADO POR: Astrid Baños
APROBADO POR:
RESPONSABLE DEL PROYECTO: Hernando Tavera

ENSAYO: **DPL-8****HOJA:** 8/10**N.F.:** **NO** presenta nivel freático

Correlación entre DPL y SPT

PROF. (m.)	N _{dpl} (golpes)	N _{spt} (golpes)	C' _{spt} (Tn/m ²)	Ø' _{spt} (°)	Compacidad Relativa
0.00	1				
0.10	5				
0.20	5	2.42	0.0	22.0	Muy Suelta
0.30	4				
0.40	3				
0.50	2				
0.60	7	2.07	0.0	21.4	Muy Suelta
0.70	9				
0.80	9	5.35	0.0	25.3	Suelta
0.90	13				
1.00	6				
1.10	5	3.11	0.0	22.9	Muy Suelta
1.20	7				
1.30	7				
1.40	5	2.94	0.0	22.7	Muy Suelta
1.50	5				
1.60	3				
1.70	3	1.90	0.0	21.2	Muy Suelta
1.80	5				
1.90	4				
2.00	7	2.94	0.0	22.7	Muy Suelta
2.10	6				
2.20	6				
2.30	7	3.45	0.0	23.3	Muy Suelta
2.40	7				
2.50	7				
2.60	4	2.76	0.0	22.4	Muy Suelta
2.70	5				
2.80	5				
2.90	5	1.73	0.0	20.9	Muy Suelta
3.00					
3.10					
3.20					
3.30					
3.40					
3.50					
3.60					
3.70					
3.80					
3.90					
4.00					
4.10					
4.20					



OBSERVACIONES: El ensayo concluyó a 2.90 m. de profundidad por el continuo ingreso (número de golpes constante) de la varilla.



ENSAYO DE PENETRACIÓN DINÁMICA LIGERA

(NORMA DIN - 4094)

PROYECTO: ZONIFICACIÓN GEOFÍSICA - GEOTÉCNICA DE SUELOS DEL ÁREA URBANA
DEL DISTRITO EL ALGARROBAL

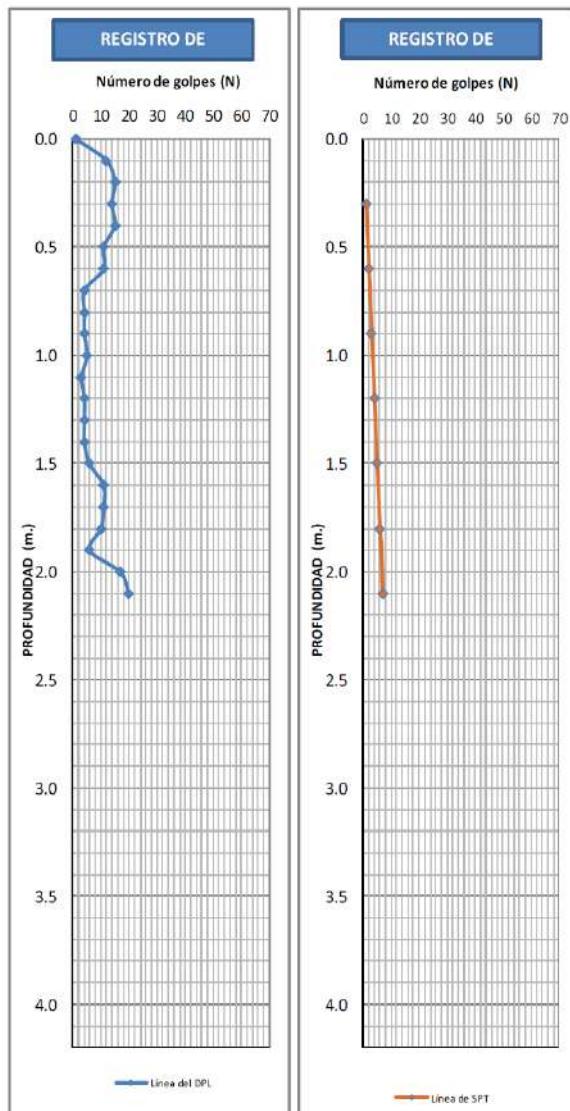
UBICACIÓN:

PROFUNDIDAD (m): 2.10 m
COORDENADAS (m): 257007 E
8049344 N
FECHA: noviembre, 2024
ELABORADO POR: Astrid Baños
APROBADO POR:
RESPONSABLE DEL PROYECTO: Hernando Tavera

ENSAYO: **DPL-9****HOJA:** 9/10**N.F:** NO presenta nivel freático

Correlación entre DPL y SPT

PROF. (m.)	N _{dpl} (golpes)	N _{spt} (golpes)	C' _{spt} [Tn/m ²]	Ø' _{spt} (°)	Compacidad Relativa
0.00	1				
0.10	12				
0.20	15	7.08	0.0	26.9	Suelta
0.30	14				
0.40	15				
0.50	11	6.39	0.0	26.3	Suelta
0.60	11				
0.70	4				
0.80	4	2.07	0.0	21.4	Muy Suelta
0.90	4				
1.00	5				
1.10	3	2.07	0.0	21.4	Muy Suelta
1.20	4				
1.30	4				
1.40	4	2.42	0.0	22.0	Muy Suelta
1.50	6				
1.60	11				
1.70	11	5.53	0.0	25.5	Suelta
1.80	10				
1.90	6				
2.00	17	7.42	0.0	27.2	Suelta
2.10	20				
2.20					
2.30					
2.40					
2.50					
2.60					
2.70					
2.80					
2.90					
3.00					
3.10					
3.20					
3.30					
3.40					
3.50					
3.60					
3.70					
3.80					
3.90					
4.00					
4.10					
4.20					



OBSERVACIONES: El ensayo concluyó a 2.10 m. de profundidad por posible presencia de gravas



ENSAYO DE PENETRACIÓN DINÁMICA LIGERA
(NORMA DIN - 4094)

PROYECTO: ZONIFICACIÓN GEOFÍSICA - GEOTÉCNICA DE SUELOS DEL ÁREA URBANA
 DEL DISTRITO EL ALGARROBAL

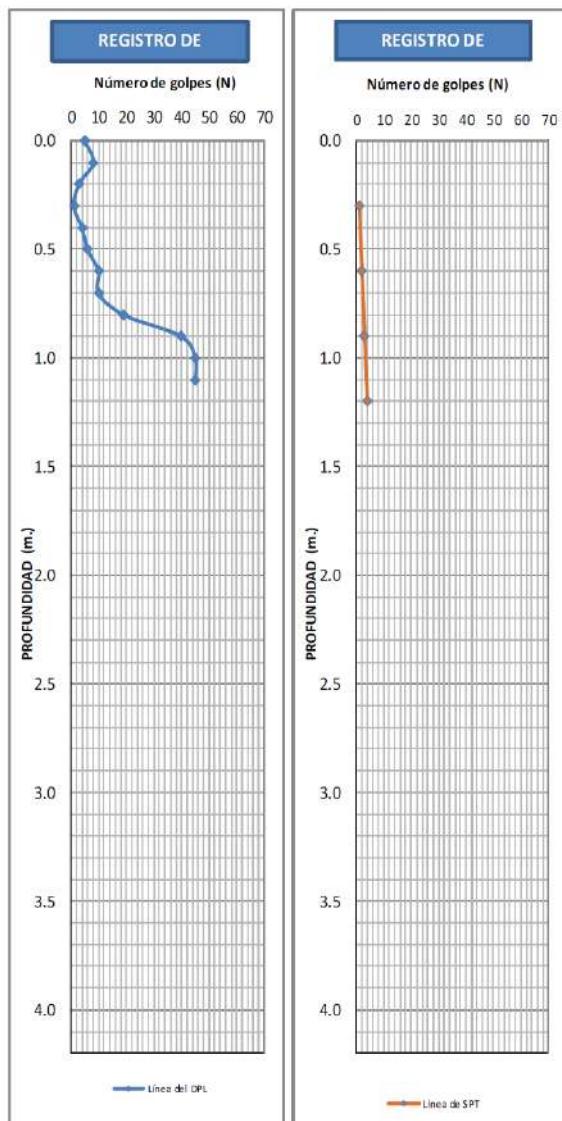
UBICACIÓN:

PROFUNDIDAD (m): 1.10 m
COORDENADAS (m): 254472 E
 8049930 N
FECHA: noviembre, 2024
ELABORADO POR: Astrid Baños
APROBADO POR:
RESPONSABLE DEL PROYECTO: Hernando Tavera

ENSAYO: **DPL-10****HOJA:** 10/10**N.F:** **NO** presenta nivel freático.

Correlación entre DPL y SPT

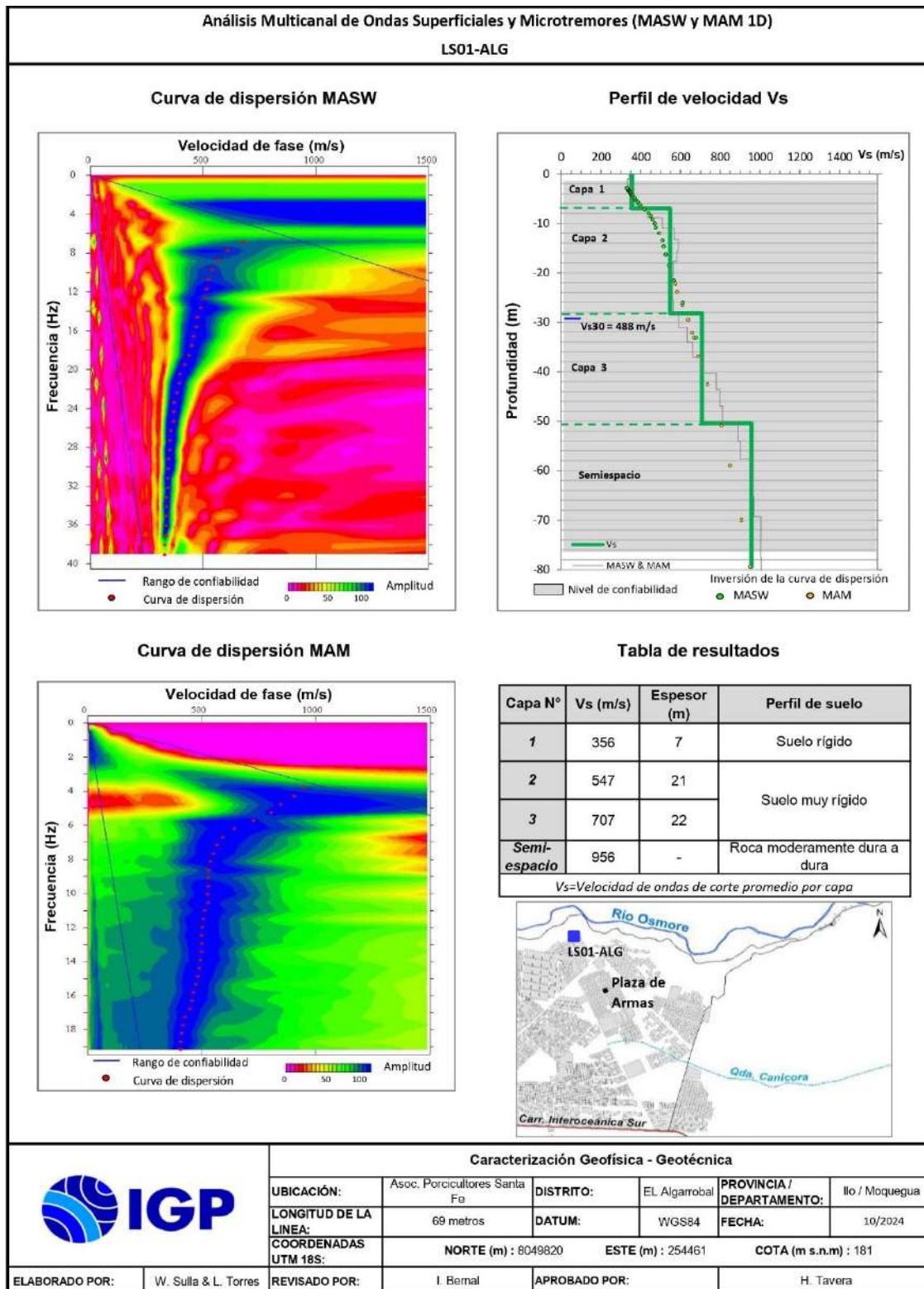
PROF. (m.)	N _{dpl} (golpes)	N _{spt} (golpes)	C' spt (Tn/m ²)	Ø' spt (")	Compacidad Relativa
0.00	5				
0.10	8				
0.20	3	2.07	0.0	21.4	Muy Suelta
0.30	1				
0.40	4				
0.50	6	3.45	0.0	23.3	Muy Suelta
0.60	10				
0.70	10				
0.80	19	11.91	0.0	30.4	Media
0.90	40				
1.00	45				
1.10	45	15.54	0.0	32.6	Media
1.20					
1.30					
1.40					
1.50					
1.60					
1.70					
1.80					
1.90					
2.00					
2.10					
2.20					
2.30					
2.40					
2.50					
2.60					
2.70					
2.80					
2.90					
3.00					
3.10					
3.20					
3.30					
3.40					
3.50					
3.60					
3.70					
3.80					
3.90					
4.00					
4.10					
4.20					

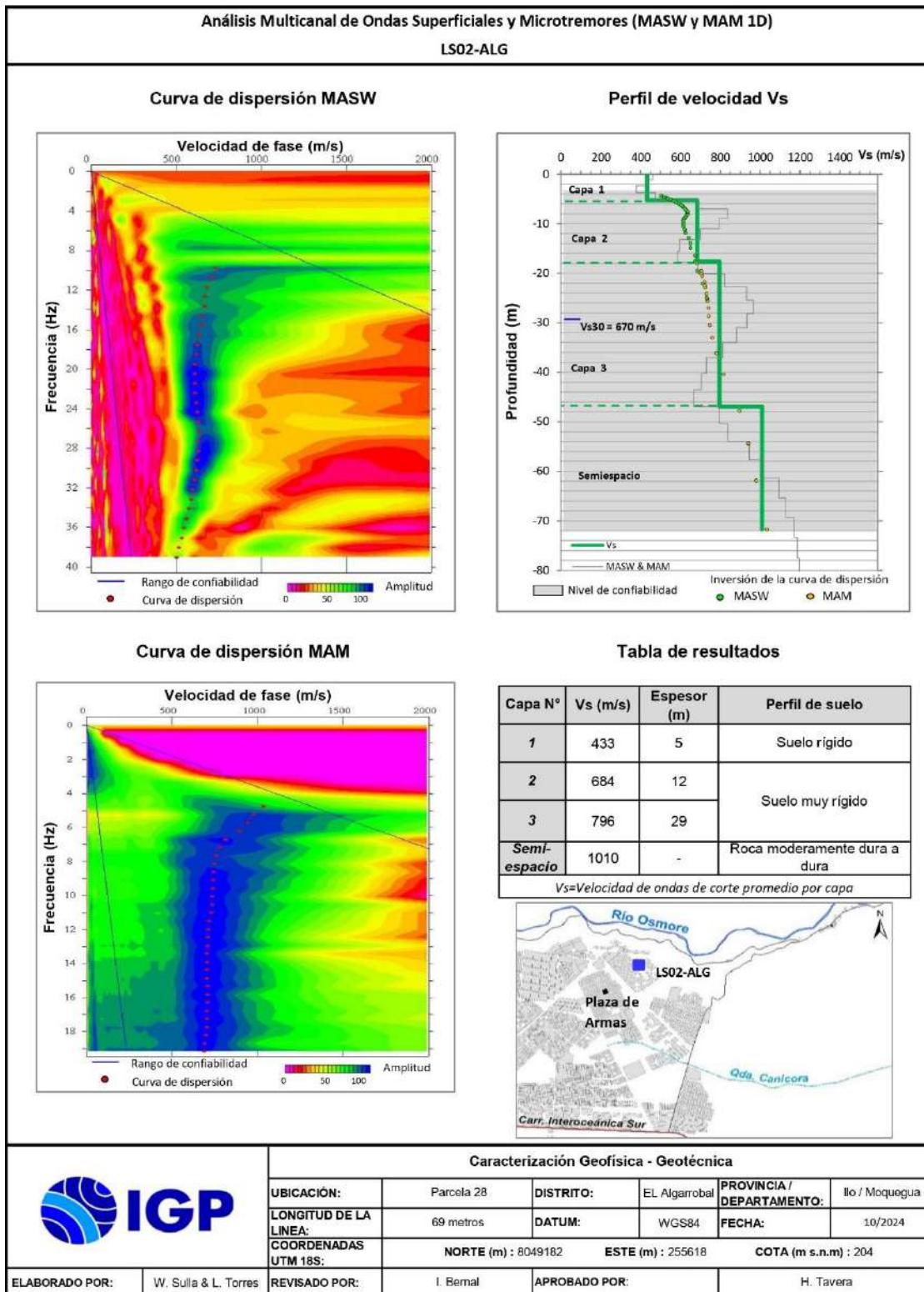


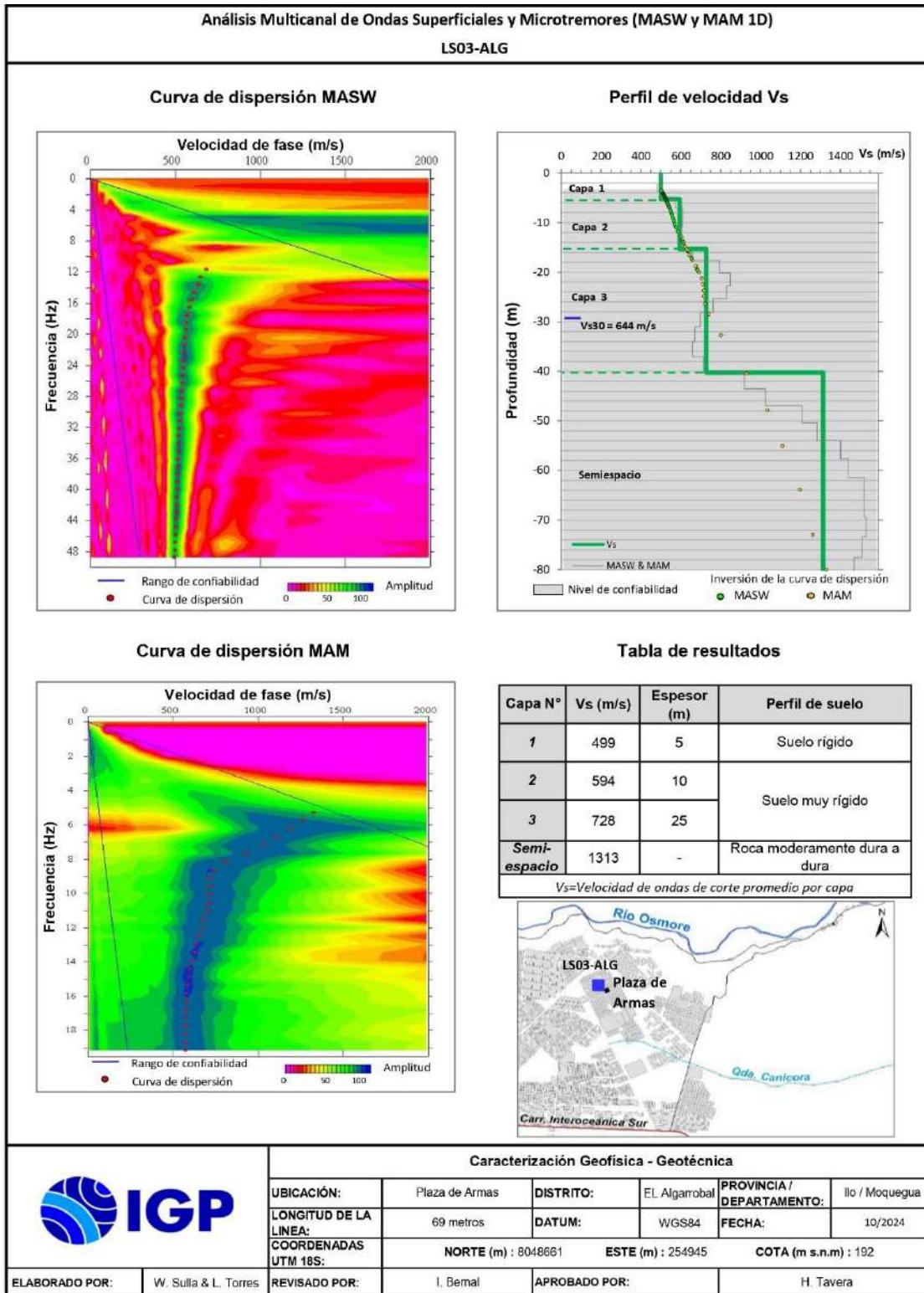
OBSERVACIONES: El ensayo concluyó a 1.10 m. de profundidad debido al rebote ofrecido por la resistencia del suelo.

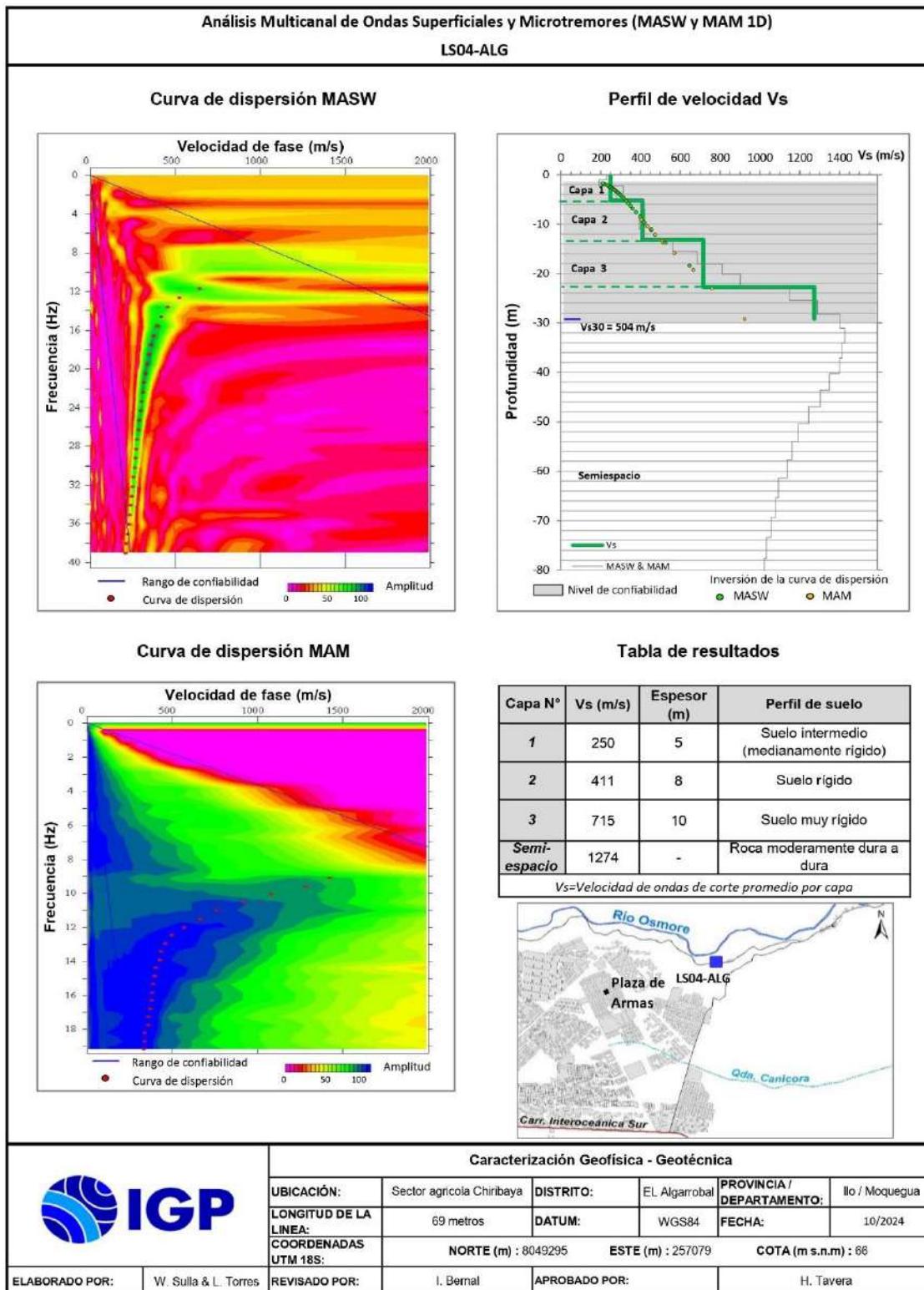
ANEXO 2
Información Geofísica

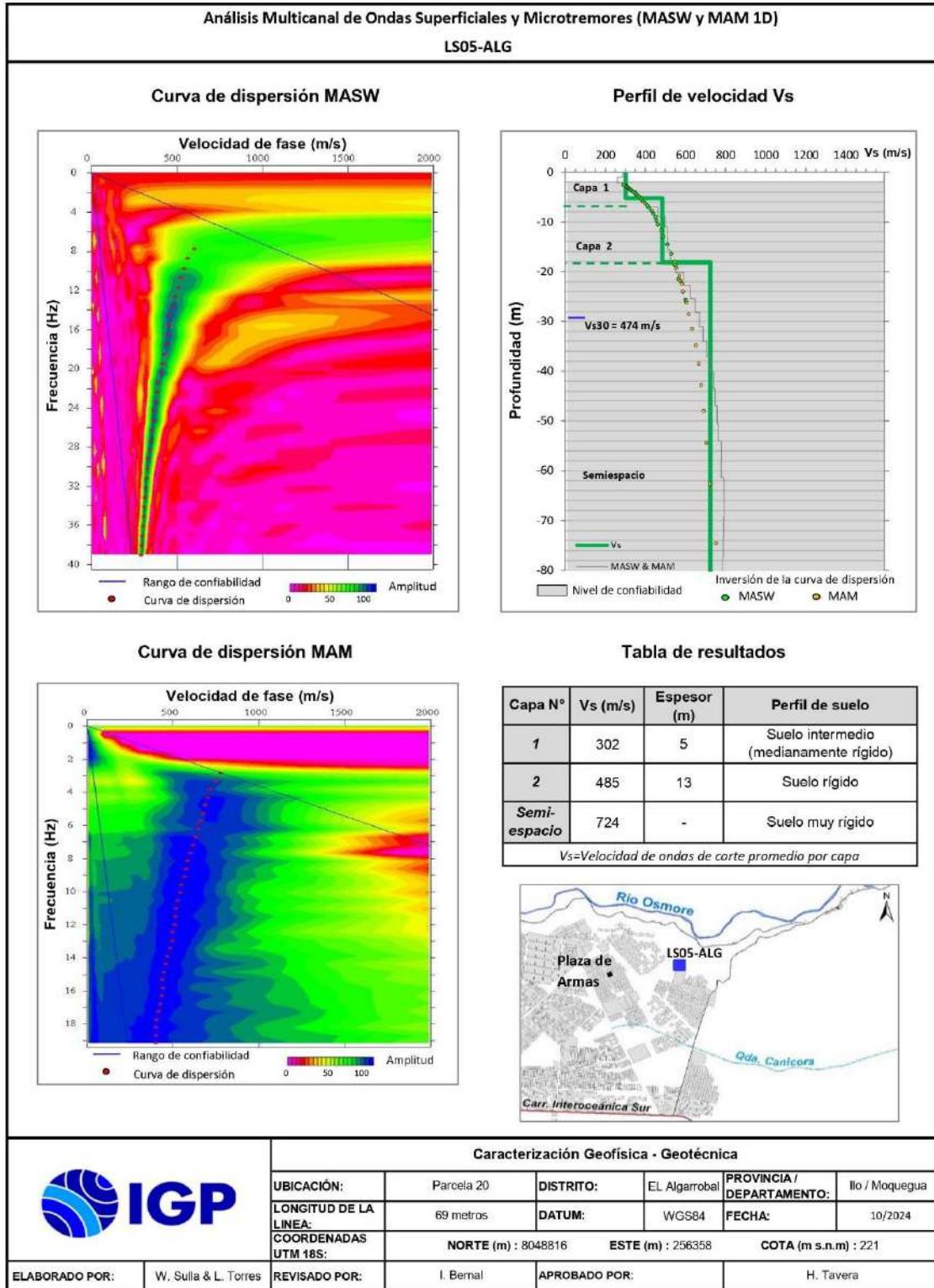
Perfiles Sísmicos MASW – MAM

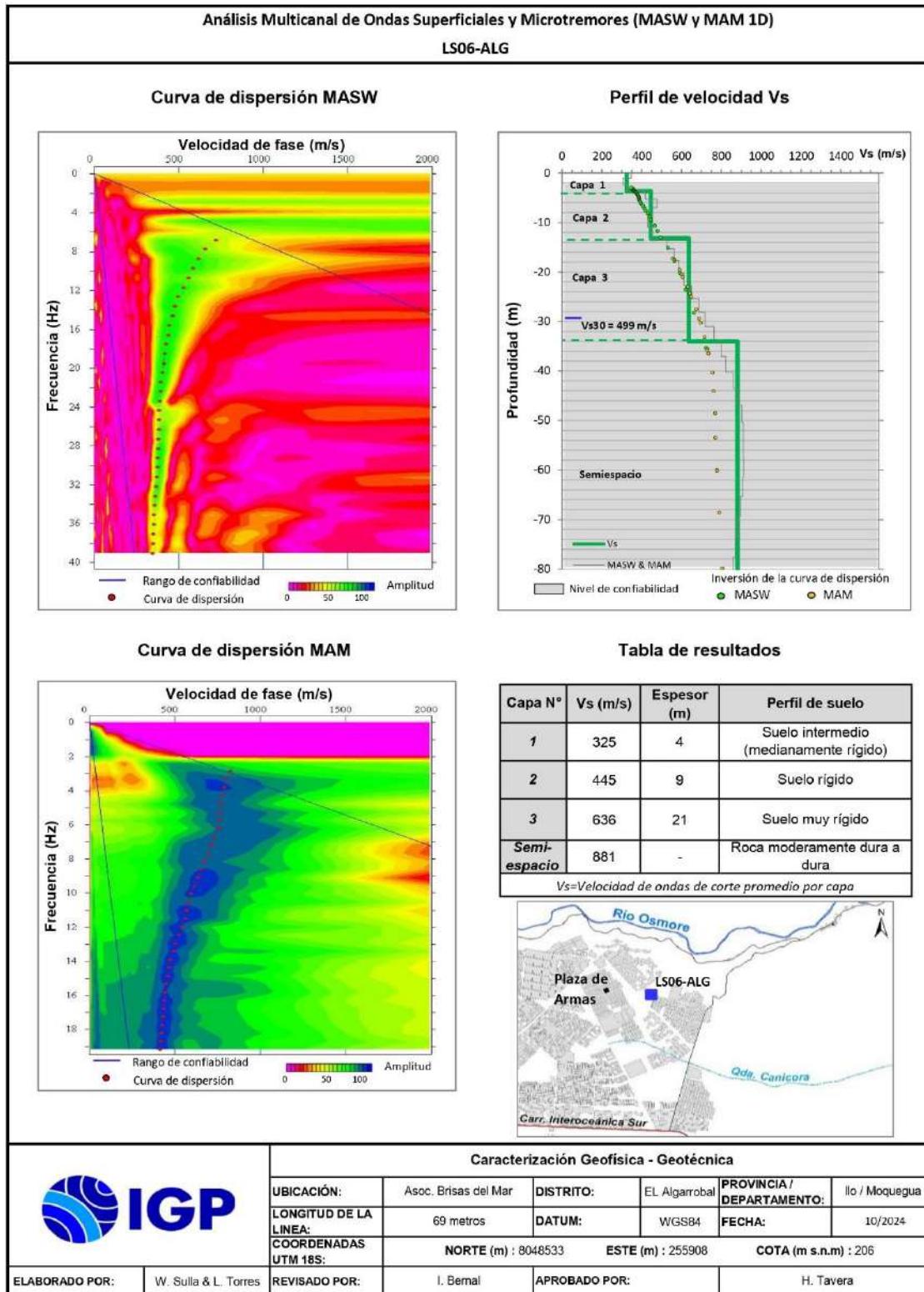


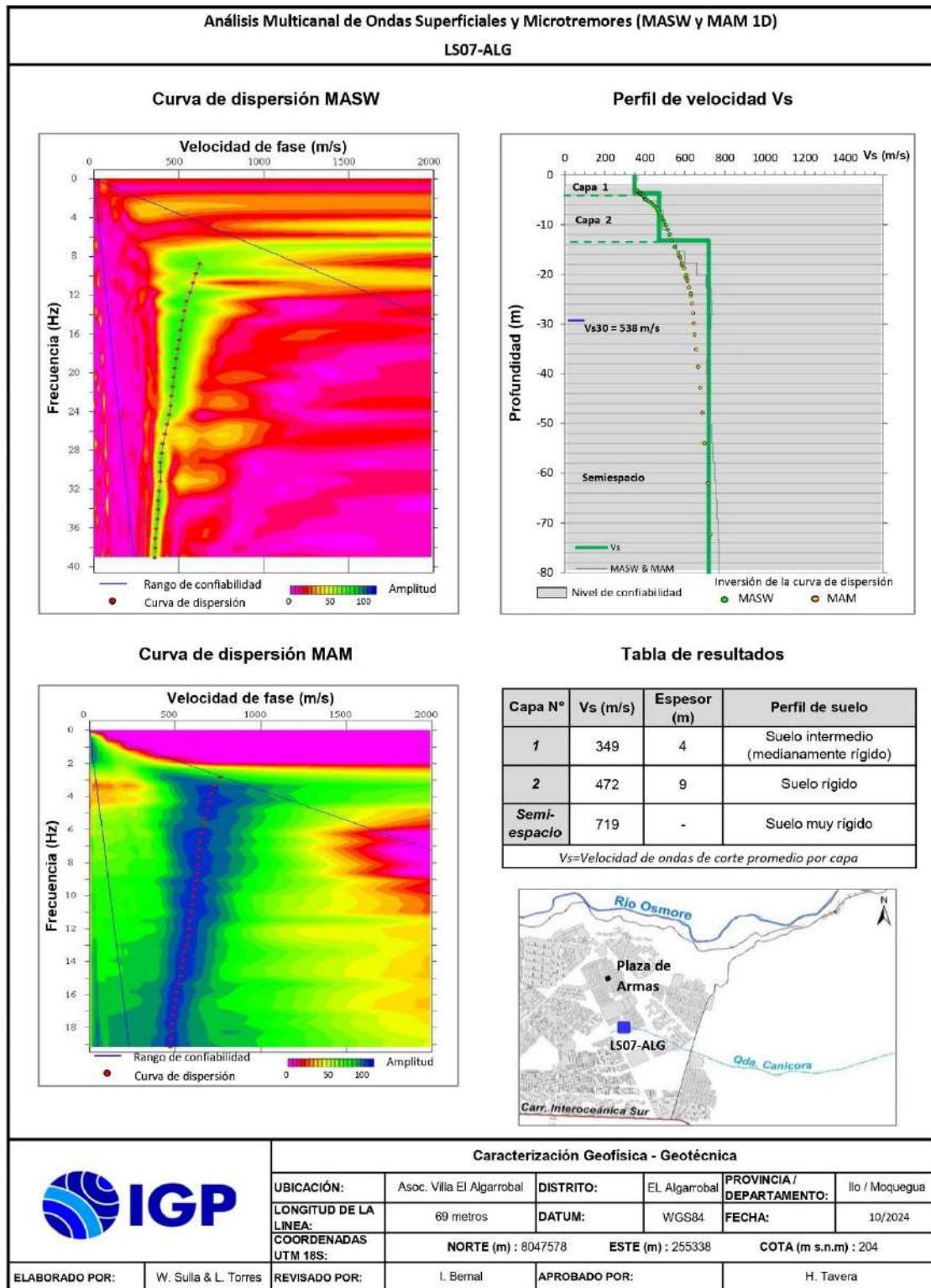


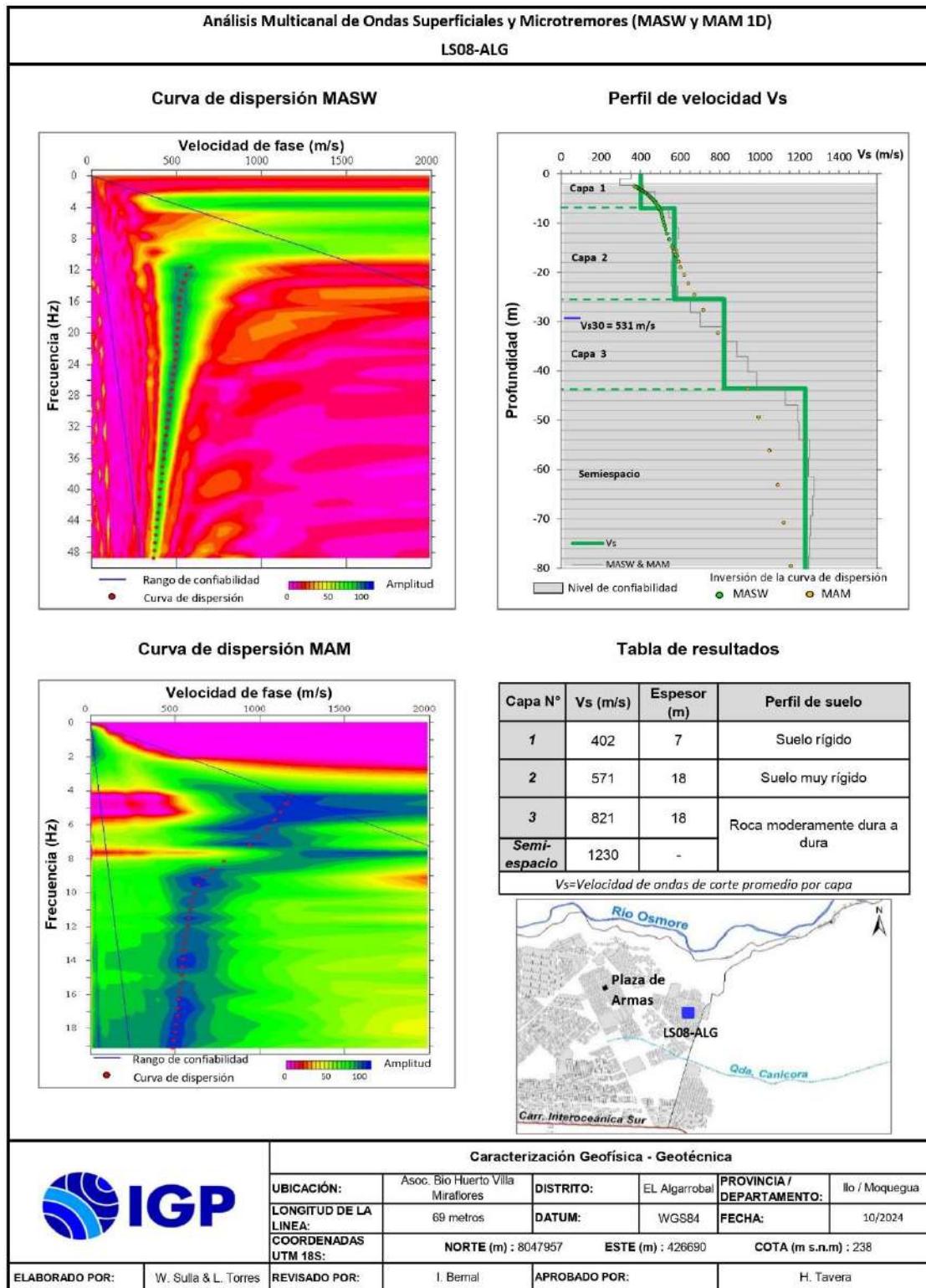


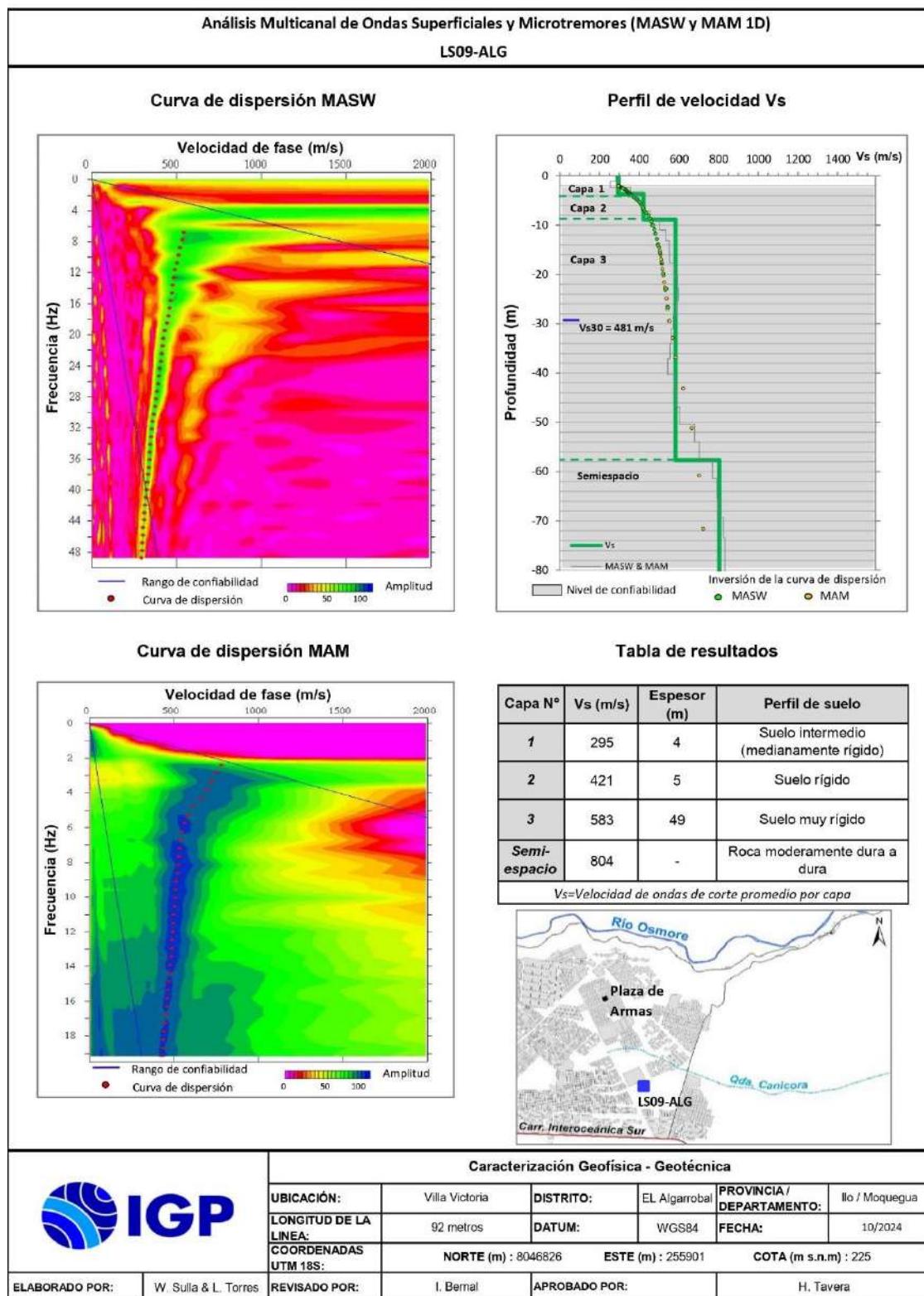


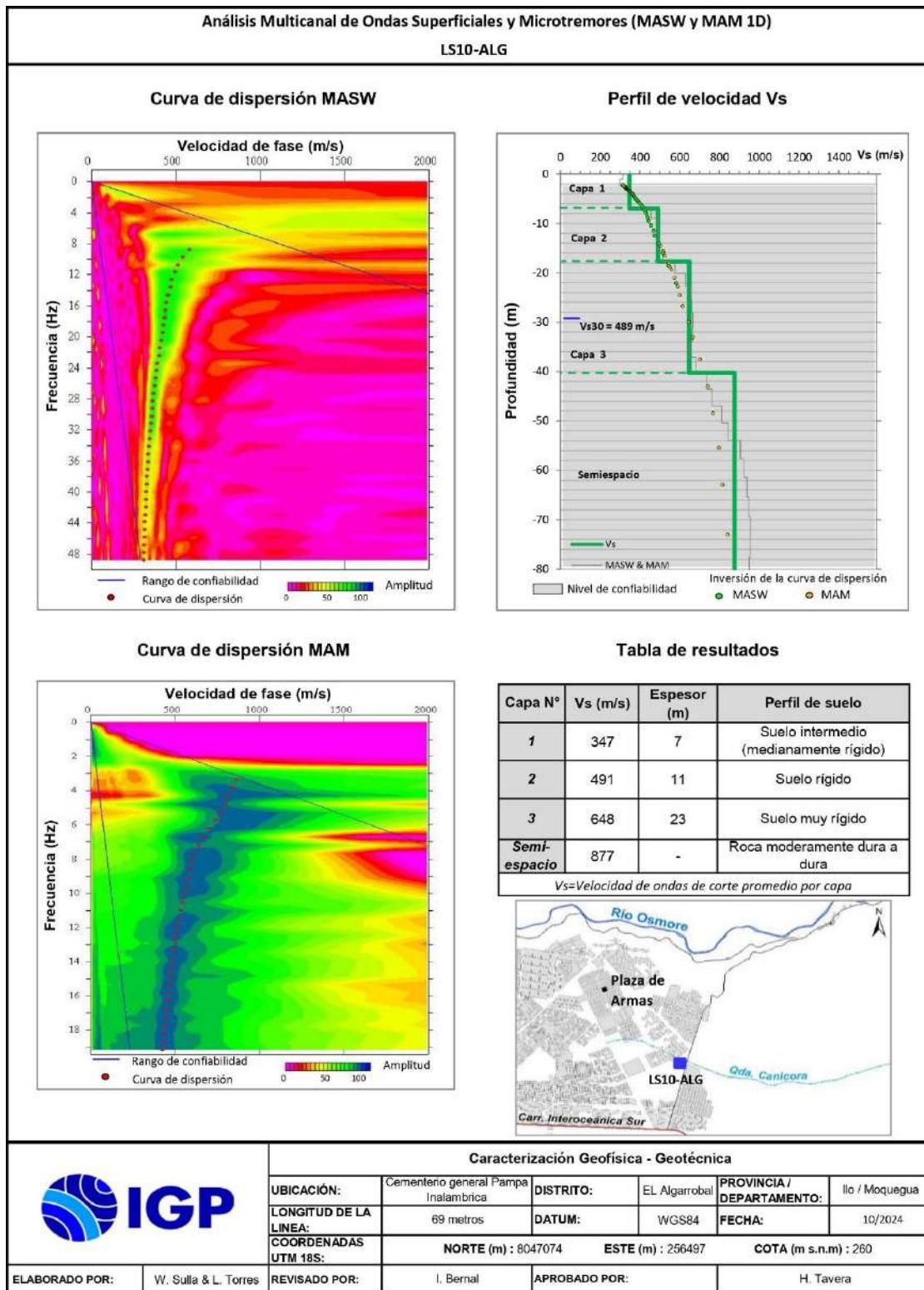


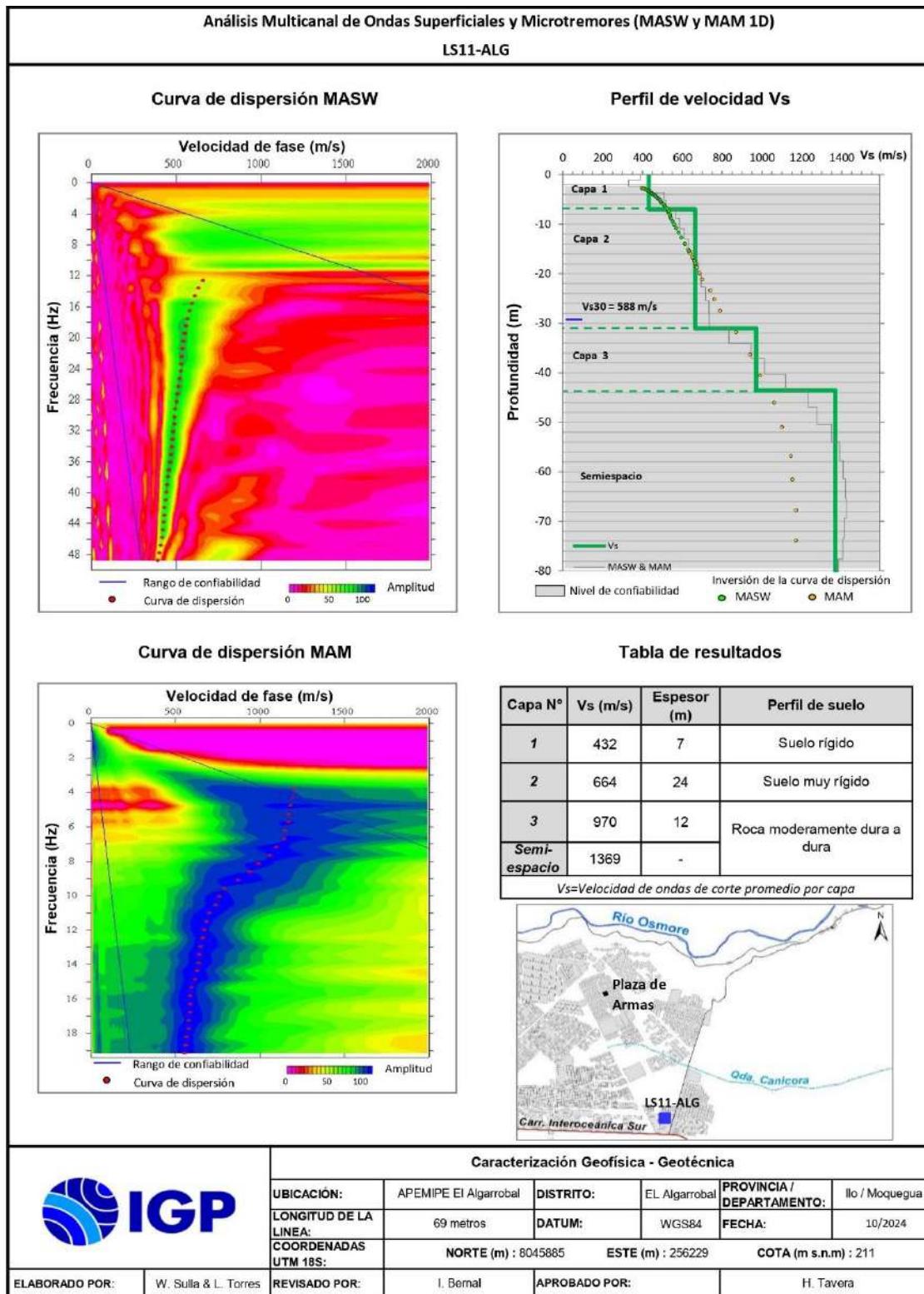


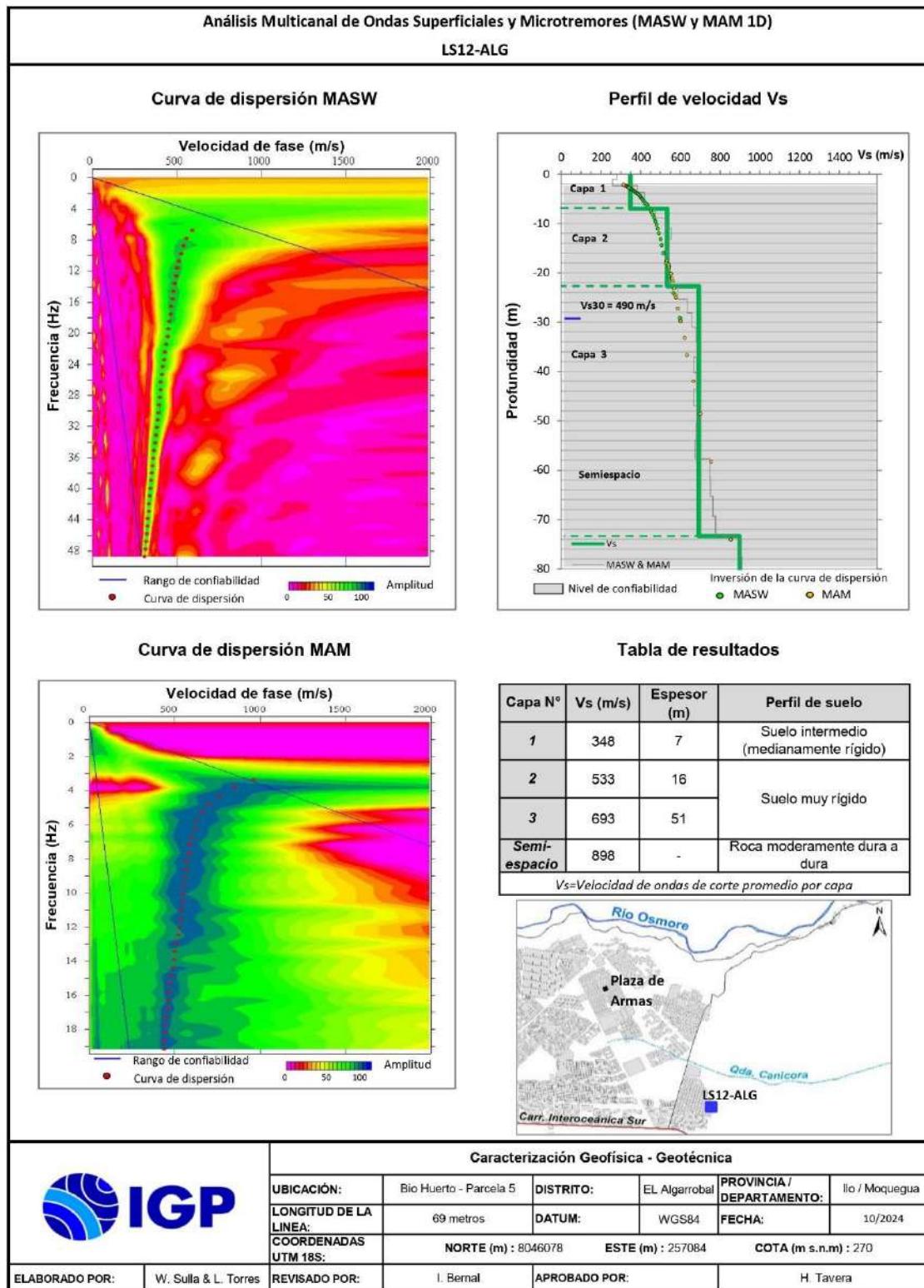


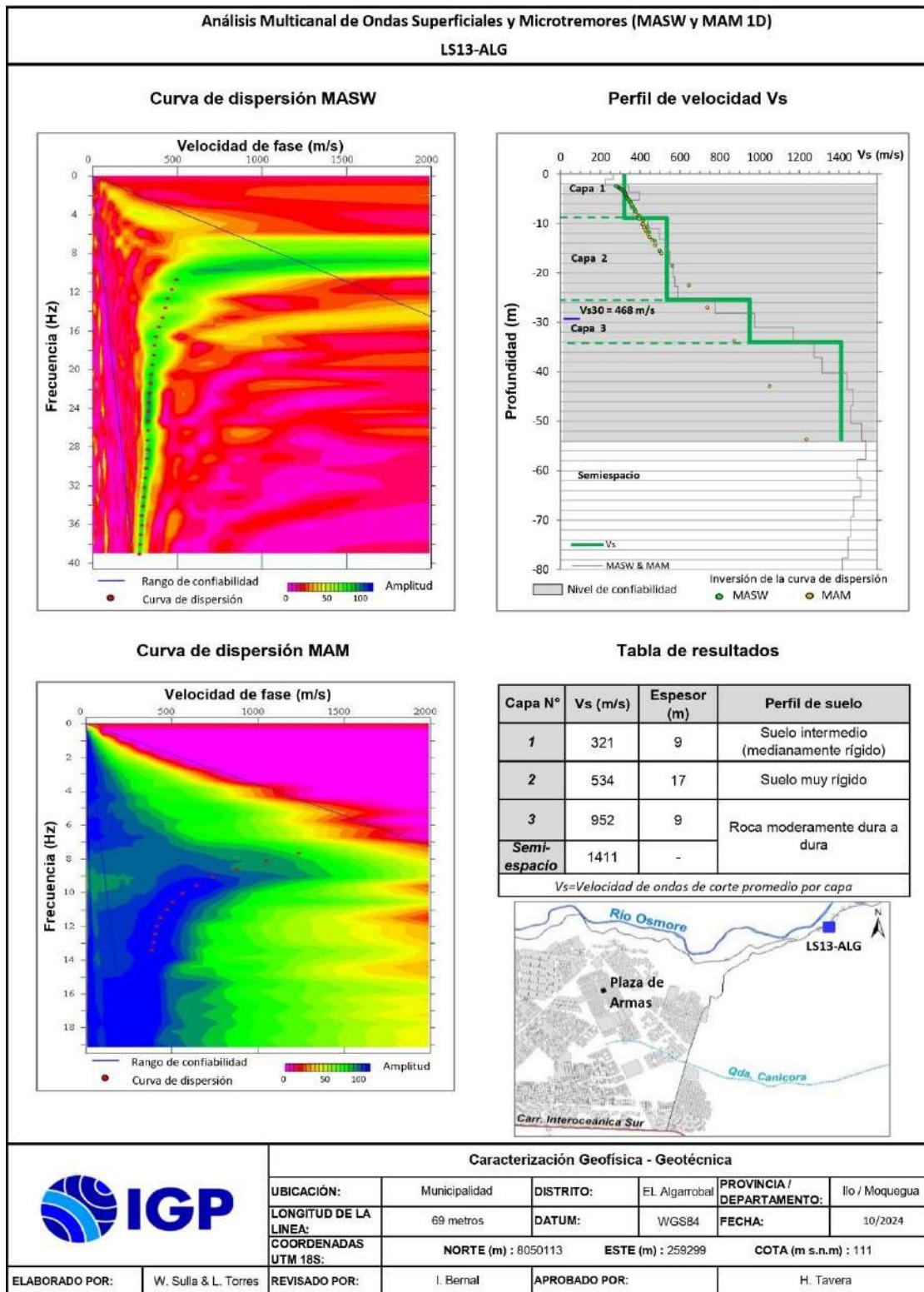




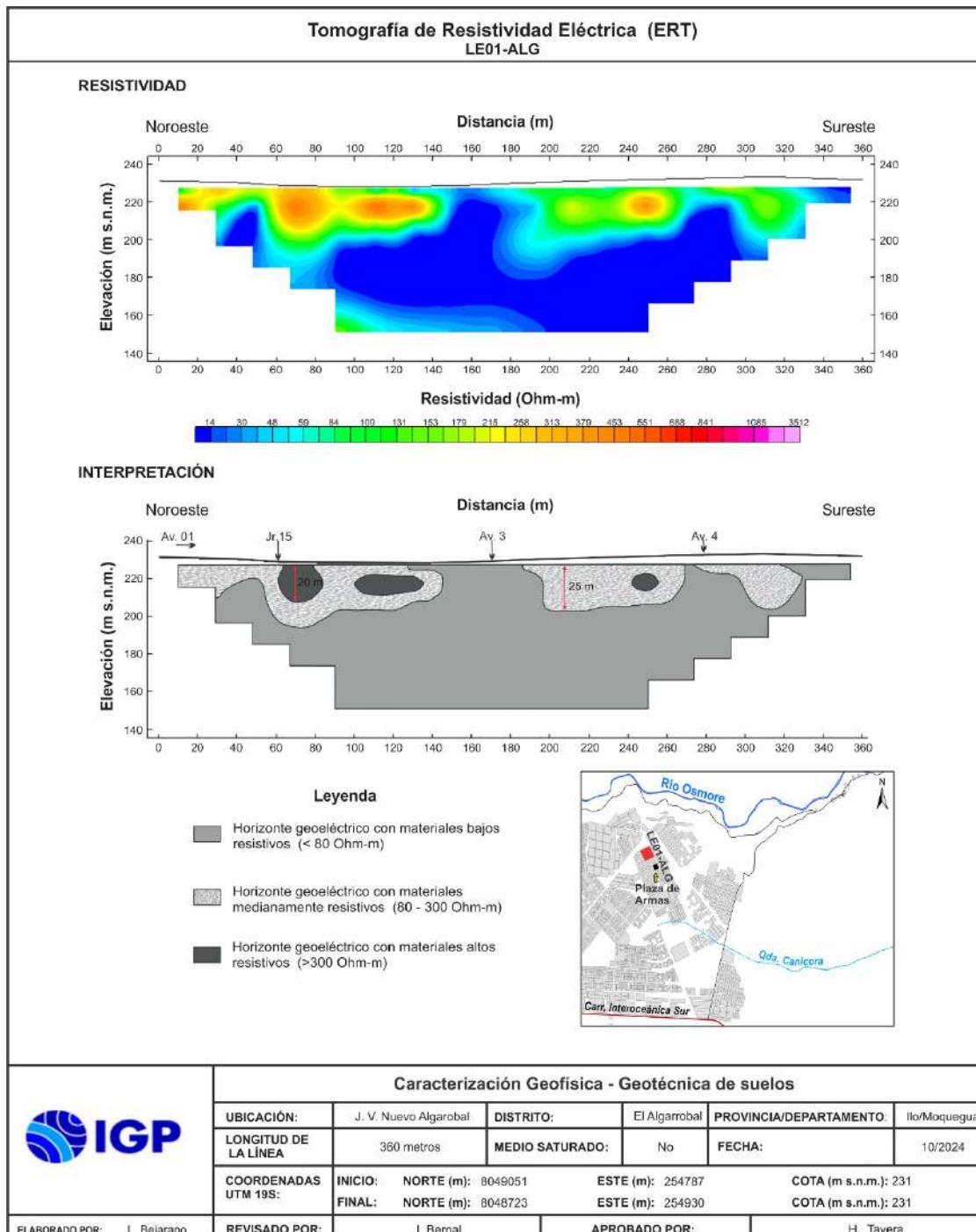


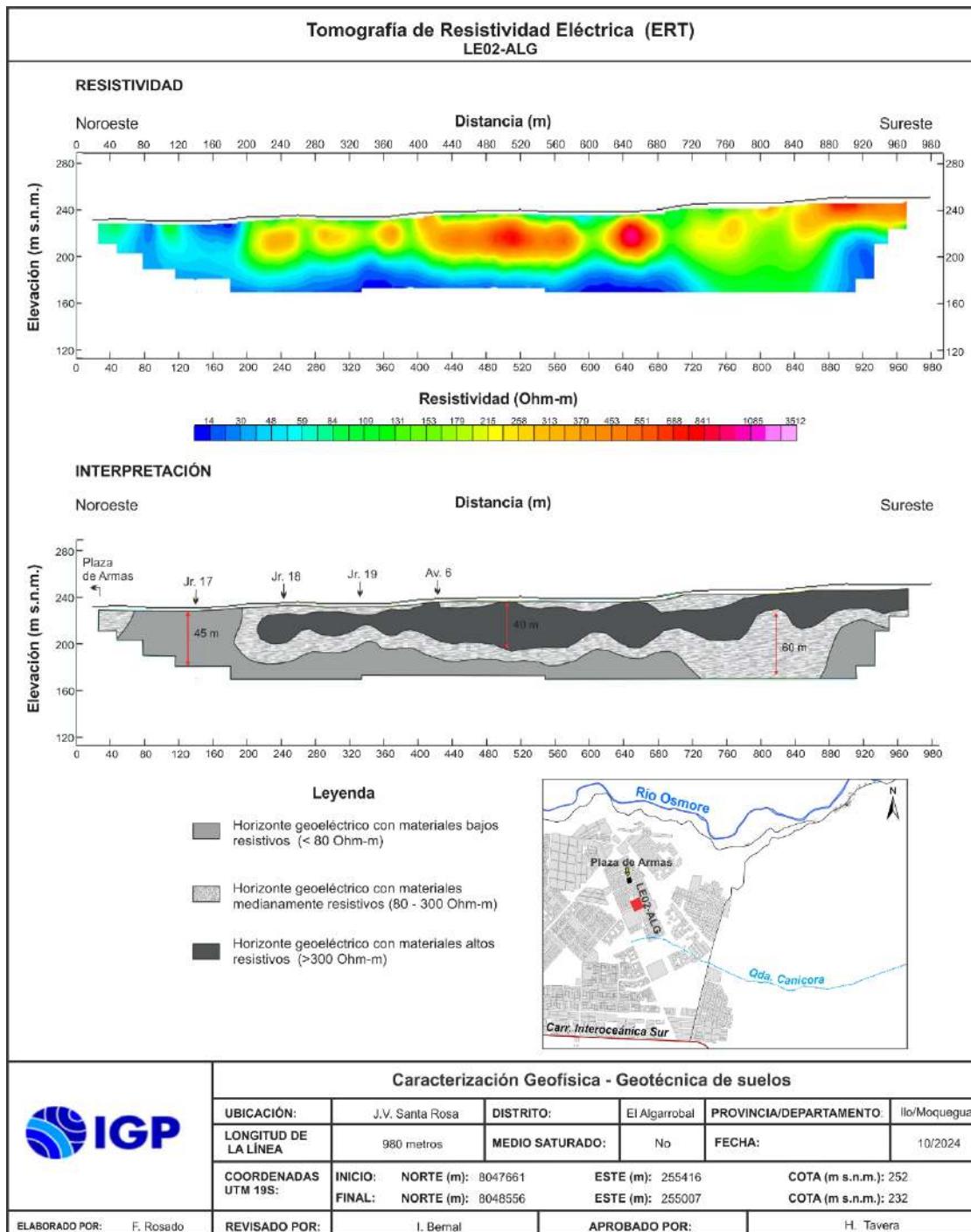


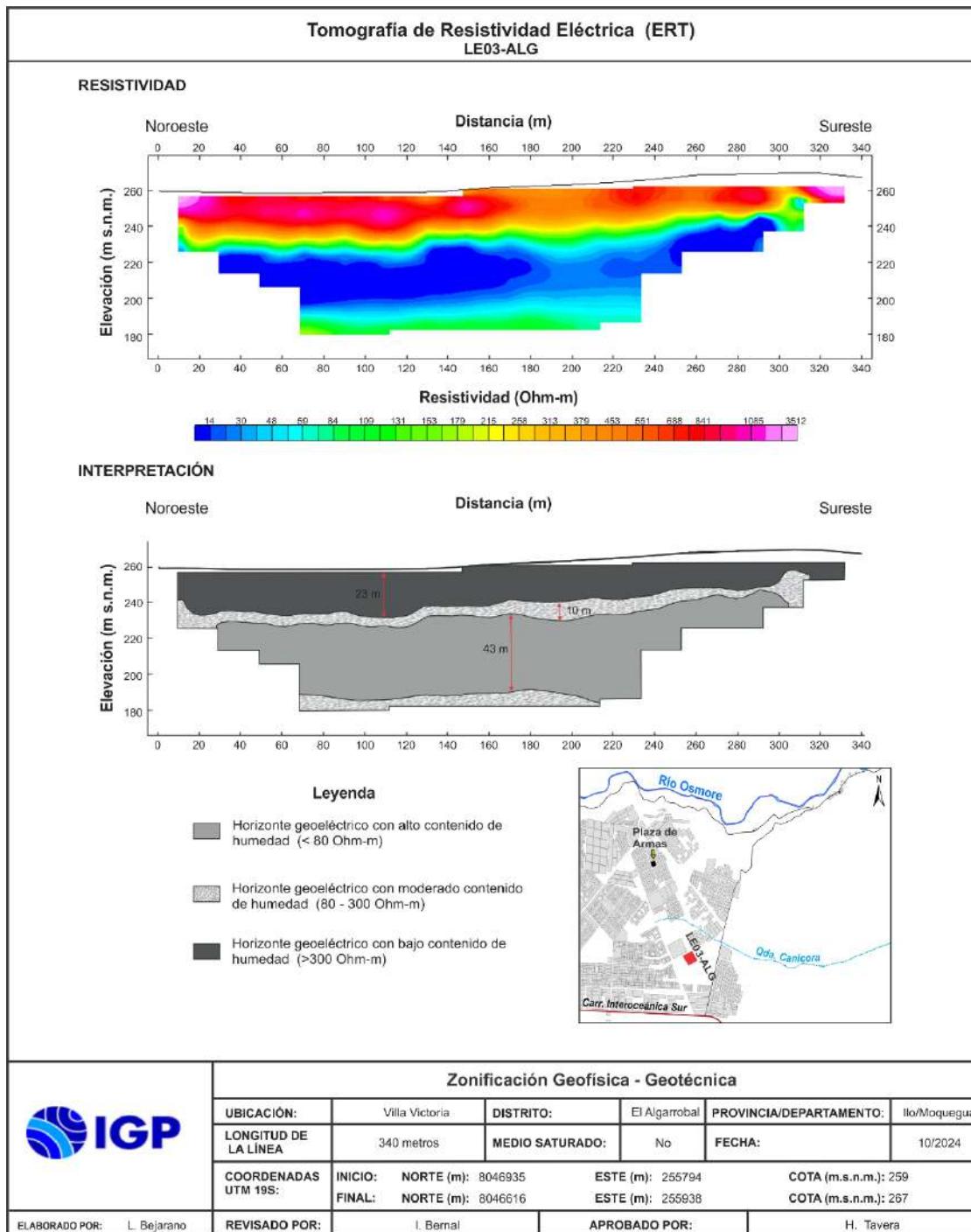


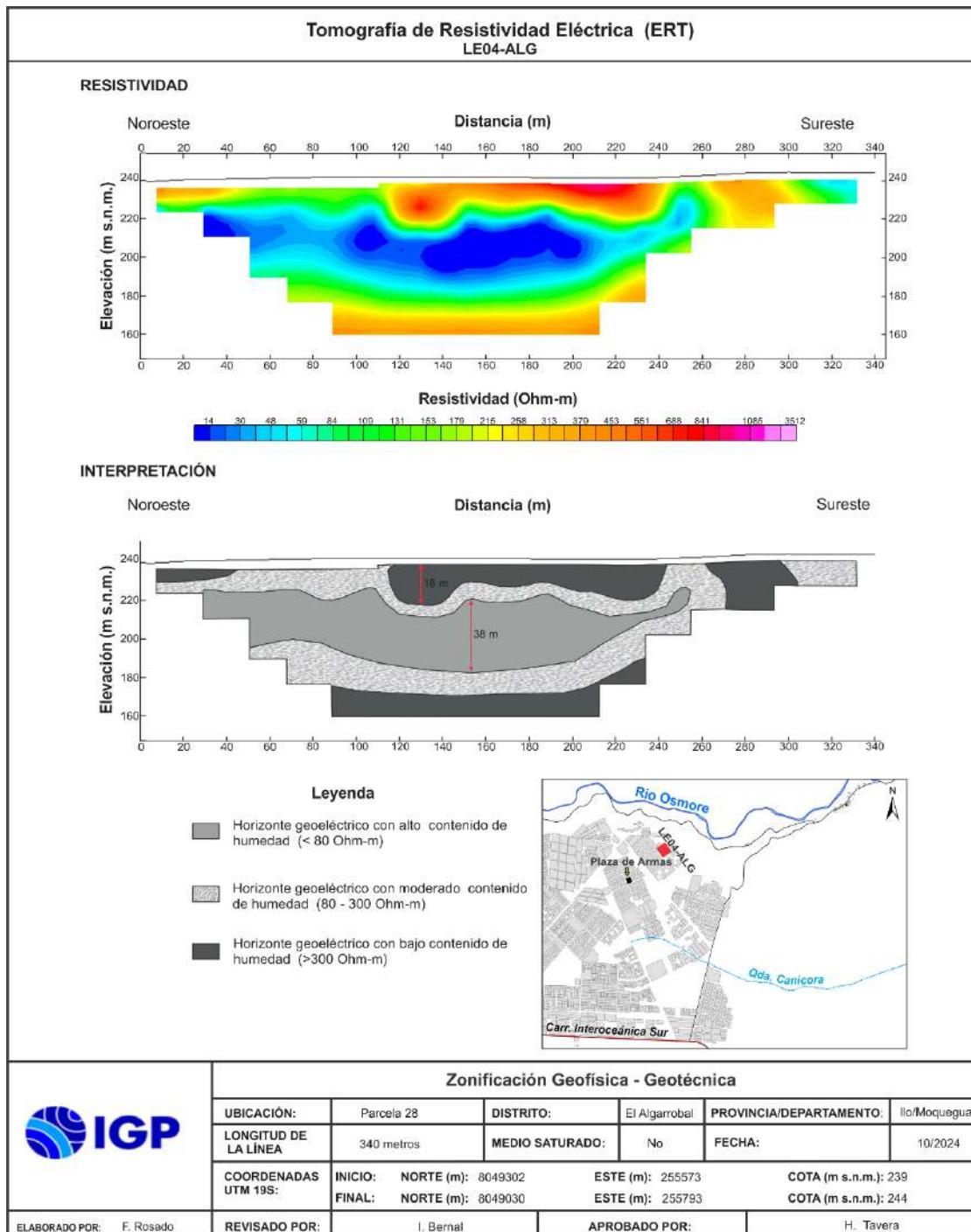


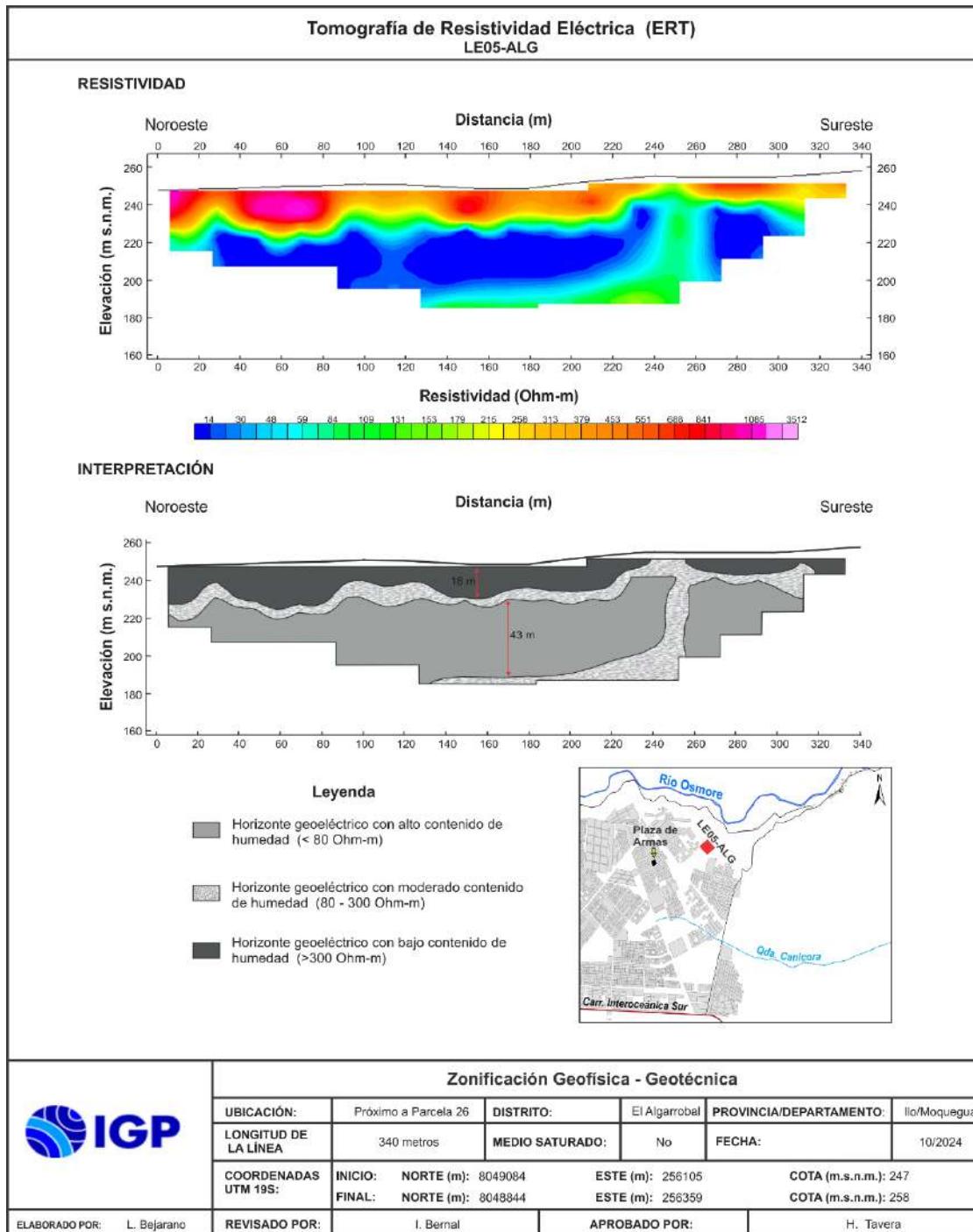
SECCIONES DE TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA











Zonificación Geofísica - Geotécnica

UBICACIÓN:	Próximo a Parcela 26	DISTRITO:	El Algarrobal	PROVINCIA/DEPARTAMENTO:	Ilo/Moquegua
LONGITUD DE LA LÍNEA	340 metros	MEDIO SATURADO:	No	FECHA:	10/2024
COORDENADAS UTM 19S:	INICIO: NORTE (m): 8049084 FINAL: NORTE (m): 8048844	ESTE (m): 256105 ESTE (m): 256359	COTA (m.s.n.m.): 247 COTA (m.s.n.m.): 258		
ELABORADO POR:	L. Bejarano	REVISADO POR:	I. Bernal	APROBADO POR:	H. Tavera

