



PERÚ

Ministerio
del Ambiente



ESTUDIO GEOFÍSICO – GEOTÉCNICO DE LOS SUELOS EN CENTROS POBLADOS DE LA REGIÓN PIURA Y SU APORTE A LA GRD C.P. MALLARES

Informe Técnico N°008-2024/IGP CIENCIAS DE LA TIERRA SÓLIDA



Lima – Perú
Enero, 2024

Instituto Geofísico del Perú

Presidente Ejecutivo: Hernando Tavera

Director Científico: Edmundo Norabuena

Director Ciencias de la Tierra Sólida: Juan Carlos Gómez

Informe Técnico

Estudio geofísico – geotécnico de los suelos en centros poblados de la Región Piura y su aporte a la gestión del riesgo de desastres – C.P. Mallares.

Autores

Isabel Bernal, Fabiola Rosado, Hernando Tavera, Juan Carlos Gómez

Participantes:

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

Cartografía: Javier Oyola.

Evaluación Geodinámica-Geotécnica: Roberth Carrillo/ Segundo Ortiz/ Juan Carlos Gómez.

Apoyo técnico: Jesús Huarachi.

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

**ESTUDIO GEOFÍSICO – GEOTÉCNICO DE LOS SUELOS EN CENTROS
POBLADOS DE LA REGIÓN PIURA Y SU APOORTE A LA GESTIÓN DEL RIESGO
DE DESASTRES**

– C. P. MALLARES –

Lima – Perú
Enero, 2024

CONTENIDO

RESUMEN

INTRODUCCIÓN

- 1.1. OBJETIVOS
- 1.2. ÁREA DE ESTUDIO
- 1.3. MARCO TEÓRICO

2. GEOLOGÍA, GEOMORFOLOGÍA Y GEOTÉCNIA

- 2.1. GEOLOGÍA LOCAL
- 2.2. GEOMORFOLOGÍA
 - 2.2.1. Levantamiento topográfico - fotogrametría
 - 2.2.2. Unidades geomorfológicas
- 2.3. GEODINÁMICA
- 2.4. GEOTÉCNIA

3. EVALUACIÓN GEOFÍSICA

- 3.1. METODOLOGÍA
 - 3.1.1. Razones espectrales (H/V)
 - 3.1.2. Ondas superficiales y microtremores
 - 3.1.3. Tomografía de resistividad eléctrica
- 3.2. ADQUISICIÓN DE DATOS
- 3.3. RESULTADOS
 - 3.3.1. Frecuencias predominantes
 - 3.3.2. Perfiles sísmicos
 - 3.3.3. Secciones geoeléctricas
- 3.4. INTEGRACIÓN DE RESULTADOS

4. ZONIFICACIÓN GEOFÍSICA-GEOTÉCNICA

CONCLUSIONES

REFERENCIAS

ANEXOS

ANEXO 1: Información topográfica

Ortomosaico

Curvas de nivel

ANEXO 2: Información geofísica

Perfiles sísmicos

Secciones geoeléctricas

RESUMEN

En este estudio se analiza y evalúa las características físicas y dinámicas de los suelos del Centro Poblado Mallares – Región Piura, a partir de la aplicación de técnicas geofísicas y geotécnicas. Los resultados obtenidos evidencian la presencia de suelos rígidos a medianamente rígidos (suelos aluviales con velocidades V_{s30} : 368-499m/s) formando capas de 31 metros en dirección este, por el parque La Paz y de 9 metros en dirección sureste, por el barrio La Victoria, con alto contenido de humedad. Los suelos responden principalmente a periodos cortos de vibración (<0.5 segundos) y presentan capacidad de carga admisible Muy Baja (<1.0 Kg/cm²), a profundidades de 1.0 y 1.5 metros. De acuerdo con estas características en el C.P. Mallares predominan Suelos Tipo S1 y S2 que corresponden a suelos muy rígidos a rígidos, con la presencia de una capa delgada de suelos blandos a nivel superficial (Norma E.030 – adaptada para el área de estudio). A la ocurrencia de un sismo de moderada a mayor magnitud, estos suelos pueden experimentar niveles altos de sacudimiento, por la presencia de suelos blandos y altos niveles de humedad a nivel superficial.

1. INTRODUCCIÓN

Por su ubicación geográfica, el Perú es un país altamente sísmico debido a que en su borde occidental se desarrolla el proceso de convergencia entre las placas de Nazca y Sudamericana a velocidades del orden de 6-8 cm/año (Norabuena et al, 1999; Villegas et al, 2016). En este contexto, la región norte ha sido afectada por eventos sísmicos de variada magnitud que han generado altos niveles de sacudimiento del suelo, puesta en evidencia con los daños observados post-sismo (Silgado, 1978; Tavera et al. 2016). Al ser los sismos cíclicos, es de esperarse que, en el futuro, las mismas ciudades y/o áreas urbanas sean afectadas por nuevos eventos sísmicos con la misma o mayor intensidad, tal como ocurrió en la provincia de Sullana el 30 de julio del 2021 con un sismo de magnitud M6.1 (IGP, 2021) que sacudió los suelos en un radio de 250 km tomando como referencia el epicentro del sismo.

Después de ocurrido el sismo de Sullana, la evaluación de los daños fue mayor en las ciudades y localidades de Piura, Sullana, Paita, Chulucanas y Colán, debido principalmente a la presencia de suelos blandos y/o con efectos de sitio, llegando a corroborar que las características físicas del subsuelo influyen directamente en el comportamiento dinámico del suelo sobre el cual se levantan las ciudades y/o futuras áreas de expansión. En este sentido, resulta de vital importancia conocer la composición geológica de los suelos y su comportamiento dinámico a la ocurrencia de sismos y ello, es posible con la aplicación de métodos geofísicos. Estos métodos permiten conocer, por ejemplo, el contenido de humedad, espesores y velocidades de las ondas de corte (V_s) en las capas que conforman su subsuelo y a su vez, los resultados obtenidos pueden ser correlacionados con los aspectos geo-ambientales de la zona de estudio. El suelo acondiciona el diseño y

la construcción de viviendas y estructuras apropiadas para cada tipo de suelo.

En este contexto, el Instituto Geofísico del Perú (IGP) y la Región Piura, mediante la firma de un convenio acuerdan realizar el estudio Geofísico-Geotécnico de los suelos en el Centro Poblado Mallares (distrito Marcavelica, provincia de Sullana, región Piura) y cuyos resultados contribuirán a la Gestión del Riesgo de Desastres ante la ocurrencia de sismos de gran magnitud y sus efectos asociados.

1.1. OBJETIVOS

El presente estudio tiene como objetivo conocer los parámetros físicos de la estructura del suelo y su comportamiento dinámico ante la ocurrencia de sismos, a fin de generar el Mapa de Zonificación Geofísica – Geotécnica para el C.P. Mallares, ubicado en el distrito Marcavelica, provincia de Sullana en la región Piura. Mediante el uso de diferentes métodos geofísicos, geológicos y geotécnicos que, en conjunto, permitirán determinar los diferentes parámetros físicos y dinámicos del suelo (velocidades, espesores, resistividad, periodos de respuesta, amplificaciones, capacidad portante y otros). Los resultados de este estudio deben ser considerados por las autoridades locales como un instrumento para la gestión del riesgo de desastres, a fin de realizar una adecuada planificación y expansión urbana.

1.2. ÁREA DE ESTUDIO

El centro poblado Mallares se ubica en la región norte del Perú, en el distrito de Marcavelica, provincia de Sullana en el departamento de Piura (Figura 1), en las coordenadas geográficas latitud 4.89°S y longitud 80.71°O, a una elevación media de 53 m.s.n.m. Asimismo, tiene una

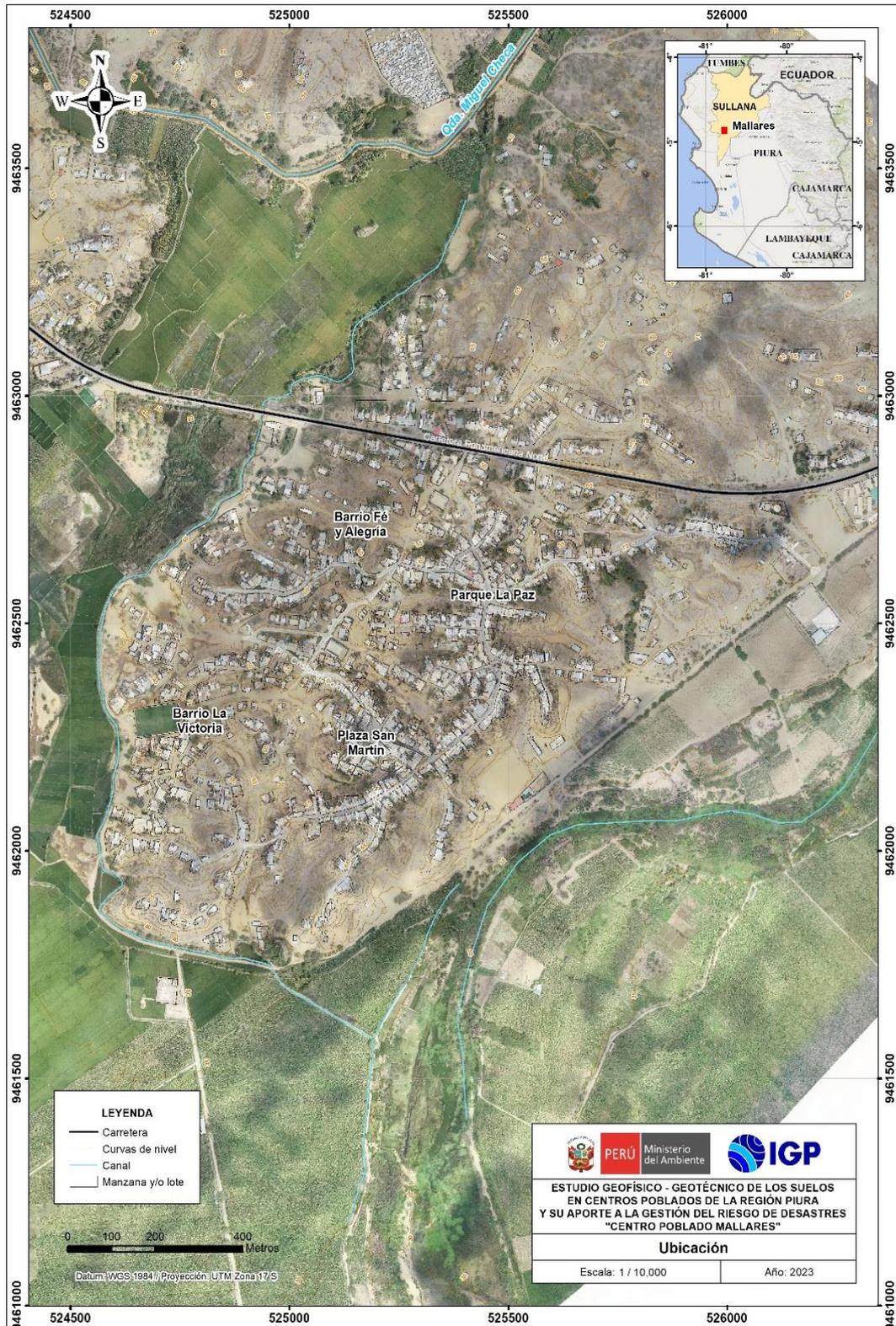


Figura 1. Centro poblado Mallares.

población de 5140 habitantes (INEI, 2017) y su superficie se caracteriza por presentar un relieve de colinas (elevación de 20 metros) se observa un cambio de elevación noreste a suroeste en la zona urbana. Los fenómenos naturales que afectan directamente a esta población son los sismos y las intensas precipitaciones que pueden generar altos niveles de sacudimiento del suelo e inundaciones, que causarían daños a la población.

1.3. MARCO TEÓRICO

• 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, o alternativamente estudios de mecánica de suelos (EMS). A continuación, se describen los parámetros empleados para clasificar los perfiles de suelos en la Tabla 1:

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

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

Dónde:

d_i = espesor de cada uno de los estratos n .

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

Tabla 1. Clasificación de los perfiles de suelos considerando lo establecido en la Norma Técnica E.030 (2018) y su adaptación al área de estudio.

NORMA E.030 (2018)			ADAPTACIÓN DE LA NORMA E.030 AL ÁREA DE ESTUDIO				
Perfil	Velocidad - Vs30 -	Tipos de suelos	Perfil	Velocidad- Vs30 -	Periodos To (s)	Tipos de suelos	Zonas
S0	>1500 m/s	Roca dura	S0	>1500 m/s	-	Roca dura	---
S1	500 a 1500 m/s	Suelos muy rígidos	S1	500 a 1500 m/s	0.1-0.2	Suelos muy rígidos	Zona I
S2	180 a 500 m/s	Suelos intermedios	S2	350 a 500 m/s	0.2-0.4	Suelos rígidos	Zona II
			S3	180 a 350 m/s	0.5-0.7	Suelos intermedios - (medianamente rígidos)	Zona III
S3	<180	Suelos blandos	S4	<180 m/s	>0.7	Suelos blandos	Zona IV
S4	Condición basada en EMS	Condiciones Excepcionales	S5	Condición basada en EMS		Suelos inestables por su composición	Zona V
						Suelos inestables por topografía	
Zonas con factor de amplificación relativa ≥ 2.5 veces							

Para este estudio, la Zonificación Geofísica - Geotécnica de las ciudades se realiza en función de las características mecánicas, físicas y dinámicas de los suelos que conforman el terreno de cimentación del área de estudio y de las consideraciones dadas por la Norma E.030. De acuerdo con los estudios realizados por el Instituto Geofísico del Perú (IGP), el rango de velocidad 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, en ese sentido se establece la existencia de 5 zonas cuyas características se muestran en la Tabla 1.

- **Antecedentes**

La información más relevante para conocer los fenómenos naturales de mayor recurrencia y sus efectos asociados en la región Piura y en el C.P. Mallares, fue consultada de las siguientes fuentes:

Alfaro et al. (2014): Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). El estudio detalla el cálculo de umbrales de precipitación usando datos de la red de estaciones meteorológicas del SENAMHI para el periodo 1964 – 2014 y de la estación meteorológica Mallares que se ubica a 5.60 km al sureste del área de estudio. De acuerdo con los datos meteorológicos de dicha estación, las precipitaciones en el área de estudio se presentan entre el periodo diciembre – abril, siendo el registro máximo de precipitaciones con características extremadamente lluvioso con valores de 87.70 mm/día.

Laboratorio de mecánica de suelos del Gobierno Regional de Piura (2022): El estudio de mecánica de suelos se realizó con fines de cimentación para el proyecto: "Elaboración de los estudios de evaluación de riesgo de desastres - EVAR para la formulación del plan regional integral de reconstrucción ante el sismo de 30 de julio del 2021".

Según el estudio, se han realizado cinco (5) calicatas en el área urbana del C.P. Mallares con profundidades máximas de 3.0 metros; posteriormente se realizaron ensayos de mecánica de suelos (contenido de humedad del suelo, análisis granulométrico, límites líquido y plástico, proctor modificado, corte directo y sales solubles totales) y cuyos resultados han permitido identificar, según la clasificación SUCS, que en el área urbana del C.P. Mallares, los suelos

están compuestos por gravas, arenas, limos y arcillas. Asimismo, los parámetros geotécnicos obtenidos mediante el ensayo de corte directo indican que, el ángulo de fricción de los suelos presenta valores entre 22° y 28°, así como cohesión máxima 0.097. Según el estudio geotécnico, la capacidad portante en Mallares presenta capacidad de carga admisible muy baja > a 1.00 kg/cm².

2. GEOLOGÍA, GEOMORFOLOGÍA Y GEOTÉCNIA

2.1. GEOLOGÍA LOCAL

El análisis de la geología regional ha sido desarrollado en base a información consolidada por el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET, 1999) a escala 100,000 (Cuadrángulo Geológico de Sullana – hoja 10-b); mientras que, para la geología local se ha hecho uso de información recolectada directamente en campo para el presente estudio. De acuerdo con estos resultados, se ha logrado identificar las siguientes unidades geológicas:

Formación Chira (Pe-chi): Consiste en una secuencia de rocas lutitas bentónicas, areniscas y horizontes de conglomerados, de colores oscuros a rojizos, debido al proceso de intemperización. Esta unidad constituye el substrato rocoso del área de estudio y la mayor parte de las viviendas del poblado se asientan sobre este tipo de litología (Figura 2).



Figura 2. Areniscas y limoarcillitas sobre lomas situadas en el extremo occidental de las viviendas del C.P. Mallares.

Depósito aluvial antiguo (Qh-al1): Esta unidad geológica está conformada por materiales heterogéneos (gravas subredondeadas, arenas y limos) que han sido transportados y depositados por antiguos cauces de quebradas. Sobre esta unidad geológica se ubican algunas viviendas del C.P. Mallares situadas en el extremo occidental y oriental del área de estudio (Figura 3).



Figura 3. Suelos heterogéneos dispuestos en la zona urbana del CP. Mallares que conforman la unidad geológica depósito aluvial antiguo cuyos materiales han resultado de la meteorización de rocas preexistentes.

Depósito fluvio - aluvial (Qh-fal): Están constituidos por materiales heterogéneos, tales como arenas con presencia de clastos subredondeados y capas de limos que se encuentran en ambos márgenes de los ríos y en la parte baja de quebradas. Cabe mencionar que, sobre estos tipos de depósitos se asienta el valle del Chira y se desarrollan actividades agrícolas, esta unidad geológica ha sido reconocida a 620 y 420 hacia los extremos noroeste y sureste del C.P. Mallares, respectivamente (Figura 4).

Depósito aluvial reciente (Qh-al2): Están conformados por materiales heterogéneos (arenas, limos y gravas en menor proporción) dispuestos

sobre depresiones aluviales y cauces de canales de regadío o quebradas, por tanto, se presentan inconsolidados (Figura 5).

Depósito fluvial (Qh-fl): Materiales resultantes de la meteorización y/o erosión, traslado y depositación de rocas preexistentes, transportados por una corriente fluvial permanente, encontrándose depositados en el cauce de los lechos de los ríos y canales existentes en el área estudiada.

Esta unidad geológica está conformada por arenas de grano medio a grueso, presentan plasticidad baja y se encuentra a lo largo del cauce del río Samán (Figura 6).



Figura 4. Depósito fluvio – aluvial (polígono celeste) reconocidos en los extremos noroeste y este del poblado Mallares.

Las unidades geológicas antes descritas han sido cartografiadas en campo y representadas en el mapa geológico de la Figura 7.



Figura 5. Materiales heterogéneos (flechas amarillas) que han sido transportados por escorrentías superficiales y depositados en zonas de depresión que conforman depósitos aluviales recientes.



Figura 6. Depósito fluvial identificado en las inmediaciones del río Samán se sitúan materiales heterogéneos, principalmente arenas y limos.

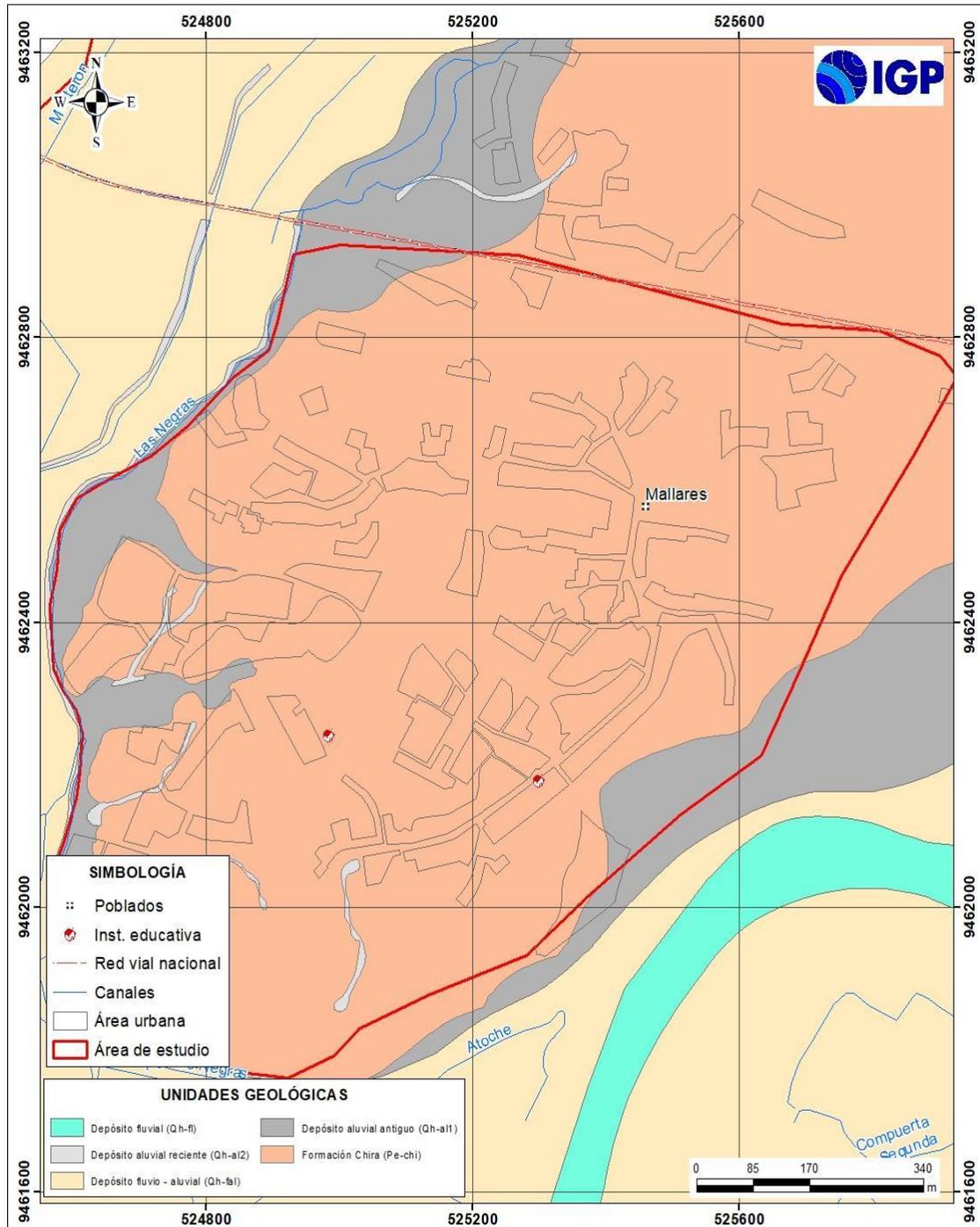


Figura 7. Mapa geológico del área urbana del centro poblado Mallares.

2.2. 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 C.P. Mallares en base a sus características físicas y los procesos que las han originado.

2.2.1. Levantamiento topográfico - fotogrametría

Se realizó el levantamiento topográfico en alta resolución del centro poblado de Mallares, mediante fotogrametría aérea con un dron modelo Phantom 4 Pro V2.0 y mediciones GNSS (sistema global de navegación por satélites), lo cual ha permitido generar lo siguiente:

- Modelo digital de superficie (MDS y de terreno (MDT): Ambos con una resolución espacial de 17 cm/pixel, el área de mayor elevación (50 a 77 m.s.n.m.) se encuentra en la zona centro y noreste casco urbano de Mallare, mientras que la zona de menor elevación (28 a 40 m.s.n.m.) le pertenecen a la zona que abarcan áreas de cultivo y tramo del afluente al río Chira (Figura 8).
- Ortomosaico: se ha generado a partir de la unión de 1,068 mosaicos que han sido corregidos por distorsiones ocasionados por el relieve y los objetos presentes en Mallares. La imagen permite identificar las áreas de cultivo identificadas abarcan un área aproximada de 439 ha, el casco urbano 203 ha, estas zonas representan el 65% y 30% del área total respectivamente.

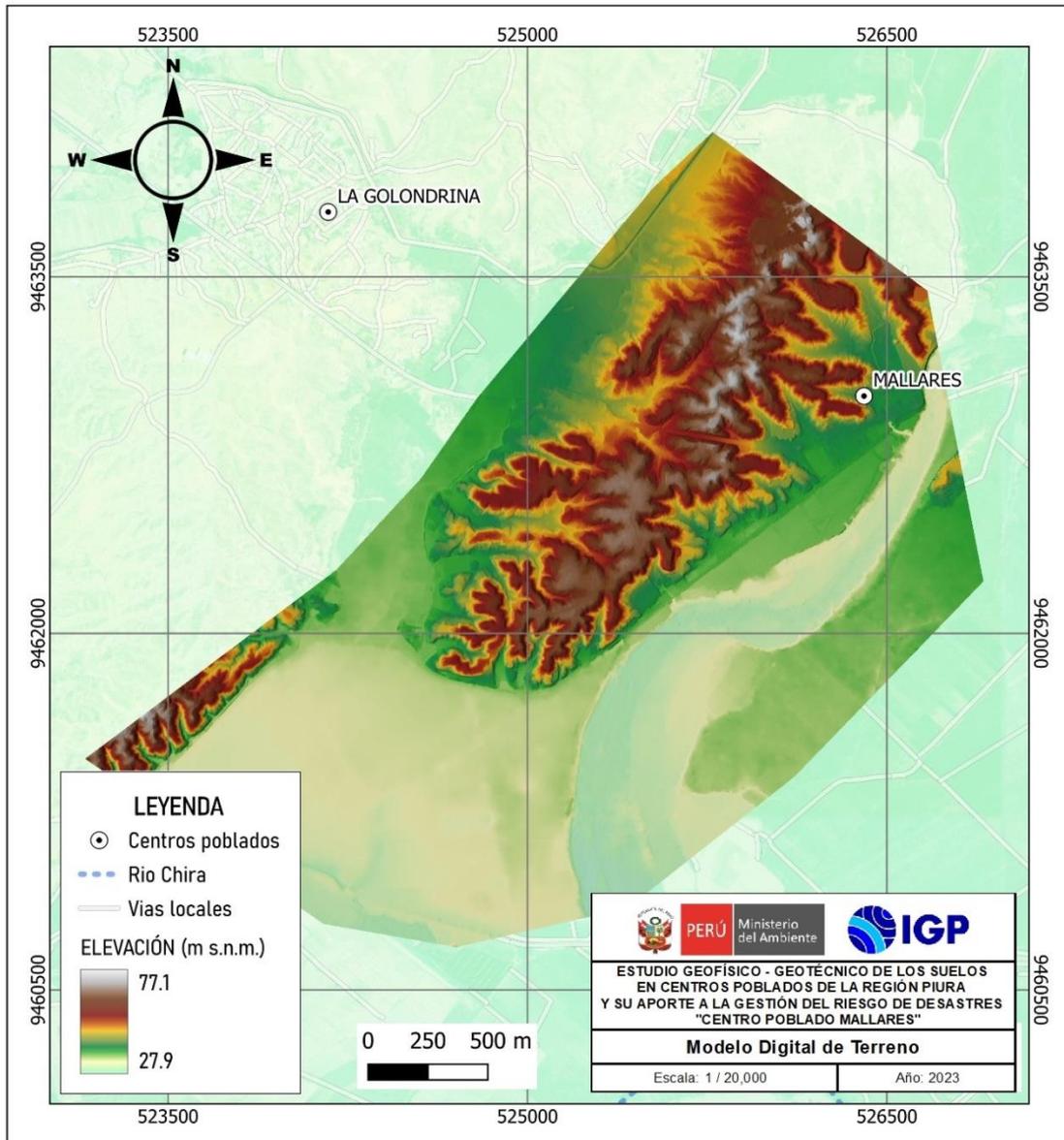


Figura 8. Modelo digital de terreno del C.P. Mallares.

- Mapa de curvas de nivel: A partir del Modelo Digital del Terreno, se ha generado un mapa de curvas de nivel para Mallares con un intervalo de 5 metros a escala 1: 20000. Los resultados muestran elevaciones en dirección noreste a suroeste de la zona urbana.

En el Anexo 1, se presenta el mapa de ortomosaico y de curvas de nivel con intervalos de 5 metros, para el C.P. Mallares.

2.2.2. Unidades geomorfológicas

Las principales unidades geomorfológicas identificadas en Mallares en base a sus características físicas y los procesos que las han originado son las siguientes:

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

Esta unidad geomorfológica se encuentra representada por el lecho fluvial del río Samán (Sajino) que discurre en dirección predominante noreste – suroeste, (Figura 9).



Figura 9. Unidad geomorfológica lecho fluvial (línea amarilla) ubicado a lo largo del cauce del río Samán que discurre en sentido noreste-suroeste.

Cauce aluvial: Comprende el cauce de las quebradas y canales de regadío, específicamente ocupa el lugar donde se desplaza el flujo de agua, esta unidad geomorfológica ha sido identificada en las

inmediaciones del canal Las Negras (ubicada a 807 metros al oeste de la plaza principal de Mallares) y algunas quebradas de cauce temporal que se sitúan en las inmediaciones de las viviendas de Mallares.

Cabe señalar que, el canal de irrigación Las Negras se ubica en el sector La Victoria, no presenta recubrimiento y drena de manera constante el agua hacia el canal Miguel Checa, mientras que, las quebradas se activan durante el periodo de lluvias, (Figura 10).



Figura 10. Unidad geomorfológica cauce aluvial que corresponde al canal de irrigación denominado Las Negras en el extremo occidental del C.P. Mallares.

Depresión aluvial: Constituye una superficie de baja pendiente (inferior a los 5° de inclinación) situada por debajo del nivel de sus áreas circundantes. Esta unidad geomorfológica en el C.P. Mallares presenta desniveles topográficos de hasta 1.0 metro inferior a la terraza aluvial donde se ubican las viviendas del poblado, constituyen zonas en las cuales se acumula agua y por tanto son susceptibles a inundaciones pluviales (Figura 11).

Terraza fluvio - aluvial: Superficie llana, cuyo relieve presenta pendientes menores a 5° . Generalmente se encuentra conformada por materiales heterogéneos de origen fluvio – aluvial (clastos subangulosos a subredondeados envueltos en una matriz limo-arcillosa) generados por antiguos cauces fluviales.

Esta unidad geomorfológica ha sido identificada en las inmediaciones de la zona agrícola del C.P. Mallares que se ubica aproximadamente en un desnivel topográfico inferior a 3 a 4 metros respecto a la plaza principal del poblado, (Figura 12).



Figura 11. Unidad geomorfológica depresión aluvial (polígono amarillo) situada en las inmediaciones de las viviendas del C.P. Mallares, en estas geoformas se acumula agua durante los periodos de lluvias intensas debido a la inclinación del terreno.

Terraza aluvial: Superficies horizontales o ligeramente inclinadas, cuyo relieve presenta pendientes menores a 15° . Generalmente se encuentra conformada por materiales heterogéneos (clastos subangulosos a subredondeados envueltos en una matriz areno-limosa) y capas delgadas de limos. La terraza aluvial se identifica contigua al canal de irrigación Las Negras del C.P. Mallares, (Figura 13).



Figura 12. Terraza fluvio-aluvial (polígono amarillo) ubicada en el extremo sur y este del C.P. Mallares, sobre esta unidad se desarrollan actividades agrícolas.

Terraza aluvial: Superficies horizontales o ligeramente inclinadas, cuyo relieve presenta pendientes menores a 15° . Generalmente se encuentra conformada por materiales heterogéneos (clastos subangulosos a subredondeados envueltos en una matriz arenolimoso) y capas delgadas de limos. La terraza aluvial se identifica contigua al canal de irrigación Las Negras del C.P. Mallares, (Figura 13).

Loma: Unidad geomorfológica constituida por superficies elevadas de forma alargada con pendiente superior a los 15° de inclinación. Sobre esta unidad se asienta la mayor área urbana del C.P. Mallares, (Figura 14).

Finalmente, en la Figura 15 se presenta el mapa de geomorfología del área urbana del C.P. Mallares, elaborado con la información recolectada en campo.



Figura 13. Unidad geomorfológica terraza aluvial sobre la que se asientan algunas viviendas ubicadas en el extremo occidental del C.P. Mallares.



Figura 14. Loma (polígono amarillo) sobre la cual se asientan algunas viviendas del C.P. Mallares.

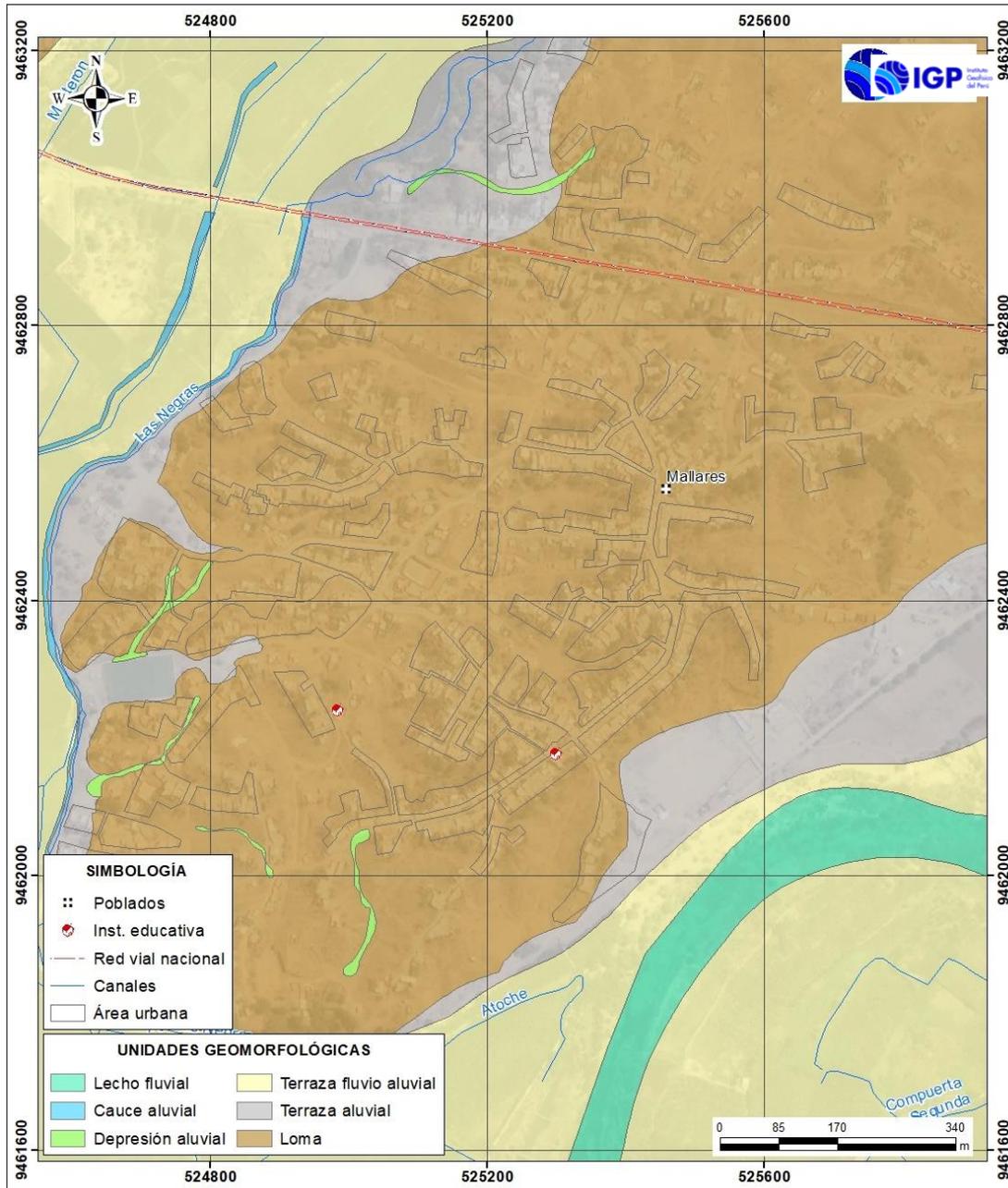


Figura 15. Mapa geomorfológico del área urbana del C.P. Mallares, donde la población se asienta principalmente sobre la unidad loma.

2.3. GEODINÁMICA

La Geodinámica estudia los fenómenos geológicos que provocan modificaciones en la superficie terrestre producto de la interacción de procesos geológicos (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 C.P. Mallares, se identificaron siguientes eventos geodinámicos:

Inundación pluvial: Evento geodinámico que resulta de la acumulación de las aguas provenientes de las precipitaciones pluviales en las partes bajas o de menor pendiente (depresiones). En general, se presentan cuando el terreno se ha saturado y el agua de lluvia excedente comienza a acumularse, pudiendo permanecer horas o días.

Cabe señalar que, el C.P. Mallares presenta relieves variables (elevaciones y depresiones), durante las precipitaciones pluviales intensas, las aguas de escorrentía se desplazan desde las lomas hacia las zonas de menor pendiente, acumulándose en zonas de depresión, de acuerdo con testimonio de los pobladores y el reconocimiento in situ, principalmente se generan inundaciones pluviales en las inmediaciones de la calle Sáenz Peña y del campo deportivo municipal del sector La Victoria, (Figuras 16 y 17).

Inundación fluvial: Las inundaciones fluviales se originan por el desborde del agua, desde el cauce de los ríos y quebradas debido al incremento del caudal durante los periodos (diciembre – mayo) de lluvias intensas generando daños a los elementos expuestos (viviendas, infraestructura pública y zonas de actividad económica). En el C.P. Mallares, este tipo de evento podría generarse durante la activación del río Samán que se ubica en el extremo sureste del poblado, donde se han identificado que ambos márgenes del río constituyen zonas susceptibles a inundaciones fluviales, evento que podría afectar áreas agrícolas (Figura 18).

Finalmente, las zonas ubicadas en el área de influencia de los eventos de inundación pluvial y fluvial fueron cartografiadas y se generó un mapa geodinámico correspondiente al C.P. Mallares, (Figura 19).



Figura 16. Zona de depresión (polígono amarillo) ubicada a 930 m al suroeste de la zona central del C.P. Mallares donde se producen inundaciones en épocas de lluvias intensas debido a la propagación del flujo de agua desde las lomas.



Figura 17. Zona susceptible a la ocurrencia de inundaciones pluviales (polígono amarillo) ubicada en las inmediaciones del centro deportivo La Victoria, cuyas aguas de escorrentía provienen por las calles situadas en el extremo nororiental de la infraestructura.



Figura 18. Zonas susceptibles a inundaciones fluviales (polígonos celestes) han sido identificadas en ambos márgenes del río Samán (línea amarilla) que podría afectar áreas agrícolas localizadas en el extremo suroeste del C.P. Mollares.

2.4. GEOTECNIA

Con la finalidad de obtener la información geotécnica de los suelos de cimentación en el área urbana del C.P. Mollares, en coordinación con el Gobierno Regional de Piura, se ejecutaron exploraciones a cielo abierto (calicatas), análisis químico y cortes directos para la estimación de la capacidad de carga de los suelos.

Exploraciones a cielo abierto (calicatas, norma ASTM 420): Es un método de exploración directa que consiste en realizar una excavación en el terreno para la observación directa del suelo. En el área de estudio se realizaron cinco calicatas con profundidades de exploración de 3.0 metros, para describir los estratos que la conforman, así como extraer muestras en bolsas herméticas con capacidad de 5 kg. La ubicación de las calicatas se muestra en la Tabla 2.

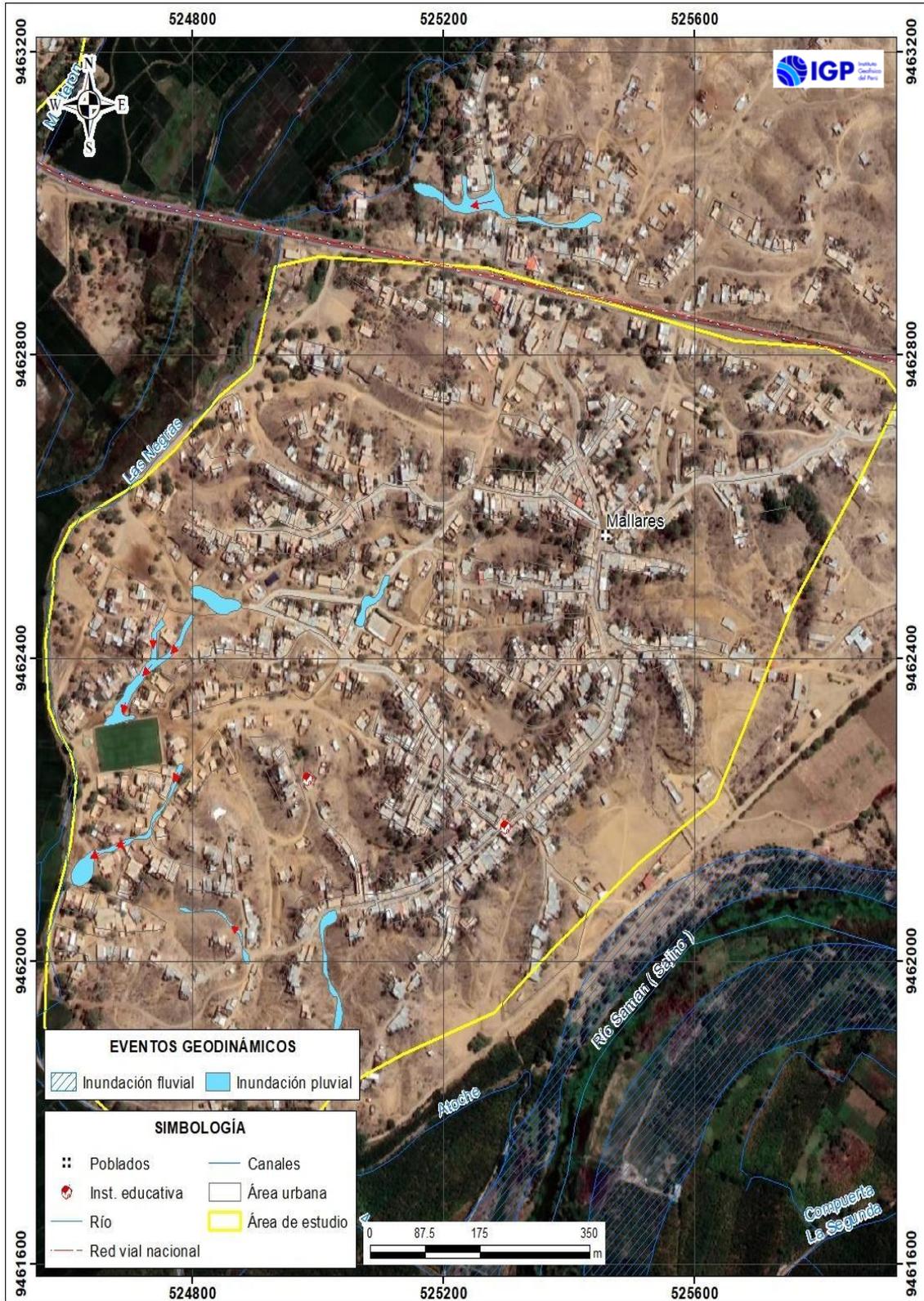


Figura 19. Con la información recopilada en campo, se generó el mapa geodinámico del C.P. Mallares, delimitando las áreas susceptibles a inundación pluvial y fluvial.

Tabla 2. Ubicación de calicatas.

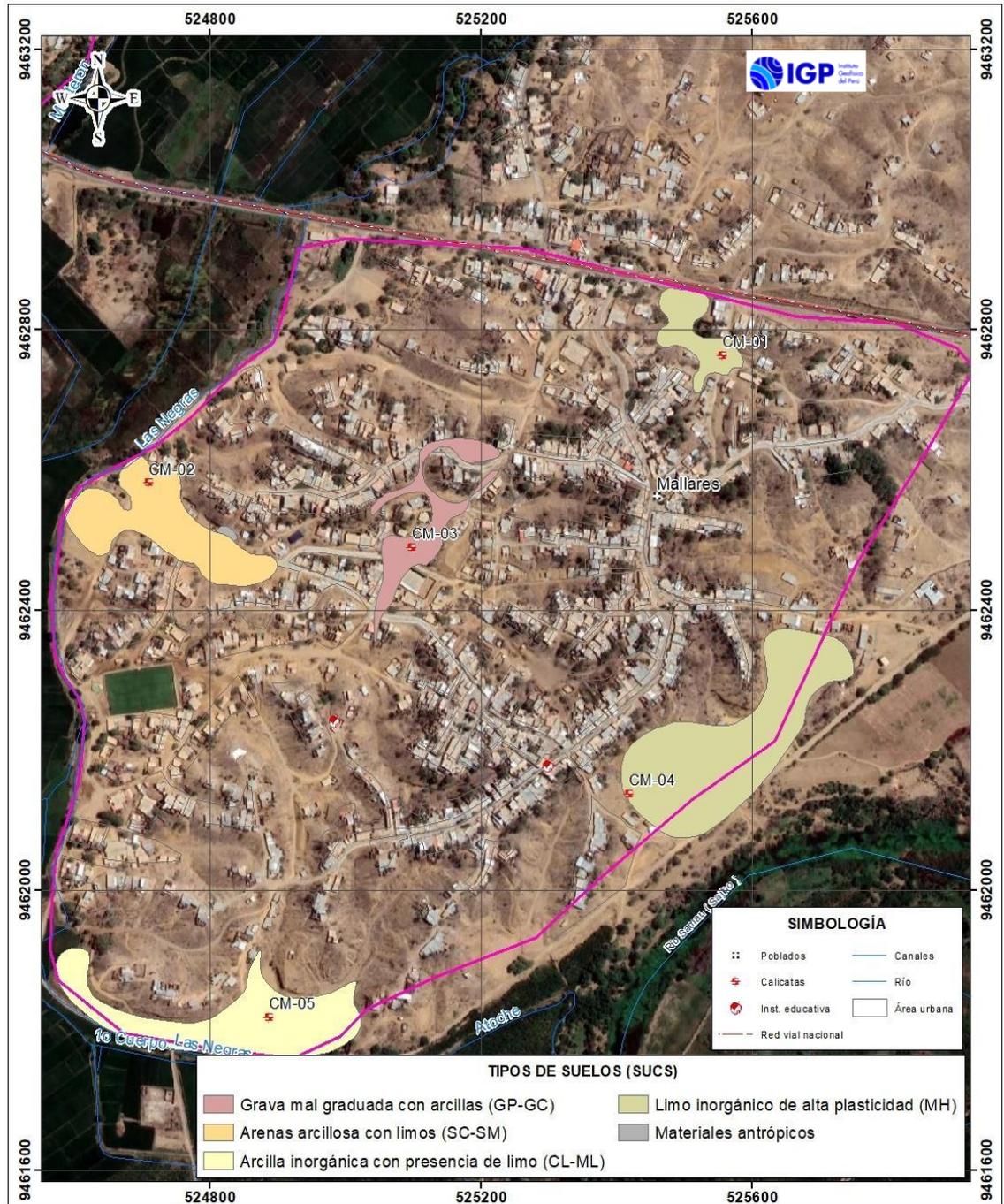
CALICATA	MUESTRA	UTM ESTE(m)	UTM NORTE(m)	PROFUNDIDAD (m)	NIVEL FREÁTICO A (m)
CM-01	M-1	525556	9462764	2.60	N.P.
CM-02	M-1	524710	9462582	1.00	N.P.
CM-03	S/M	525098	9462490	0.00 – 0.40	N.P.
	M-1			0.40 – 1.30	N.P.
	M-2			1.30 – 3.00	N.P.
CM-04	-	525419	9462138	1.70	N.P.
CM-05	M-1	524888	9461819	3.00	N.P.

Fuente: Gobierno Regional de Piura. NP= No presenta.

Clasificación de suelos SUCS en el área urbana del C.P. Mallares: En base a la información recolectada de las calicatas y los resultados obtenidos de los ensayos granulométricos y de plasticidad realizados por el Gobierno Regional de Piura, se han identificado 05 tipos de suelos, los mismos que han sido agrupados haciendo uso del Sistema de Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y cuyos resultados son (Tabla 3 y Figura 20):

- Suelos tipo GP – GC: Corresponde a gravas mal graduadas con presencia de arcilla, cuyo contenido de humedad es de 4.40 %, constituyen suelos de compacidad media, presentan índice plástico de 7% y densidad máxima de 1.905 gr/cm³. Este tipo de suelos ha sido identificado en la calicata CM-3 que se ubica a 368 metros al oeste de la plaza de Mallares, hasta una profundidad de 1.30 metros.
- Suelos tipo SC – SM: Corresponde a arenas arcillosas con presencia de limos, cuyo contenido de humedad es de 19.10% constituyen suelos de compacidad media, presentan índice

plástico de 4% y densidad máxima de 1.756 gr/cm³. Este tipo de suelos ha sido identificado en la calicata CM-2 que se ubica a 750 metros al oeste de la plaza de Mallares, hasta una profundidad de 1.20 metros.



- Figura 20. Mapa de clasificación SUCS de suelos en el área urbana del C.P. Mallares, cabe señalar que, la mayor parte de viviendas se ubican sobre rocas lutitas de la formación Chira.

- Suelos Tipo CL – ML: Están conformados por arcillas inorgánicas de baja plasticidad con presencia de limos inorgánicos, contenido de humedad de 11.4 %, constituyen suelos de compactación media, presenta índice plástico de 7%. Presenta densidad máxima de 1.935 gr/cm³ y ha sido identificado en la calicata CM-05 (profundidad de 0.80 – 3.00 metros) que se ubica a 937 metros al suroeste de la plaza principal del C.P. Mallares.
- Suelos Tipo MH: Están conformados por limo inorgánico de alta plasticidad con contenido de humedad de 11 - 19 %, tienen índice plástico de 23 a 27 %. Presenta densidad máxima de 1.7 gr/cm³ y ha sido identificado en las calicatas CM-1 y CM-5 (hasta profundidades de 2.60 y 1.30 metros, respectivamente) ubicadas a 218 metros al norte y 430 metros al sur de la plaza del C.P. Mallares, respectivamente.
- Suelos de origen antrópico: Están conformados por materiales heterogéneos (desmonte, rellenos, residuos y basura) los cuales no se encuentran compactados. Estos suelos han sido identificados a 630 metros al suroeste de la plaza del C.P. Mallares.

A continuación, se establece un cuadro resumen de los tipos de suelos existentes en el área urbana del C.P. Mallares.

Tabla 3. Clasificación SUCS de los suelos de las 5 calicatas elaboradas en el área urbana del C.P. Mallares.

CALICATA	PROFUNDIDAD D (m)	NIVEL FREÁTICO (m)	GRAVAS % (>4.76 mm)	ARENAS % (>0.074 mm, <4.76 mm)	FINOS % (<0.074 mm)	LÍMITE LÍQUIDO (%)	LÍMITE PLÁSTICO (%)	ÍNDICE PLÁSTICO	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	CLASIFICACIÓN SUCS	DENOMINACIÓN
CM - 01	2.60	N.P.	0.00	17.50	82.50	53	–	23	19.30	MH	Limo inorgánico de alta plasticidad
CM - 02	1.20	N.P.	0.00	68.50	31.50	22	–	4	19.10	SC - SM	Arenas arcillosas con limos
CM - 03	3.00	N.P.	71.10	21.80	80.40	44	–	16	18.90	GP - GC ML	Gravas mal graduadas con arcillas
CM - 04	1.30	N.P.	0.00	12.80	78.40	58	–	27	11.50	MH	Limo inorgánico de alta plasticidad
CM - 05	2.00	N.P.	0.00	39.80	89.10	24	–	7	11.40	CL - ML	Arcilla inorgánica con limos

Fuente: Gobierno Regional de Piura. N.P. = No presenta

Análisis químico de suelos: Con el fin de determinar el contenido de sales solubles en suelos, el Gobierno Regional de Piura realizó ensayos de análisis químico a las 5 muestras extraídas de las cinco calicatas. Los resultados obtenidos indican lo siguiente:

- Calicata CM 01, muestra 0.297%,
- Calicata CM 02, muestra 0.070%,
- Calicata CM 03, muestra 0.263%
- Calicata CM 04, muestra 0.041% y
- Calicata CM 05, muestra 0.101%

Considerando estos resultados y haciendo la comparativa con los límites permisibles de agresividad del suelo al concreto (Tabla 4), se determina que los suelos muestreados en el C.P. Mallares no contienen sales solubles que afecten la cimentación de las edificaciones.

Tabla 4. Límites permisibles de agresividad del suelo al concreto.

Presencia en el Suelo de:	p.p.m.	Grado de Alteración ppm	Observaciones
*Sulfatos	0-1000	Leve	Ocasiona un ataque químico directo a las estructuras de concreto
	1000-2000	Moderado	
	2000-20 000	Severo	
	>20 000	Muy Severo	
**Cloruros	> 600	Perjudicial	Ocasiona problemas de corrosión de armaduras o elementos metálicos.
	> 1000		
	> 1500		
**Sales Soluble totales	>5 000	Perjudicial	Ocasiona problemas de pérdida de resistencia mecánica por problema de lixiviación

Fuente: Reglamento Nacional de Construcción, NTE E060 Concreto Armado.

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 simula que existe o existirá en el terreno producto de la aplicación de carga. Esta resistencia al corte de los suelos se debe a dos componentes: la cohesión (comportamiento plástico que presentan las partículas finas) y el ángulo de fricción interna (rozamiento que existe en las partículas granulares).

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

Los parámetros geotécnicos obtenidos de los ensayos de corte directo que fueron realizados en el laboratorio de mecánica de suelos del Gobierno Regional de Piura a las muestras de suelos extraídas en el C.P. Mallares se presentan en el Tabla 5.

Tabla 5. Parámetros geotécnicos obtenidos de las muestras tomadas en el área urbana del C.P. Mallares.

CALICATA	CM-1	CM-2	CM-3		CM-4	CM-5
ÁNGULO DE FRICCIÓN (°)	22	28	--	26	26	27
COHESIÓN	0.09	0.00	--	0.07	0.12	0.00

Fuente: Gobierno Regional de Piura.

La Tabla 5 indica que, los suelos del C.P. Mallares presentan ángulos de fricción entre 22 y 28° y cohesión entre 0.000 y 0.120 kg/cm².

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

Carga última (Qult.): Es la presión última por unidad de área de la cimentación soportada por el suelo, en exceso de la presión causada por el suelo alrededor al nivel de la cimentación (Amézquita, J. et al, 2012). Para determinar la carga última se usaron los resultados de los ensayos de corte directo (ángulo de fricción y la cohesión), datos que se usarán con la fórmula de corte general (suelos granulares densos y cohesivos de consistencia rígida) y local

(suelos granulares sueltos y cohesivos de consistencia media a semidura) de Terzaghi (1943), a través de las siguientes expresiones:

Fórmula para falla por corte general

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

Fórmula para falla por corte local

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

Dónde: C= cohesión, q= carga ($x \cdot D_f$) y N_c , N_q , N_γ : Factores de carga, Tabla 6.

Luego, en base a los resultados de la carga última (Qult.) se calculó la capacidad de carga admisible de los suelos para una profundidad de cimentación de 1.0 metro y ancho de zapata de 1.0 metro, así como también para profundidad de cimentación de 1.5 metros y ancho de zapata de 1.0 metro. Los resultados de capacidad de carga admisible de suelos analizados se presentan en los Tabla 7.

De los resultados citados anteriormente y tomando en cuenta la Tabla 8, se ha determinado que para la profundidad de 1 y 1.5 metros, los suelos de cimentación del área urbana del C.P. Mallares presentan capacidad de carga admisible muy baja (menor a 1.00 kg/cm²), (Figura 21).

Tabla 6. Factores de cohesión, carga y volumétricos. Modificado por Terzaghi.

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

Fuente: Braja Das, 2011.

Tabla 7. Capacidad de carga admisible de las muestras extraídas en el C.P. Mallares.

MUESTRA	Capacidad de carga última (Kg/cm ²)	Capacidad de carga admisible (Kg/cm ²)	Tipo de Corte	Capacidad de carga última (Kg/cm ²)	Capacidad de carga admisible (Kg/cm ²)	Tipo de Corte
CM-01	1.54	0.51	F.L	1.78	0.59	F.L
CM-02	1.12	0.37	F.L	--	--	F.L
CM-03	--	--	--	1.95	0.65	F.L
CM-04	--	--	--	2.60	0.87	F.L
CM-05	1.05	0.35	F.L	1.45	0.48	F.L
DIMENSIONES DE CIMENTACIÓN	Profundidad: 1.00 m y ancho:1.00m (Zapata Cuadrada)		Profundidad: 1.50 m y ancho:1.00m (Zapata cuadrada)			

Fuente: Gobierno Regional de Piura, 2022. Dónde: F.L= Falla local.

Tabla 8. Rango de capacidad de carga admisible.

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

Fuente: IGP, 2018.

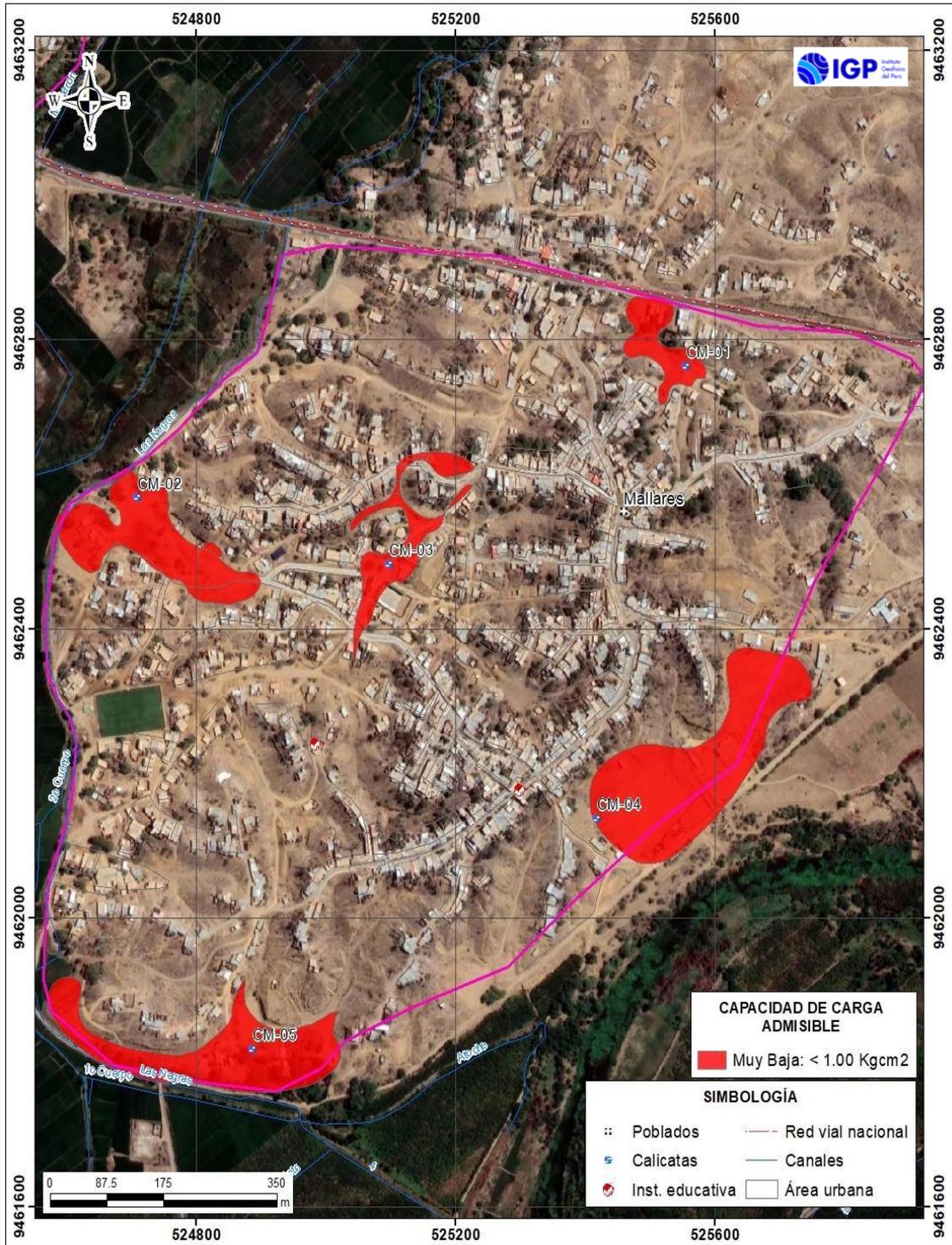


Figura 21. Mapa de capacidad de carga admisible de los suelos de cimentación del C.P. Mallares, para una profundidad de cimentación de 1.5 metros y ancho de zapata de 1.00 metro.

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 C.P. Mallares, se procede a aplicar diferentes métodos geofísicos, cuyos resultados se correlacionan entre sí y con los aspectos geoambientales de la zona de estudio.

3.1. METODOLOGÍA

La metodología seguida consiste en la aplicación de tres métodos geofísicos: razones espectrales (H/V) a partir de registros de vibración, perfiles sísmicos obtenidos mediante el análisis multicanal de ondas superficiales y microtemores (MASW y MAM) y tomografía eléctrica. A continuación, se describe cada método.

3.1.1. RAZONES ESPECTRALES (H/V)

El método de razones espectrales (H/V) fue propuesto por Nakamura (1989) para caracterizar la respuesta dinámica del suelo a partir del periodo de respuesta del suelo y en algunos casos, estimar su amplificación, ante la solicitación sísmica. El método hace uso de registros de vibración ambiental que contienen información sobre las características físicas de los suelos en sus primeras decenas de metros por debajo de la superficie. Debe entenderse que la variación de las propiedades físicas de los tipos de suelos, espesor, geometría y composición litológica, condicionan, la amplificación de las ondas sísmicas.

En la Figura 22, se muestra un ejemplo del proceso de análisis seguido usando como dato de entrada el registro de vibración ambiental (MA-

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

Para la interpretación de los resultados se considera que: 1) Las frecuencias predominantes menores a 1 Hz corresponden a vibraciones generadas por el oleaje del mar, y/o cambios meteorológicos (periodos muy largos), 2) Las bajas frecuencias o periodos largos son debidas a la presencia de depósitos profundos y 3) Las frecuencias altas o periodos cortos son debidos a depósitos superficiales blandos y de poco espesor (SESAME, 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.

3.1.2. ONDAS SUPERFICIALES Y MICROTREMORES

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

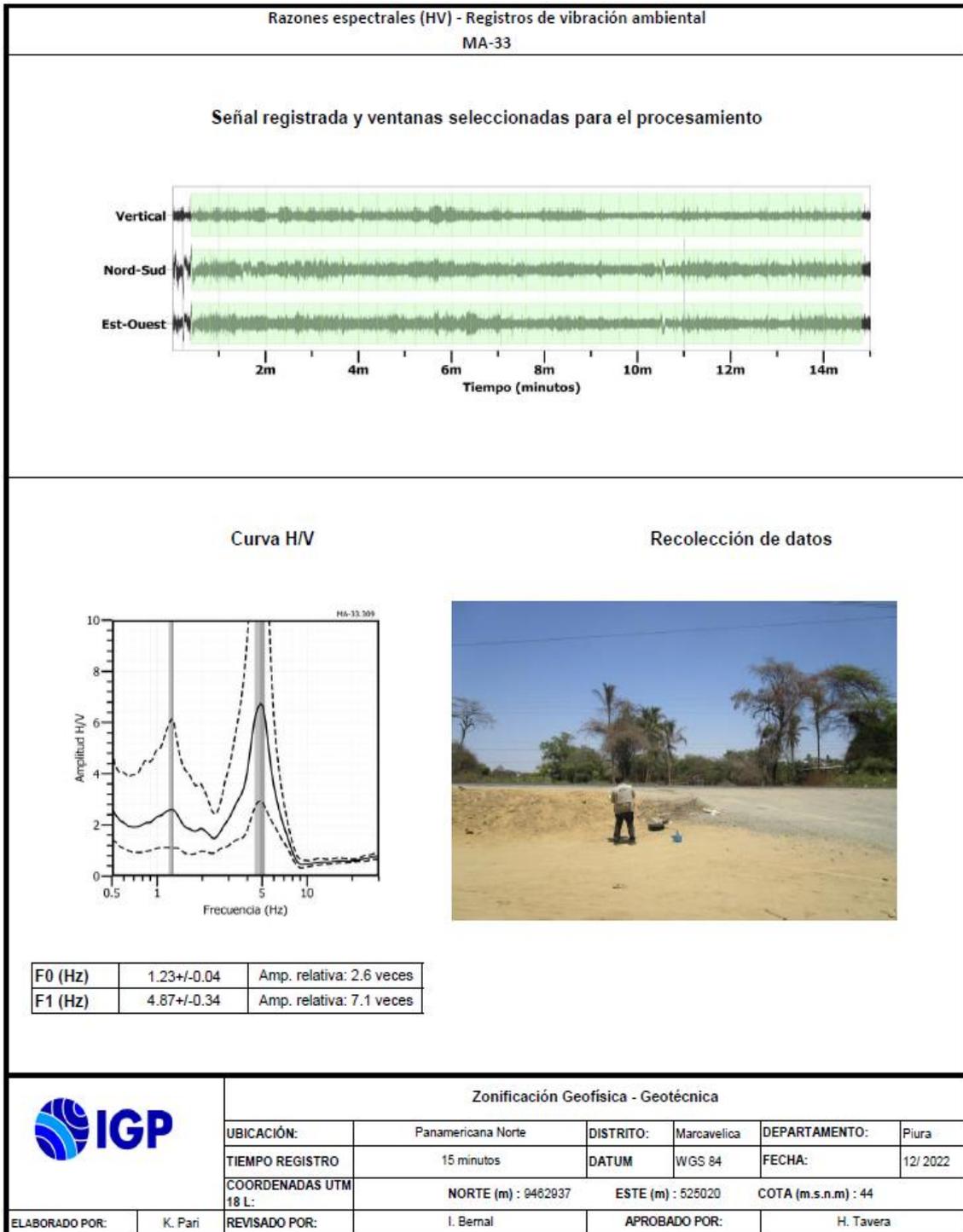


Figura 22. Resultados obtenidos con el método de razones espectrales (H/V) para el punto MA-33. Arriba, la señal registrada y abajo la curva promedio de las razones espectrales (H/V) en línea gruesa y su desviación estándar en líneas discontinuas. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

El ensayo de Análisis Multicanal de Microtremores (MAM) o sísmica de Microtremores (Louie, 2001), es método complementario al MASW, que al utilizar registros de microtremores permite investigar a mayores profundidades. En este caso no existe fuente sísmica y solo consiste en el registro de la vibración del suelo generada por la actividad humana. La combinación con el método de MASW permite obtener información a niveles superficiales y en profundidad.

Los datos sísmicos recolectados en campo 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 23.

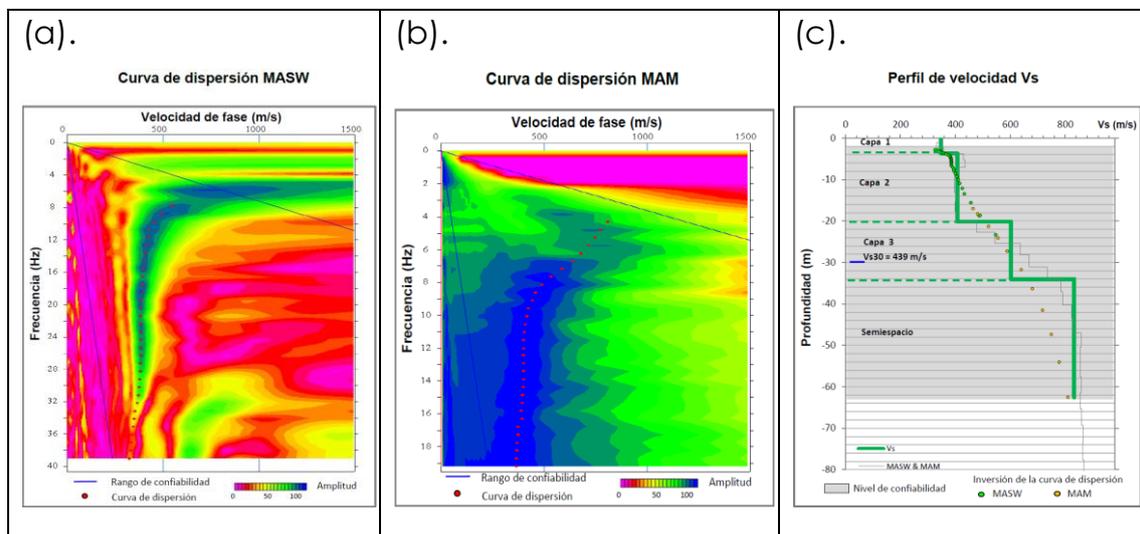


Figura 23. Curvas de dispersión obtenidos a partir de las técnicas MASW (a) y MAM (b) y perfil de velocidad obtenido a partir de la combinación de ambos ensayos (c).

Para el análisis de los resultados obtenidos, se considera la clasificación de suelos propuesta por la Norma E.030 Diseño

Sismorresistente (2018). En este caso, el rango de velocidad de los perfiles de suelo S1 y S2 se subdividen a fin de considerar dos clasificaciones adicionales, tal como se describe en la Tabla 9.

Tabla 9. Clasificación de perfiles de suelo para la zona de estudio.

Clasificación de los perfiles de Suelo			
N°	Vs (m/s)	Tipos de suelo	
1	< 180	Suelo blando	S4
2	180 a 350	Suelo intermedio (medianamente rígidos)	S3
3	350 a 500	Suelo rígido	S2
4	500 a 800	Suelo muy rígido	S1
5	800 a 1500	Roca	S0
6	> 1500		

3.1.3. TOMOGRAFÍA DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA

Es una técnica geofísica que, mediante la inyección de corriente eléctrica al terreno, permite determinar las variaciones de resistividad y conductividad eléctrica de las rocas y suelos. En general, los materiales que conforman el subsuelo muestran ciertos rangos de valores de resistividad (Tabla 10) que dependen de su composición y su contenido de agua o de sales disueltas y presentes en las fracturas de las rocas o en la porosidad del suelo, ellas responderían de manera anómala al paso de la corriente eléctrica. El método de Tomografía Eléctrica es una técnica multielectródica, y su base teórica de su funcionamiento es análoga al de los métodos convencionales de resistividad (tetraelectródica). Actualmente, existen diferentes dispositivos eléctricos para la toma de datos en campo y en el presente estudio, se usó el dispositivo Polo-Dipolo.

Tabla 10. Valores representativos de resistividad (Loke et al, 2012).

Material	Resistividad
Suelo artificial	50-100
Arena suelta	500-5000
Grava	50-104
Arcilla	1-100
Rocas ígneas	107-1000
Granito	106-1000
Basalto	107-1000
Esquisto	20-104
Conglomerados	104-1000
Areniscas	10-8000
Lutita	20-1000
Limolita	70-8000
Caliza	100-105
Agua dulce	10-100
Agua de mar	0.25

3.2. ADQUISICIÓN DE DATOS

En el área urbana del C.P. Mallares, se ha recolectado en campo un total de 44 registros de vibración ambiental en puntos distribuidas de manera equidistante, tal como se observa en la Figura 24. Asimismo, se ha considerado datos obtenidos sobre cuatro líneas de arreglos sísmicos y de tres líneas de tomografía eléctrica.

Registros de vibración ambiental: Para la adquisición de estos registros, se utilizaron sensores Lennartz y registradores CityShark II (Figura 25). Cada registro presenta una duración de 15 minutos, lo cual permite disponer de buena cantidad de datos para su posterior análisis. En la Figura 26, se muestra ejemplos de registros de vibración ambiental obtenidos en el punto MA-15, ubicado cerca de la Plaza San Martín. Aquí se observa que la señal es estable; es decir, no está muy perturbada en comparación con la señal de MA-33 que presenta algunos saltos y/o picos de señal debido a que dicho punto, está ubicado cerca de la carretera Panamericana Norte.

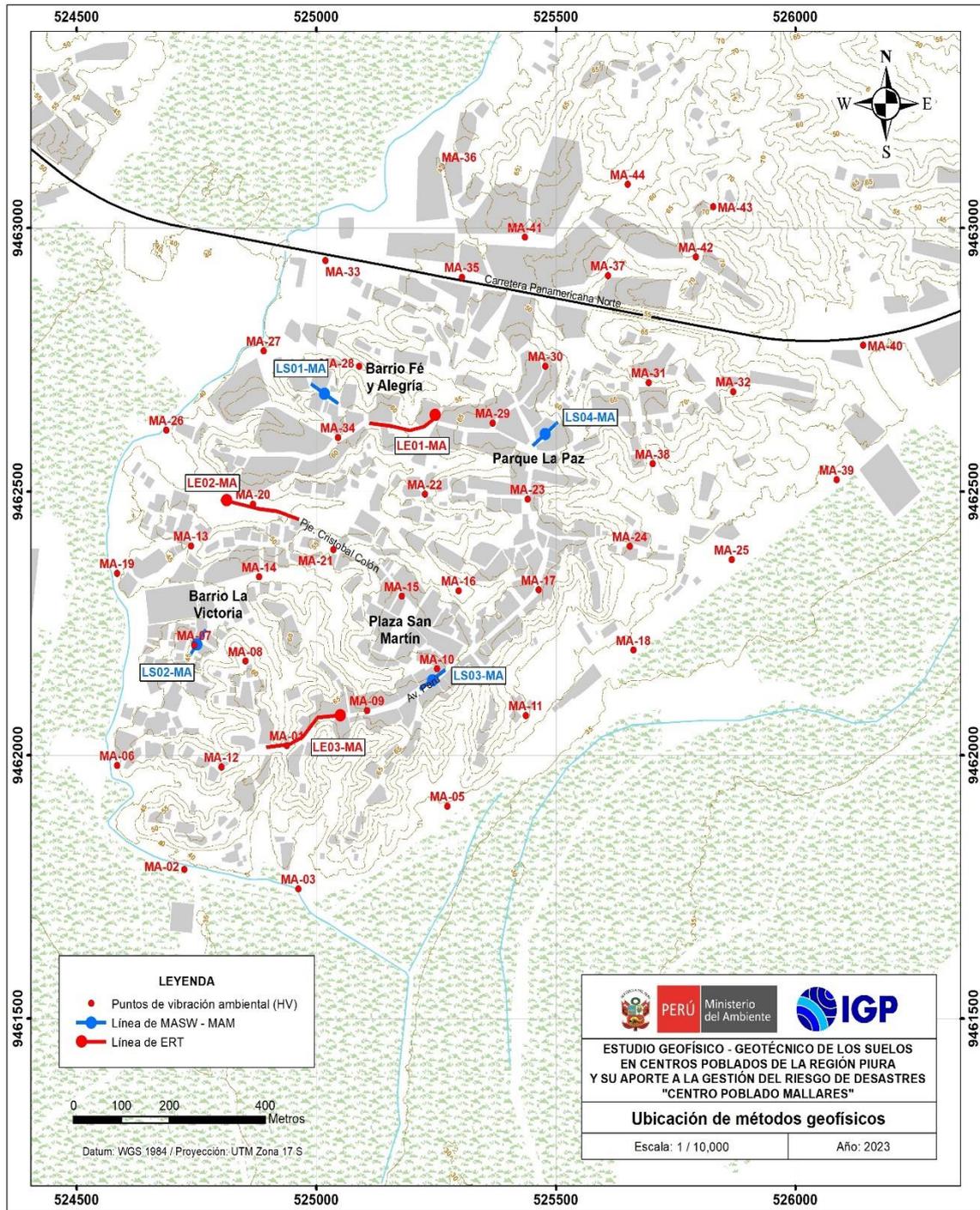


Figura 24. Distribución espacial de los puntos y líneas de adquisición de datos geofísicos en el C.P. Mallares.



Figura 25. Equipo sísmico utilizado para el registro de vibraciones ambientales: sensor Lennartz (2N) y registradores CityShark II.

Líneas sísmicas: Para la adquisición de los registros sísmicos se utilizó un equipo sísmico multipropósito, modelo GEODE (Geometrics) de 24 sensores o geófonos de baja frecuencia (4.5 Hz) y un muestreo de 4000Hz (0.25 ms). Como fuente para generar las ondas sísmicas, se utilizó un martillo de 20 lbs (Figura 27).

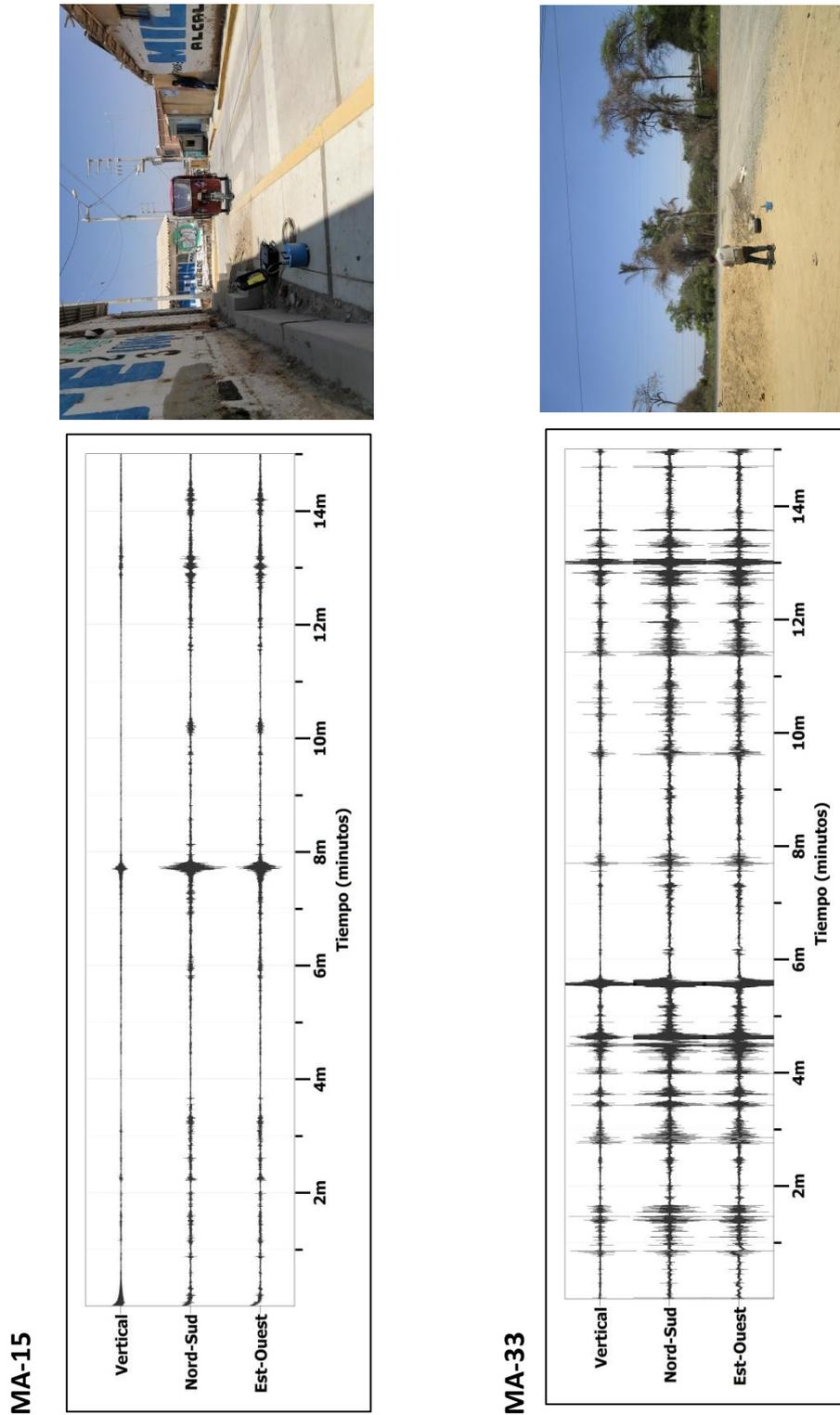


Figura 26. Ejemplos de registros de vibración ambiental obtenidos en los puntos MA-15 y MA-33, ubicados sobre diferentes tipos de suelos. Obsérvese las diferentes amplitudes de la señal registrada en cada punto.



Figura 27. Disposición del equipo para la adquisición de registros sísmicos – MASW.

La distribución de las 4 líneas se presenta en la Figura 23 y los parámetros utilizados para el registro de los datos se detallan en la Tabla 11.

Tabla 11. Coordenadas y características de las líneas sísmicas.

Línea Sísmica	Coordenadas UTM – WGS84		Cota (m.s.n.m.)	Espaciamiento entre geófonos (m)	Longitud total (m)	
	Este (m)	Norte (m)				
MALLARES						
1	LS01-MA	525018	9462686	57	3	69
2	LS02-MA	524753	9462208	48	3	69
3	LS03-MA	525242	9462142	71	3	69
4	LS04-MA	525476	9462612	75	3	69

Tomografía eléctrica: Para la adquisición de los datos de resistividad se utilizó el equipo de Resistividad/IP Syscal Pro de marca Iris Instruments (Figura 28) y accesorios (cables multipolar, electrodos, combas, etc.). La distribución de las 3 líneas se presenta en la Figura 24 y los parámetros

utilizados para el registro de los datos de resistividad se detallan en la Tabla 12.

Tabla 12. Coordenadas y características de las líneas de tomografía eléctrica.

Línea Eléctrica	Coordenadas UTM – WGS84		Cota (m.s.n.m.)	Espaciamiento entre electrodos (m)	Longitud total (m)	
	Este (m)	Norte (m)				
MALLARES						
1	LE01-MA	525252	9462656	70	10	170
		525110	9462629	71		
2	LE02-MA	524963	9462447	62	10	170
		524800	9462484	59		
3	LE03-MA	525061	9462076	77	10	170
		524895	9462014	70		



Figura 28. Disposición del equipo para la adquisición de datos de resistividad.

3.3. RESULTADOS

3.3.1. Frecuencias predominantes

Los suelos del C.P. Mallares, responden a dos rangos de frecuencias: F_0 ($F \leq 2.0$ Hz) y F_1 ($F > 2.0$ Hz); su distribución espacial muestra la presencia de bajas frecuencias en toda el área de estudio, con amplificaciones de hasta 10 veces, las frecuencias mayores se distribuyen de la misma manera, donde prevalece un pico de frecuencias bien definido, presentando amplificaciones menores a 2.5 veces, asimismo se observa que en algunos casos los suelos no responden a ningún periodo. A fin de evaluar el comportamiento dinámico del suelo en el área, se analiza de manera conjunta la información obtenida en cada gráfico de razones espectrales (H/V).

- **Frecuencias predominantes, F_0 :** En la Figura 29 se muestra el mapa con la distribución espacial de los valores de frecuencias F_0 y de acuerdo con los resultados, se tiene el predominio de valores entre 0.75 a 1.47 Hz (0.7-1.3 segundos). Estos valores se presentan de manera uniforme en el área de estudio, a excepción de algunos puntos distribuidos aleatoriamente. Estos valores bajos de frecuencia estarían asociados a la presencia de una capa sedimentaria de gran espesor.

En la Figura 30, se muestra ejemplos de razones espectrales obtenidas para los puntos MA-06, MA-07 y MA-08, ubicados en el barrio La Victoria. En estos espectros sobresalen frecuencias de 0.80, 0.95 y 1.00 Hz con amplificaciones de 7.0, 5.9 y 10.5 veces, asimismo se evidencia un segundo pico con frecuencias de 7.52, 15.33 y, 6.22 Hz con amplificaciones de 2.3, 2.6 y 2.5 veces.

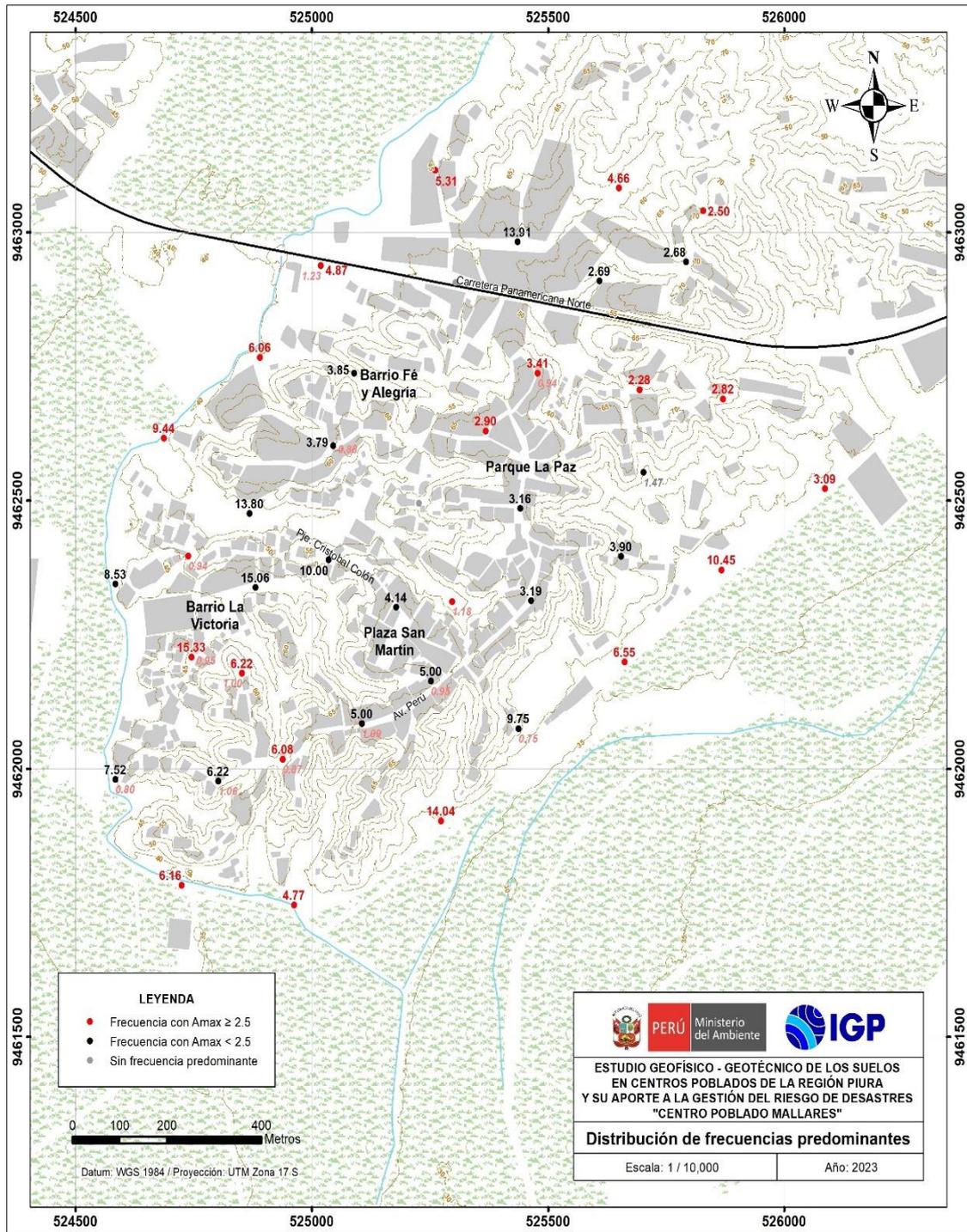
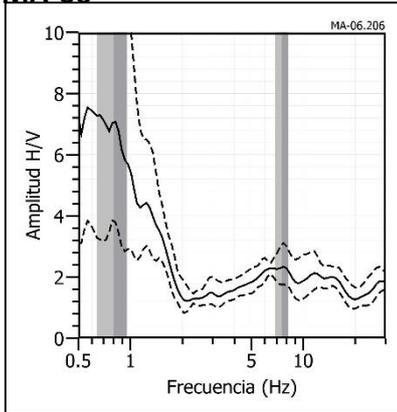
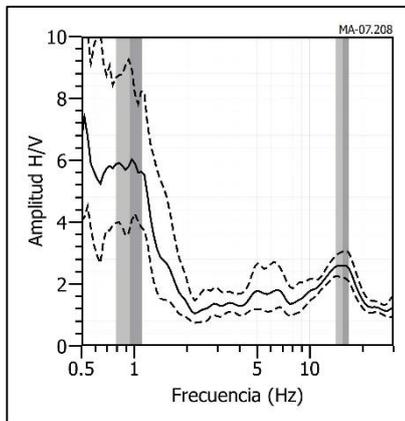


Figura 29. Distribución espacial de las frecuencias F_0 ($F < 2.0\text{Hz}$) y F_1 ($F > 2.0\text{Hz}$). Los valores en rojo corresponden a puntos con amplificaciones mayores a 2.5 veces.

MA-06



MA-07



MA-08

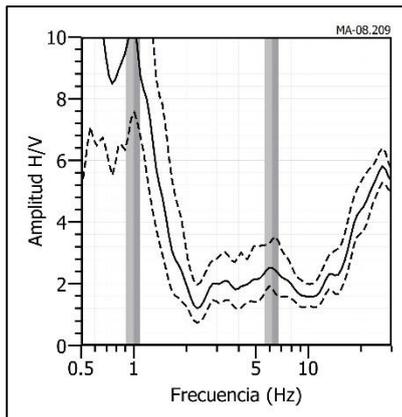


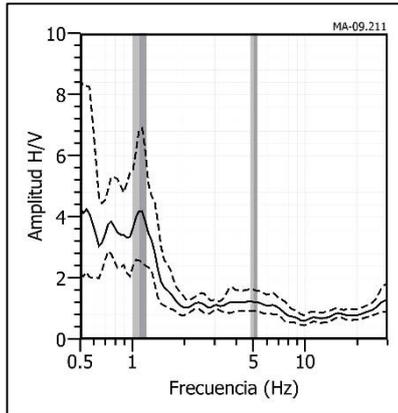
Figura 30. Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F0 ($F < 2.0\text{Hz}$): Para los puntos MA-06, MA-07 y MA-08, ubicados en el barrio La Victoria. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

Finalmente, los puntos MA-09, MA-10 y MA-13, ubicados por la plaza San Martín y el barrio La Victoria (Figura 31), responden a frecuencias de, 1.09, 0.95 y 0.94 Hz con amplificaciones de 3.9, 4.1 y 6.7 veces. Asimismo, se evidencia un segundo pico con frecuencias de 5.00, 5.01 y 9.75 Hz con amplificaciones de 1.8, 1.8 y 2.2 veces.

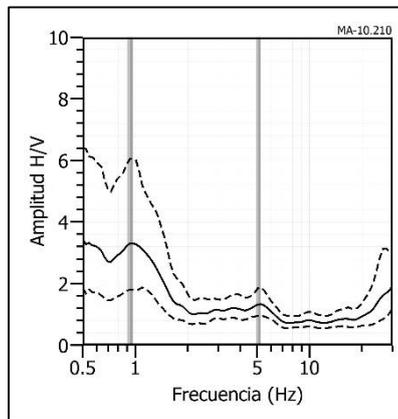
- **Frecuencias predominantes, F1:** En la Figura 29 se muestra el mapa con la distribución espacial de los valores de frecuencias F1 y de acuerdo con los resultados, se tiene el predominio de valores entre 2.28 a 15.33 Hz (0.1- 0.4 segundos). Estos valores se presentan de manera uniforme en el área de estudio a excepción de algunos puntos distribuidos aleatoriamente en la zona central, con amplificaciones menores a 2.5 veces principalmente. Se identifica un pico de frecuencia bien definido entre 3 a 6 Hz; con amplificaciones de hasta 7 veces, así mismo existen puntos donde los suelos no responden a ningún rango de frecuencia evidenciando mayor consolidación.

La Figura 32, muestra las razones espectrales (H/V) obtenidas para los puntos MA-23, MA-29 y MA-30, ubicados por el parque La Paz, presentan un pico bien definido con frecuencias predominantes de 3.16, 2.90 y 3.41 Hz y amplificaciones de 2.0, 3.2 y 2.9 veces, además los suelos responden a un segundo pico de frecuencias en los puntos MA-29 y MA-30 con frecuencias de 0.95 y 0.94 Hz con amplificaciones de 3.4 y 2.8 veces. Los puntos MA-27, MA-33 y MA-36, ubicados al oeste por la carretera Panamericana Norte (Figura 33), presentan un pico con frecuencias bien definido de, 6.06, 4.87 y 5.31 Hz con amplificaciones de 2.8, 7.1 y 4.5 veces respectivamente. Finalmente, las razones de los puntos MA-22, MA-35 y MA-40, ubicados el primero por el parque La Paz, el segundo y tercero ubicados por la carretera Panamericana Norte, no responden a ningún rango de frecuencias.

MA-09



MA-10



MA-13

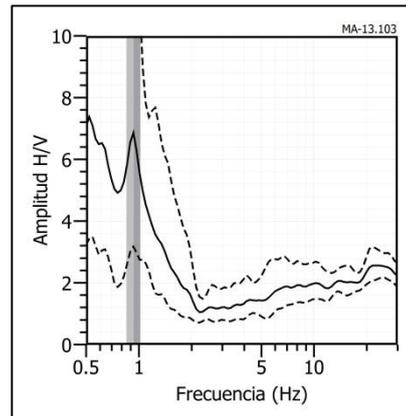
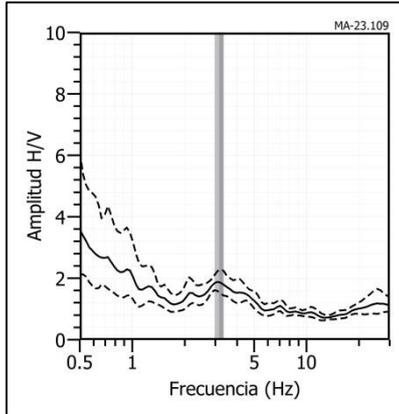
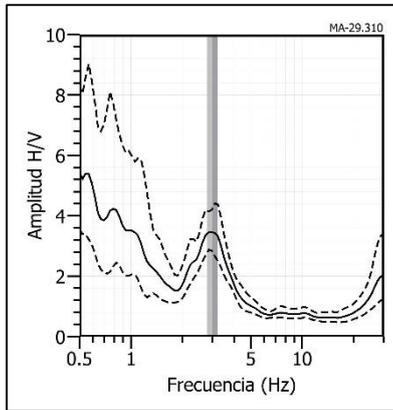


Figura 31. Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F0 ($F < 2.0\text{Hz}$): Para los puntos MA-09, MA-10 y MA-13, ubicados por la plaza San Martín y el barrio La Victoria. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

MA-23



MA-29



MA-30

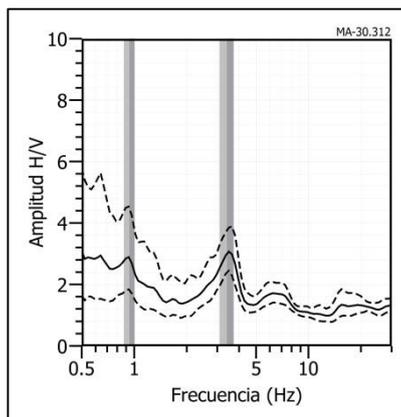
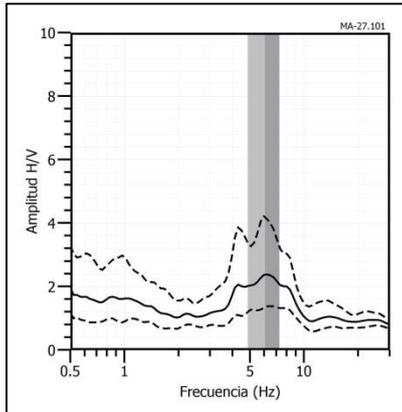
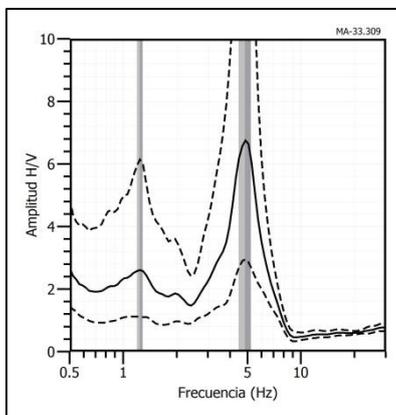


Figura 32. Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F1 ($F > 2.0\text{Hz}$): Para los puntos MA-23, MA-29 y MA-30, ubicados en el parque La Paz. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

MA-27



MA-33



MA-36

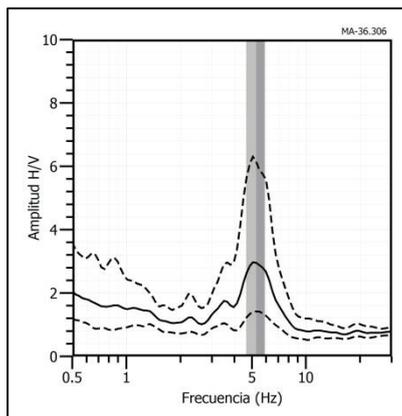


Figura 33. Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F1 ($F > 2.0$ Hz): Para los puntos MA-27, MA-33 y MA-36, al oeste por la carretera Panamericana Norte. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

Interpretación

El análisis de razones espectrales H/V en el área de estudio ha permitido observar la presencia de dos rangos de frecuencia F_0 ($F \leq 2.0$ Hz) y F_1 ($F > 2.0$ Hz), ambos rangos se presentan de manera uniforme en toda el área de estudio, el primer rango presenta las mayores amplificaciones y el segundo rango presenta amplificaciones moderadas a bajas.

Estos resultados evidencian que los suelos del área de estudio muestran sensibilidad, a dos rangos de frecuencias con altas amplificaciones. Los valores de amplificación de las frecuencias se presentan en casi toda el área de estudio, a excepción de la zona céntrica del C.P., estos resultados se asocian a la baja consolidación de suelo.

- **Periodos dominantes:** A partir de las frecuencias predominantes, se obtiene los periodos de respuesta del suelo y cuya distribución se muestra en la Figura 34. En este caso, en el área de estudio los suelos responden a periodos con valores entre 0.1 - 0.2 segundos, en toda el área de estudio; mientras que periodos de 0.3 - 0.4 segundos, en el barrio Fe y Alegría, parque La Paz y al norte del área de estudio. Asimismo, el área de estudio tiene sensibilidad a periodos de 0.7 a 1.3 segundos.

3.3.2. Perfiles sísmicos

A continuación, se describen las características observadas en los perfiles de velocidad de ondas de corte (V_s) obtenidos con los métodos sísmicos MASW – MAM. En la Figura 35, se presenta el perfil sísmico obtenido para la línea LS01-MA y en el Anexo 2, para las líneas restantes.

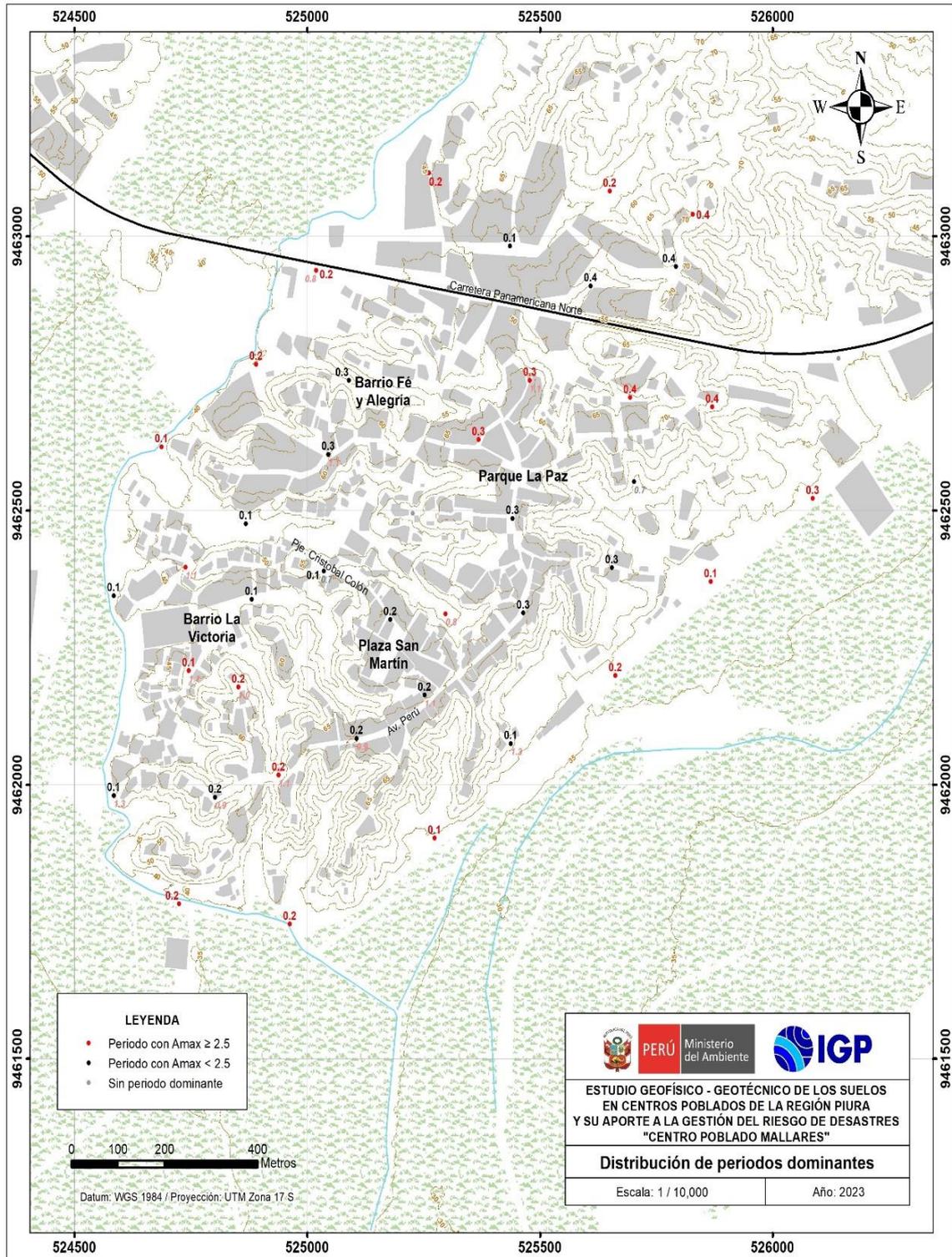


Figura 34. Distribución espacial de periodos dominantes del suelo para el C.P. Mallares. Los valores en rojo corresponden a puntos con amplificaciones mayores a 2.5 veces.

Línea sísmica LS01-MA: Ubicada en el barrio Fe y Alegría, siendo la profundidad de resolución promedio del perfil de 62 metros. Este perfil permite identificar la existencia de tres (3) capas sísmicas: La primera de 4 metros de espesor y velocidad V_s de 347 m/s corresponde a suelo intermedio (medianamente rígido), la segunda capa de 16 metros de espesor y velocidad V_s de 408 m/s sugiere un suelo rígido, la tercera capa de 14 metros de espesor y velocidad V_s de 602 m/s corresponde a suelo muy rígido. El semiespacio, con velocidad $V_s > 833$ m/s, sugiere roca moderadamente dura.

Línea sísmica LS02-MA: Ubicada en el barrio La Victoria, siendo la profundidad de resolución promedio del perfil de 54 metros. Este perfil permite identificar la existencia de cuatro (4) capas sísmicas: La primera de 4 metros de espesor y velocidad V_s de 209 m/s corresponde a suelo intermedio (medianamente rígido). La segunda capa de 5 metros de espesor y velocidad V_s de 387 m/s corresponde a suelo rígido. La tercera capa de 9 metros de espesor y velocidad V_s de 538 m/s junto a la cuarta capa, con espesor de 10 metros y velocidad de 770 m/s corresponde a suelo muy rígido. El semiespacio, con velocidad $V_s > 953$ m/s, sugiere roca moderadamente dura.

Línea sísmica LS03-MA: Realizada en la Av. Perú, altura de la antigua Posta, siendo la profundidad de resolución promedio del perfil de 80 metros. Este perfil permite identificar la existencia de cuatro (4) capas sísmicas: La primera de 4 metros de espesor y velocidad V_s de 391 m/s corresponde a suelo rígido, la segunda capa de 7 metros de espesor y velocidad V_s de 510 m/s sugiere un suelo muy rígido. La tercera capa con espesor de 5 metros y velocidad de 447 m/s, decrece la velocidad a suelo rígido. La cuarta capa con espesor de 13 metros y velocidad

de 544 m/s junto con el semiespacio, con velocidad $V_s > 617$ m/s, sugiere suelo muy rígido.

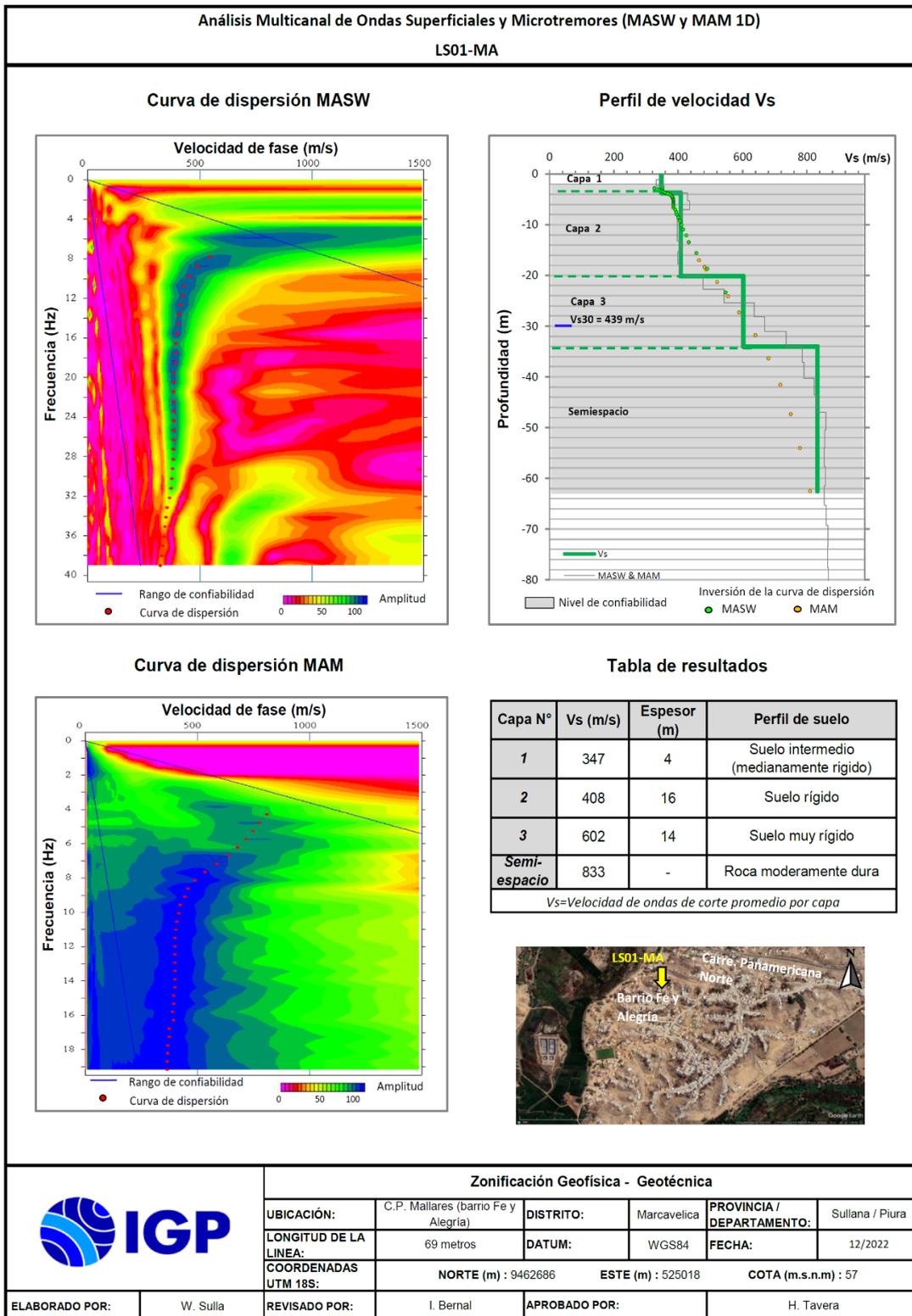


Figura 35. Resultados obtenidos con el ensayo MASW y MAM para la línea sísmica LS01-MA.

Línea sísmica LS04-MA: Ubicada por el parque La Paz, siendo la profundidad de resolución promedio del perfil de 68 metros. Este perfil permite identificar la existencia de cuatro (4) capas sísmicas: La primera de 2 metros de espesor y velocidad Vs de 295 m/s corresponde a suelo intermedio (medianamente rígido), la segunda capa de 7 metros de espesor y velocidad Vs de 437 m/s sugiere un suelo rígido. La tercera capa con espesor de 7 metros y velocidad de 295 m/s decrece la velocidad a suelo intermedio, pero la cuarta capa con espesor de 15 metros y velocidad de 404 m/s corresponde a suelo rígido. El semiespacio, con velocidad Vs > 703 m/s, sugiere suelo muy rígido.

En la Tabla 13, se resume los valores de velocidad de ondas de corte (Vs) para cada uno de los perfiles de suelo obtenidos en el área de estudio.

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

Línea Sísmica	Superficie Profundidad										VS30 (m/s)
	N° DE CAPA										
	1		2		3		4		Semiespacio		
	Vs (m/s)	Esp. (m)	Vs (m/s)	Esp. (m)	Vs (m/s)	Esp. (m)	Vs (m/s)	Esp. (m)	Vs (m/s)	Esp. (m)	
LS01-MA	347	4	408	16	602	14	833	-	-	-	439
LS02-MA	209	4	387	5	538	9	770	10	953	-	474
LS03-MA	391	4	510	7	447	5	544	13	617	-	499
LS04-MA	295	2	437	7	295	7	404	15	703	-	368

 Suelo blando (Vs < 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 (Vs > 800 m/s)

Interpretación

En el área urbana de Mallares, se ha identificado a nivel superficial suelos medianamente rígidos ($V_s=209$ a 347 m/s) de 2 a 4 metros de espesor, que disminuyen hacia el sur, por la Av. Perú (Antigua Posta), estos cubren a suelos rígidos, correspondiente a una capa intermedia de 5 a 29 metros de espesor.

En conjunto, los espesores de los suelos medianamente rígidos y rígidos van de 31 metros en dirección este, por el parque La Paz, y de 9 metros en dirección sureste, por el barrio La Victoria, ver Figura 36.

Por debajo se identifican los suelos muy rígidos a roca moderadamente dura, sugiriendo que el suelo superficial corresponde a depósitos aluviales de espesor variable.

Localmente, en los resultados obtenidos, por el parque La Paz, se ha identificado una capa de material menos rígido por debajo de uno con mayor rigidez, con espesor de 7 metros, asimismo, por la Av. Perú, se ha identificado una capa de material muy rígido sobre material de menor rigidez, con espesor de 7 metros, característica que puede influir en su respuesta ante un sismo.

Para el área de estudio, el V_{s30} calculado, entre 368 y 499 m/s, corresponde a suelos Tipo S2; es decir suelos rígidos (Adaptación de la clasificación de suelos, indicada en la Norma sismorresistente E.030, al área de estudio).

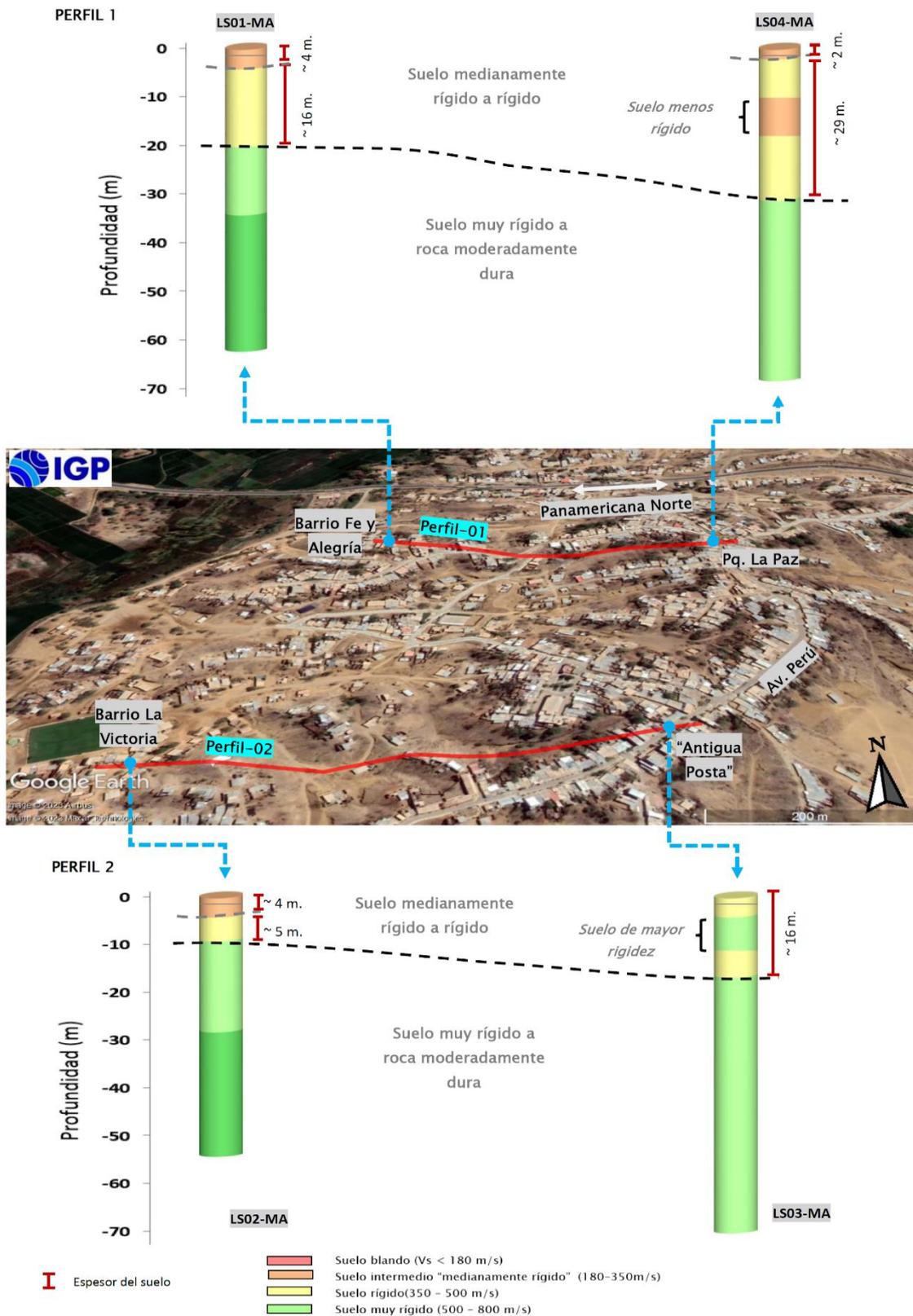


Figura 36. Perfiles de suelo elaborados a partir de MASW y MAM. En el perfil 1, las líneas sísmicas LS01-MA y LS04-MA y en el Perfil 2 las líneas LS02-MA y LS03-MA, todos sobre la imagen satelital.

3.3.3. Secciones geoelectricas

A continuación, se describen las características observadas en las secciones geoelectricas con resolución de hasta los 40 metros de profundidad. En la Figura 37, se presenta la sección obtenida para la línea LE01-MA y en el Anexo 2, para las secciones restantes.

- **Sección geoelectrica LE01-MA:** Realizada en el barrio Fe y Alegría sobre una longitud de 170 metros y en dirección NE-SO. En esta sección ha identificado la presencia de tres horizontes geoelectricos: El primer horizonte, presenta moderado contenido de humedad (80 a 300 Ohm-m), espesores de 5 a 8 metros. El segundo horizonte, a lo largo de toda la sección presenta alto contenido de humedad (< 80 Ohm-m), espesores de entre 25 a 35 metros. Además, en este horizonte se presenta una anomalía con mayor concentración de humedad. El tercer horizonte, presenta moderado contenido de humedad (80 a 300 Ohm-m).

- **Sección geoelectrica LE02-MA:** Realizada en el pasaje Cristóbal Colón sobre una longitud de 170 metros y en dirección NO-SE. En esta sección predominan depósitos con baja resistividad (< 80 Ohm-m), debido a la presencia de depósitos de la formación Chira con alto contenido de humedad, espesores mayores a 40 metros. Además, se presenta tres anomalías (delimitadas con líneas plomas) con menor concentración de humedad.

-**Sección geoelectrica LE03-MA:** Realizada en la Av. Perú sobre una longitud de 190 metros y en dirección NE-SO. En esta sección predominan los depósitos con baja resistividad (< 80 Ohm-m), espesores mayores a 40 metros. Además, a nivel superficial se

presentan una zona anómala con menores concentraciones de humedad al inicio de la sección (extremo noreste).

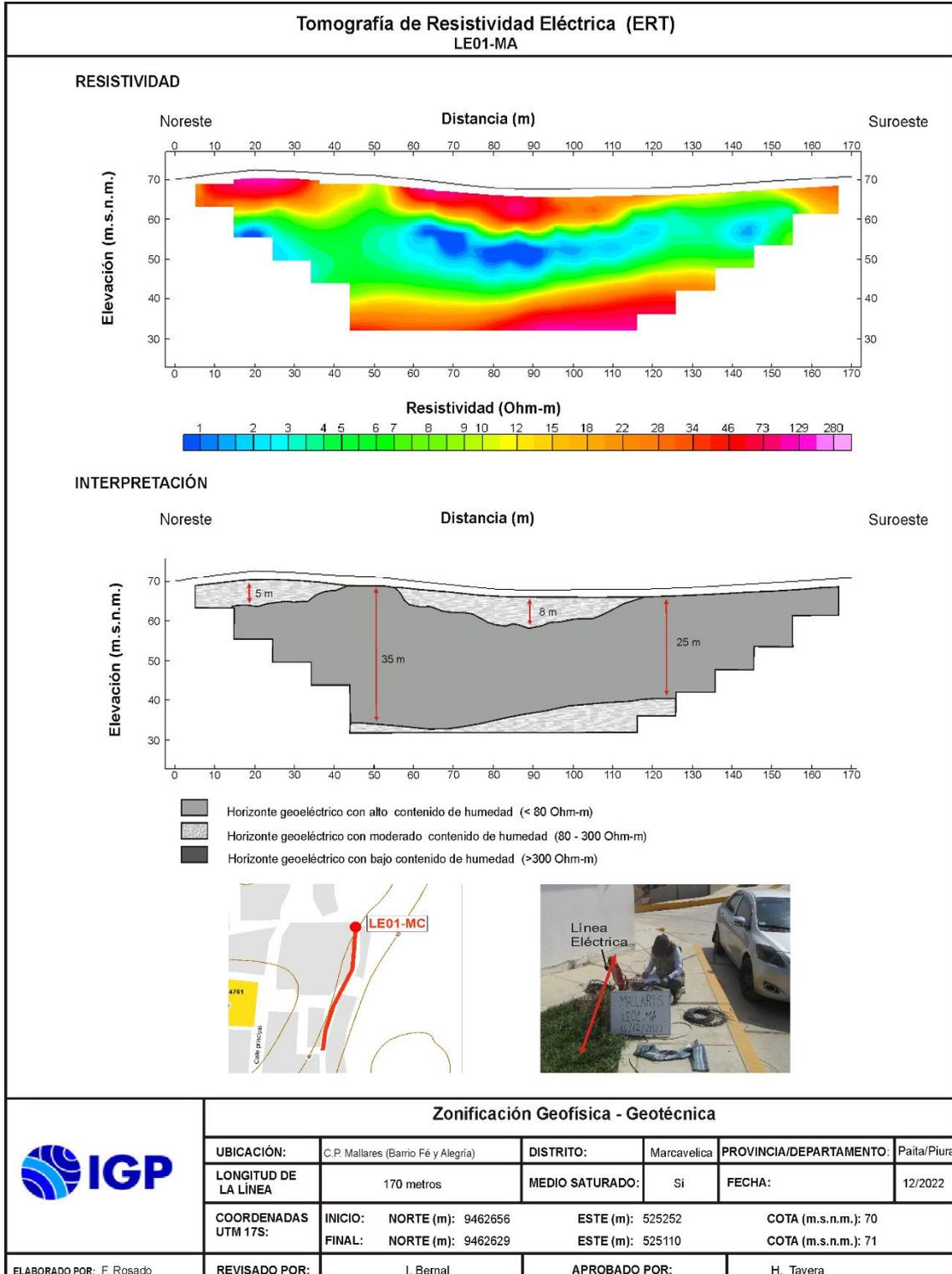


Figura 37. Resultado de tomografía eléctrica para la línea LE01-MA.

En el área urbana del C.P. Mallares, se ha identificado la presencia de capas con suelos húmedos y/o saturados con las siguientes características:

- Hacia el norte del área de estudio (barrio Fe y Alegría), se ha identificado la presencia de alto contenido de humedad, con espesores en el orden de 30 metros, por debajo de estos suelos se presenta un horizonte con moderado contenido de humedad (Figura 38).

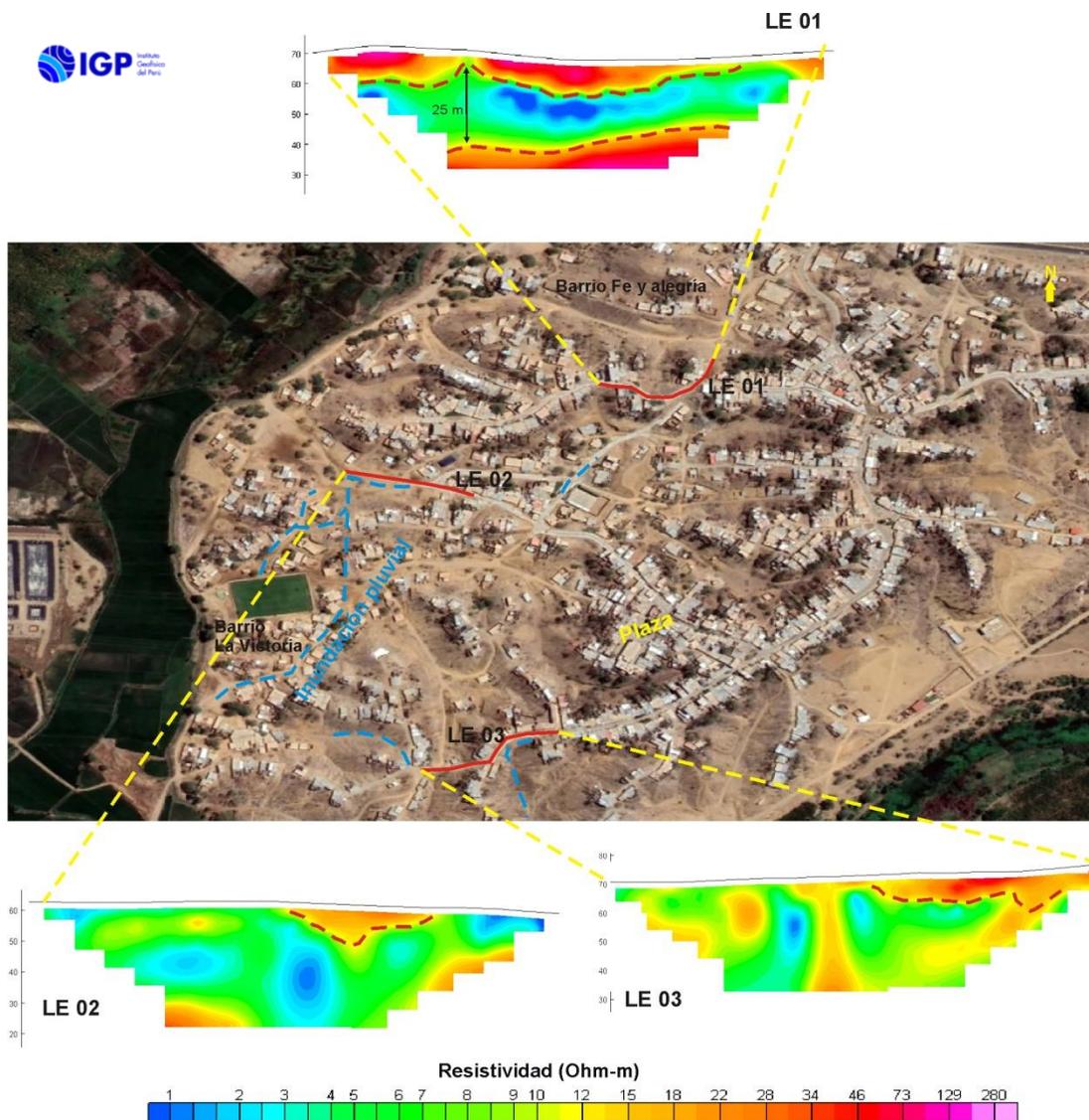


Figura 38. Ubicación y orientación de las líneas de tomografía eléctrica, realizadas al norte, centro y sur (LE01-MA, LE02-MA y LE03-MA). Las líneas interlineadas amarillas indican la orientación de las secciones y las líneas interlineadas rojas delimitan la presencia de alto contenido de humedad.

- Hacia el centro y sur del área de estudio se ha identificado la presencia de un horizonte con alto contenido de humedad esto se puede relacionar con la proximidad a las áreas agrícolas y zonas de inundación pluvial.

3.3. INTEGRACIÓN DE RESULTADOS

El área urbana del C.P. Mallares se emplaza sobre relieves elevados (lomas) y en menor medida sobre una terraza aluvial con ligeras ondulaciones y zonas de baja pendiente que se consideran como áreas de inundación pluvial. Los parámetros físicos del suelo muestran las siguientes características:

Los suelos del área urbana de Mallares responden predominantemente a periodos cortos que varían entre 0.1 a 0.2 segundos que se distribuyen de manera uniforme sobre todo el área de estudio y de 0.3 a 0.4 segundos distribuidos en el extremo noreste.

Los resultados obtenidos con los métodos geofísicos permiten evidenciar que los suelos están conformados por capas de suelos medianamente rígidos a rígidos, con espesores que varían entre 9 y 31 metros, siendo el menor identificado hacia el oeste de Mallares (por el barrio La Victoria) y los mayores en dirección este (por el parque La Paz a la altura de la antigua Posta), y velocidades de ondas de corte Vs30 que varía entre 368 y 499 m/s, correspondiendo a suelos Tipo S2; es decir suelos rígidos.

Los periodos dominantes se encuentran relacionados con las condiciones físico-dinámicas a través de la relación $T_0=4H/V_s$, donde T_0 es el periodo dominante, H el espesor del estrato y V_s es la velocidad de

onda de corte. Asumiendo velocidades de 368 m/s y 499 m/s para las ondas de corte (V_s) y periodos de 0.1 a 0.4 segundos, se estima la existencia de una capa sedimentaria de 9 a 49 metros de espesor, estos espesores se correlacionan con los modelos de velocidad obtenidos con los arreglos sísmicos. Asimismo, estos suelos presentan alto contenido de humedad (el cual se encuentra desde los 3 metros de profundidad), incrementando la complejidad del comportamiento dinámico de los suelos ante sismos (Figura 39).

Estas condiciones, evidencian que el C.P. Mallares se encuentra ubicada en una zona que presenta moderado peligro por sismo, debido a que sus suelos experimentarían altos niveles de sacudimiento que afectarían directamente a los elementos expuestos en su superficie.

4. ZONIFICACIÓN GEOFÍSICA – GEOTÉCNICA

El mapa de Zonificación geofísica-geotécnica para el C.P. de Mallares, 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 sismos.

Asimismo, las características dinámicas del suelo y sus propiedades mecánicas han permitido identificar en el área de estudio, de acuerdo a la adaptación de la clasificación de los perfiles del suelo indicados en la Norma de Construcción Sismorresistente E.030, la existencia de suelos de Tipo S1 y S2; es decir, suelos muy rígidos a rígidos que responden a periodos de 0.1 a 0.4 segundos con amplificaciones moderadas.

Para el área urbana del C.P. Mallares, se propone la siguiente Zonificación Geofísica-Geotécnica (Figura 39).

-ZONA I: Conformados por suelos muy rígidos, con una capa delgada de depósitos recientes con espesores de 4 a 9 metros, con velocidades de ondas de corte V_s de 209 a 391 m/s para la capa superficial y de hasta 770 m/s a la profundidad de 30 metros. El periodo de vibración natural del suelo varía entre 0.1 a 0.2 segundos con amplificaciones relativas de hasta 5 veces. Se presenta un alto contenido de humedad, en la zona sur. Asimismo, se observa una muy baja capacidad de carga admisible $<1.0 \text{ Kg/cm}^2$ hasta un metro y medio de profundidad. Estas características corresponden a Suelos Tipo S1, que corresponden a muy rígidos a rígidos.

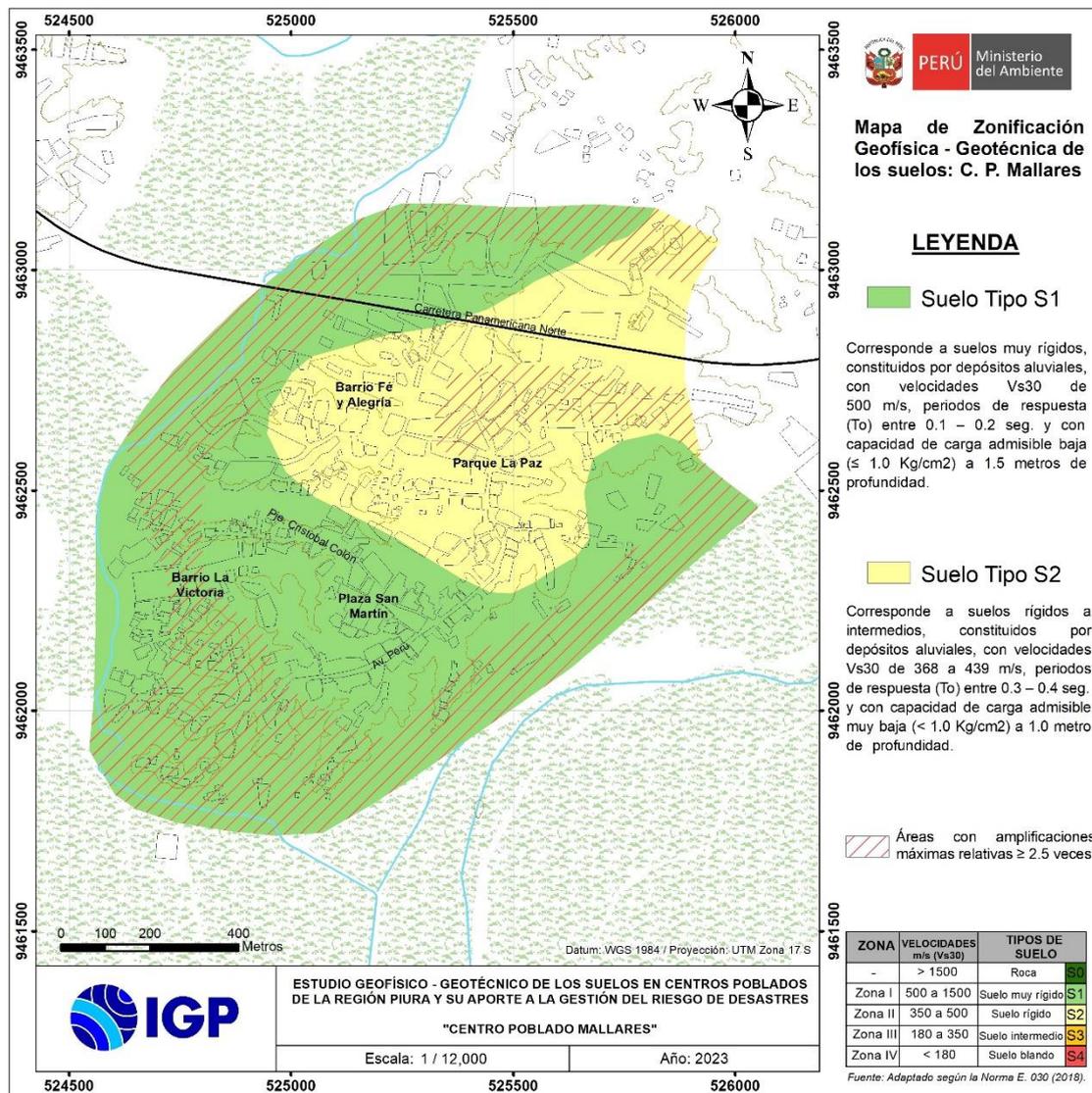


Figura 39. Mapa de zonificación geofísica-geotécnica de los suelos del C.P. Mallares. Las líneas inclinadas en rojo delimitan zonas con mayor amplificación.

-ZONA II: Conformadas por suelos rígidos, con una capa de depósitos recientes con espesores de 20 a 31 metros, con velocidades de ondas de corte Vs de 295 a 347 m/s para la capa superficial y de hasta 408 m/s a la profundidad de 30 metros. El periodo de vibración natural del suelo varía entre 0.1 a 0.4 segundos con amplificaciones relativas de hasta 6 veces. Se presenta un alto contenido de humedad en el barrio Fe y Alegría. Asimismo, se observa una muy baja capacidad de carga admisible $< 1.0 \text{ Kg/cm}^2$ hasta un metro de profundidad. Estas características corresponden

a Suelos Tipo S2, que corresponde a suelos rígidos a medianamente rígidos.

CONCLUSIONES

El análisis y evaluación geofísica - geotécnica de los suelos del C.P. Mallares ubicada en el distrito de Marcavelica, provincia de Sullana - Piura, ha permitido llegar a las siguientes conclusiones:

- Los eventos geodinámicos identificados en el área urbana del C.P. Mallares, son las inundaciones pluviales que afectan las inmediaciones de la calle Sáenz Peña y del campo municipal del sector La Victoria. En estas zonas se observa la acumulación de aguas y ausencia de drenaje pluvial.
- En el área urbana del C.P. Mallares se identifica cinco tipos de suelos: Gravas mal graduadas (GP-GC) que ocupan el 1% de toda el área de estudio, arena arcillosa con limos (SC-SM) que ocupa el 2%, arcillas inorgánicas de baja plasticidad (CL-ML) han sido identificadas en el extremo sur de mallares ocupando 3%, limo inorgánico de alta plasticidad (MH) ocupando 6% del área de estudio y finalmente materiales de origen antrópico (desmorte). El 87% restante del área de estudio corresponde a afloramientos de roca lutita de la Fm. Chira.
- Se ha determinado que para la profundidad de 1 metro y 1.5 metros, los suelos de cimentación del C.P. Mallares presentan capacidad de carga admisible muy baja (menor a 1.00 kg/cm²).
- Según su comportamiento dinámico, los suelos del C.P. Mallares responden a un rango de periodo de 0.1- 0.2 segundos, en casi toda el área de estudio y un segundo rango de periodo de 0.3 - 0.4, en el barrio Fe y Alegría, parque La Paz, evidenciando la presencia de depósitos de variado espesor. Estos resultados evidencian un

mayor riesgo para edificaciones y/o infraestructuras que responden en este rango de periodos, por la posibilidad de que experimenten un fenómeno de resonancia suelos-estructura.

- Los resultados permiten identificar que los suelos en el área urbana del C.P. Mallares están diferenciados en 4 capas sísmicas y un semi-espacio. Los suelos medianamente rígidos corresponden a la primera capa con espesores de 4 a 9 metros ($V_s = 209$ a 347 m/s), predominan suelos rígidos y muy rígidos, en la segunda y hasta la tercera capa sísmica ($V_s = 387$ a 770 m/s) y con espesores entre 9 a 31 metros. Para el área de estudio se obtuvo velocidades de ondas de corte V_{s30} que fluctúan entre 368 y 499m/s, que corresponden a suelos rígidos.
- Los suelos del área de estudio presentan alto contenido de humedad a profundidades que fluctúa entre 2 y 4 metros, conforme se avanza al sur presentan mayor contenido de humedad, con espesores de hasta 40 metros, por debajo de estos suelos se presenta un horizonte con moderado contenido de humedad.
- Los resultados obtenidos para el área urbana de Mallares a partir de sus características físicas y dinámicas del suelo, han permitido identificar, de acuerdo con las consideraciones indicadas en la Norma de Construcción Sismorresistente E.030, adaptadas para el área de estudio, la existencia de suelos Tipo S1 y S2; es decir, suelos muy rígidos a rígidos.
- A la ocurrencia de un sismo de moderada a mayor magnitud, los suelos del C.P. Mallares pueden experimentar niveles altos de

sacudimiento, por la presencia de suelos blandos con altos niveles de humedad a nivel superficial.

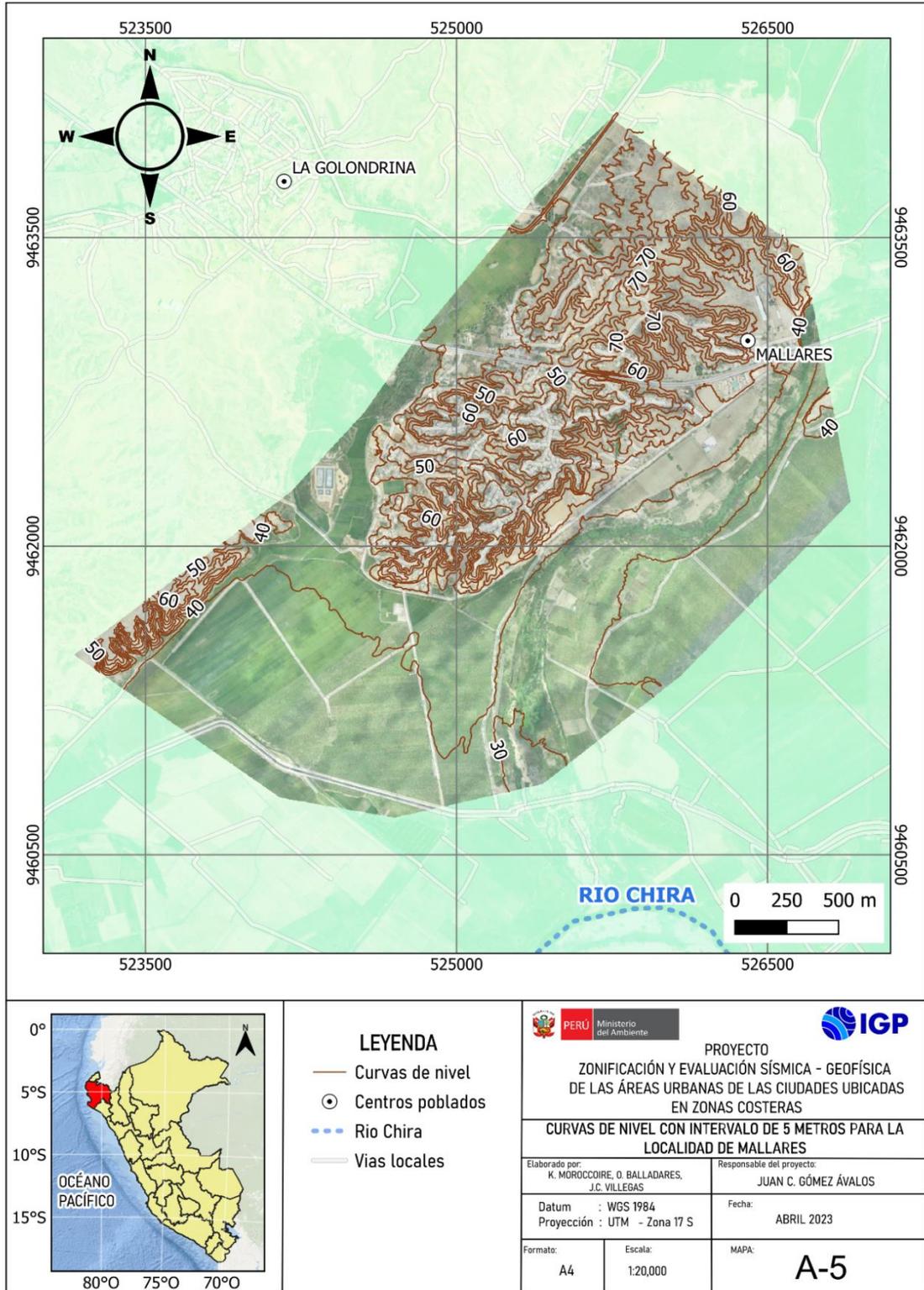
REFERENCIAS

- Alfaro et al. (2014). Estimación de umbrales de precipitaciones extremas para la emisión de avisos meteorológicos, Boletín Técnico SENAMHI, pp135.
- Amézquita-Jiménez, J., Jalixto-Cuyo, R., Pampas-Quiroga, J., (2012), Teorías de capacidad de carga y sus limitaciones en suelos compresibles.
- Bernal Isabel. (2006), "Microzonificación sísmica de la ciudad de Tlaxcala, México", Tesis de Maestría, Posgrado en Ciencias de la Tierra, UNAM.
- Braja Das, (2011) - Principles of Foundation Engineering, Seven Edition, pág. 139-140.
- Gobierno Regional de Piura - Laboratorio de mecánica de suelos (2022). Estudio de mecánica de suelos con fines de cimentación para el proyecto: "Elaboración de los estudios de evaluación de riesgo de desastres - EVAR para la formulación del plan regional integral de reconstrucción ante el sismo de 30 de julio del 2021.
- Instituto Geofísico del Perú, (2021): Sismo de Sullana del 30 de julio del 2021 (M6.1) – Aspectos sismo tectónicos.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (2017): Directorio nacional de centros poblados. Censos nacionales 2017 XII de población, VII de vivienda y III de comunidades indígenas.
- INGEMMET, (1999), Cuadrángulo geológico de Sullana hoja 10-b.
- 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
- Loke, M. (2004). Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys.
- Nakamura Y., (1989): A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtrem or on the ground surface, Quaterly Report of the Railway Technology Research Institute, 30, 25–30.

- Norabuena, E, Leffler-Griffin, L., Mao, A. Dixon, T. (1998). Space geodetic observations of Nazca-South America Convergence. *Science*, 279, 358-362.
- Norma Técnica de edificaciones E.030. 2018. Aprobada por resolución ministerial N°355-2018-VIVIENDA.
- Norma Técnica de suelos y cimentaciones E.050. 2018. Aprobada por decreto supremo N° 011-2006-VIVIENDA.
- Norma Técnica de edificaciones E.060 concreto armado 2009. Aprobada por decreto supremo N°015-2004-VIVIENDA.
- SESAME, (2004): Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations. Measurements, processing and interpretation, European Commission – Research General Directorate Project No.EVG1-CT-2000–00026 SESAME, report D23.12.
- Silgado, E. (1978): Historia de los sismos más notables ocurridos en el Perú (1513-1974). INGEMMET. Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 3, 130 p.
- Tavera, H., Agüero, C y Fernández, E. (2016). Catálogo general de isosistas para sismos peruano. Instituto Geofísico del Perú.
- Terzaghi, K. Peck, B., G. & Mesri, G., (1948) – Soil mechanics in engineering practice, New York: Wiley
- Villegas-Lanza, JC., Chlieh, M., Cavalié, O., Tavera, H., Baby, P., Chire-Chira, J., Nocquet, J-M. (2016). Active tectonics of Peru: Heterogeneous interseismic coupling along the Nazca megathrust, rigid motion of the Peruvian Sliver, and Subandean shortening accommodation. *JGR*, 10.1002/2016JB013080
- Villota H, (2005). Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de tierras. Segunda edición.

ANEXOS 1
Información topográfica

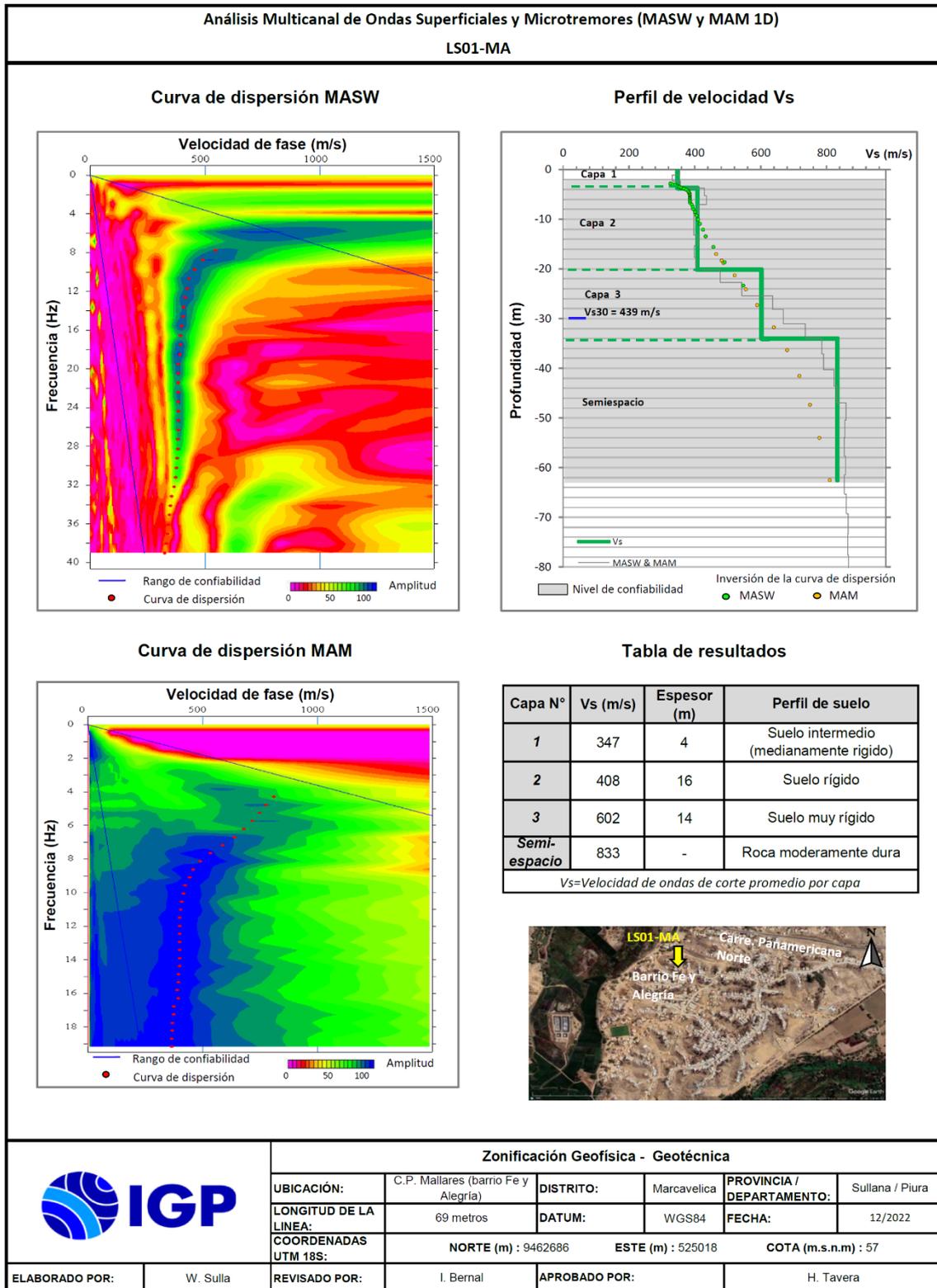
Curvas de nivel

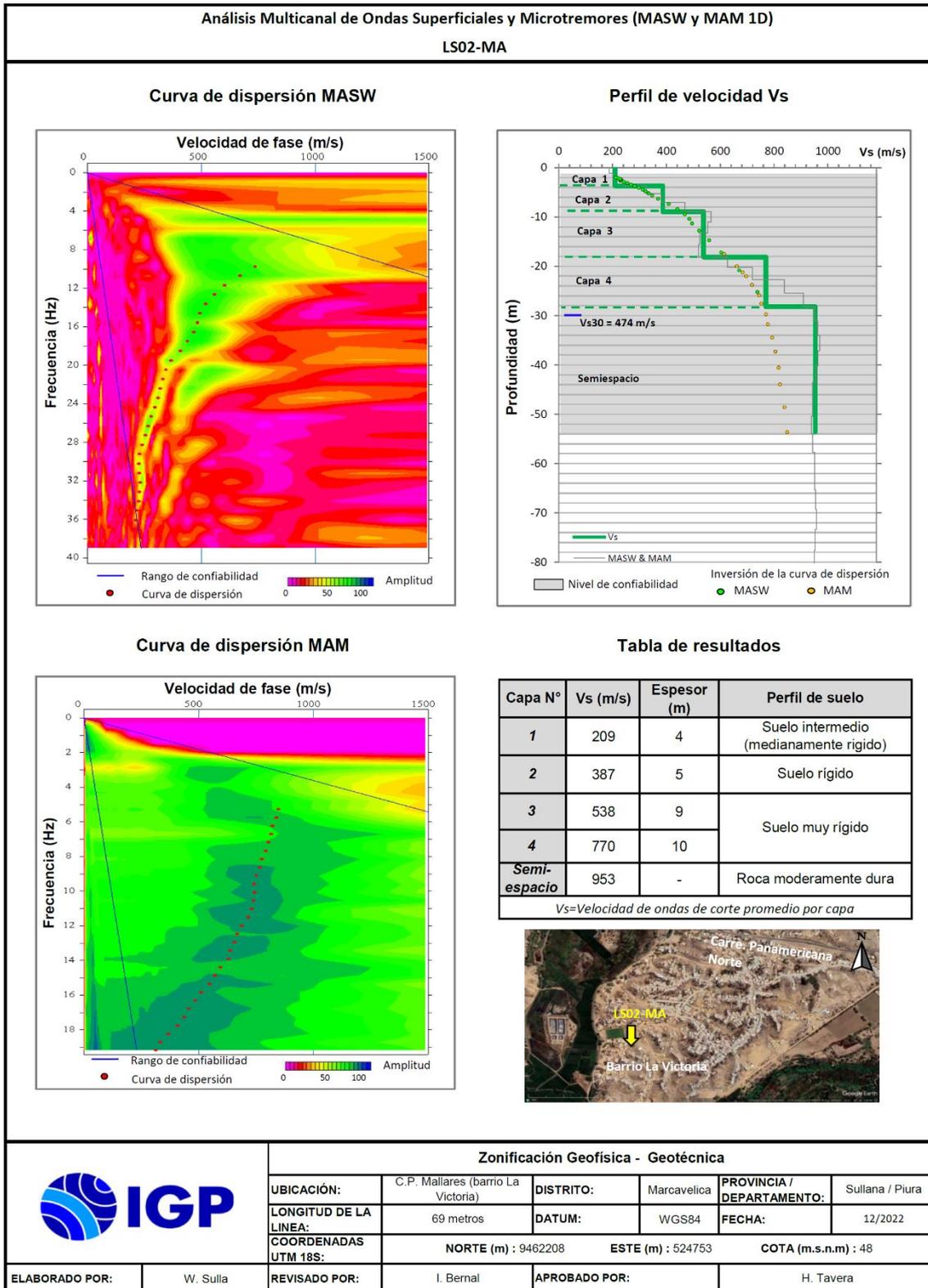


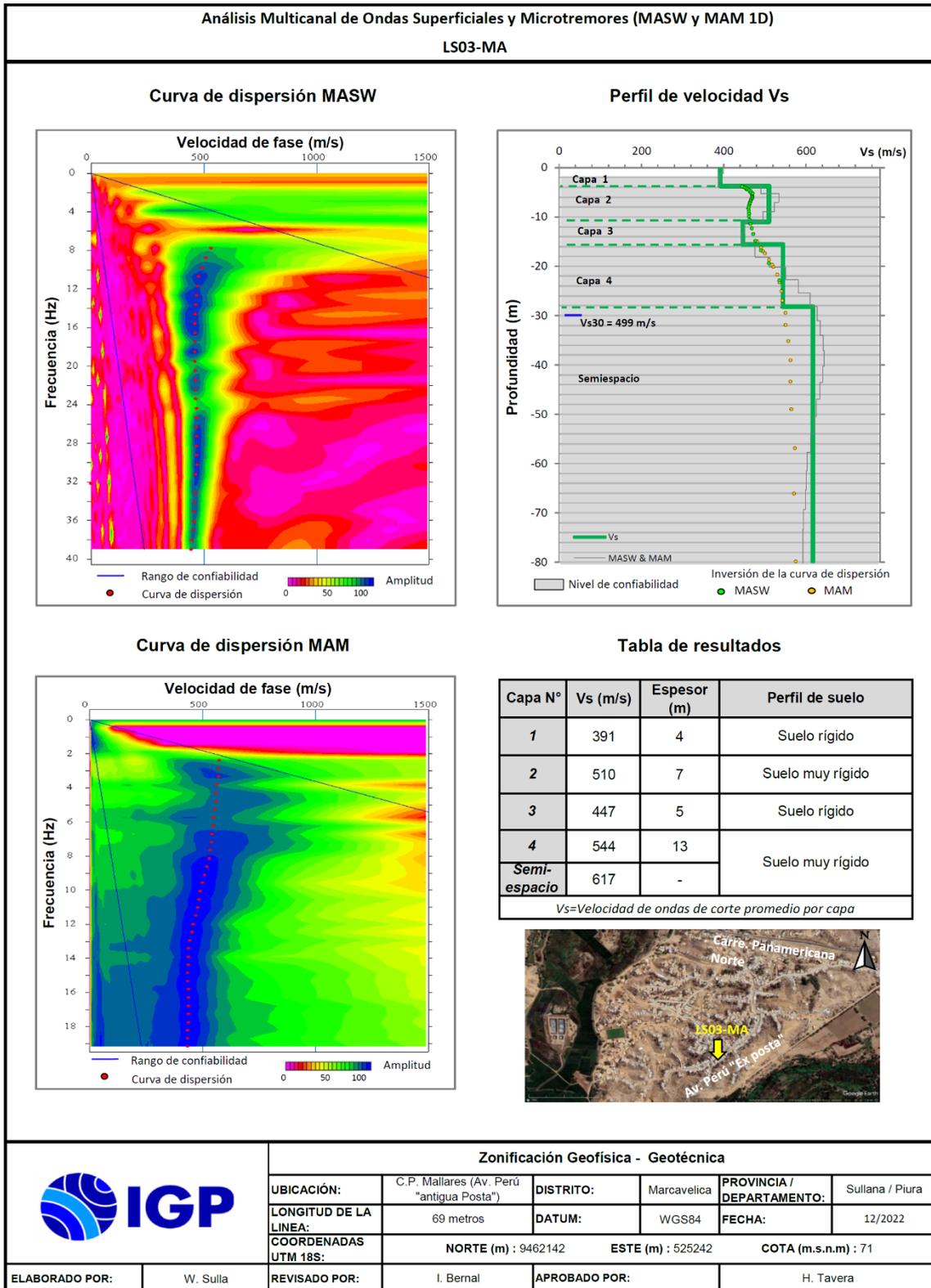
ANEXOS 2

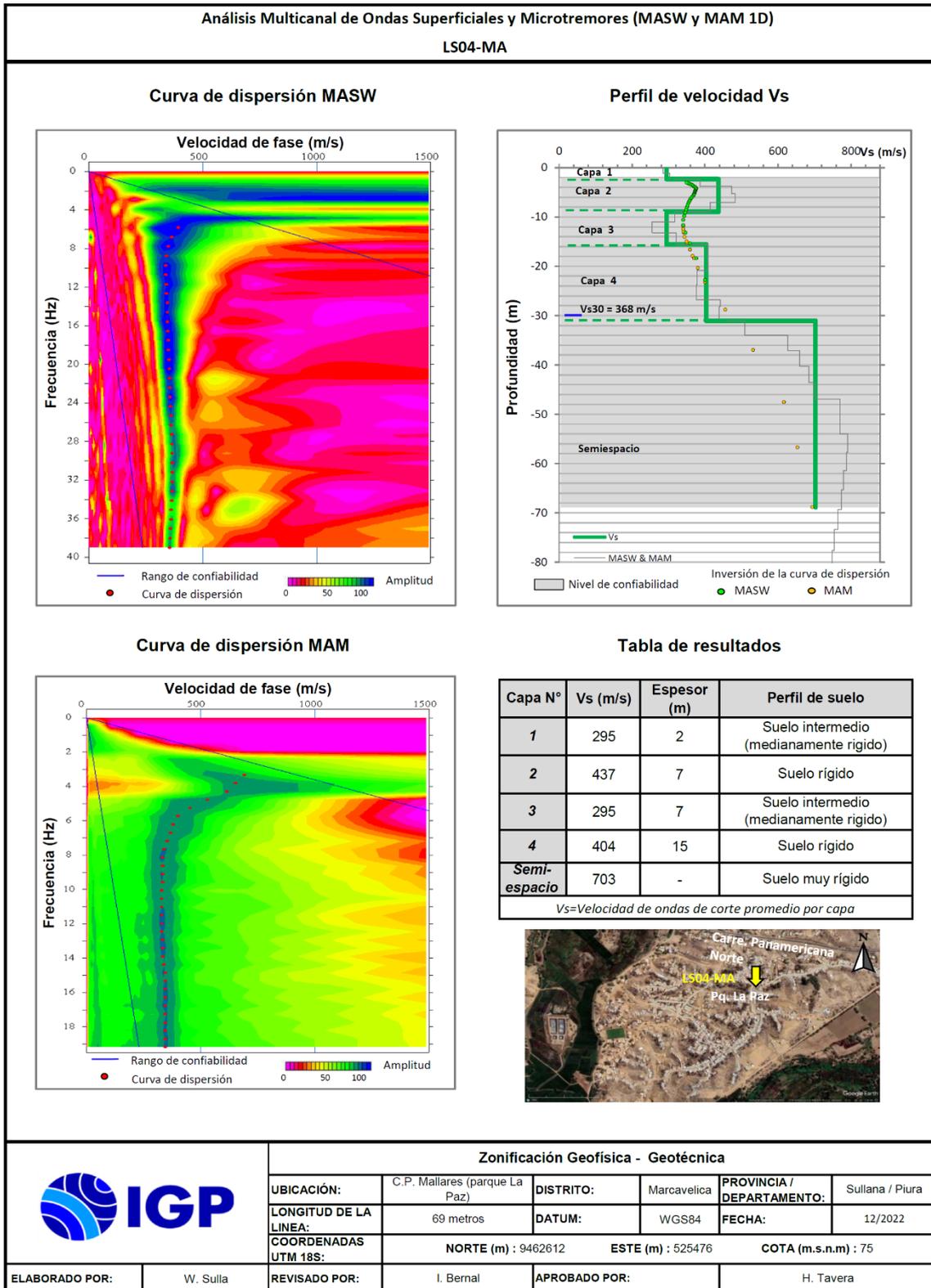
Información Geofísica

Perfiles sísmicos MASW - MAM









Secciones de Tomografía Eléctrica

