



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. MACACARÁ

Informe Técnico N°005-2024/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. Macacará.

Autores

Isabel Bernal, Wilfredo Sullá, Hernando Tavera, Juan Carlos Gómez

Participantes:

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

Cartografía: Javier Oyola.

Evaluación Geodinámica-Geotécnica: Roberth Carrillo/ Segundo Ortiz/ Juan Carlos Gómez/ Juan Carlos Villegas /Keiko Morocchoire / Oscar Balladares.

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 APORTE A LA GESTIÓN DEL RIESGO
DE DESASTRES**

– CENTRO POBLADO MACACARÁ –

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. GEOTECNIA

3. EVALUACIÓN GEOFÍSICA

3.1. METODOLOGÍA

3.1.1. Razones espectrales (H/V)

3.1.2. Ondas superficiales y microtemores

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 DE LOS SUELOS

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 Macacará – Región Piura, a partir de la aplicación de técnicas geofísicas y geotécnicas. Los resultados obtenidos evidencian el predominio de suelos aluviales medianamente rígidos (V_{s30} : 240-350 m/s) con espesores de hasta 50 metros y con alto contenido de humedad. Estos suelos responden a periodos de vibración entre 0.2 y 0.6 segundos, y de manera sectorizada los valores más bajos se presentan en el extremo sur del área de estudio.

A profundidades de 1.0 a 1.5 metros, los suelos presentan capacidad de carga admisible de baja a muy baja ($<1.0 \text{ Kg/cm}^2$). De acuerdo con estas características en el C.P. Macacará predominan suelos Tipo S3 y S2; es decir, suelos intermedios 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, el área de estudio puede experimentar niveles altos de sacudimiento por la presencia de suelos intermedios a blandos con alto contenido 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 asientan 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 Macacará (provincia de Paita, 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 generar el Mapa de Zonificación Geofísica – Geotécnica para el Mapa de Zonificación Geofísica – Geotécnica para el centro poblado Macacará, ubicado en el distrito La Huaca, provincia de Paita en la región Piura. Mediante el uso de diferentes métodos geofísicos, geológicos y geotécnicos se recolectará información para que en conjunto, se determine los diferentes parámetros físicos del suelo (velocidades, espesores, resistividad, periodos de respuesta, amplificaciones, capacidad portante y otros) con el fin de conocer su comportamiento dinámico a la ocurrencia de sismos. Los resultados a obtenerse en este estudio deben ser considerados por las autoridades locales como insumo para la gestión de desastres, a fin de realizar una adecuada planificación territorial y expansión urbana.

1.2. Área de estudio

El C.P. Macacará se ubica en el distrito de La Huaca, provincia de Paita - región Piura (Figura 1), en las coordenadas geográficas 4.91°S y 80.86°O, a una elevación de 46 m.s.n.m. Asimismo, tiene una población

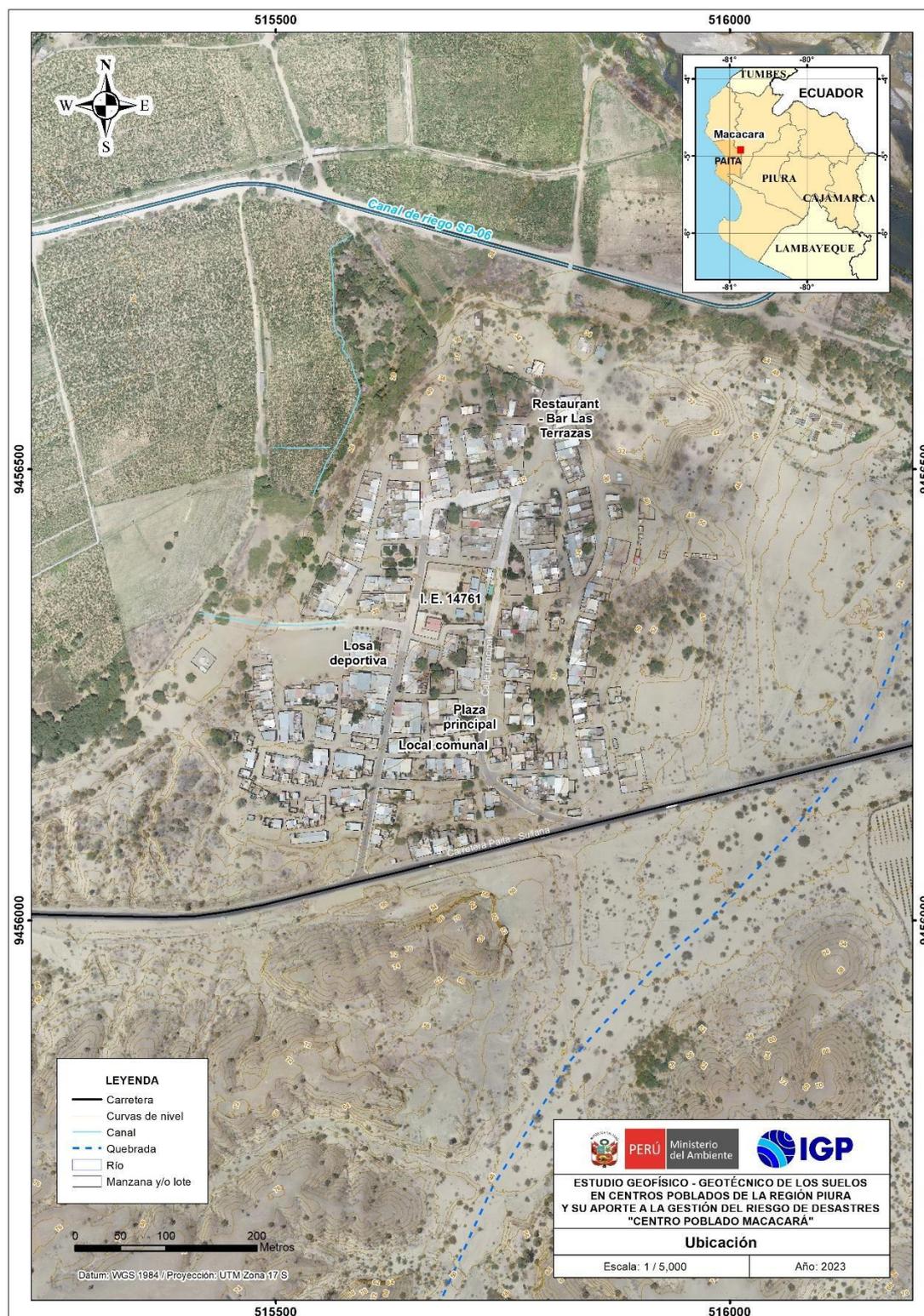


Figura 1. Ubicación geográfica del Centro Poblado de Macacará.

de 662 habitantes (INEI, 2017) y su superficie se caracteriza por presentar un relieve llano ubicado a una distancia promedio de 540 metros al sur del cauce del río Chira. 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:

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

Dónde:

di = espesor de cada uno de los estratos n .

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

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 centro poblado de Macacará, 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 La Esperanza que se ubica a 22.00 km al noreste 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 histórico máximo de precipitaciones el día 24 de mayo de 1983 con valores de 134.80 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 de Macacará con profundidades máximas de 3.0 m; 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 de Macacará, los suelos están compuestos por arena mal graduada, arena limosa y limo de baja plasticidad. Asimismo, los

parámetros geotécnicos obtenidos mediante el ensayo de corte directo indican que el ángulo de fricción de los suelos presenta valores entre 18° y 21°, así mismo no presenta cohesión. Según el estudio geotécnico, la capacidad portante de Macacará, presenta capacidad de carga admisible muy baja menor a 1.0 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:

Depósitos coluviales (Q-co): Consiste en materiales recientes que han sido meteorizados y depositados sobre laderas, están conformados por clastos de roca, arena, limos y arcillas. Esta unidad se sitúa en el extremo sureste del centro poblado de Macacará (Figura 2).



Figura 2. Depósitos coluviales situados en el extremo sureste del centro poblado de Macacará.

Depósitos fluviales (Q-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 existentes en el área estudiada. Esta unidad geológica está conformada por arenas de

grano medio a grueso, presenta baja plasticidad y se encuentran a lo largo del cauce del río Chira.

Depósitos eólicos (Q-e): Están conformados por arenas de grano medio a fino, color gris a beige que han sido transportados por la acción de los vientos. Se ha identificado formando mantos en las laderas de las lomas, montañas y en la llanura costanera (Figura 3).

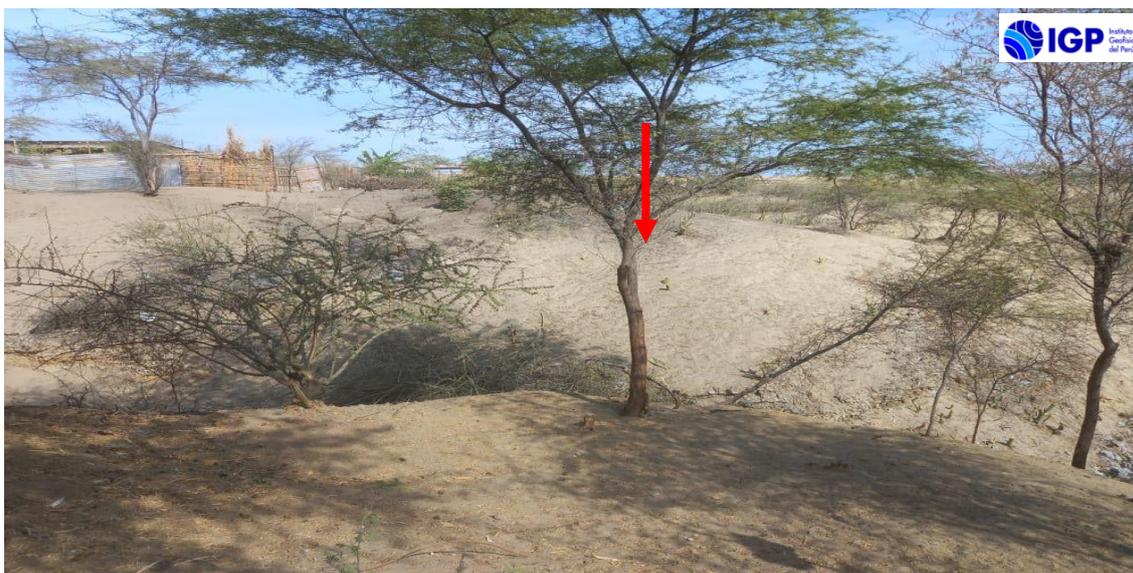


Figura 3. Depósitos eólicos que forman mantos de arena cubriendo las laderas de montañas, lomas y llanura costanera.

Depósitos aluviales (Q-al): Se encuentran conformados por materiales heterogéneos como gravas, arenas y limos que fueron transportados por flujos de agua a través de quebradas y torrenteras hasta ser depositados en zonas de baja pendiente. La unidad ha sido reconocida en el margen izquierdo del río Chira, zona donde se asienta el área urbana del centro poblado Macacará (Figura 4).



Figura 4. Depósitos aluviales conformados por materiales heterogéneos. Sobre esta unidad geológica se asienta el área urbana del centro poblado de Macacará.

Formación Chira (Te-ch): Constituida por conglomerados con areniscas arcósicas de grano fino y color amarillo, son poco compactas y deleznales; debido a ello son susceptibles a erosión. Está unidad fue identificada en el extremo sur y sureste del área urbana del centro poblado de Macacará, (Figura 5).



Figura 5. Conglomerados de la Formación Chira situados en el extremo sur y sureste del área urbana del centro poblado de Macacará.

Las unidades geológicas antes descritas han sido cartografiadas en campo y representadas en el mapa geológico de la Figura 6.

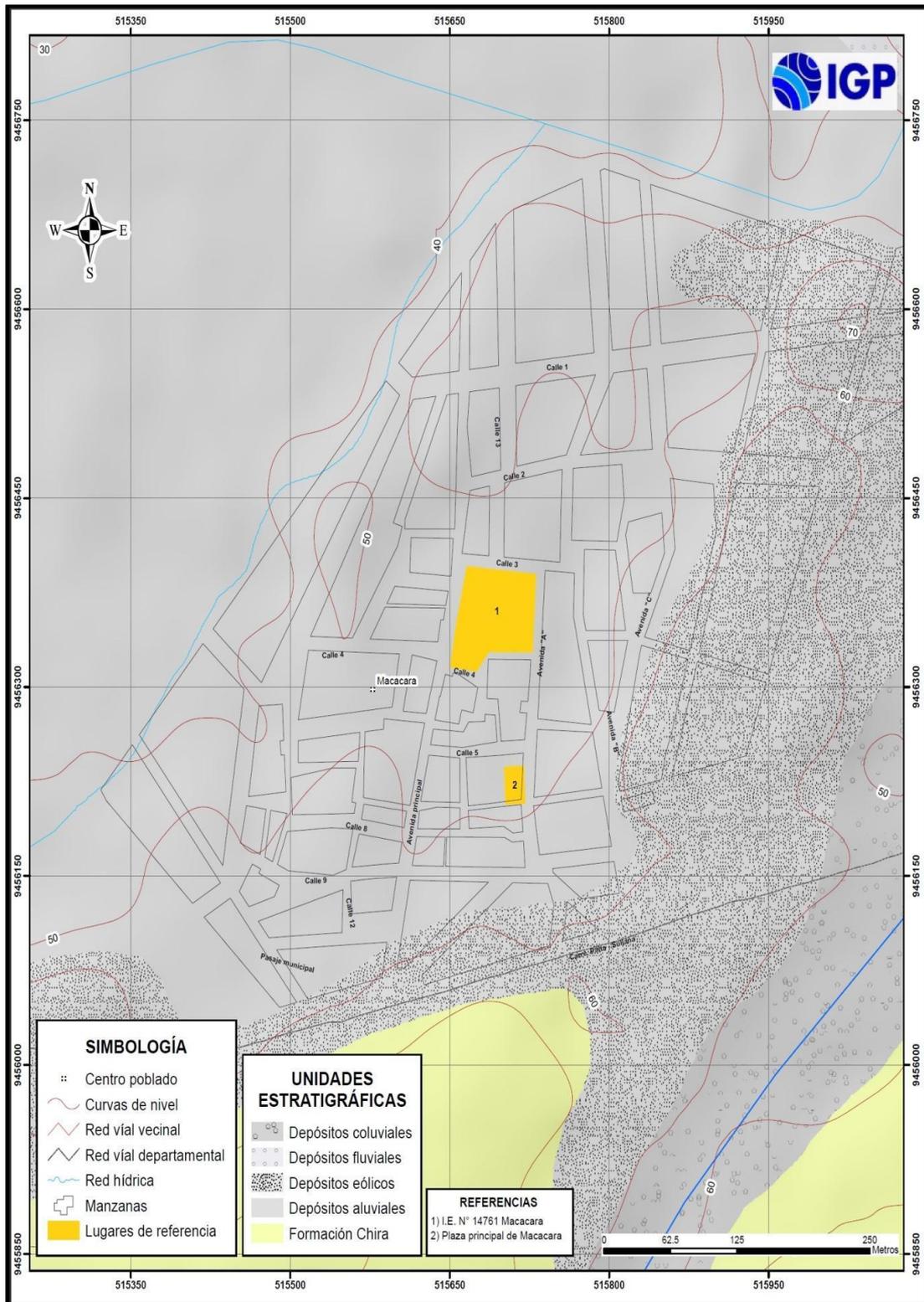


Figura 6. Mapa geológico del área urbana del centro poblado de Macacará.

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 presenta el levantamiento topográfico del área de estudio identificando las elevaciones y pendiente del terreno y se describe las unidades geomorfológicas identificadas en el área urbana del C.P. Macacar 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 Macacar, 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 16 cm/pixel, los cuales indican que el área de mayor elevación (30 a 88 m.s.n.m.) se encuentra en la zona centro y sur comprendiendo el centro poblado, la zona propiedad de la agroindustrial y la localidad de Santa Rosa, mientras que la zona de menor elevación (12 a 25 m.s.n.m.) se distribuye principalmente al norte del centro poblado abarcando áreas de cultivo y cauce del río Chira (Figura 7).
- Ortomosaico: se ha generado a partir de la unión de 1,174 mosaicos que han sido corregidos por distorsiones ocasionados por el relieve y los objetos presentes en Macacar. La imagen permite identificar las áreas de cultivo identificadas abarcan un área aproximada de 222 ha, el casco urbano 48 ha y el cauce del río Chira 16 ha, estas zonas representan el 30%, 6.5% y 2.1% del área total respectivamente.

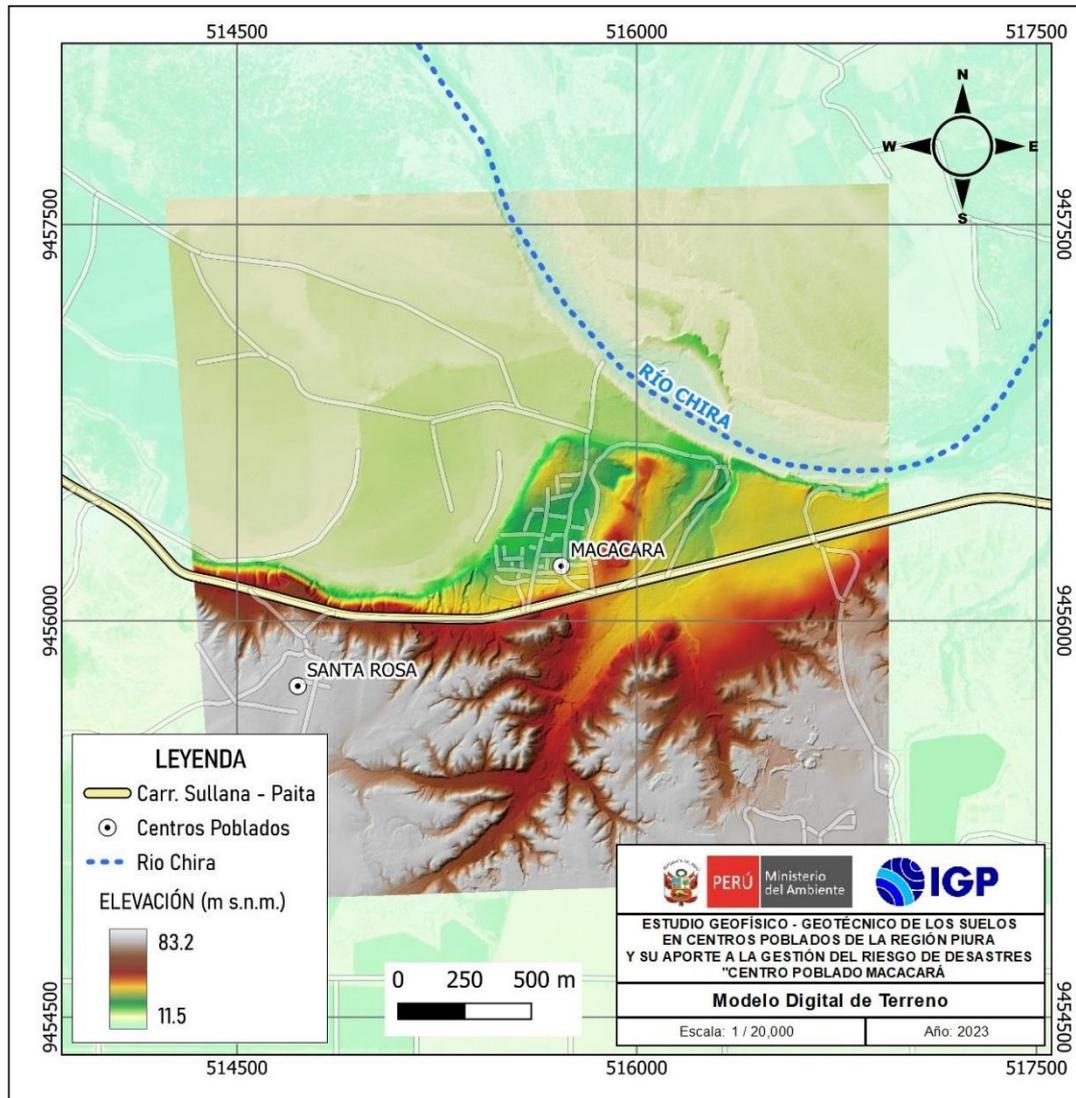


Figura 7. Modelo digital de terreno del C.P. Macacará.

- Mapa de curvas de nivel: A partir del Modelo Digital del Terreno, se ha generado un mapa de curvas de nivel para el distrito de Macacará con un intervalo de 5 metros a escala 1: 20000. Los resultados muestran elevaciones máximas las zonas ubicadas al sur del casco urbano de Macacará y áreas de cultivo.

En el Anexo 1, se presenta el mapa de ortomosaico y de curvas de nivel con intervalos de 2 metros, para el C.P. Macacará.

2.2.2. Unidades geomorfológicas

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

Terraza aluvial baja: Las terrazas aluviales son plataformas, más o menos extensas y continuas que tienen un desnivel de entre 4 a 8 metros con respecto al cauce del río. Esta unidad geomorfológica es de origen depositacional, presenta una pendiente $< 10^\circ$, así como una geometría irregular y drenaje variable. Sobre esta geoforma se practica la actividad agrícola de la zona (Figura 8).



Figura 8. Terraza aluvial baja (reciente) se practica la actividad agrícola en el centro poblado de Macacará, se encuentra limitado por el cauce fluvial del río Chira.

Terraza aluvial media: Consiste en una superficie llana o planicie antigua de origen aluvial, más o menos extenso y continua, con ligeras ondulaciones y depresiones que tiene un desnivel de entre 5 a 10 metros con relación a la terraza aluvial baja. Sobre esta unidad se asienta el área urbana del centro poblado Macacará (Figura 9).



Figura 9. Sobre esta terraza aluvial media se asienta el área urbana del centro poblado de Macacará, presenta ligeras ondulaciones y depresiones.

Ladera: Unidad geomorfológica constituida por superficies elevadas que conforman terrenos inclinados de montañas, lomas, etc., presentan pendientes superiores a los 20° de inclinación. Esta unidad se sitúa a 310 metros al suroeste de la I.E N° 14761 Macacará (Figura 10).

Lomada: Se refiere a superficies elevadas de forma alargada con pendientes inferiores a 35° . Esta geoforma se sitúa a 340 metros al sur, suroeste y sureste de la I.E. N° 14761 Macacará (Figura 11).

Colina: Se refiere a superficies elevadas cuya base presenta forma redondeada y pendientes menores a 20° de inclinación. Esta geoforma se sitúa a 250 metros al este de la I.E. N° 14761 Macacará, (Figura 12).



Figura 10. Laderas con pendientes superiores a los 20° de inclinación, situados a 310 metros., al suroeste de la I.E N° 14761 Macacará.



Figura 11. Lomada situada a 340 metros al sur, suroeste y sureste de la I.E. N° 14761 Macacará.

Abanico aluvial: Constituye una superficie inclinada con forma de abanico que resulta de la depositación de materiales erosionados desde las cabeceras de las subcuencas y transportados pendiente abajo por flujos aluviónicos antiguos a lo largo de las quebradas. Esta unidad geomorfológica ha sido identificada a 400 metros al sureste de la I.E. N° 14761 Macacará (Figura 13).



Figura 12. Colina situada a 250 metros al este de la I.E. N° 14761 Macacará.



Figura 13. Abanicos aluviales situados a 400 metros al sureste de la I.E. N° 14761 Macacará, la flecha indica la dirección del flujo.

Cauce fluvial: También llamado lecho fluvial, es el canal excavado por el flujo de agua de un río y los sedimentos que éste 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 Chira que discurre sus aguas en dirección predominante este – oeste y se sitúa a 510 metros al noreste de la I.E. N° 14761 Macacar, (Figura 14).



Figura 14. Cauce fluvial representado por el río Chira y se encuentra situado a 510 metros al sureste de la I.E. N° 14761 Macacar.

Finalmente, en la Figura 15 se presenta el mapa de geomorfología del área urbana del centro poblado de Macacar, elaborado con la información recolectada en campo.

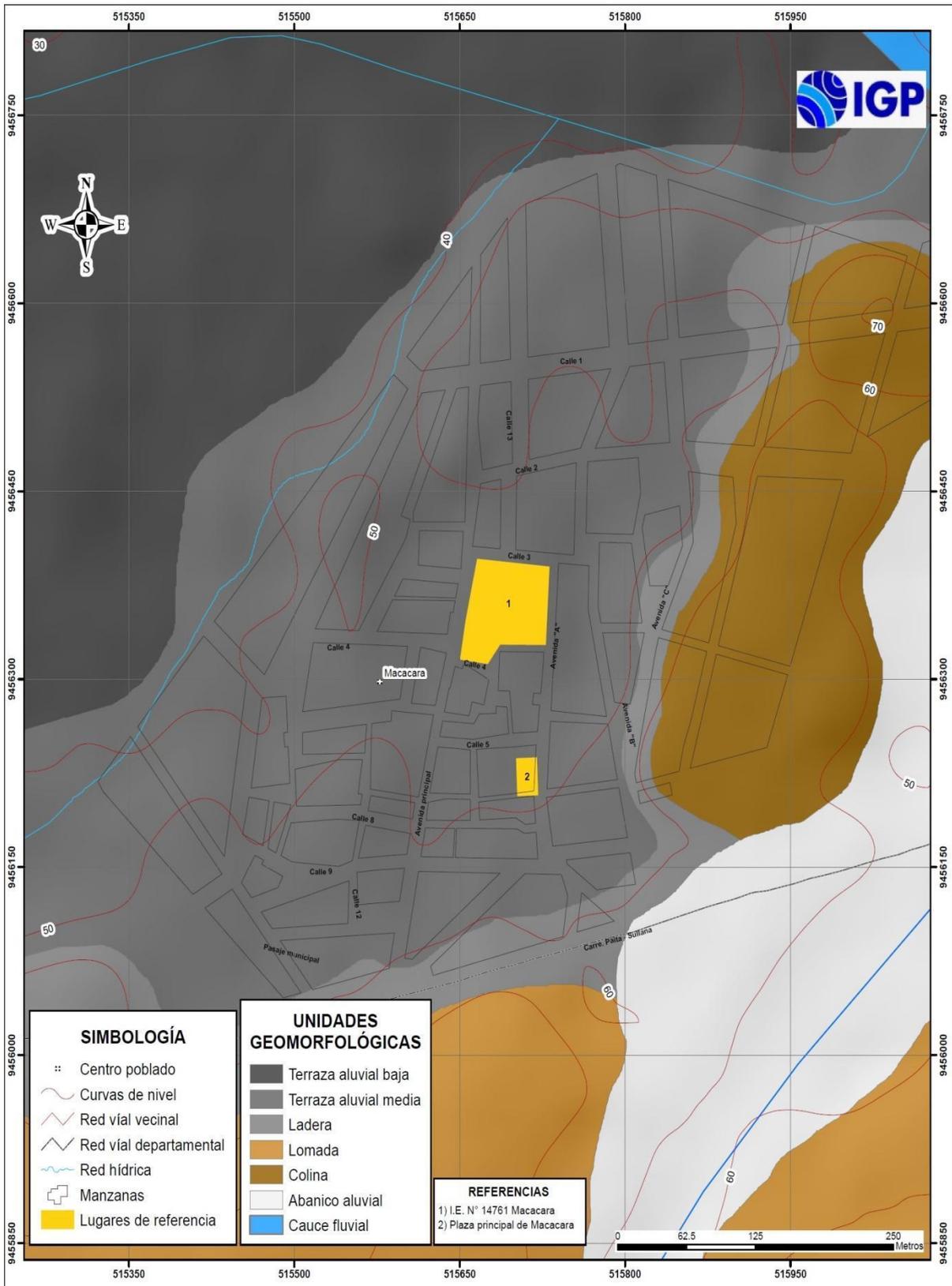


Figura 15. Mapa geomorfológico del área urbana del centro poblado de Macacará, donde la población se asienta principalmente sobre una terraza aluvial media (antigua).

2.3.- GEODINÁMICA

La Geodinámica estudia los fenómenos geológicos 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 centro poblado de Macacará, se identificaron los siguientes eventos geodinámicos:

Las zonas fueron identificadas y delimitadas con ayuda de la coordinadora de Defensa Civil y pobladores de la zona, los mismos que fueron reconocidos en las inmediaciones de la avenida Principal, pasaje municipal, Avenida A, pasa por la calle 4 hasta desembocar en un canal de regadío hasta el río Chira, afectando a la I.E. N° 14761 Macacará y las viviendas aledañas a la avenida principal, avenida “A”, pasaje municipal y calle 4. Esto ocurre debido a la acumulación y evacuación de las aguas en la parte baja de los techos de las viviendas, ya que no cuentan con un sistema de drenaje perimetral y evacua las aguas hacía la calle, pudiendo afectar a las viviendas aledañas (Figuras 16 al 18).

Flujo de lodos y/o detritos: Es un flujo canalizado muy rápido a extremadamente rápido que contiene detritos (concentraciones de partículas finas de limos y arcillas) saturados y plásticos (índice plástico > 5%), cuyo contenido de agua es significativamente mayor al del material fuente. Estos tipos de eventos se generan por la remoción de los materiales que han sido erosionados en las partes altas de las cuencas hidrográficas y transportadas a través del cauce de las quebradas hasta la parte baja, donde son depositados en forma de abanicos.



Figura 16. La avenida principal del centro poblado de Macacará es afectada por el fenómeno inundaciones pluviales debido a que presenta pendiente desde la carretera Sullana – Paita, afectando la I.E. N° 14761 Macacará.



Figura 17. Las aguas pluviales discurren por la avenida de acceso principal a Macacará hasta acumularse frente a la I.E. N° 14761 Macacará, además, parte de ella discurre por la calle 4 hasta desembocar en un canal de regadío. Las flechas indican la dirección del flujo.



Figura 18. Inundaciones pluviales (flechas celestes) que afectan las viviendas aledañas a la avenida de acceso principal a Macacará, cuyas aguas de escorrentía afectan la I.E. N° 14761 Macacará. Las flechas indican la dirección del flujo.

Las zonas susceptibles a la ocurrencia de flujos de lodos han sido identificadas en la quebrada situada en el extremo sureste del área urbana del centro poblado de Macacará y durante su activación podrían afectar áreas agrícolas y la carretera que une Paita – Sullana (Figura 19).



Figura 19. Quebrada situada en el extremo sureste del área urbana del centro poblado de Macacará, donde discurren los flujos de lodos afectando la carretera Paita – Sullana y áreas agrícolas.

Finalmente, se cartografiaron y generó un mapa geodinámico en el área urbana del centro poblado de Macacará (Figura 20).

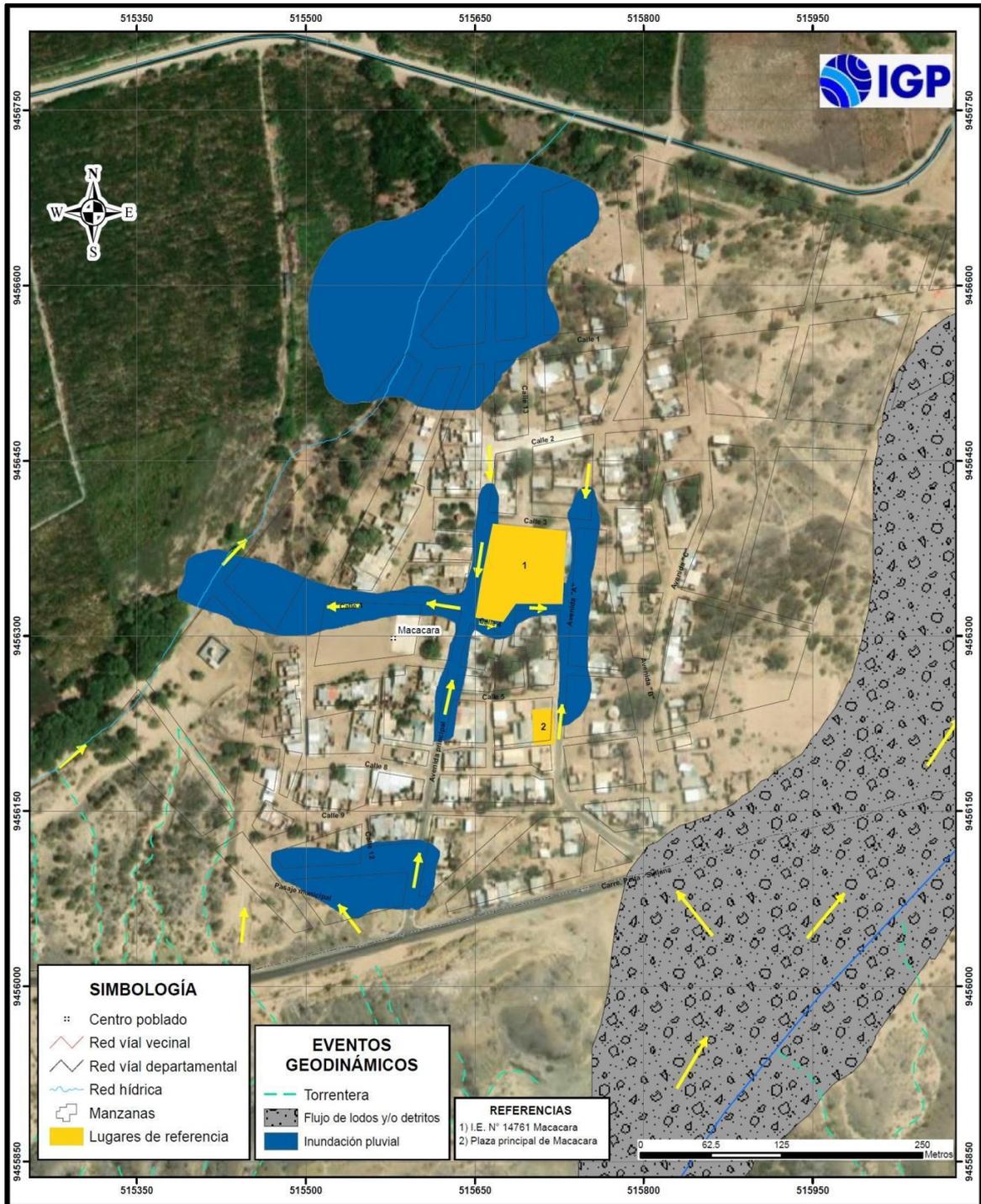


Figura 20. Con la información recopilada en campo, se generó un mapa geodinámico de Macacará, delimitando las áreas susceptibles a inundaciones pluviales y los flujos de lodos y/o detritos.

2.3. GEOTECNIA

Con la finalidad de obtener la información geotécnica de los suelos de cimentación en el área urbana de Macacará, 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 cuatro 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.

Tabla 2. Ubicación de calicatas.

CALICATA	UTM ESTE (m)	UTM NORTE (m)	PROFUNDIDAD (m)	NIVEL FREÁTICO A (m)
CM - 01	515659	9456491	3.00	NP
CM - 02	515787	9456554	3.00	NP
CM - 03	515757	9456385	3.00	NP
CM - 04	515528	9456310	3.00	NP
CM - 05	515742	9456238	3.00	NP

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

Clasificación de suelos SUCS en el área urbana de Macacará: 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 03 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 21):

- Suelos tipo SP: Están conformados por arena mal graduada, con contenido de humedad de entre 1.10 – 12.60 %, constituyen suelos de compacidad muy suelta a suelta, no presentan plasticidad (debido a la escasa presencia de material fino). Presentan densidad natural de rangos 1.424 hasta 1.431 gr/cm³. Abarcan el 76% del área urbana del centro poblado de Macacará.

Tabla 3. Clasificación SUCS de los suelos de las 5 calicatas elaboradas en el área urbana de Macacará.

CALICATA	PROFUNDIDAD (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	3.00	N.P.	0.00	98.00	2.00	-	-	-	1.10	SP	Arena mal graduada
CM - 02	3.00	N.P.	0.00	97.00	3.00	-	-	-	12.60	SP	Arena mal graduada
CM - 03	3.00	N.P.	0.00	27.20	72.80	31.00	25.00	6.00	6.20	ML	Limo de baja plasticidad
CM - 04	3.00	N.P.	0.00	63.60	36.40	22.00	19.00	3.00	5.90	SM	Arena limosa
CM - 05	3.00	N.P.	0.00	98.10	1.90	-	-	-	1.70	SP	Arena mal graduada

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

- Suelos tipo SM: Están conformados por arena limosa, con contenido de humedad de 5.90%, constituyen suelos de compacidad suelta a medianamente compacta, presentan muy baja plasticidad (debido a la escasa presencia de material fino). Presenta densidad natural de 1.338 gr/cm³. Abarcan el 16% del área urbana del distrito del centro poblado de Macacará.

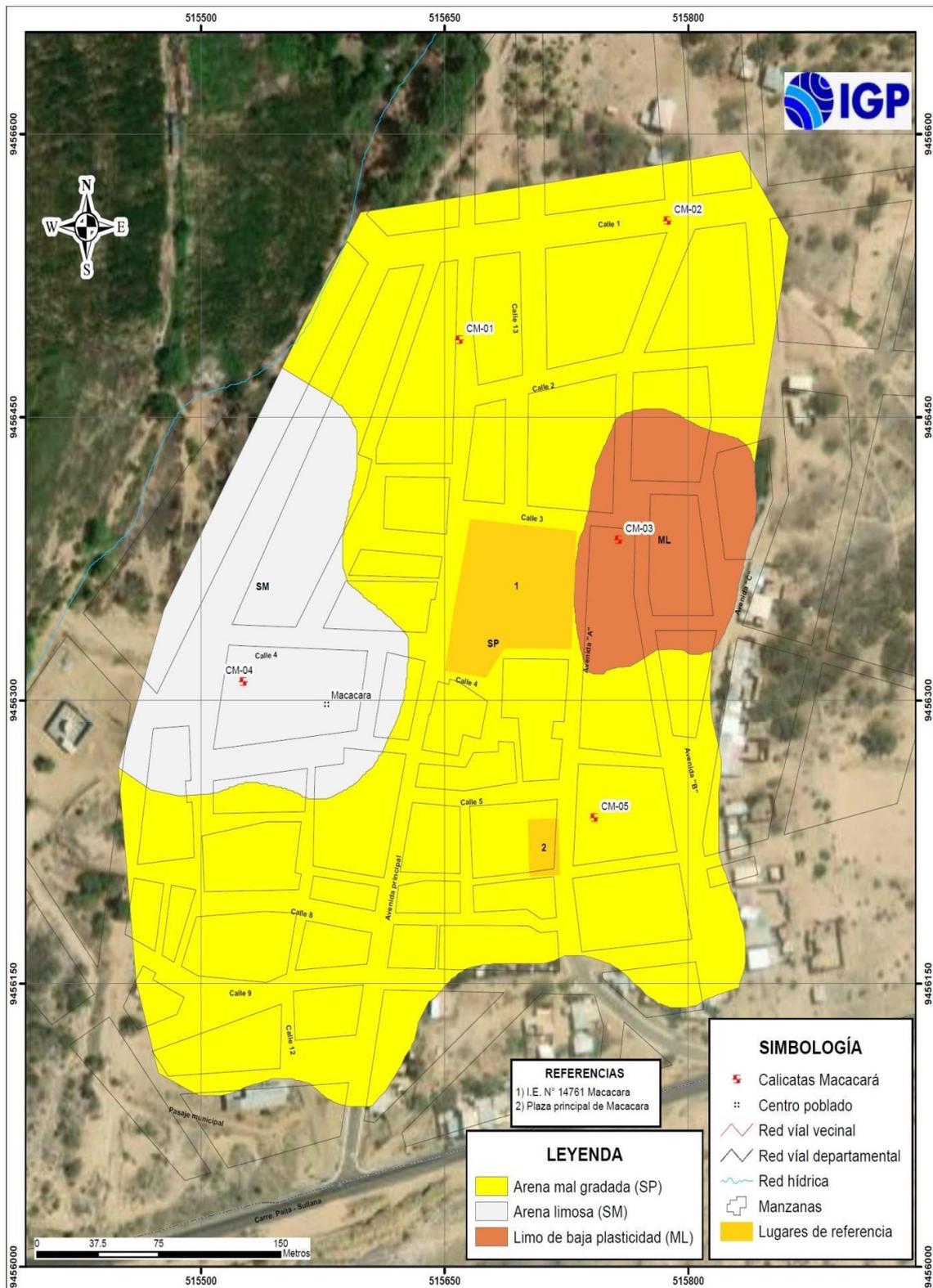


Figura 21. Mapa de clasificación SUCS de suelos en el área urbana del centro poblado de Macacará.

- Suelos tipo ML: Están conformados por limos inorgánicos de baja plasticidad, de humedad baja (6.20%), constituyen suelos de

compacidad media, presenta baja plasticidad (IP=6) y densidad natural de 1.064 gr/cm³. Este tipo de suelos abarca el 8% del área urbana del centro poblado de Macacará y ha sido identificado en la calicata 3, situada entre las avenidas “C” y “A”.

A continuación, se establece un cuadro resumen de los tipos de suelos existentes en el área urbana de Macacará.

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 cuatro calicatas. Los resultados obtenidos indican lo siguiente:

- Calicata CM 01, muestra 0.042%
- Calicata CM 02, muestra 0.031%
- Calicata CM 03, muestra 0,092%
- Calicata CM 04, muestra 0.039%
- Calicata CM 05, muestra 0.020%

Considerando estos resultados y haciendo la comparación con los límites permisibles de agresividad del suelo al concreto (Tabla 4), se determina que las muestras se encuentran dentro del límite permisible.

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).

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 Solubles totales	>5 000	Perjudicial	Ocasiona problemas de pérdida de resistencia mecánica por problema de lixiviación

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

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 (Pv) y luego una carga horizontal (Ph) 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. Macacará se presentan en el Tabla 5.

La Tabla 5 indica que, los suelos del centro poblado de Macacará presentan ángulos de fricción entre 18 y 21°, así mismo no presentan cohesión.

Tabla 5. Parámetros geotécnicos obtenidos de las muestras tomadas en el área urbana de Macacará.

CALICATA	CM-1	CM-2	CM-3	CM-4	CM-5
ÁNGULO DE FRICCIÓN (°)	20	21	18	21	20
COHESIÓN	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Fuente: Gobierno Regional de Piura.

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, 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

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

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 ($\alpha * D_f$) y N_c , N_q , N_α : Factores de carga, Tabla 6.

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: Das (2011).

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 1.50 metros y ancho de zapata de 1.00 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 de Macacará presentan capacidad de carga admisible muy baja (menor a 1.00 kg/cm²) (Figura 22).

Tabla 7. Capacidad de carga admisible en el C.P. de Macacará.

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	1.36	0.45	F.L	1.87	0.62	F.L
CM-02	1.54	0.51	F.L	2.11	0.70	F.L
CM-03	0.96	0.32	F.L	1.21	0.40	F.L
CM-04	1.75	0.58	F.L	2.09	0.70	F.L
CM-05	1.36	0.45	F.L	1.87	0.62	F.L
DIMENSIONES DE CIMENTACIÓN	Profundidad: 1.00 m 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)	DENOMINACIÓN
< 1.0	MUY BAJA
1.0 - 2.0	BAJA
2.0 - 3.0	MEDIA
> 3.0	ALTA

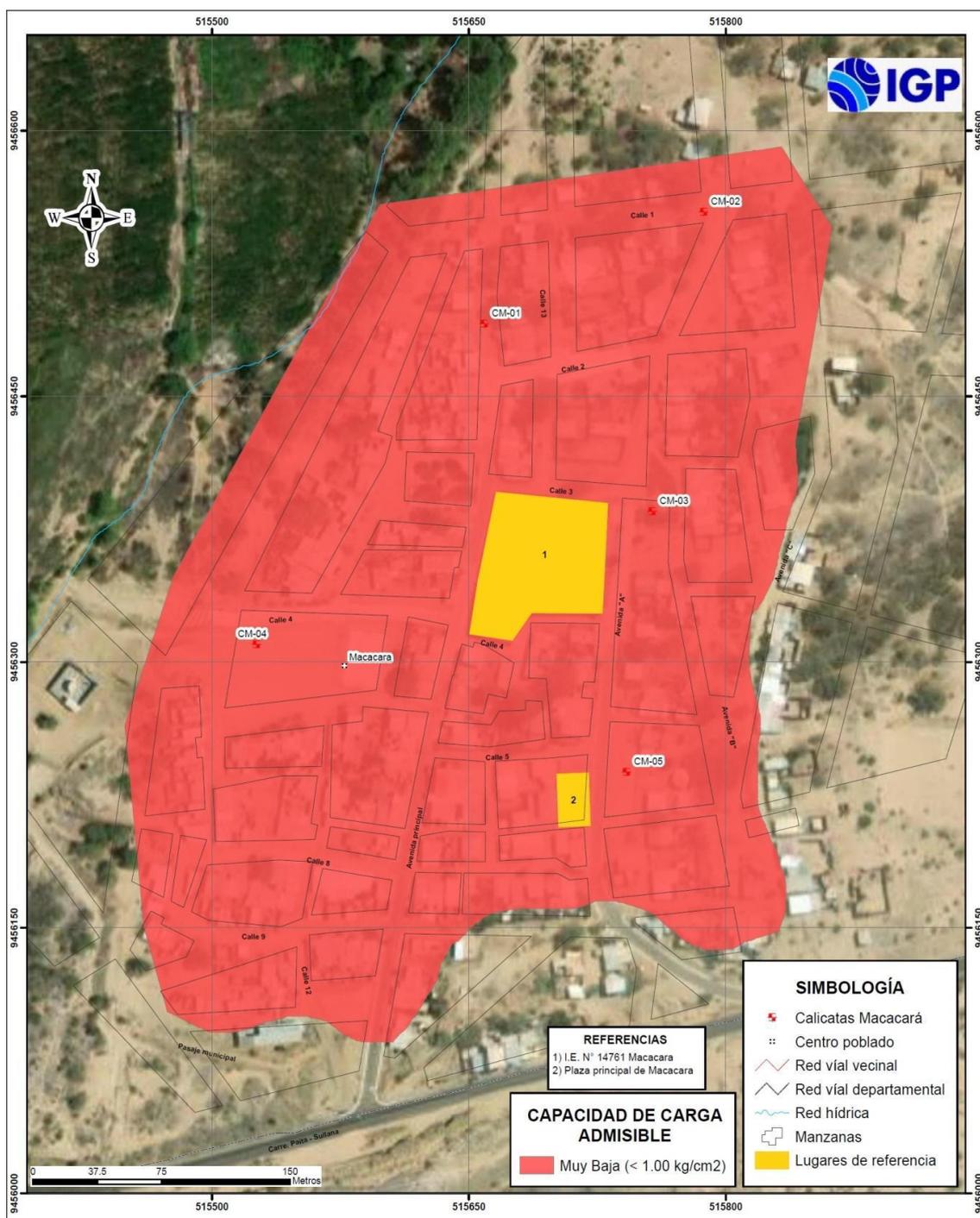


Figura 22. Mapa de capacidad de carga admisible de los suelos de cimentación del C.P. Macacará, para una profundidad de cimentación de 1.0 metro y ancho de zapata de 1.0 metro.

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 de Macacará, se procede a aplicar diferentes métodos geofísicos, cuyos resultados se correlacionan entre sí y con los aspectos geo-ambientales 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 ambiental, tomografía eléctrica, perfiles sísmicos obtenidos mediante el análisis multicanal de ondas superficiales y microtremores (MASW y MAM). 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 sollicitación sísmica. El método hace uso de registros de vibración ambiental que contienen información sobre las características físicas de los suelos en sus primeras decenas de metros por debajo de la superficie. Debe entenderse que la variación de las propiedades físicas de los suelos, espesor, geometría y composición litológica, condicionan, la amplificación de las ondas sísmicas.

En la Figura 23, se muestra un ejemplo del proceso de análisis seguido usando como dato de entrada el registro de vibración ambiental (MC-13) 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.

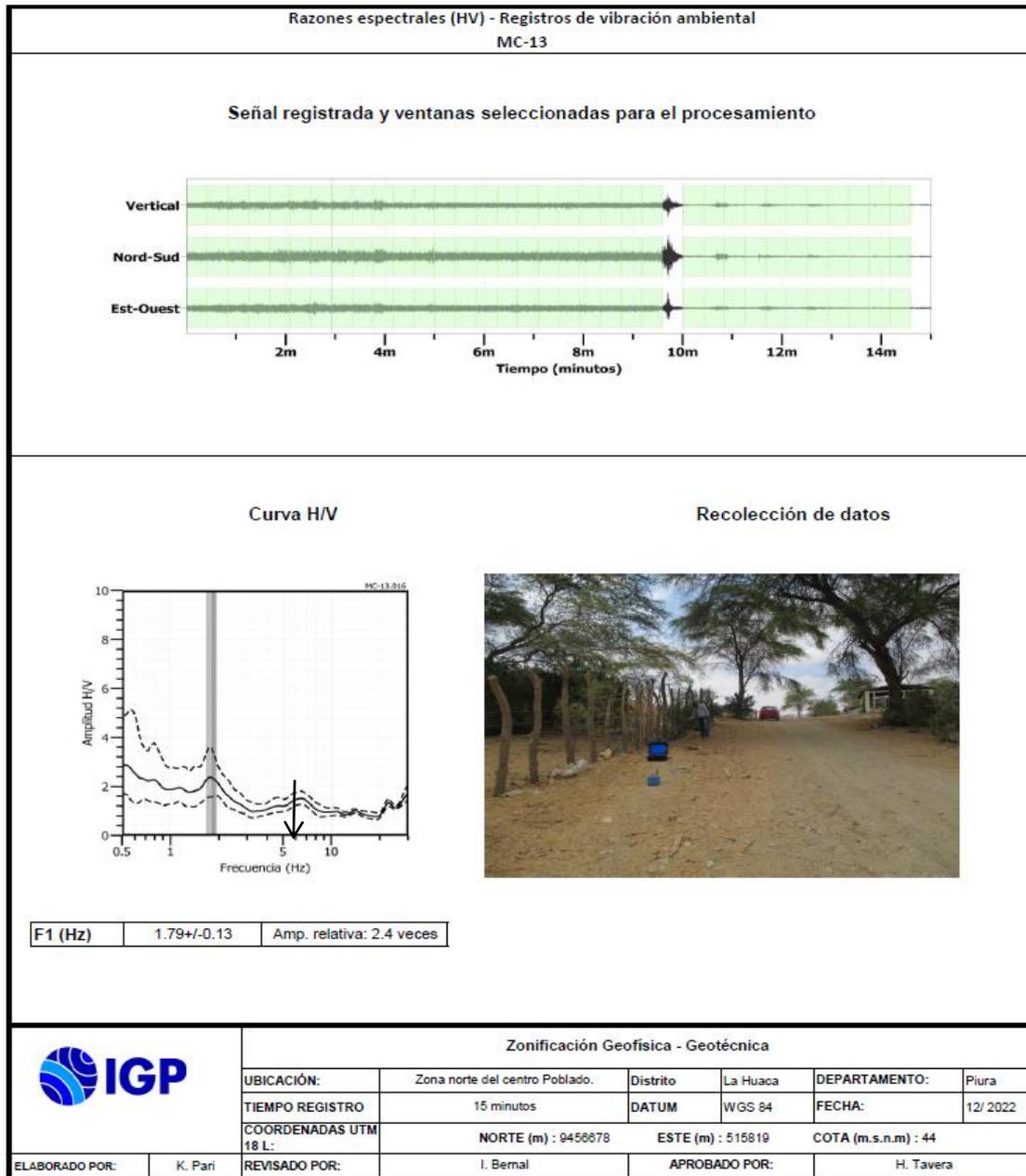


Figura 23. Resultados obtenidos con el método de razones espectrales (H/V) para el punto MC-13. Arriba, la señal registrada y abajo la curva promedio de las razones espectrales (H/V) en línea gruesa y su desviación estándar en líneas discontinuas. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

Para la interpretación de los resultados se considera que: 1) Las frecuencias predominantes menores a 1 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.

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 Seislmager 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 24.

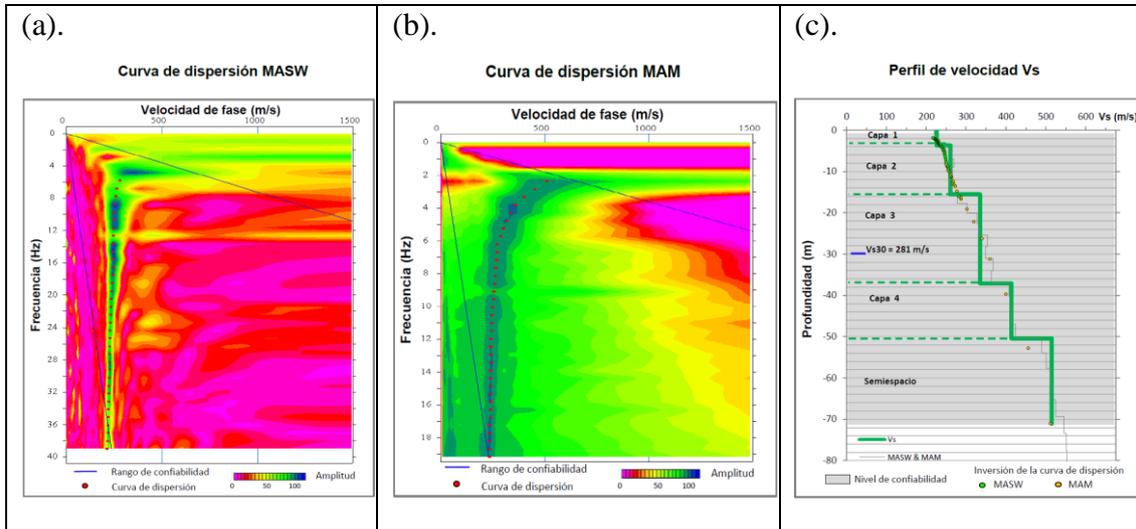


Figura 24. Curvas de dispersión obtenidos a partir de las técnicas MASW (a) y MAM (b) y perfil de velocidad obtenido a partir de la combinación de ambos ensayos (c).

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 rígido)	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 centro poblado Macacará, se ha recolectado en campo un total de 16 registros de vibración ambiental en puntos distribuidas de manera equidistante, tal como se observa en la Figura 25. Asimismo, se ha considerado datos obtenidos sobre tres líneas de tomografía eléctrica y de cuatro líneas de arreglos sísmicos.

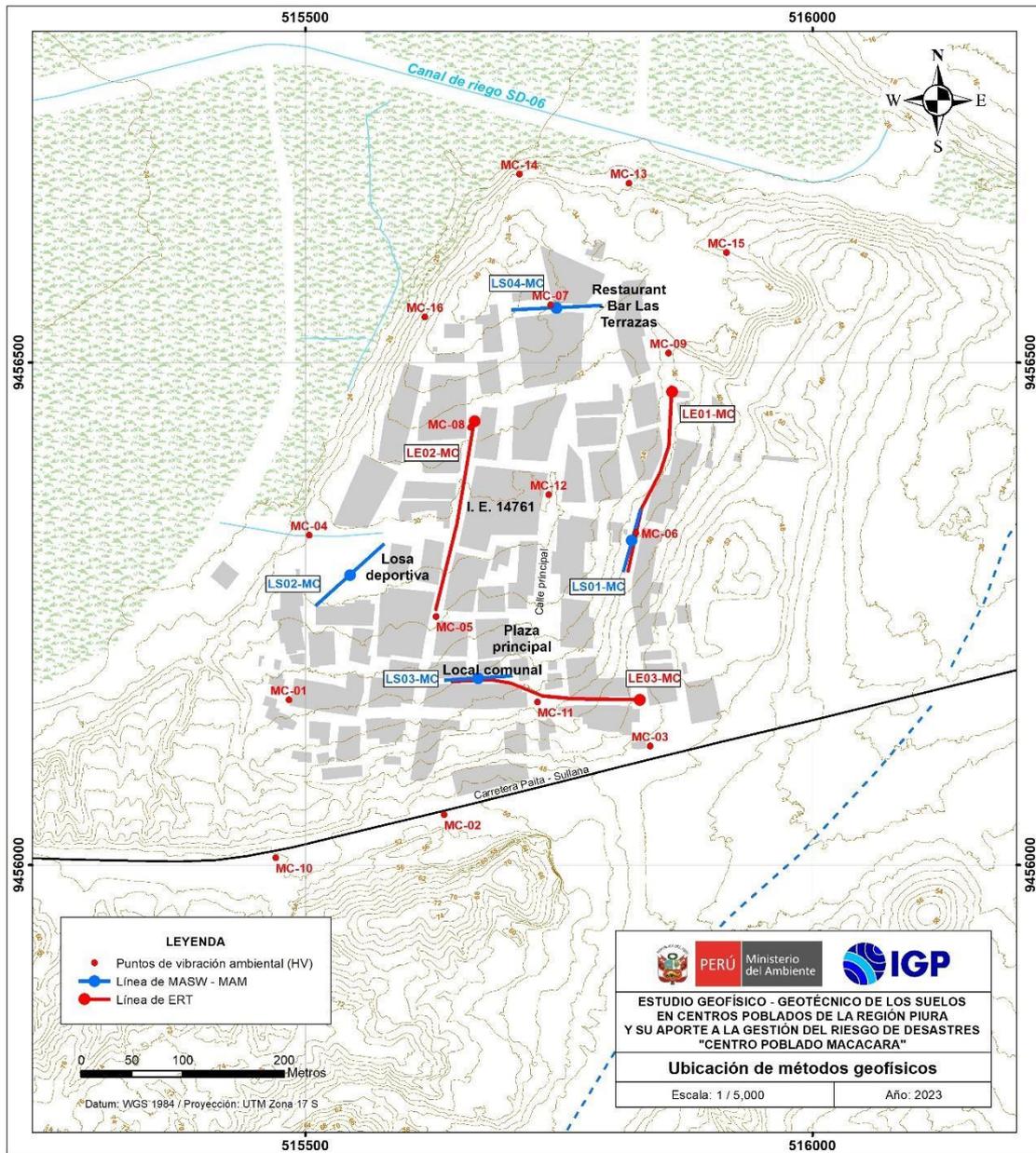


Figura 25. Distribución espacial de los puntos y líneas de adquisición de datos geofísicos en el C.P. Macacará.

Registros de vibración ambiental: Para la adquisición de estos registros, se utilizaron sensores Lennartz y registradores CityShark II (Figura 26). Cada registro presenta una duración de 15 minutos, lo cual permite disponer de buena cantidad de datos para su posterior análisis. En la Figura 27, se muestra ejemplos de registros de vibración ambiental obtenidos en el punto MC-11, ubicado por la plaza del centro poblado.

Aquí se observa que la señal es estable; es decir, no está muy perturbada en comparación con la señal de MC-03 que presenta algunos saltos y/o picos de señal debido a que dicho punto, está ubicado cerca de la carretera Paita - Sullana.



Figura 26. 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 28).



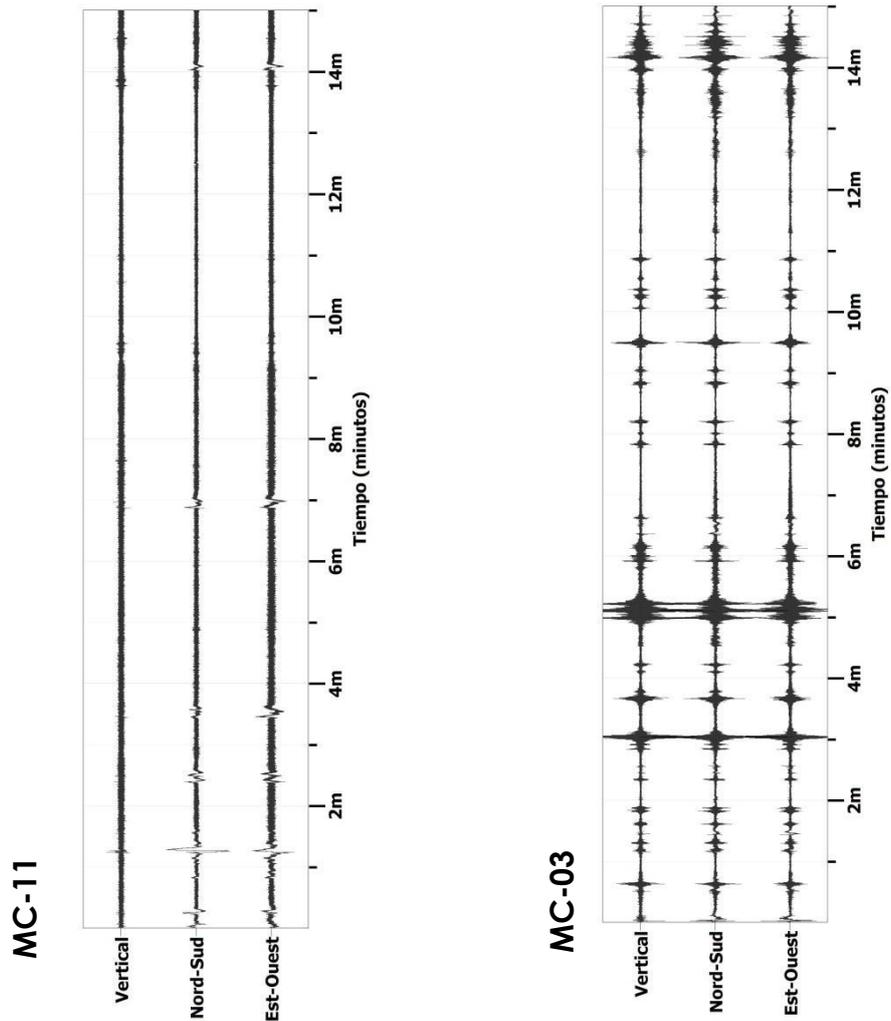


Figura 27. Ejemplos de registros de vibración ambiental obtenidos en los puntos MC-11 y MC-03, ubicados sobre diferentes tipos de suelos. Obsérvese las diferentes amplitudes de la señal registrada en cada punto.

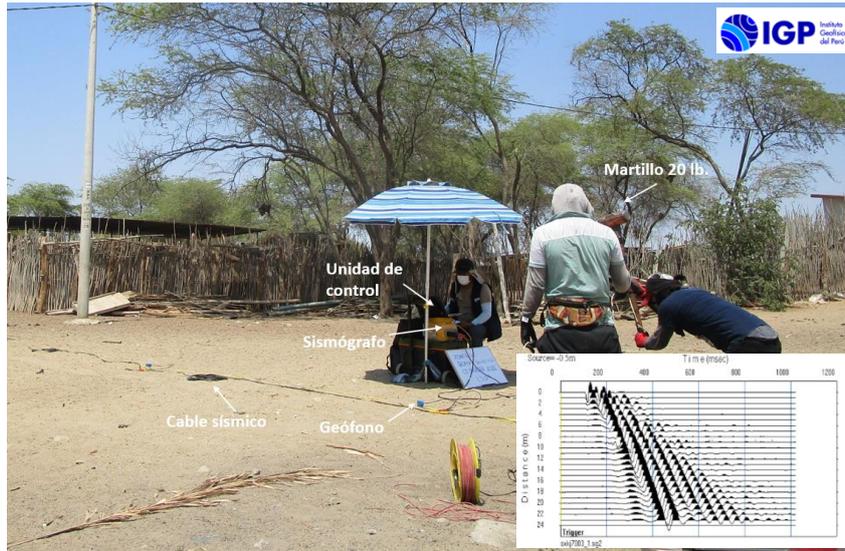


Figura 28. Disposición del equipo para la adquisición de registros sísmicos – MASW.

La distribución de las 4 líneas se presenta en la Figura 25 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)				
MACACARÁ						
1	LS01-MC	515821	9456324	54	3	69
2	LS02-MC	515543	9456290	29	3	92
3	LS03-MC	515669	9456186	49	4	69
4	LS04-MC	515746	9456555	42	4	92

Tomografía eléctrica: Para la adquisición de los datos de resistividad se utilizó el equipo de Resistividad/IP Syscal Pro de marca Iris Instruments (Figura 29) y accesorios (cables multipolar, electrodos, combas, etc.). La distribución de las 3 líneas se presenta en la Figura 25 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)				
MACACARÁ						
1	MC-LE01	515861	9456476	50	10	180
		515817	9456290	55		
2	MC -LE02	515667	9456447	50	10	200
		515628	9456252	46		
3	MC -LE03	515653	9456182	50	10	200
		515835	9456164	59		



Figura 29. Disposición del equipo para la adquisición de datos de resistividad.

3.3.- Resultados

3.3.1. Frecuencias predominantes

Los suelos del C.P. Macacará, responden a bajas frecuencias $F_0 \leq 5.0$ Hz con amplificaciones de hasta 3 veces en casi toda el área de estudio, situación que sugiere la presencia de suelos homogéneos de moderado

espesor y menor consistencia a nivel superficial. 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, Fo:** En la Figura 30, se muestra el mapa con la distribución espacial de los valores de Fo y de acuerdo con los resultados, se tiene el predominio de valores entre 1.6 a 3.5 Hz (0.28-0.6 segundos), tendiendo a distribuirse los mayores valores de frecuencias hacia el extremo sur del área de estudio y las mayores amplificaciones del suelo se presentarían principalmente en la zona norte del centro poblado (de hasta 2.5 veces). Los valores bajos de frecuencia estarían asociados a la presencia de una capa sedimentaria de gran espesor y de manera inversa hacia los valores altos.

La Figura 31, muestra las razones espectrales (H/V) obtenidas para los puntos MC-13, MC-14 y MC-16, ubicados en el extremo norte del C.P. Macacará, presentan frecuencias predominantes bajas de 1.79, 1.81 y 1.34 Hz y amplificaciones de 2.4, 2.5 y 1.9 veces respectivamente. Así mismo, en la Figura 32, los puntos MC-03, MC-05 y MC-11, ubicados en el extremo sur del centro poblado, próximos a la carretera Paita - Sullana, Loza deportiva y Local Comunal, respectivamente, responden a frecuencias de 5.8, 3.05 y 4.5 Hz con amplificaciones de 1.3, 1.2 y 1.0 veces. En general, estos resultados evidencian que los suelos en el C.P. Macacará, son homogéneos con una distribución irregular de su espesor.

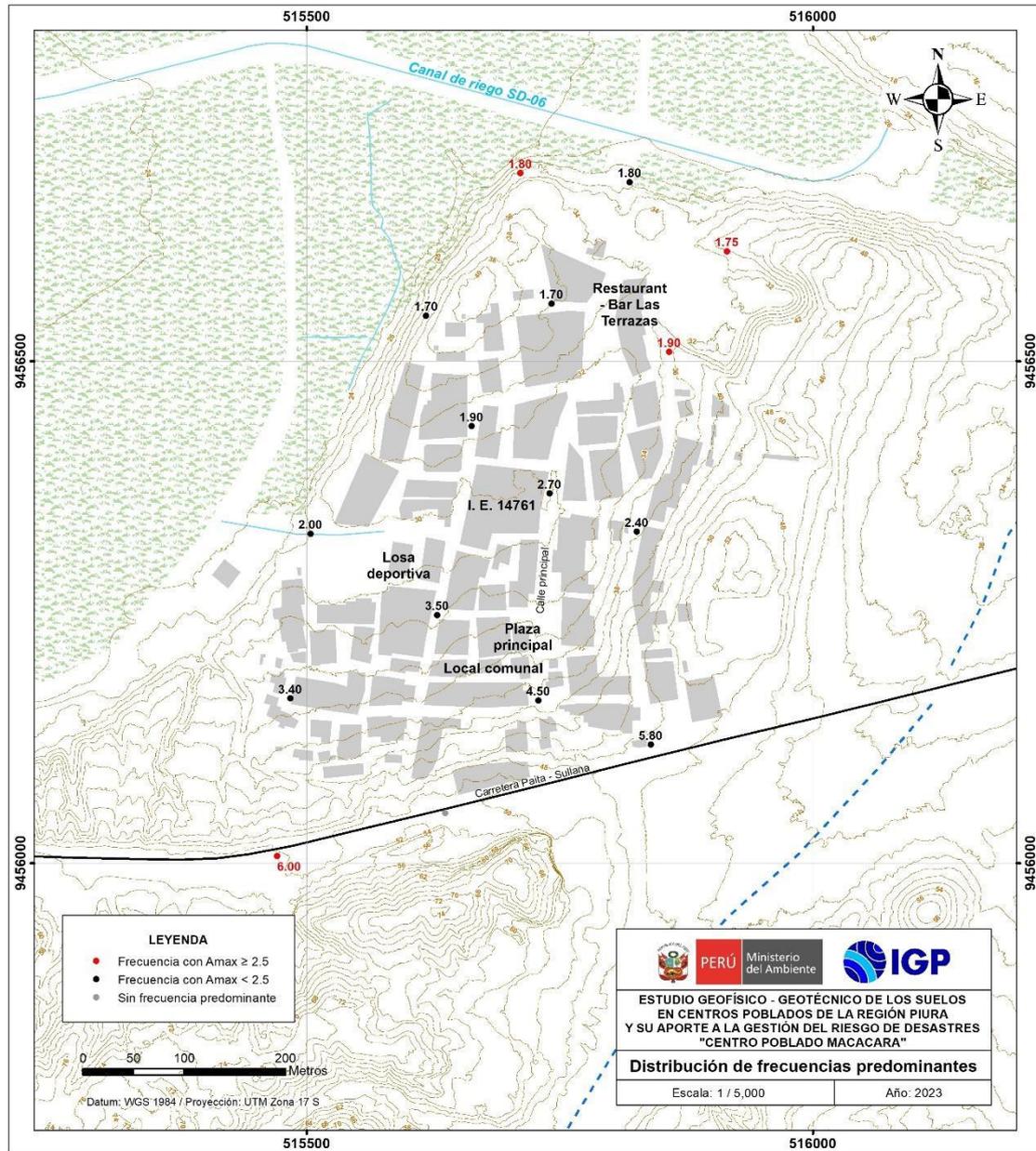
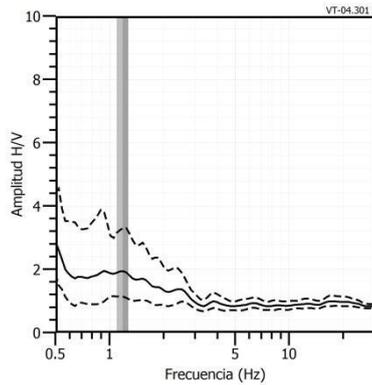
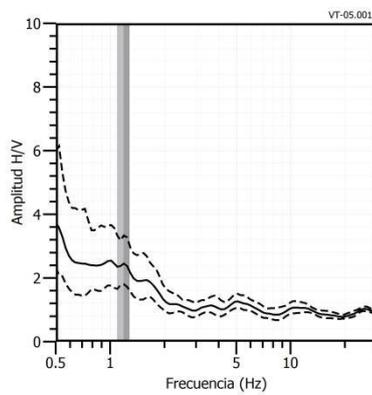


Figura 30. Distribución espacial de las frecuencias F_0 ($F < 5.0\text{Hz}$). Los valores en rojo corresponden a puntos con amplificaciones mayores a 2.5 veces.

MC-13



MC-14



MC-16

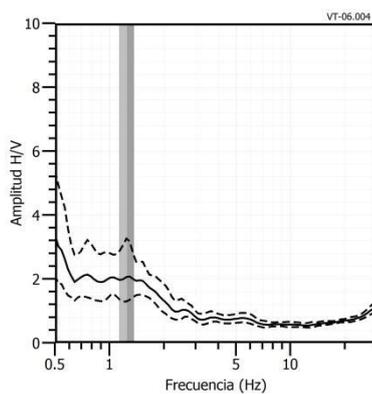
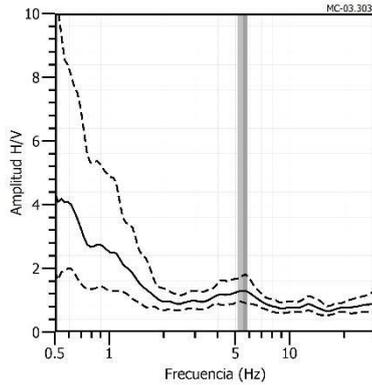
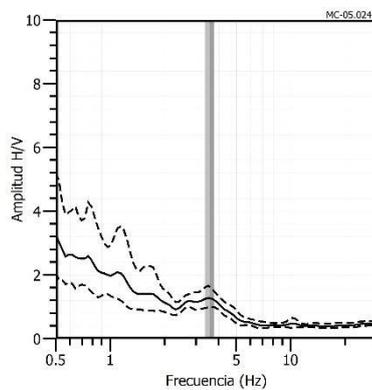


Figura 31. Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F0 ($F < 5.0\text{Hz}$): Para los puntos MC-13, MC-14 y MC-16, ubicados en al norte del C.P. Macacará. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

MC-03



MC-05



MC-11

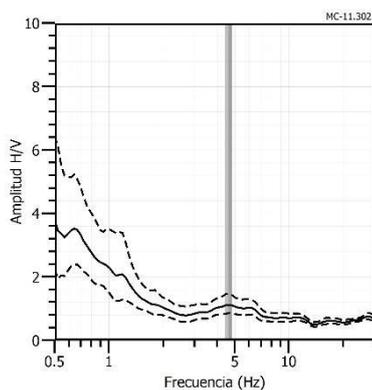


Figura 32. Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F_0 ($F > 5.0\text{Hz}$): Para los puntos MC-03, MC-05 y MC-11, ubicados en al sur del C.P. Macacará. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

Interpretación

El análisis de las razones espectrales H/V en el área de estudio ha permitido observar que los suelos del área urbana de Macacará responden a un único pico de frecuencia que fluctúa entre 1.6 a 3.5 Hz, evidenciando la existencia de suelos cuya respuesta dinámica ante la ocurrencia de un sismo, es diferente, sugiriendo la presencia de suelos heterogéneos. Sin embargo, hacia el extremo Sur del área de estudio (inmediaciones de la plaza de armas), se puede observar que los suelos muestran sensibilidad a frecuencias de entre 5.0 a 3.5 Hz pero con bajas amplificaciones evidenciando en este sector suelos compactos.

- **Periodos dominantes:** A partir de las frecuencias predominantes, se obtiene los periodos de respuesta del suelo y cuya distribución se muestra en la Figura 33. En este caso, en el área de estudio los suelos responden principalmente en periodos: con valores entre 0.3-0.6 segundos, evidencian la presencia de suelos heterogéneos, identificados las mayores amplificaciones del suelo hacia el extremo norte del área urbana, evidenciando la presencia de suelos poco compactos a nivel superficial. Situación diferente se observa al sur, donde los suelos responden a periodos cortos (0.3- 0.2 segundos) con bajas amplificaciones, evidenciando una mayor compactación del suelo.

3.1.2. 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 34, se presenta el perfil sísmico obtenido para la línea LS01-MC y en el Anexo 2, para las líneas restantes.

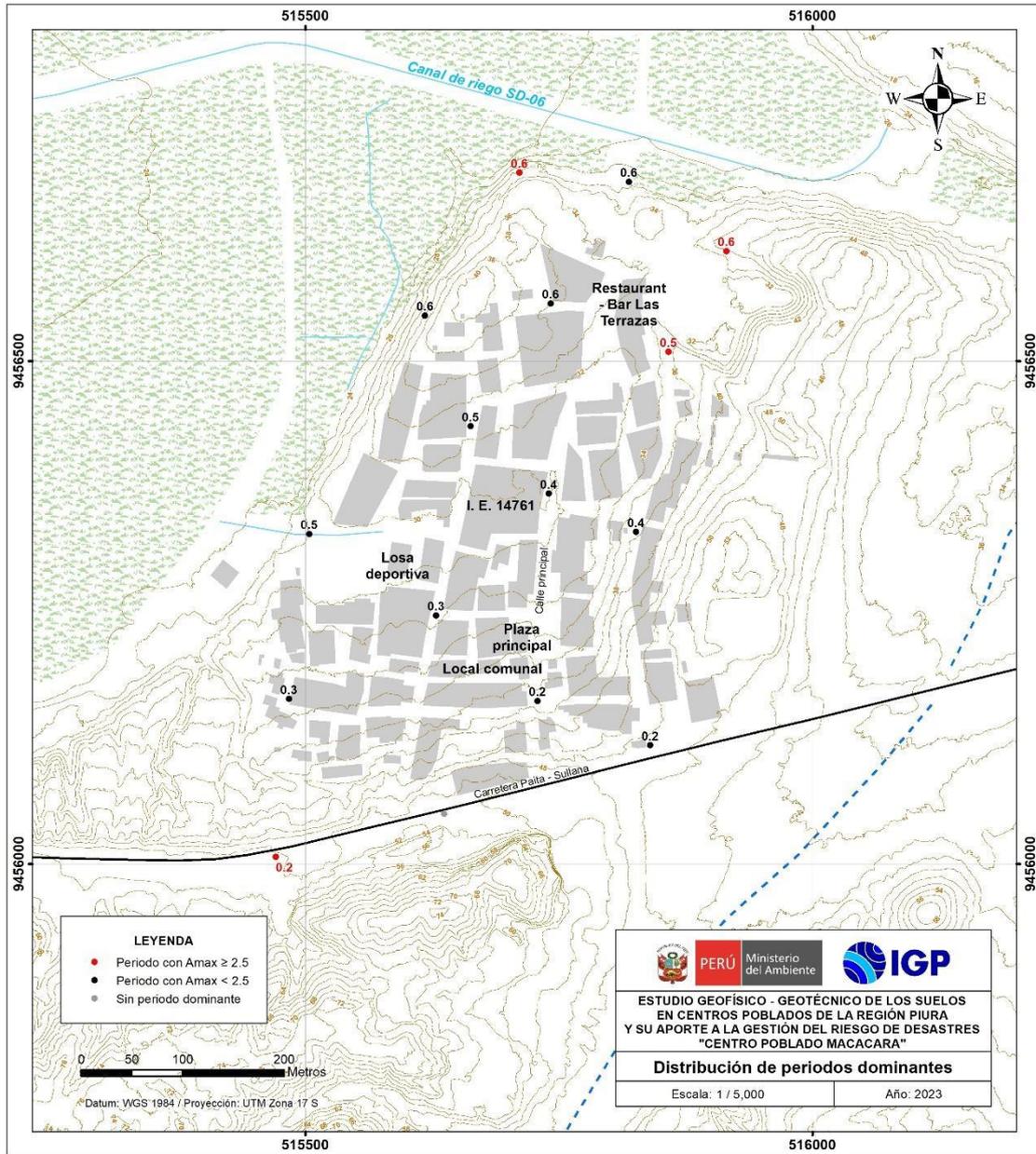


Figura 33. Distribución espacial de periodos dominantes del suelo para el C.P. Macacará. Los valores en rojo corresponden a puntos con amplificaciones mayores a 2.5 veces.

Línea sísmica LS01-MC: Ubicada al este de la Plaza principal (parte alta), siendo la profundidad de resolución promedio del perfil de 72 metros. Este perfil permite identificar la existencia de tres (3) capas sísmicas: La primera de 16 metros de espesor y velocidad V_s de 252 m/s junto a la segunda capa de 22 metros de espesor y velocidad V_s de 335 m/s, estas capas corresponden a suelo intermedio

(medianamente rígido). La tercera capa con espesor de 13 metros y velocidad de 414 m/s corresponde a suelo rígido. El semiespacio, con velocidad $V_s > 515$ m/s, sugiere suelo muy rígido.

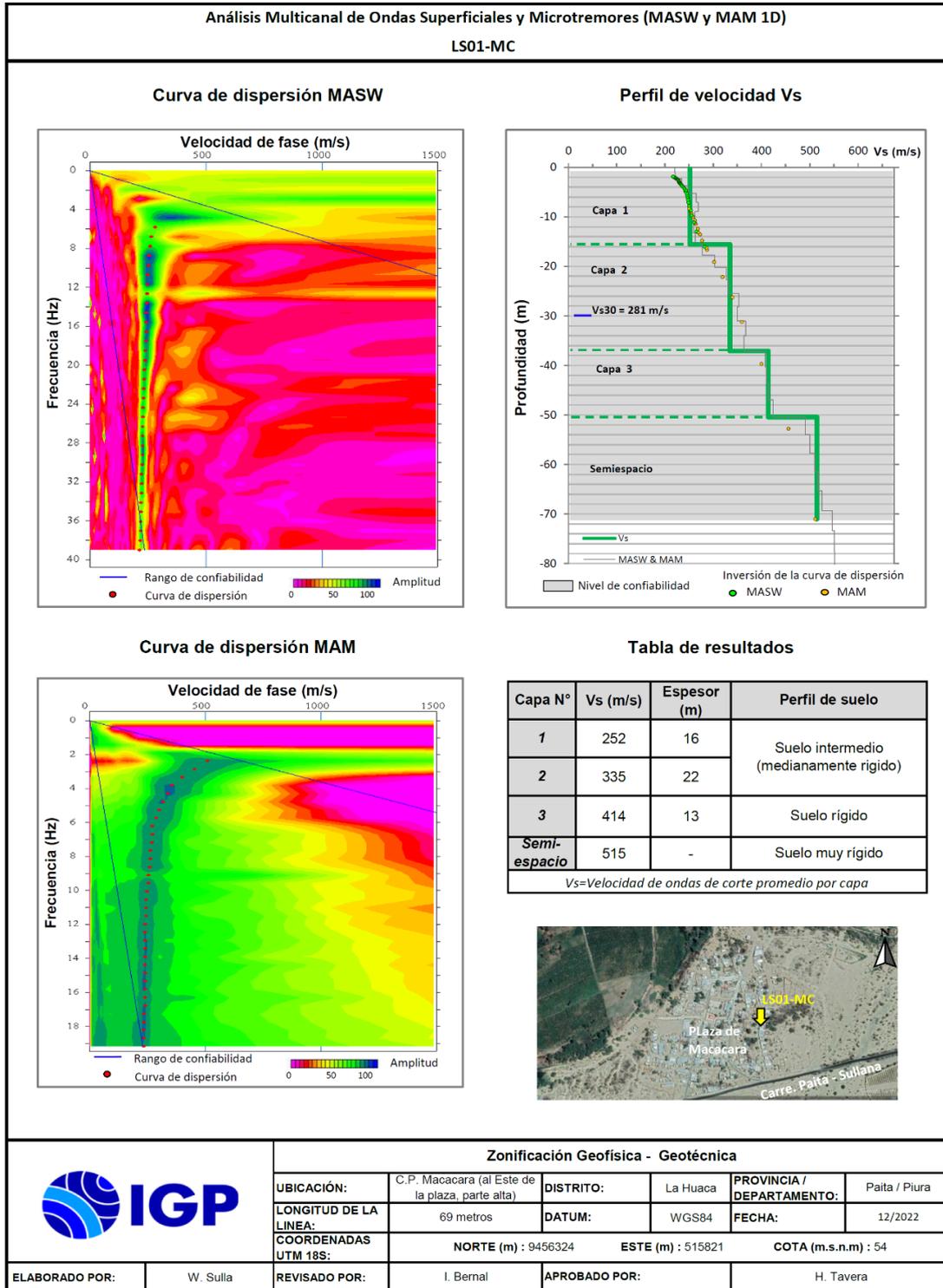


Figura 34. Resultados obtenidos con el ensayo MASW y MAM para la línea sísmica LS01-MC.

Línea sísmica LS02-MC: Ubicada al costado de la Loza deportiva, siendo la profundidad de resolución promedio del perfil de 76 metros. Este perfil permite identificar la existencia de cuatro (4) capas sísmicas: La primera de 5 metros de espesor y velocidad V_s de 176 m/s corresponde a suelo blando. La segunda capa de 10 metros de espesor y velocidad V_s de 217 m/s, la tercera capa de 22 metros de espesor y velocidad V_s de 314 m/s, estas capas corresponden a suelo intermedio (medianamente rígido). La cuarta capa con espesor de 13 metros y velocidad de 415 m/s corresponde a suelo rígido. El semiespacio, con velocidad $V_s > 533$ m/s, sugiere suelo muy rígido.

Línea sísmica LS03-MC: Ubicada al frente del Local Comunal, siendo la profundidad de resolución promedio del perfil de 67 metros. Este perfil permite identificar la existencia de tres (3) capas sísmicas: La primera de 13 metros de espesor y velocidad V_s de 270 m/s junto a la segunda capa de 10 metros de espesor y velocidad V_s de 335 m/s, ambas capas corresponden a suelo intermedio (medianamente rígido). La tercera capa con espesor de 28 metros y velocidad de 427 m/s corresponde a suelo rígido. El semiespacio, con velocidad $V_s > 509$ m/s, sugiere suelo muy rígido.

Línea sísmica LS04-MC: Ubicada por el restaurant Las Terrazas, siendo la profundidad de resolución promedio del perfil de 74 metros. Este perfil permite identificar la existencia de tres (3) capas sísmicas: La primera de 9 metros de espesor y velocidad V_s de 219 m/s junto a la segunda capa de 25 metros de espesor y velocidad V_s de 282 m/s, ambas capas corresponden a suelo intermedio (medianamente rígido). La tercera capa con espesor de 16 metros y velocidad de 412 m/s corresponde a suelo rígido. El semiespacio, con velocidad $V_s > 528$ 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.

Superficie ▼		Profundidad									
Línea Sísmica	N° DE CAPA										VS30 (m/s)
	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-MC	252	16	335	22	414	13	515	-	-	-	281
LS02-MC	176	5	217	10	314	22	415	13	533	-	240
LS03-MC	270	13	335	10	427	28	509	-	-	-	319
LS04-MC	219	9	282	25	412	16	528	-	-	-	255

	Suelo blando (Vs < 180 m/s)
	Suelo intermedio - medianamente rígido (180–350m/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 Macacará, se ha identificado a nivel superficial el predominio de suelos medianamente rígidos (Vs=219 a 335 m/s) de 23 a 38 metros de espesor. Localmente, en el extremo oeste del área de estudio (por la losa deportiva) se ha identificado la presencia de suelos blandos (Vs= 176 m/s) de 5 metros de espesor. Estos suelos cubren a suelos rígidos, con vs=412 a 427 m/s, y corresponden a una capa intermedia de 13 a 28 metros de espesor.

En conjunto, los espesores de los suelos blandos, medianamente rígidos y rígidos van de 50 y 51 metros en toda el área de estudio, ver Figura 35. Por debajo se identifican los suelos muy rígidos,

correspondientes al conglomerado, esto sugiere que el suelo superficial corresponde a depósitos aluviales de gran espesor.

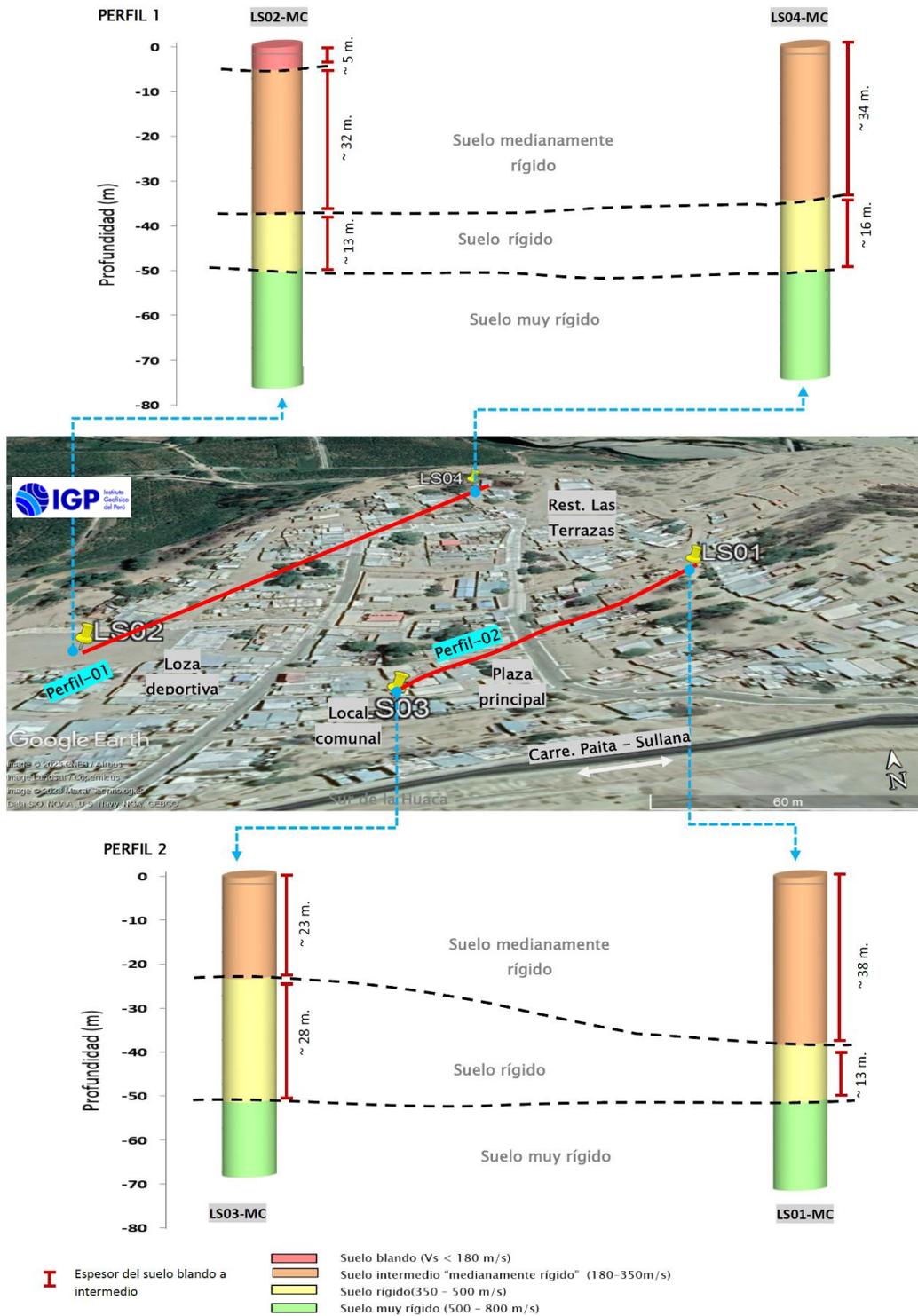


Figura 35. Resultados de MASW y MAM ubicados a lo largo del perfil 1 (LS02-MC - LS04-MC) y perfil 2 (LS01-MC y LS03-MC) sobre la imagen satelital.

En este contexto, el suelo blando es debido a la presencia de material residual depositado por inundación fluvial y se encuentra sobre los depósitos aluviales; por lo tanto, corresponde a material con presencia de humedad, influyendo en la pérdida de rigidez del suelo.

Para el área de estudio, el Vs30 calculado varía entre 240 y 319 m/s, que corresponde a suelos Tipo S3; es decir intermedios y/o medianamente rígido (Adaptación de la clasificación de suelos, indicada en la Norma sismorresistente E.030, al área de estudio).

3.1.3. 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 36, se presenta la sección obtenida para la línea LE01-MC y en el Anexo 2, para las secciones restantes

-Sección geoelectrica LE01-MC: Realizada al este de la plaza de Macacará sobre una longitud de 180 metros y en dirección N-S. En esta sección predominan depósitos con moderada resistividad (80 a 300 Ohm-m), debido a la presencia de depósitos eólicos con moderado contenido de humedad, espesores de hasta 40 metros. Además, se presentan dos zonas anómalas con alto contenido de humedad, la primera en profundidad desde el inicio de la sección (extremo norte) hasta los 60 metros. La segunda zona anómala se presenta desde superficie a los 110 metros y tiende a profundidad.

-Sección geoelectrica LE02-MC: Realizada en el frontis de la I.E. 14761 sobre una longitud de 200 metros y en dirección N-S. En esta sección predominan depósitos aluviales con alto contenido de humedad (<80 Ohm-m), espesores mayores a 40 metros. Además, a nivel superficial se presenta dos zonas anómalas a la altura de la I.E. 14761

con resistividades en el orden de 30 Ohm-m y en profundidad hacia el final de la sección (extremo sur), se presenta una zona anómala con resistividades en el orden de 5 Ohm-m.

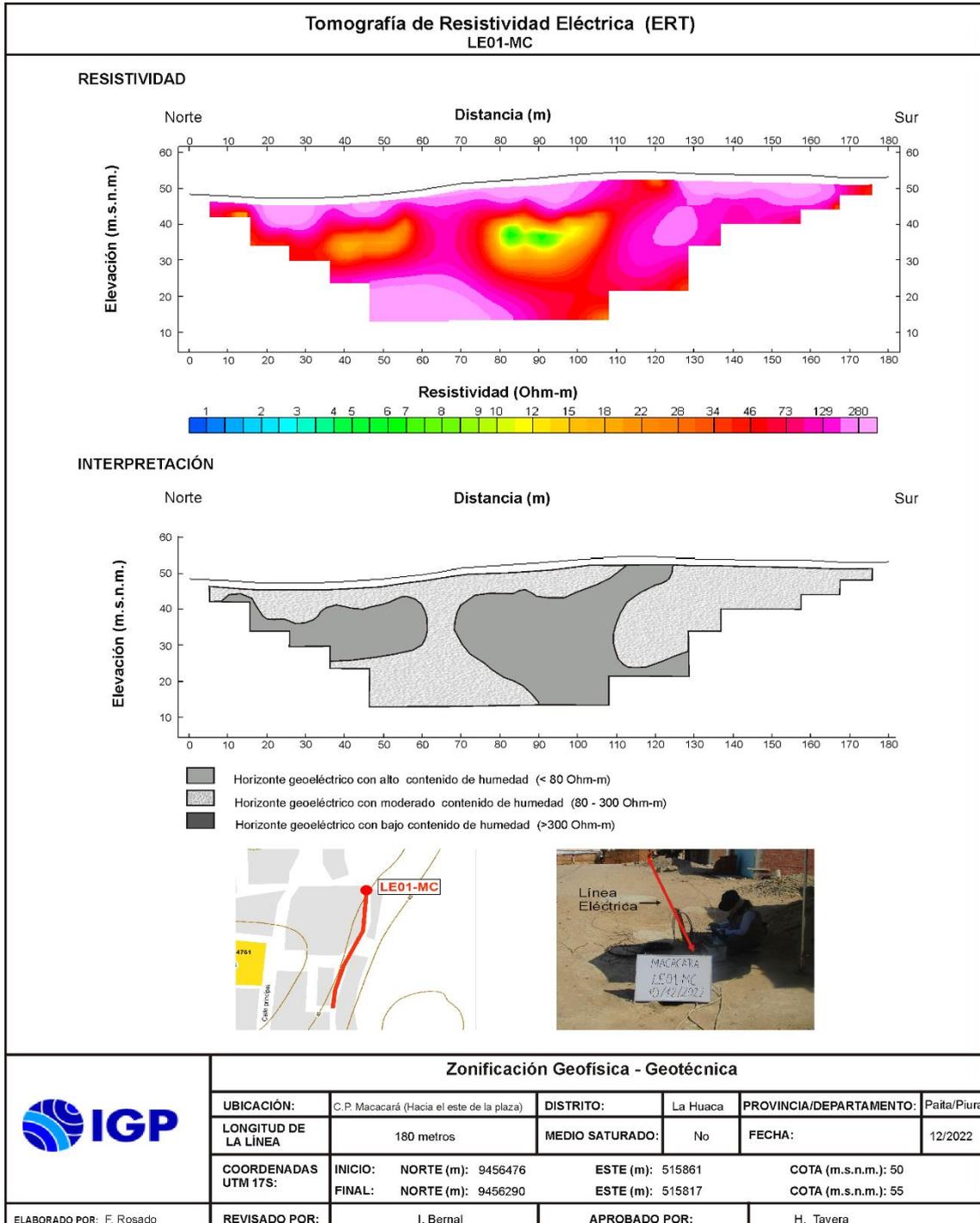


Figura 36. Resultado de tomografía eléctrica para la línea LE01-MC.

-Sección geoelectrica LE03-MC: Realizada en el frontis del local comunal sobre una longitud de 200 metros y en dirección O-E. En esta sección se presentan dos horizontes. El primer horizonte, a lo largo de toda la sección presenta moderado contenido de humedad (80 a 300 Ohm-m), espesores de 10 a 15 metros. El segundo horizonte, con alto contenido de humedad (< 80 Ohm-m), espesores de 25 a 30 metros.

Interpretación

En las secciones de tomografía eléctrica elaboradas para el área urbana de Macacará, se ha identificado la presencia de capas con suelos húmedos y/o saturados con las siguientes características:

- Hacia el este de la plaza principal, se ha identificado la presencia de un horizonte con moderado contenido de humedad y presencia de zonas anómalas con alto contenido de humedad que pueden relacionarse con el riego que se realiza en la parte superior de la zona de estudio (Figura 37).

- Hacia el oeste de la plaza principal, se ha identificado la presencia de un horizonte con alto contenido de humedad (Figura 37), esto se puede relacionar con la proximidad con los terrenos agrícolas en los cuales se usa el riego por inundación además que en el sismo de Sullana del 2022 se presentaron problemas geotécnicos.

3.2.- INTEGRACIÓN DE RESULTADOS

El área urbana de Macacará se emplaza sobre una terraza aluvial con superficie ondulada y zonas de pendiente hacia el sur y este. Las áreas de baja altura se identifican hacia el oeste desde la I.E. N° 14761 y están consideradas como sectores de inundación pluvial. Los parámetros físicos del suelo muestran las siguientes características:

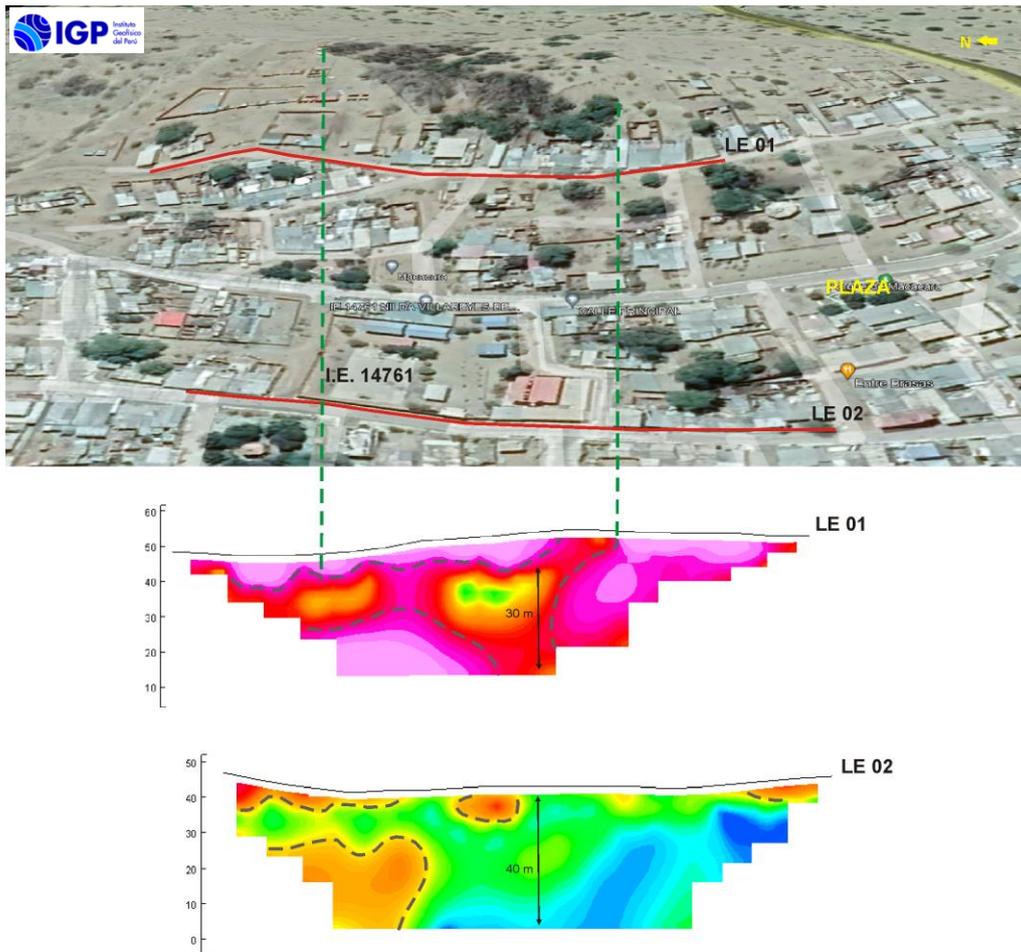


Figura 37. Ubicación y orientación de las líneas de tomografía eléctrica, LE01-MC y LE02-MC. Las líneas interlineadas plomas indican la presencia de contenido de humedad.

Los suelos del área urbana del centro poblado de Macacará responden a periodos que varían entre 0.2 a 0.6 segundos, los mayores a 0.3 segundos se distribuyen en mayor parte del área de estudio, y menores e iguales a 0.3 segundos hacia su extremo sur.

Los resultados obtenidos métodos geofísicos permiten evidenciar que los suelos están conformados por capas superficiales de suelos medianamente rígidos con espesores que varían entre 23 y 38 metros, siendo el menor identificado hacia el sur de Macacará (por el local comunal, próximo a la carretera Paita-Sullana) y los mayores en el resto

del área de estudio y velocidades V_{s30} que varían entre 240 y 319 m/s, correspondiendo a suelos Tipo S2 y S3; es decir suelos intermedios a rígidos.

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 0.3 a 0.6 segundos, se estima la existencia de una capa sedimentaria de 30 a 45 metros de espesor en toda el área de estudio. Estos espesores se correlacionan con los modelos de velocidad obtenidos con los arreglos sísmicos. Asimismo, estos suelos presentan alto contenidos de humedad, incrementando la complejidad del comportamiento dinámico de los suelos ante sismos.

Estas condiciones, evidencian que el C.P. Macacará se encuentra ubicada en una zona que presenta de moderado a alto peligro por sismo, principalmente al norte del centro poblado, debido a que sus suelos experimentarían altos niveles de sacudimiento ante la ocurrencia de sismos, sumados a la probabilidad de que se generen procesos de licuación suelos, que afectarían directamente a los elementos expuesto en su superficie.

4. ZONIFICACIÓN GEOFÍSICA – GEOTÉCNICA

El mapa de Zonificación sísmica-geotécnica para el centro poblado Macacará, 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 con 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 S3 y S2; es decir, suelos intermedios (medianamente rígidos) y rígidos con amplificaciones moderadas a bajas.

Para el área urbana de Macacará, se propone la siguiente Zonificación Sísmica-Geotécnica (Figura 38).

- ZONA I: Conformada por suelos muy rígidos, no fue identificado en el área de estudio.

- ZONA II: Suelos rígidos, conformado por capas depósitos aluviales de gran espesor de suelos granulares (50 metros) y velocidades de ondas de corte Vs de 350 m/s para la capa superficial y de hasta 450 m/s a la profundidad de 30 metros. El periodo de vibración natural de los suelos varía entre 0.2 a 0.3 segundos con amplificaciones relativas de hasta 2.5 veces. Presenta bajo contenido de humedad y baja capacidad de carga admisible baja 1.0 Kg/cm² para el primer metro de profundidad. Estas características corresponden a Suelos Tipo S2, que corresponde a suelos intermedios y/o medianamente rígidos. Esta zona se ubica en el extremo sur del área de estudio (próximo a la carretera Paita-Sullana).

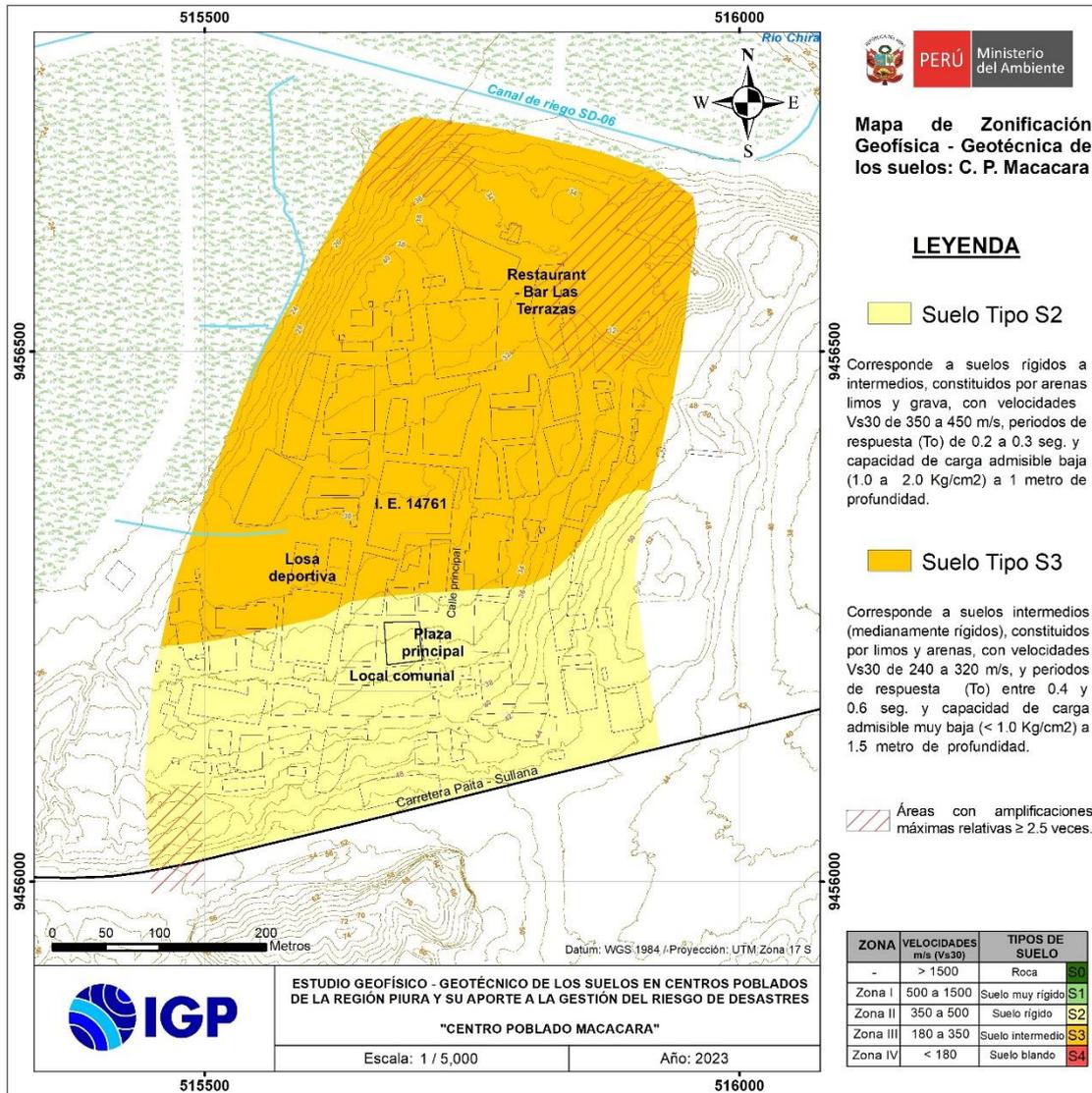


Figura 38. Mapa de zonificación geofísica-geotécnica de los suelos del C.P. Macacará. Las líneas inclinadas en rojo delimitan zonas con mayor amplificación.

- ZONA III: Suelos intermedios (medianamente rígidos), conformado por capas de gran espesor de suelos areno limosos con espesores de hasta 50 metros y velocidades de ondas de corte Vs de 176 m/s para la capa superficial y de hasta 330 m/s a la profundidad de 30 metros, con alto contenido de humedad al oeste de la zona céntrica. El periodo de vibración natural del suelo varía entre 0.5 a 0.6 segundos con amplificaciones relativas de hasta 3 veces. A profundidades de 1.5 metros los suelos presentan capacidad de carga admisible muy baja <1.0

Kg/cm². Estas características corresponden a Suelos Tipo S3, que corresponde a suelos intermedios y/o medianamente rígidos.

CONCLUSIONES

El análisis y evaluación geofísica - geotécnica de los suelos de la C.P. Macacar ubicada en el distrito de La Huaca, provincia de Paita - Piura, ha permitido llegar a las siguientes conclusiones:

- Los eventos geodinámicos identificados en el área urbana del centro poblado de Macacar, son las inundaciones pluviales que afectan un área de 6.70 Has (inmediaciones del pasaje principal, calle 12, Av. Principal, Av. "A", calle 4 y el extremo de la calle 1) debido a la acumulación de aguas y la deficiencia de drenaje pluvial en la zona.
- En el área urbana de Macacar se identifica 3 tipos de suelos: arena mal gradada (SP) que ocupan el 76%, arena limosa que ocupa el 16% y limos de ligera plasticidad con arena (ML) ocupa el 8%.
- Se ha determinado que para la profundidad de 1.0 metro y 1.5 metros, los suelos de cimentación de Macacar presentan capacidad de carga admisible muy baja (menor a 1.00 kg/cm²).
- Según su comportamiento dinámico, los suelos del C.P. Macacar responden a dos rangos de periodos de 0.3 - 0.6 segundos y evidencian la presencia de suelos heterogéneos con mayores espesores hacia los extremos Norte y NO del área de estudio. Situación diferente se observa al sur, donde los suelos responden predominantemente a periodos de 0.3 segundos y bajas amplificaciones menores a 2.5 veces. 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 de Macacará están diferenciados en 4 capas sísmicas y un semi-espacio. Predominan suelos blandos a rígidos correspondientes a la primera, segunda, tercera y hasta la cuarta capa sísmica ($V_s = 176$ a 427 m/s), y con espesores de 50 metros. En el área de estudio, se obtuvo velocidades de ondas de corte V_{s30} que corresponden a suelos Tipo S2 y S3; es decir, suelos rígidos y medianamente rígidos.
- Los suelos del área de estudio presentan contenido de humedad a profundidades que fluctúa entre 2 y 10 metros. Al oeste de la plaza principal los suelos presentan alto contenido de humedad, con espesores mayores a 40 metros, se encuentra próximo a zonas agrícolas.
- Los resultados obtenidos para el área urbana de Macacará 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, adaptada al área de estudio, la existencia de suelos de Tipo S2 y S3; es decir, suelos rígidos y suelos intermedios.
- A la ocurrencia de un sismo de moderada a mayor magnitud, los suelos del C.P. Macacará pueden experimentar niveles altos de sacudimiento, por la presencia de suelos blandos con altos niveles de humedad a nivel superficial que contribuye con la probabilidad de que se generen procesos de licuación suelos, que afectarían directamente a los elementos expuesto en su superficie.

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, I., (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, Dixon, T., Stein, S. (1999). Decelerating Nazca–South America and Nazca–Pacific Plate Motions

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.

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

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.

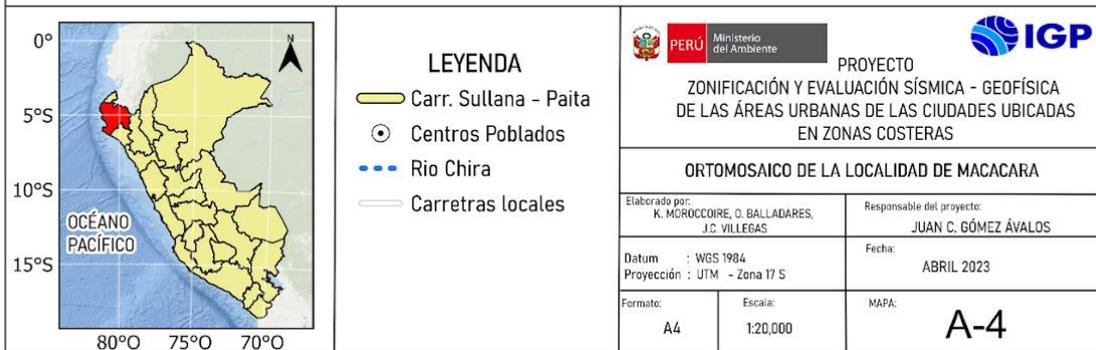
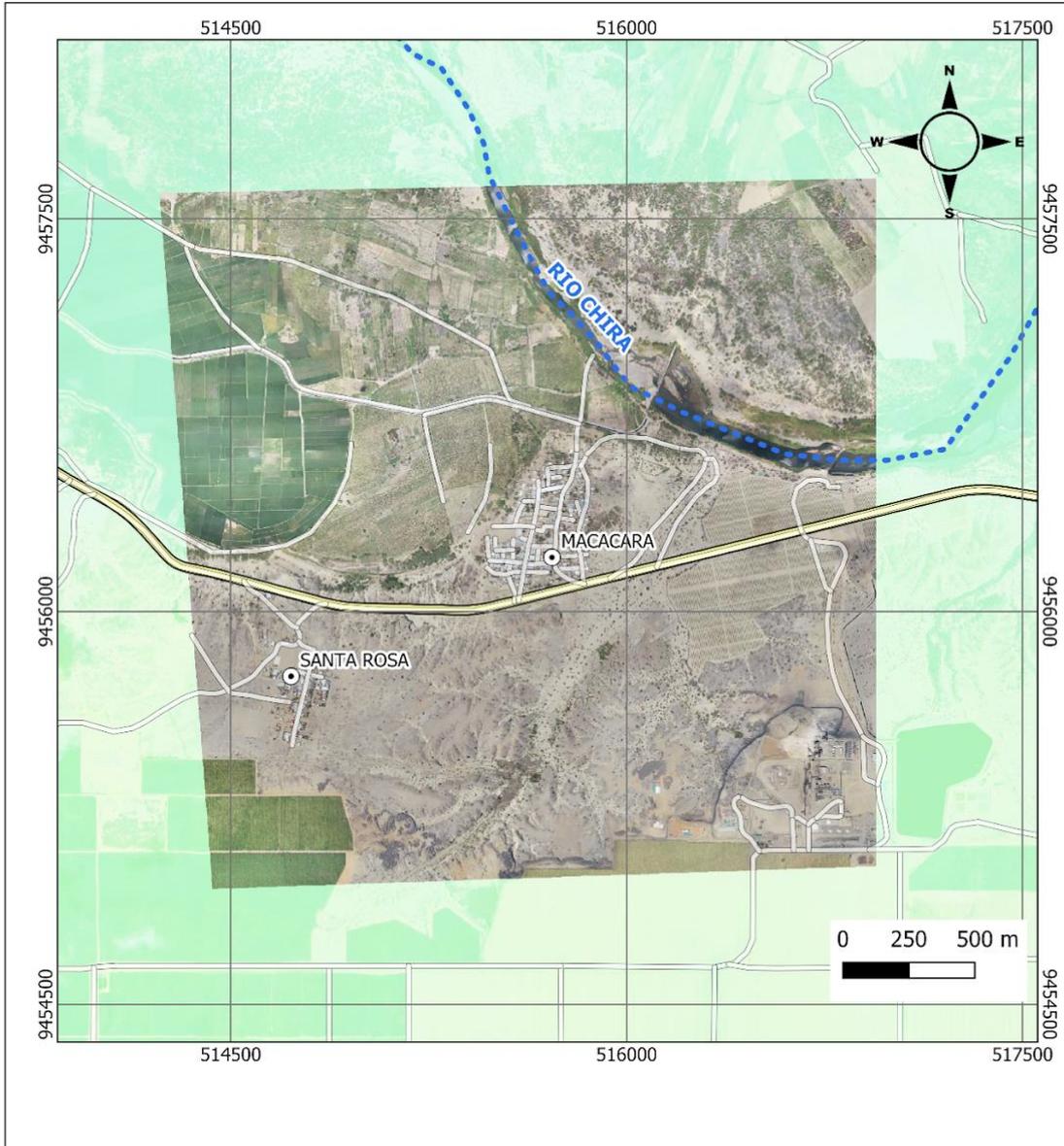
Terzaghi, K. Peck, B., G. & Mesri, G., (1948) – Soil mechanics in engineering practice, New York: Wiley

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

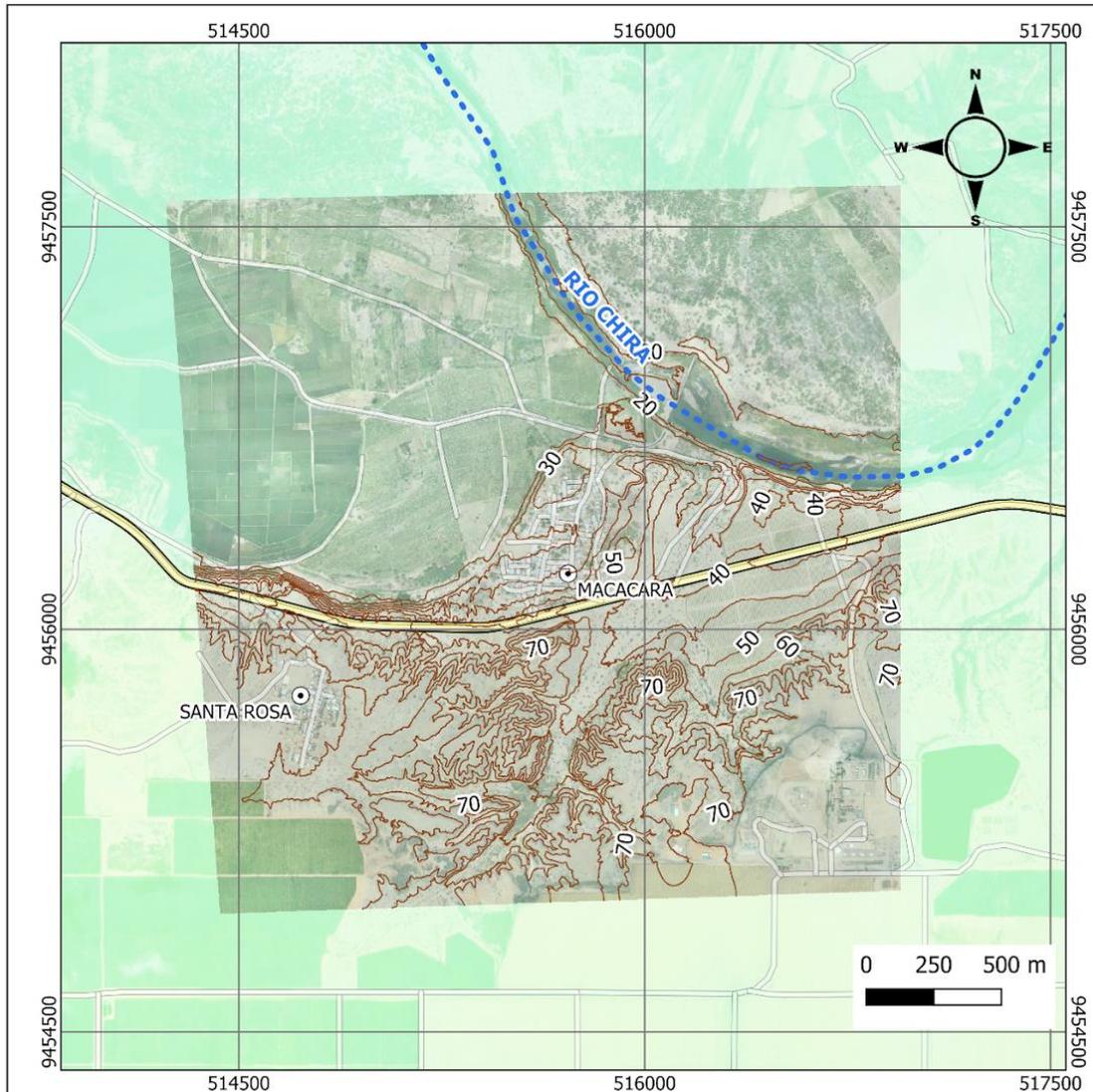
ANEXO 1

Información topográfica

Ortomosaico



Curvas de nivel

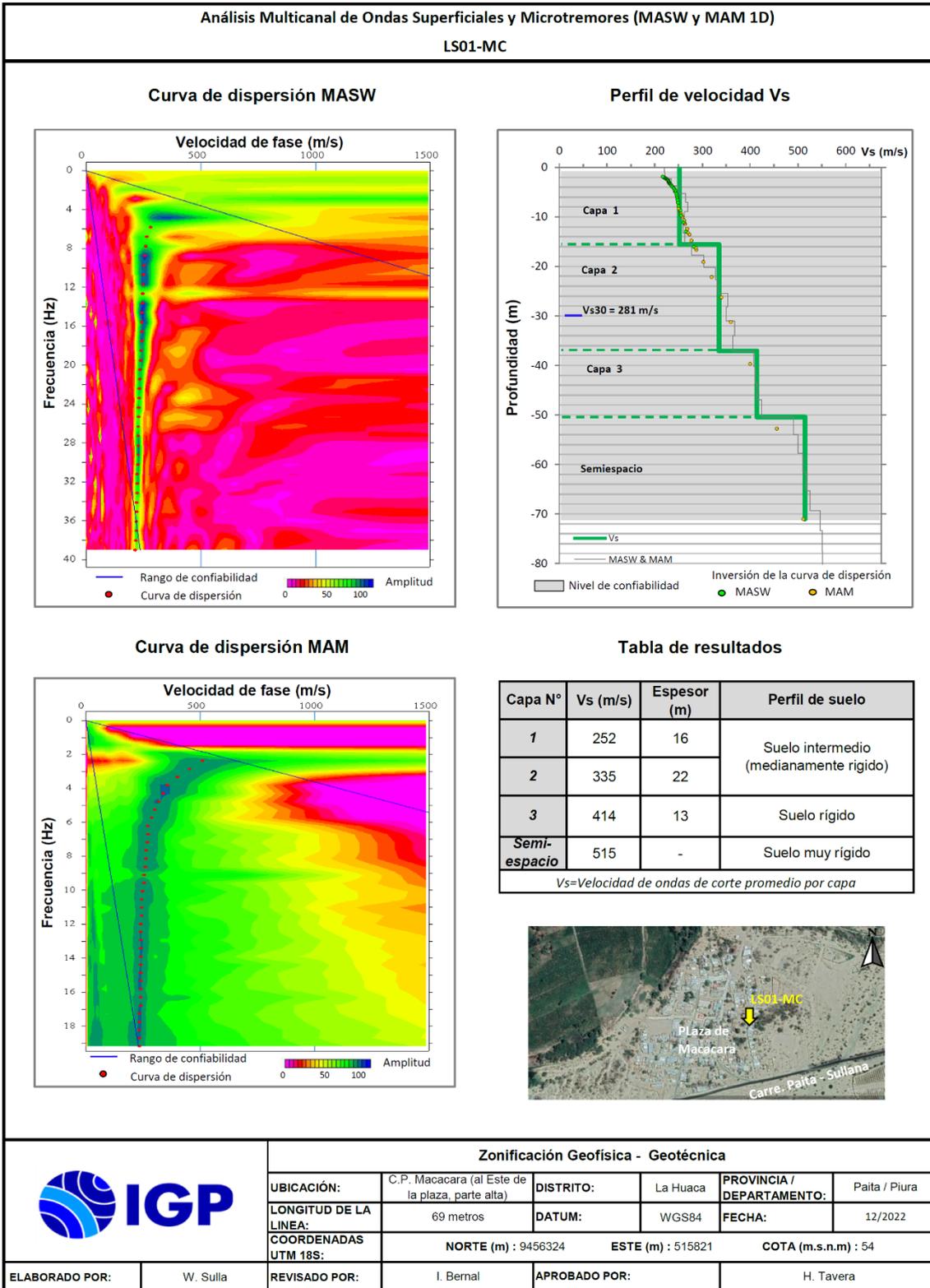


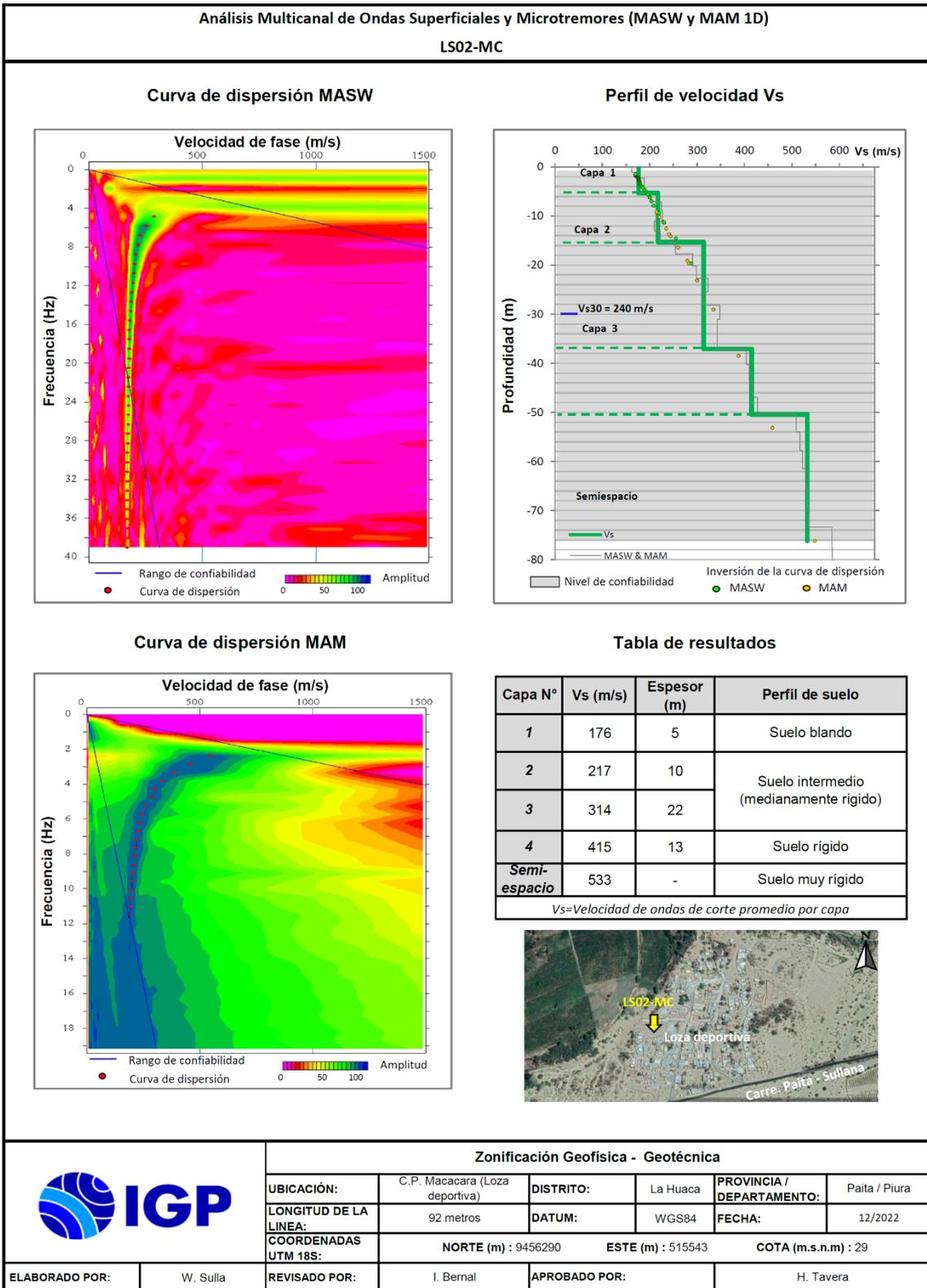
<p>0° 5°S 10°S 15°S</p> <p>80°O 75°O 70°O</p> <p>OCEANO PACÍFICO</p>	<p>LEYENDA</p> <ul style="list-style-type: none"> Carr. Sullana - Paita Centros Poblados Curvas de nivel Rio Chira Carretras locales 	<p>Ministerio del Ambiente</p> <p>IGP</p> <p>PROYECTO ZONIFICACIÓN Y EVALUACIÓN SÍSMICA - GEOFÍSICA DE LAS ÁREAS URBANAS DE LAS CIUDADES UBICADAS EN ZONAS COSTERAS</p>	
		<p>CURVAS DE NIVEL DE LA LOCALIDAD DE MACACÁRA A INTERVALOS DE 5 METROS</p>	
		<p>Elaborado por: K. MOROCCOIRE, O. BALLADARES, J.C. VILLEGAS</p>	<p>Responsable del proyecto: JUAN C. GÓMEZ ÁVALOS</p>
		<p>Datum : WGS 1984 Proyección : UTM - Zona 17 S</p>	<p>Fecha: ABRIL 2023</p>
<p>Formato: A4</p>	<p>Escala: 1:20,000</p>	<p>MAPA: A-5</p>	

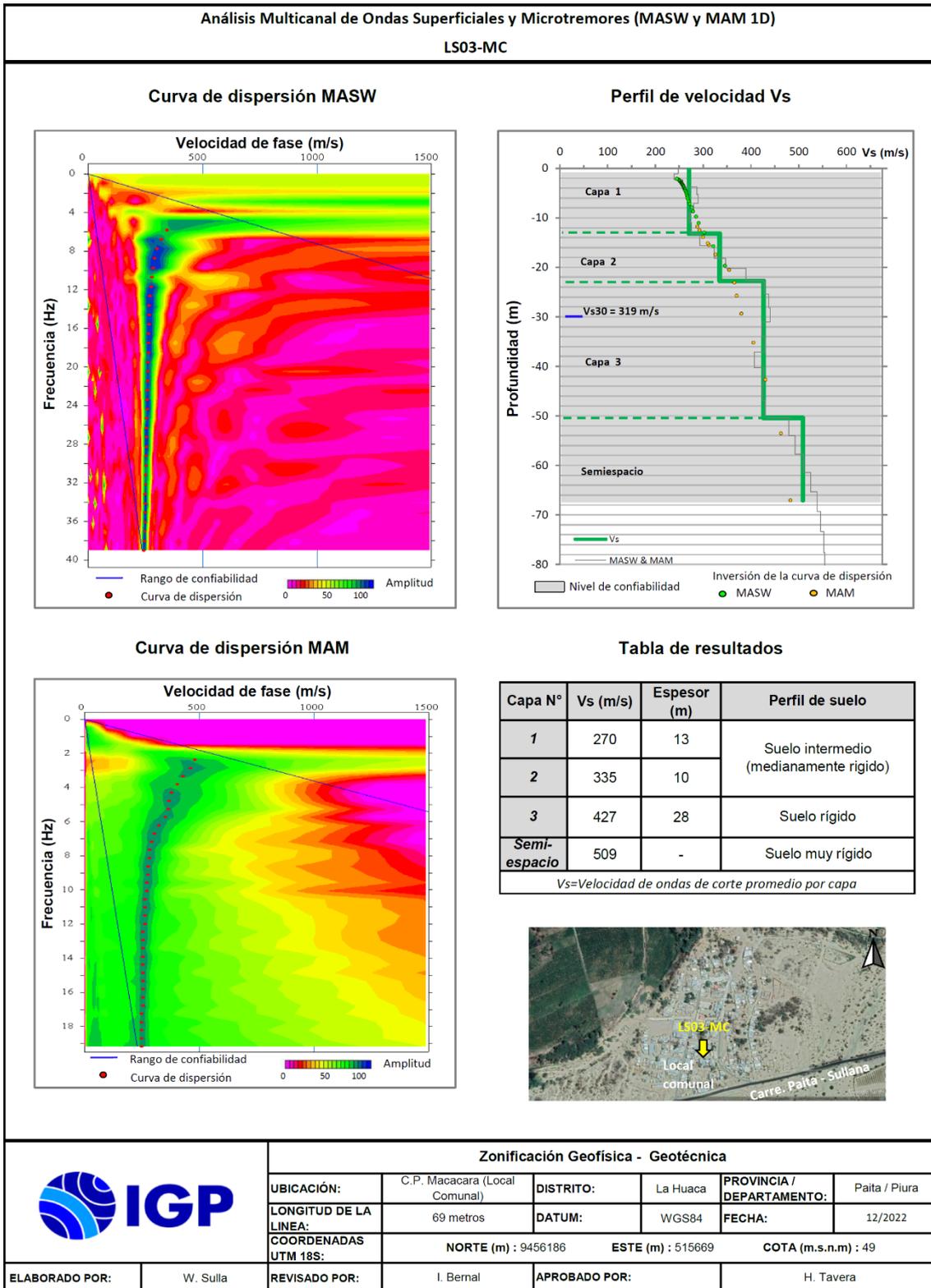
ANEXO 2

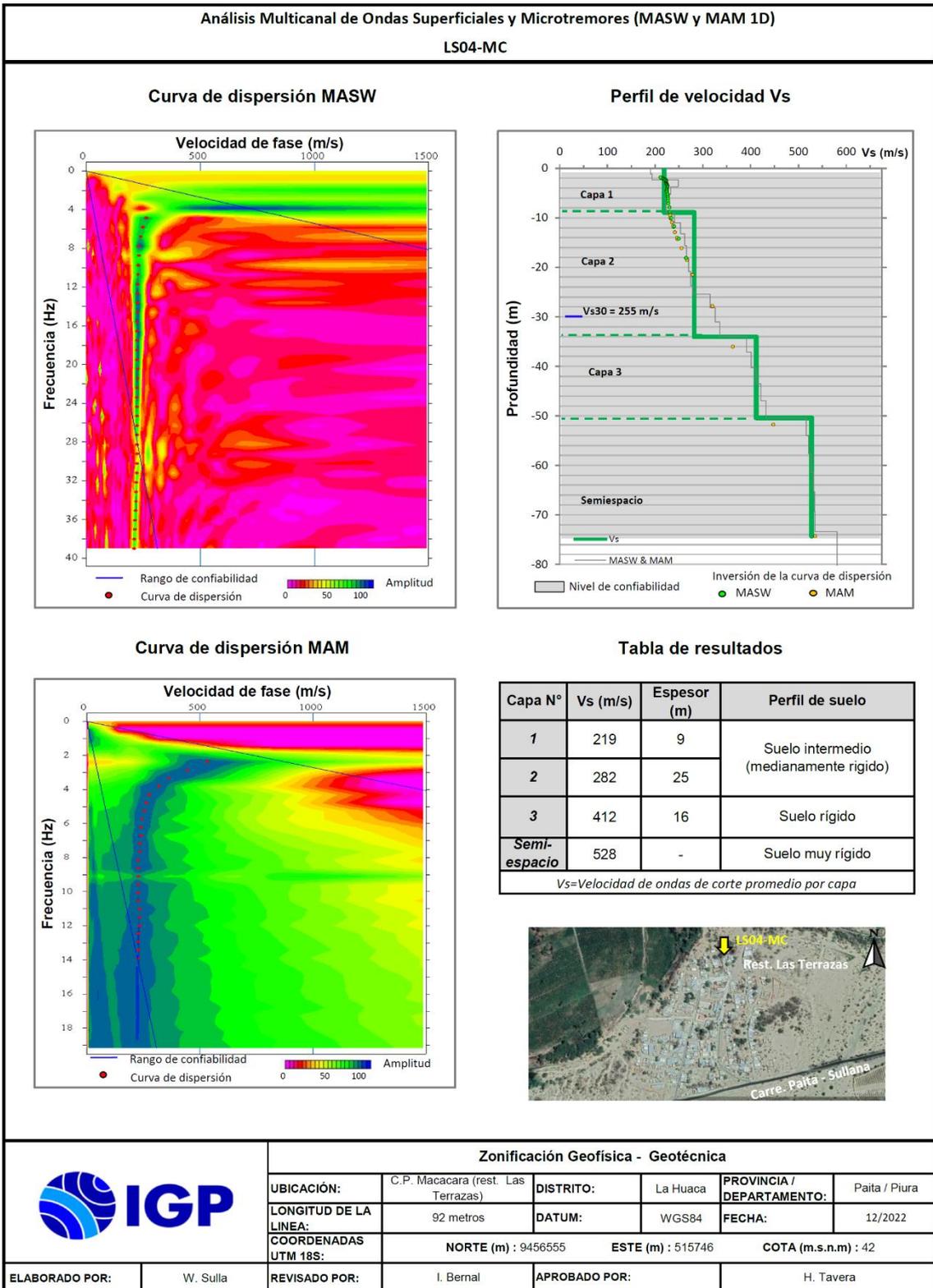
Información geofísica

Perfiles sísmicos MASW – MAM









Secciones de tomografía eléctrica

