



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. MONTERÓN

Informe Técnico N°004-2024/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. Monterón.

Autores

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

Participantes:

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

Cartografía: Javier Oyola.

Evaluación Geodinámica-Geotécnica: Roberth Carrillo/ Segundo Ortiz/ Juan Carlos Gómez/ Juan Carlos Villegas /Keiko Moroccoire / 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**

– C. P. MONTERÓN –

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 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 geoelectricas

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 geoelectricas

RESUMEN

En este estudio se analiza y evalúa las características físicas y dinámicas de los suelos del Centro Poblado Monterón – Región Piura, a partir de la aplicación de técnicas geofísicas y geotécnicas. Los resultados obtenidos evidencian la presencia de suelos medianamente rígidos a rígidos (material aluvial con velocidades V_{s30} de 230 a 410 m/s), formando capas de hasta 40 metros de espesor en dirección suroeste (club deportivo San Miguel); además de alto contenido de humedad. Los suelos responden principalmente a periodos cortos de vibración (entre 0.1 y 0.4 segundos) y a profundidades de 1.0 y 1.5 metros presentan capacidad de carga admisible Muy Baja ($<1.0 \text{ Kg/cm}^2$), De acuerdo con estas características, en el C.P. Monterón predominan suelos Tipo S2 y S3 que corresponden a suelos rígidos e intermedios, con la presencia de una capa delgada de suelos blandos a nivel superficial. A la ocurrencia de un sismo de moderada a mayor magnitud, los suelos pueden experimentar niveles altos de sacudimiento por la presencia, en dirección suroeste, de suelos 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, Paíta, 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 (Vs) 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 Monterón (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 centro poblado Monterón 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 insumo para la gestión del riesgo de desastres, a fin de realizar una adecuada planificación territorial y expansión urbana.

1.2. Área de estudio

El centro poblado La Huaca se ubica en la región norte del Perú, en el C.P. Monterón, distrito de Marcavelica, provincia de Sullana en el departamento de Piura (Figura 1), en las coordenadas geográficas

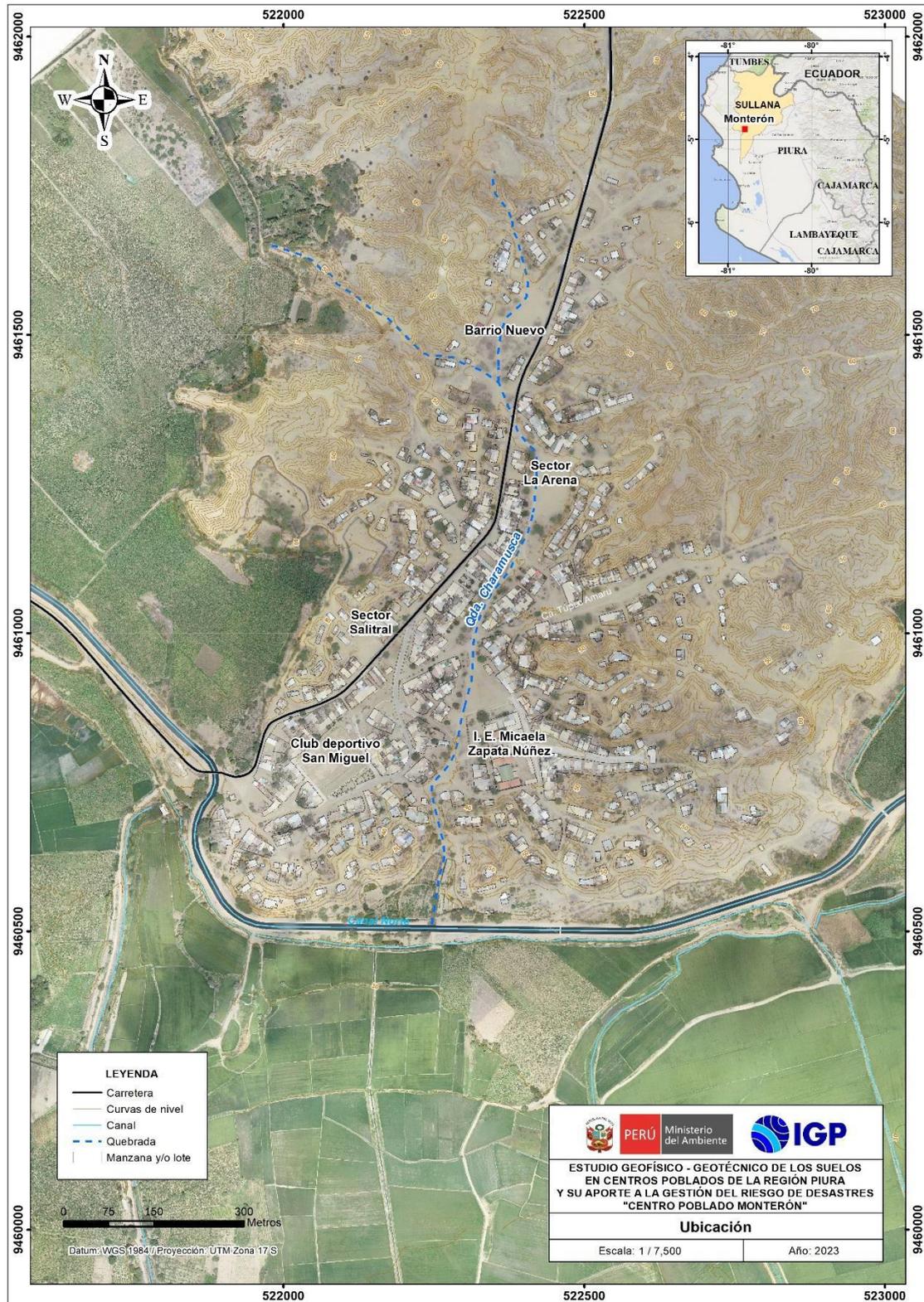


Figura 1. Centro Poblado Monterón.

latitud 4.87°S y longitud 80.71°O, a una elevación media de 41 m.s.n.m. Asimismo, tiene una población de 2166 habitantes (INEI, 2017) y su superficie se caracteriza por presentar un relieve llano ubicado a una distancia promedio de 1300 metros al norte 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 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 - (medianament e 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 Monterón, 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 5.6 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 histórico máximo de precipitaciones el día 22 de marzo de 1988 con valores de 201 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 Monterón con profundidades máximas de 3.00 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 de Monterón, los suelos

están compuestos por gravas limosas, arcillas inorgánicas, arenas mal graduadas y arenas limosas. Asimismo, los parámetros geotécnicos obtenidos mediante el ensayo de corte directo indican que, el ángulo de fricción de los suelos presenta valores entre 26° y 32° , así como cohesión máxima de 0.020. Según el estudio geotécnico, la capacidad portante de Monterón, presenta capacidad de carga admisible muy baja menor a 1.00 kg/cm^2 .

2. GEOLOGÍA, GEOMORFOLOGÍA Y GEOTECNIA

2.1. Geología local

El análisis de la geología regional ha sido desarrollado, en base a información del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET, 1998) a escala 100,000 (Cuadrángulo Geológico de Sullana – hoja 10b); mientras que, para la geología local se ha desarrollado mediante el reconocimiento in situ, cuyas unidades geológicas se describen a continuación:

Formación Chira (Pe-chi): Consiste en una secuencia de rocas lutitas bentónicas, areniscas y horizontes de conglomerados, de colores oscuros a rojizos, debido a los procesos de intemperización. Esta unidad constituye el substrato rocoso del área de estudio y aflora en las lomas ubicadas en los alrededores del centro poblado Monterón, (Figura 2).



Figura 2. Areniscas bentónicas que conforman la Formación Chira (flecha amarilla), afloran a 170 metros al sureste del área de estudio.

Depósito aluvial antiguo (Qh-al1): Esta unidad geológica está conformada por materiales heterogéneos como gravas, arenas y limos que fueron transportados y depositados por antiguos cauces de quebradas. Sobre esta unidad geológica se asientan las viviendas del C.P. Monterón, (Figura 3).



Figura 3. Principalmente sobre estos depósitos aluviales antiguos se asientan las viviendas del poblado Monterón.

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.

Cabe mencionar que, sobre estos tipos de depósitos se asienta el valle del Chira y se desarrollan actividades agrícolas, se ubica hacia los extremos sur y oeste del C.P. Monterón, (Figura 4).

Depósito aluvial reciente (Qh-al2): Esta unidad geológica está conformada por materiales heterogéneos como arenas, limos y

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



Figura 4. Depósito fluvio aluvial (polígono rojo) originado por la dinámica del río Chira situados en el extremo sur del C.P. Monterón.



Figura 5. Depósito aluvial reciente que han resultado de la meteorización de rocas y materiales recientes que han sido transportados y dispuestos en el cauce de la quebrada Charamusca (flecha de color negro).

Depósito antrópico (Qh-an): Materiales resultantes por actividades inducidas por acción humana que han sido dispuestos en las inmediaciones de las viviendas. Consisten en desmonte, desechos y diversos residuos, (Figura 6).

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



Figura 6. Depósito antrópico (polígono rojo) conformados por desmonte y residuos generados por las actividades inducidas por acción humana.

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. Monterón en base a sus características físicas y los procesos que las han originado:

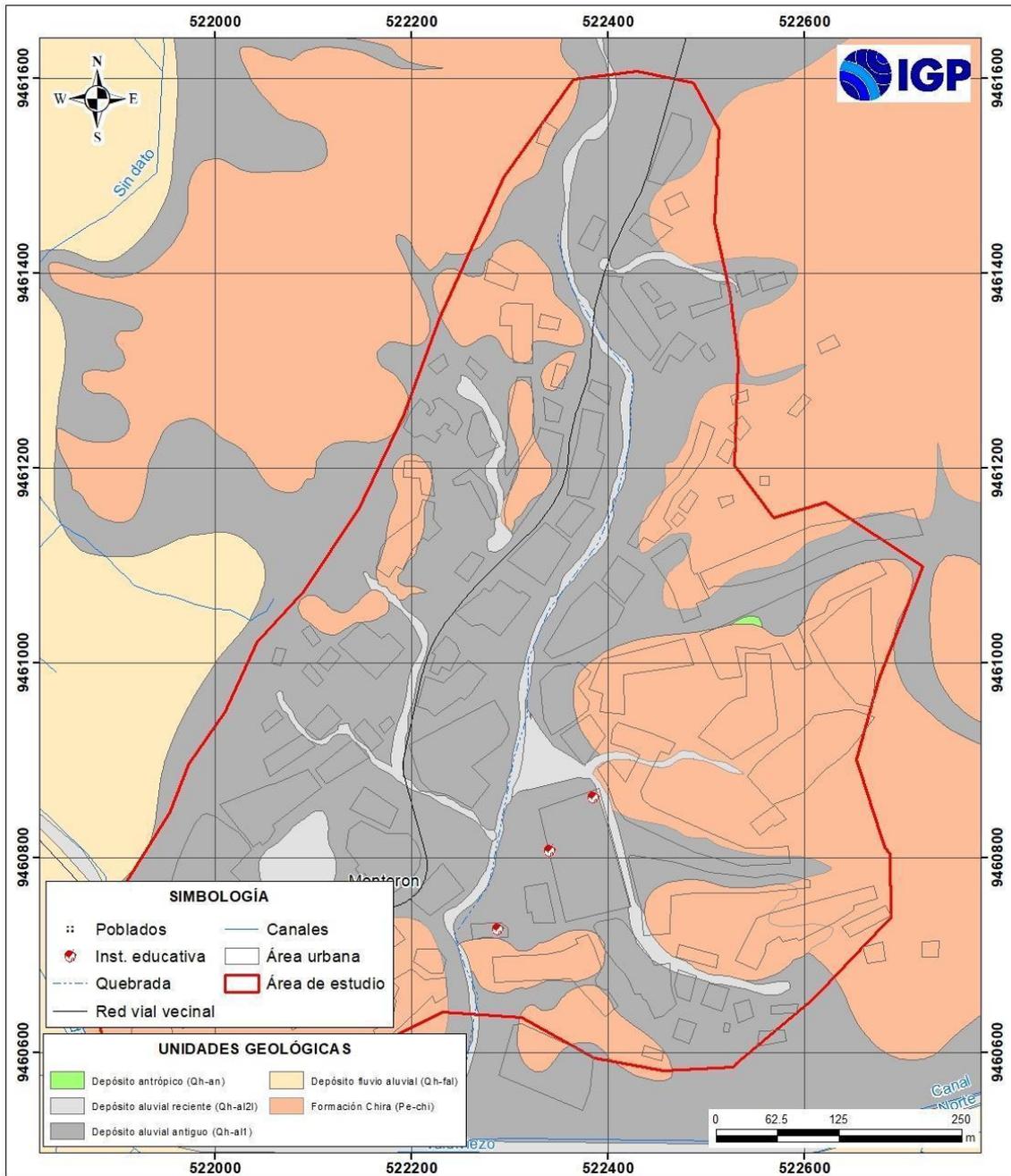


Figura 7. Mapa geológico del área urbana del centro poblado de Monterón.

2.2.1. Levantamiento topográfico - fotogrametría

Se realizó el levantamiento topográfico en alta resolución del centro poblado de Monterón, 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/píxel, los cuales indican que el área de mayor elevación (30 a 80 m.s.n.m.) se encuentra en la zona centro y noreste comprendiendo el casco urbano y áreas de cultivo, mientras que la zona de menor elevación (17 a 25 m.s.n.m.) se distribuye al oeste, sur y este abarcando áreas de cultivo. (Figura 8).

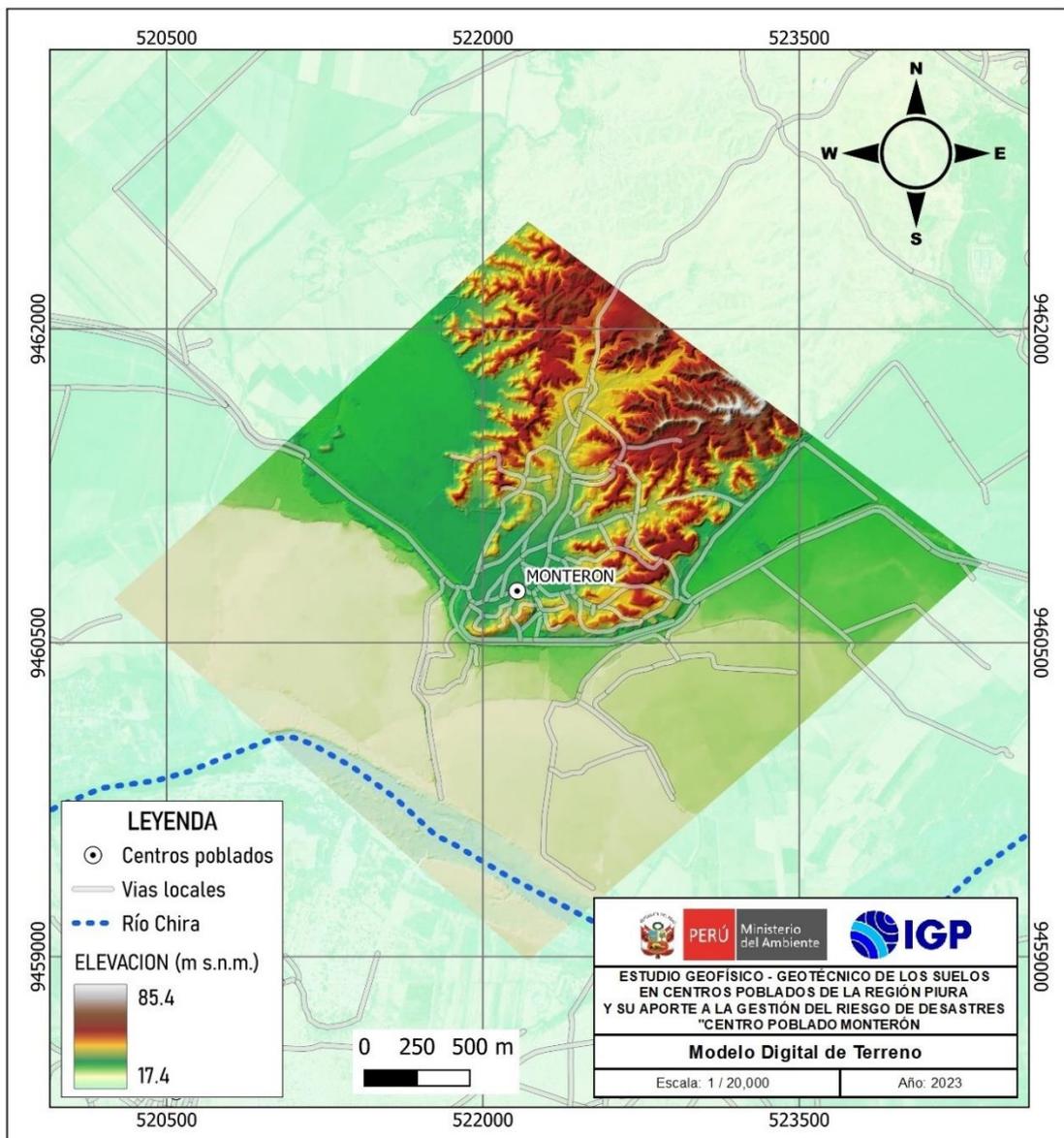


Figura 8. Modelo digital de terreno del centro poblado Monterón.

- **Ortomosaico:** se ha generado a partir de la unión de 1,699 mosaicos que han sido corregidos por distorsiones ocasionados por el relieve y los objetos presentes en Monterón. La imagen permite identificar las áreas de cultivo que abarcan un área aproximada de 484 has y el casco urbano 92 has, estas zonas representan el 50% y 10% del área total respectivamente.
- **Mapa de curvas de nivel:** A partir del Modelo Digital del Terreno, se ha generado un mapa de curvas de nivel para el centro poblado Monterón con un intervalo de 5 metros a escala 1: 25000. Los resultados muestran elevaciones máximas en zonas ubicadas al noreste del casco urbano.

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

2.2.2. Unidades geomorfológicas

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

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 de la quebrada Charamusca (ubicada en las inmediaciones de las viviendas, específicamente a 50 metros al oeste de la I.E. Micaela Zapata Núñez) que presenta flujo de agua temporal (precipitaciones extremas durante los meses de diciembre – abril) y algunos canales de irrigación ubicados en los extremos sur y oeste del poblado, como el Canal Norte, (Figura 9).



Figura 9. Cauce aluvial perteneciente a la quebrada Charamusca que se activa durante los periodos de lluvia ocurridos durante los meses de diciembre – abril que colecta las aguas del área de estudio, cuyo cauce tiene dirección predominante norte – sur.

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 centro poblado Monterón 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 10).

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 centro poblado Monterón que se ubica aproximadamente en un desnivel topográfico inferior a 3 a 4 metros respecto a la plaza principal del poblado, (Figura 11).



Figura 10. Depresión aluvial (polígono amarillo) delimitada en las inmediaciones de las viviendas del centro poblado Monterón, en esta geoforma se acumula agua durante los periodos de lluvias intensas.



Figura 11. Terraza fluvio - aluvial (polígono amarillo), 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. Sobre esta unidad se asienta la mayor parte del área urbana del C.P. Monterón, (Figura 12).



Figura 12. Sobre esta terraza aluvial se asienta la mayor parte de viviendas del C.P. Monterón, colindante con una loma.

Loma: Constituida por superficies elevadas de forma alargada con pendiente superior a los 15° de inclinación. Esta unidad se ha delimitado en mayor proporción a los alrededores del poblado, sin embargo, existen viviendas asentadas sobre ésta (Figura 13).



Figura 13. Loma sobre la cual se asientan algunas viviendas del C.P. Monterón.

Finalmente, en la Figura 14 se presenta el mapa de geomorfología del área urbana del C.P. Monterón, elaborado con la información recolectada en campo.

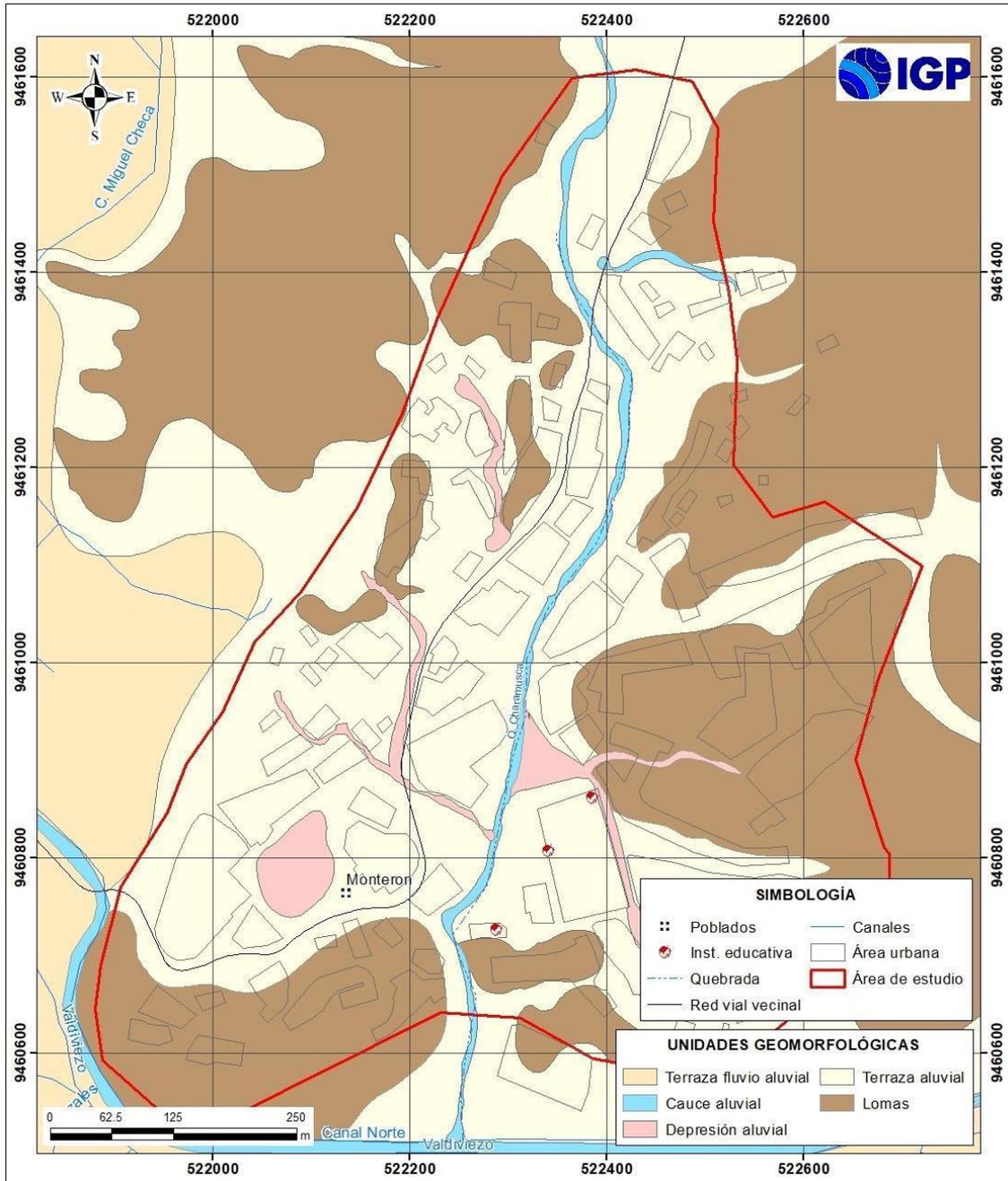


Figura 14. Mapa geomorfológico del área urbana del C.P. Monterón, donde la población se asienta principalmente sobre la unidad terraza aluvial.

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 Monterón, se identificaron los 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 centro poblado Monterón 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 se han reconocido zonas susceptibles a inundaciones pluviales en las inmediaciones del sector Cesar Vallejo, Av. Miguel Grau (inmediaciones de coliseo deportivo) y en la calle Mariano Melgar, (Figuras 15 y 16).

Asimismo, la ocurrencia de precipitaciones pluviales intensas podría generar la activación de la quebrada Charamusca que drena sus aguas en sentido norte-sur, a través de las calles Miguel Sánchez Cerro, Alfonso Ugarte y finalmente hasta su desembocadura en el canal Norte, evento que podría afectar viviendas aledañas y los

accesos hacia la institución educativa Micaela Zapata Núñez (Figura 17).



Figura 15. Zona de depresión (polígono amarillo) ubicada a 150 metros al norte de la zona central del poblado Monterón donde se producen inundaciones en épocas de lluvias intensas debido a la pendiente del terreno



Figura 16. Zona susceptible a la ocurrencia de inundaciones pluviales (polígono amarillo) ubicada 312 metros al norte de la plaza principal de Monterón, cuyas aguas de escorrentía se acumulan en esta depresión.

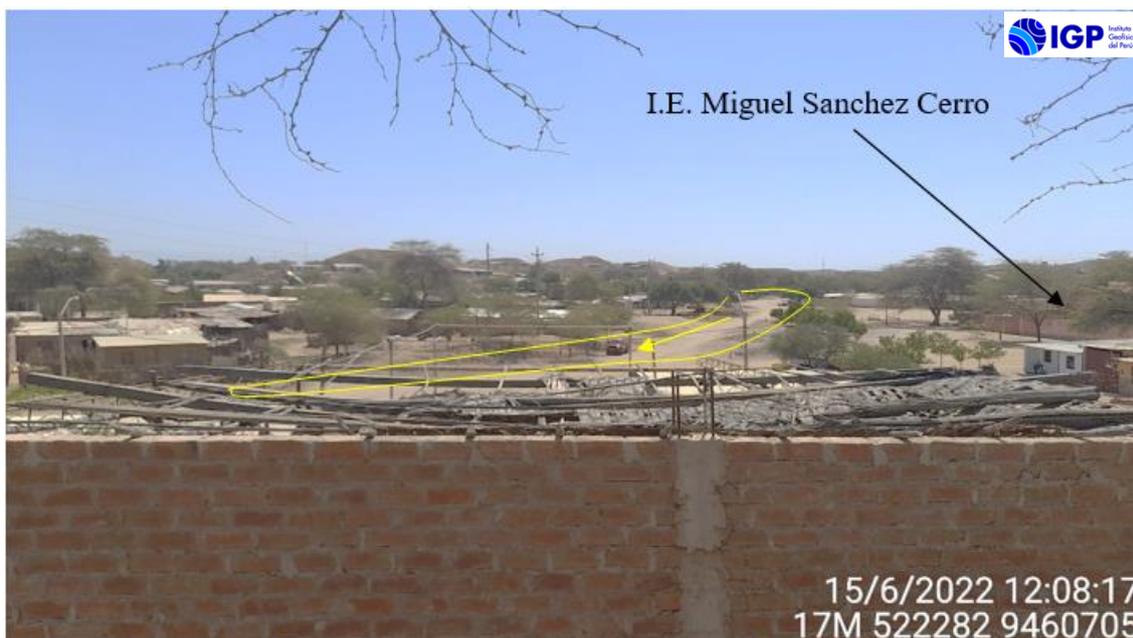


Figura 17. Zonas susceptibles a inundaciones pluviales han sido identificadas en las inmediaciones de la quebrada Charamusca (polígono amarillo) que podría afectar viviendas contiguas a la calle Miguel Sánchez Cerro y los accesos a la institución educativa Micaela Zapata Núñez

Finalmente, haciendo uso de la cartografía antes descrita se generó un mapa geodinámico para el área urbana del centro poblado Monterón (Figura 18).

2.4. GEOTECNIA

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

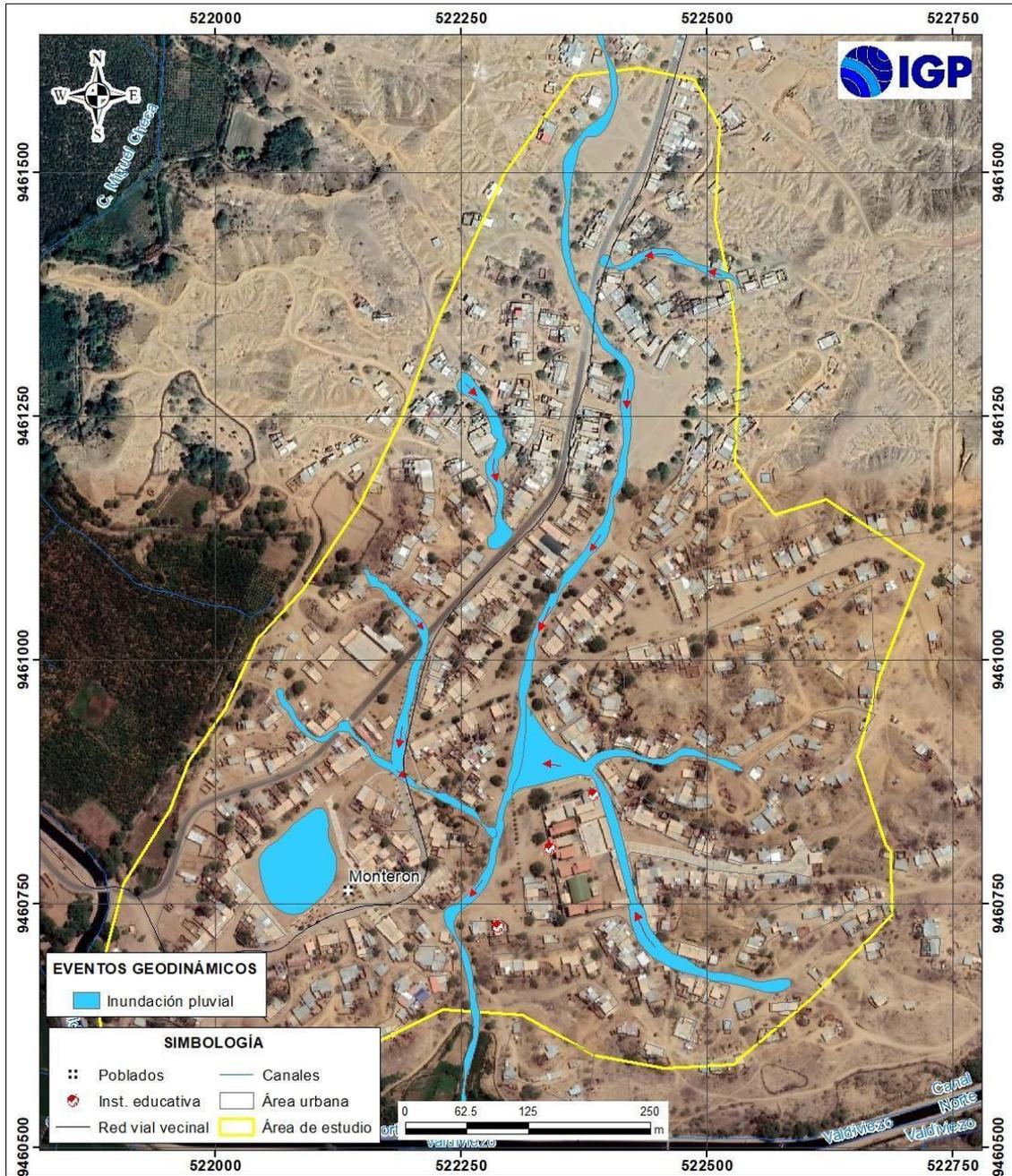


Figura 18. Con la información recopilada en campo, se generó el mapa geodinámico de Monterón, delimitando las áreas susceptibles a inundaciones pluviales.

Tabla 2. Ubicación de calicatas

CALICATA	MUESTRA	UTM ESTE(m)	UTM NORTE(m)	PROFUNDIDAD (m)	NIVEL FREÁTICO A (m)
CM-01	M-2	522431	9461576	3.00	N.P.
CM-02	M-2	522409	9461237	3.00	N.P.
CM-03	S/M	522663	9461120	0.00 – 0.30	N.P.
	M-1			0.30 – 1.00	N.P.
	M-2			1.30 – 3.00	N.P.
CM-04	M-2	522303	9460913	3.00	N.P.
CM-05	M-1	522038	9460765	3.00	N.P.

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

Clasificación de suelos SUCS en el área urbana de Monterón: 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 (Figura 19, Tabla 3):

- **Suelos tipo GM:** Están conformados por gravas limosas, cuyo contenido de humedad es de 2.3 %, constituyen suelos de compacidad media, no presentan índice plástico y densidad máxima de 1.842 gr/cm³. Este tipo de suelos ha sido identificado en la calicata CM-3 que se ubica a 637 m al noreste de la plaza de Monterón, hasta una profundidad de 1.4 metros.
- **Suelos tipo SP - SM:** Están conformados por arenas mal graduadas con presencia de limos, cuyo contenido de humedad es de 1.0 – 5.0 %, constituyen suelos de compacidad

media, no presentan índice plástico y tienen densidad máxima de 1.841 gr/cm³. Este tipo de suelos ha sido identificado en la calicata CM-2 y CM-4 que se ubican en el extremo norte de la plaza de C.P. Monterón (distancia de 546 y 230 metros, respectivamente), hasta una profundidad de 1.2 metros.

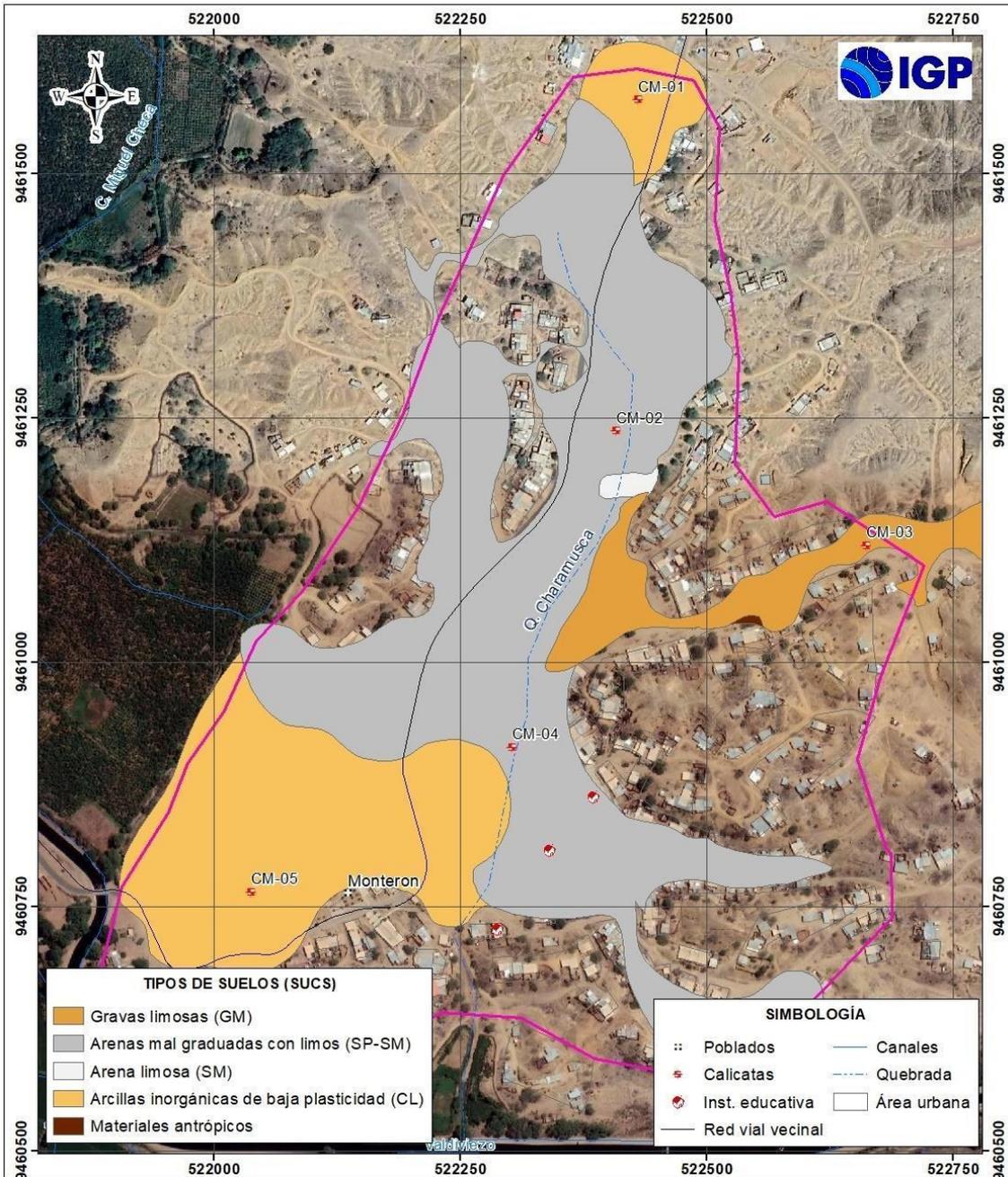


Figura 19. Mapa de clasificación SUCS de suelos en el área urbana de Monterón.

- **Suelos tipo SM:** Están conformados por arenas limosas, contenido de humedad de 3.7 %, constituyen suelos de compacidad media, no presentan índice plástico. Estos suelos han sido identificados en las inmediaciones de la calicata CM-02 (profundidad de 0.4 – 3.0 metros) que se ubica a 490 m al noreste de la plaza principal del C.P. Monterón.
- **Suelos tipo CL:** Están conformados por arcillas inorgánicas de baja plasticidad, con contenido de humedad de 7 a 10.5 %, constituyen suelos de compacidad media e índice plástico de 9.0 a 16.0%. Presenta densidad máxima de 1.800 y 1.900 gr/cm³ y ha sido identificado en las calicatas CM-01 y CM-05 (profundidades máximas de 3.0 metros) que se ubican a 862 metros al norte y 90 metros al oeste de la plaza principal del C.P. Monterón, respectivamente.

Tabla 3. Clasificación SUCS de los suelos de las 4 calicatas elaboradas en el área urbana de Monterón.

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	2.00	N.P.	0.00	14.80	85.20	30	–	9	10.50	CL	Limo inorgánico
CM - 02	1.20	N.P.	0.00	88.30	11.70	N.P.	–	N.P.	1.40	SP -SM	Arena mal gradada con limo
CM - 03	3.00	N.P.	46.90	71.50	28.50	N.P.	–	N.P.	3.70	GM SM	Gravas con limos Arenas con limos
CM - 04	3.00	N.P.	25.20	67.40	7.40	N.P.	–	N.P.	4.40	SP -SM	Arena mal gradada con limo
CM - 05	3.00	N.P.	0.00	20.40	79.60	41	–	16	8.60	CL	Arcillas inorgánicas

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

- 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 490 metros al noreste de la plaza del C.P. Monterón.

A continuación, se establece una tabla de resumen de los tipos de suelos existentes en el área urbana de Monterón.

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 0.702%,
- Calicata CM 02, muestra 0.100%,
- Calicata CM 03, muestra 0,110% y
- Calicata CM 04, muestra 0.238%.
- Calicata CM 05, muestra 1.396%.

Considerando estos resultados y haciendo la comparativa con límites permisibles de agresividad del suelo al concreto (Tabla 4) se determina que los suelos muestreados en las calicatas CM-01 y CM-05 en el centro poblado Monterón contienen sales solubles podrían afectar la cimentación de las edificaciones, siendo necesario la utilización de cemento tipo CM.

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 interno (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 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.

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. Monterón se presentan en el Tabla 5.

Tabla 5. Parámetros geotécnicos obtenidos de las muestras del centro poblado Monterón

CALICATA	CM-1	CM-2	CM-3		CM-4	CM-5
ÁNGULO DE FRICCIÓN (°)	28.274	30.662	32.909	30.128	27.018	26.657
COHESIÓN	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02

Fuente: Gobierno Regional de Piura.

La Tabla 5 indica que, los suelos del C.P. Monterón presentan ángulos de fricción entre 28 y 32°, así como cohesión entre 0.000 y 0.020.

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

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

Dónde: C= cohesión, q= carga (x*Df) y Nc, Nq, Ny: 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 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 1.0 metro. Los resultados de capacidad de carga admisible de suelos analizados se presentan en la Tabla 7.

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

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	1.24	0.41	F.L	1.71	0.57	F.L
CM-02	--	--	--	2.05	0.68	F.L
CM-03	1.99	0.66	F.L	1.81	0.60	F.L
CM-04	1.02	0.34	F.L	1.41	0.47	F.L
CM-05	1.38	0.45	F.L	1.78	0.59	F.L
DIMENSIONES DE CIMENTACIÓN	Profundidad: 1.0 m ancho:1.0 m (Zapata Cuadrada)			Profundidad: 1.5 m y ancho:1.0 m (Zapata cuadrada)		

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

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 Monterón presentan capacidad de carga admisible muy baja (menor a 1.00 kg/cm²), (Figura 20).

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

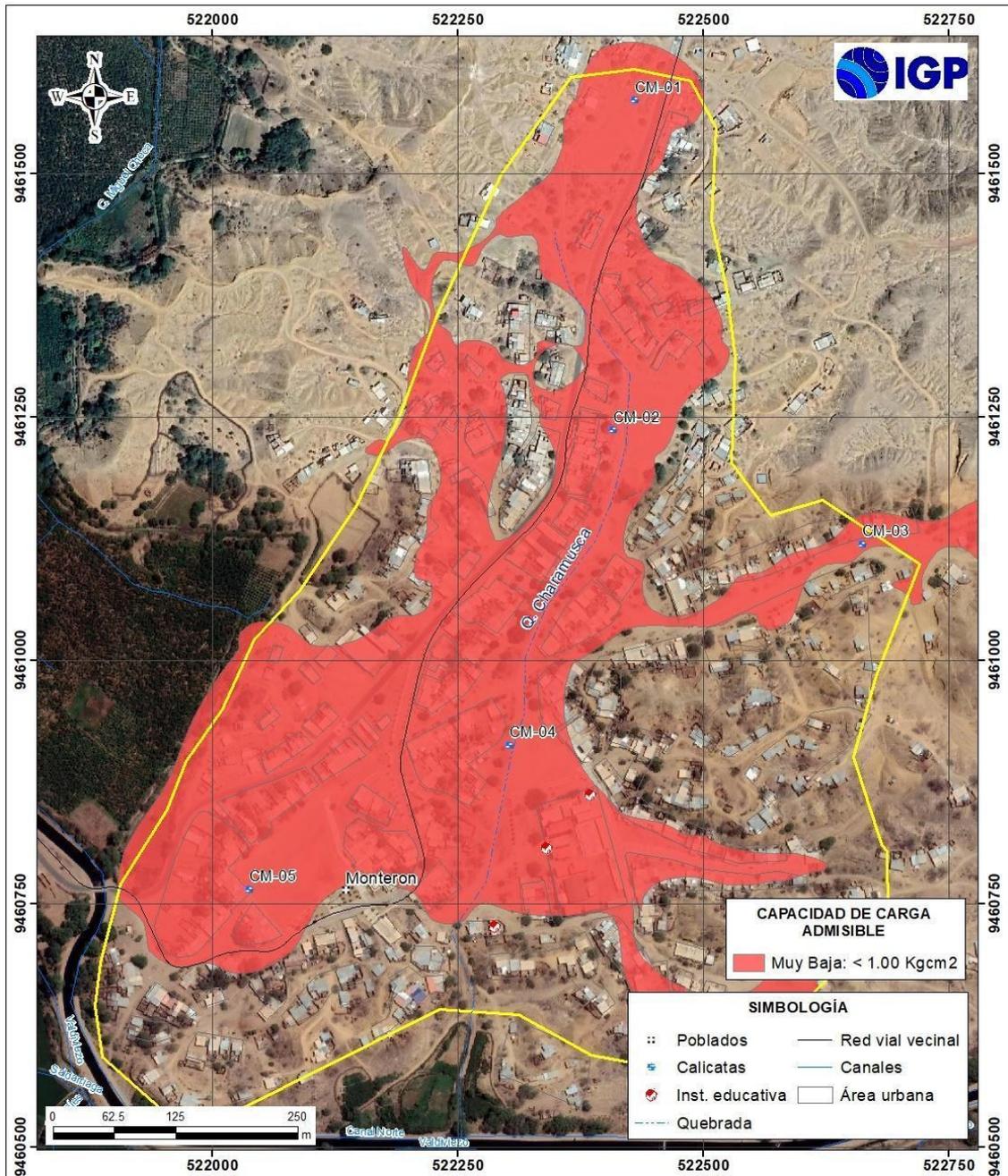


Figura 20. Mapa de capacidad de carga admisible de los suelos de cimentación del C.P. Monterón, para una profundidad de cimentación de 1.5 metro y ancho de zapata cuadrada de 1.0 metro.

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 Monterón, 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, perfiles sísmicos obtenidos mediante el análisis multicanal de ondas superficiales y microtremores (MASW y MAM) y tomografía eléctrica. A continuación, se describe cada método.

3.1.1. Razones espectrales (H/Vv)

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 tipos de suelos, espesor, geometría y composición litológica, condicionan, la amplificación de las ondas sísmicas.

En la Figura 21, se muestra un ejemplo del proceso de análisis seguido usando como dato de entrada el registro de vibración

ambiental (MO-04) 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.

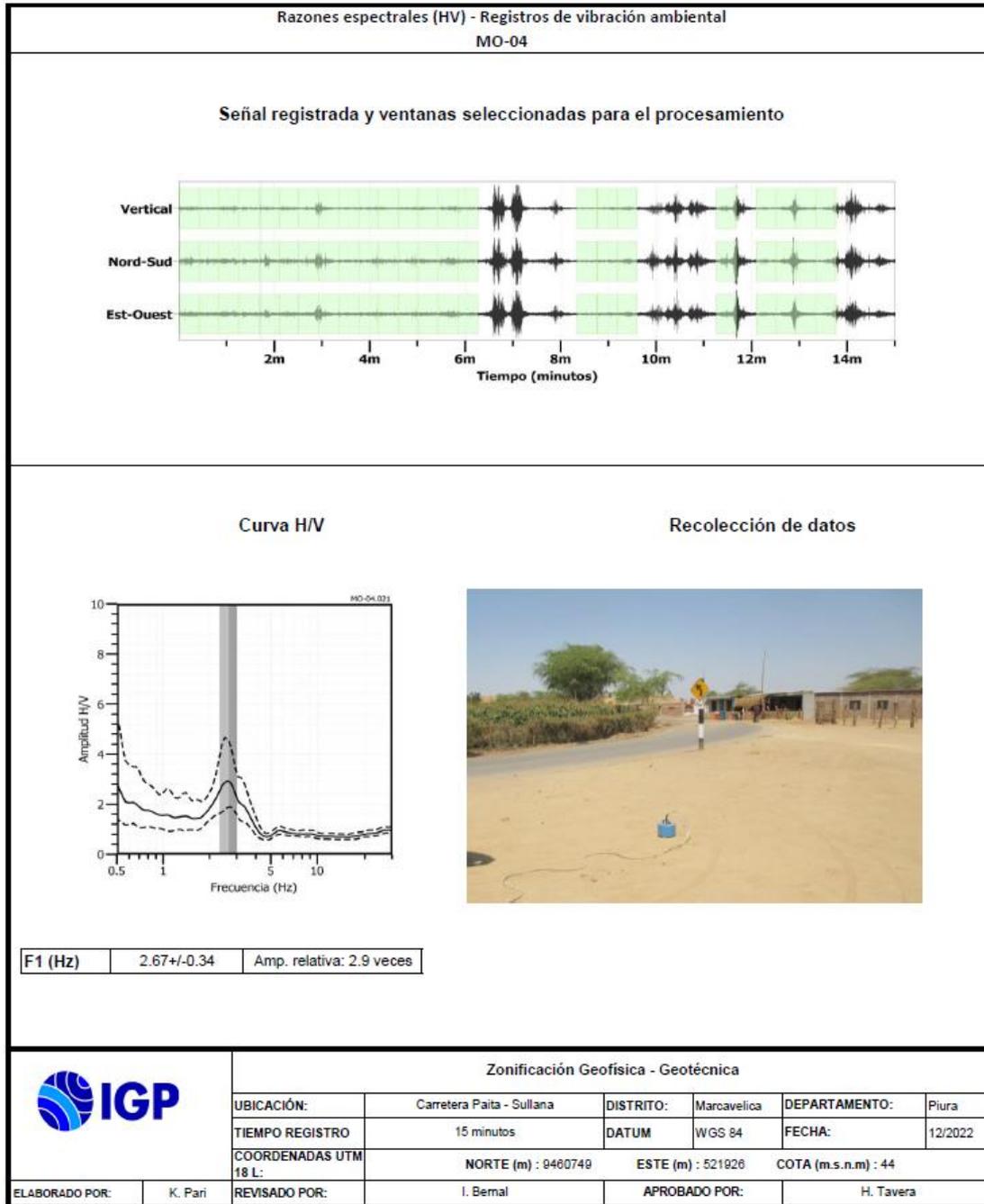


Figura 21. Resultados obtenidos con el método de razones espectrales (H/V) para el punto MO-04. Arriba, la señal registrada y abajo la curva promedio de las razones espectrales (H/V) en línea gruesa y su desviación estándar en líneas discontinuas. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

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 22.

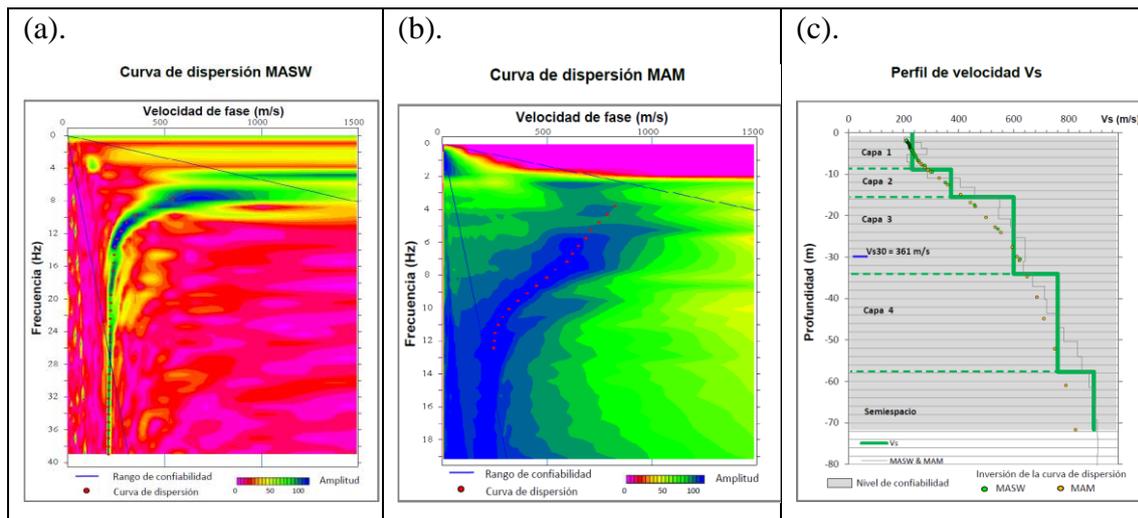


Figura 22. Curvas de dispersión obtenidos a partir de las técnicas MASW (a) y MAM (b) y perfil de velocidad obtenido a partir de la combinación de ambos ensayos (c).

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		

3.1.2. 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.

3.2. Adquisición de datos

En el área urbana del centro poblado Monterón, se ha recolectado en campo un total de 33 registros de vibración ambiental en puntos distribuidos de manera equidistante, tal como se observa en la Figura 23. Asimismo, se ha considerado datos obtenidos sobre tres líneas de tomografía eléctrica y de cuatro líneas de arreglos sísmicos.

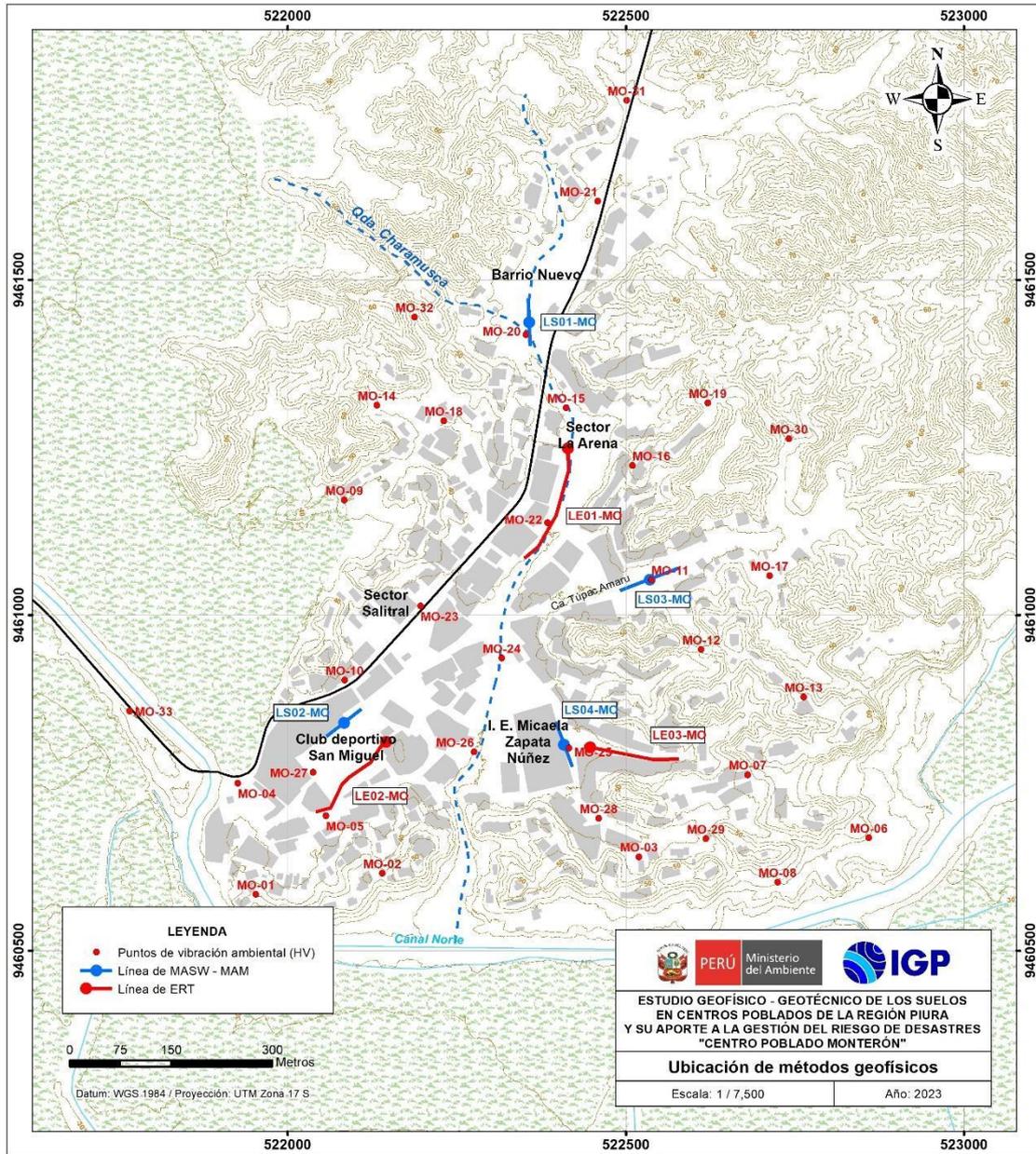


Figura 23. Distribución espacial de los puntos y líneas de adquisición de datos geofísicos en el C.P. Monterón.

Registros de vibración ambiental: Para la adquisición de estos registros, se utilizaron sensores Lennartz y registradores CityShark II (Figura 24). Cada registro presenta una duración de 15 minutos, lo cual permite disponer de buena cantidad de datos para su posterior análisis. En la Figura 25, se muestra ejemplos de señales de vibración ambiental registrados en el punto MO-16, ubicado por el sector La Arena, donde

existe ruido de poca amplitud y/o saltos transitorios. Aquí se observa que la señal es estable; es decir, no está muy perturbada en comparación con la señal de MO-03 que presenta algunos saltos y/o picos de altos niveles de ruido, está ubicado al sur por la I.E. Micaela Zapata Núñez.

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



Figura 24. Equipo sísmico utilizado para el registro de vibraciones ambientales: sensor Lennartz (2N) y registradores CityShark II.

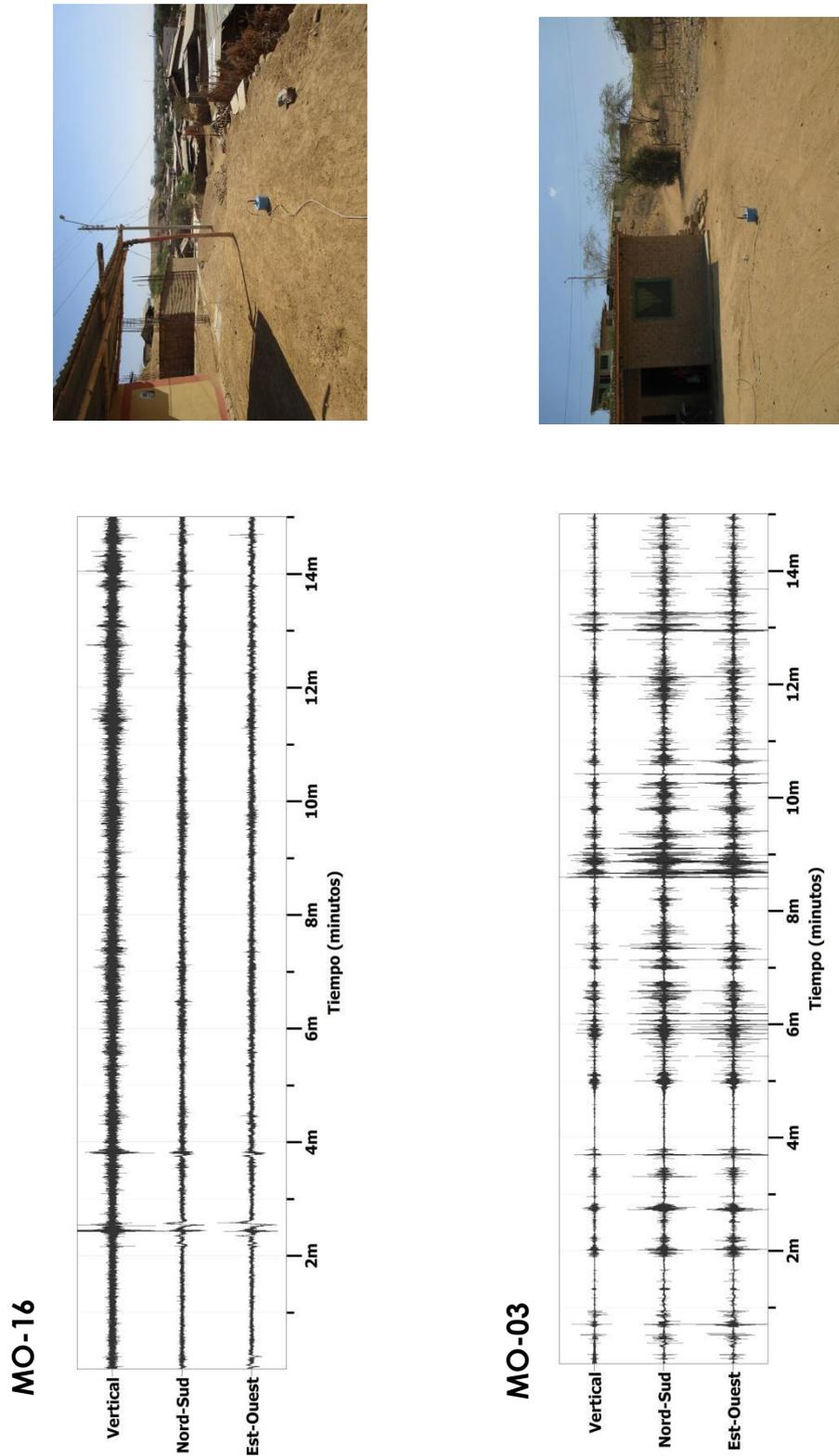


Figura 25. Ejemplos de registros de vibración ambiental obtenidos en los puntos MO-16 y MO-03, ubicados sobre diferentes tipos de suelos. Obsérvese las diferentes amplitudes de la señal registrada en cada punto.

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 26).

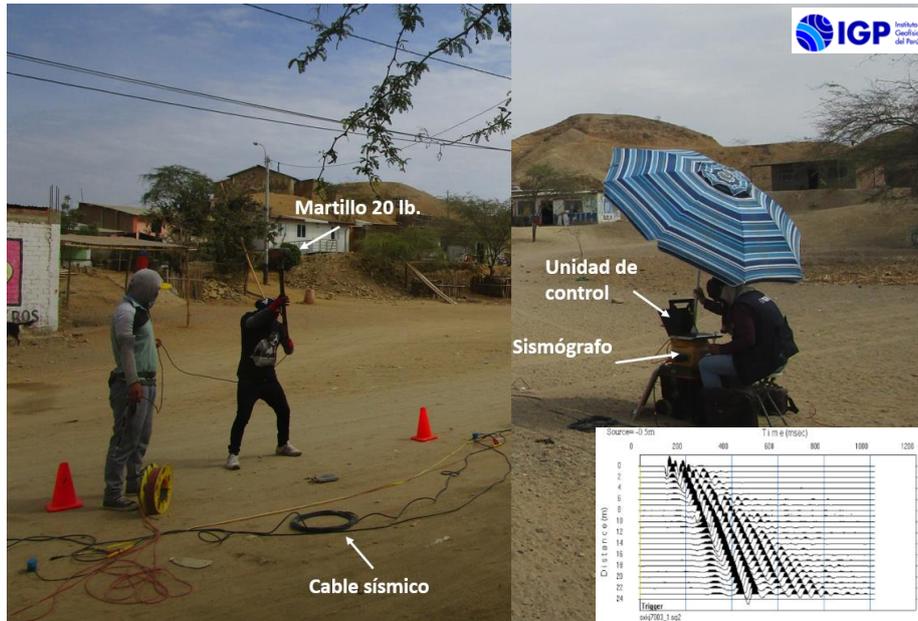


Figura 26. Disposición del equipo para la adquisición de registros sísmicos – MASW.

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)				
MONTERÓN						
1	LS01-MO	522356	9461437	46	3	69
2	LS02-MO	522084	9460841	35	3	69
3	LS03-MO	522410	9460810	34	3	69
4	LS04-MO	522533	9461056	49	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 27) y accesorios (cables multipolar, electrodos, combas, etc.). La distribución de las 3 líneas se presenta en la Figura 23 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)				
MONTERÓN						
1	LE01-MO	522413	9461257	58	10	190
		522349	9461084	54		
2	LE02 MO	522151	9460817	54	10	190
		522041	9460706	51		
3	LE03 MO	522439	9460803	50	10	140
		522578	9460785	62		

3.3. Resultados

3.3.1. Frecuencias predominantes

Los suelos del C.P. Monterón, responden a frecuencias: $F > 2.0$ Hz; estas frecuencias se distribuyen en la mayor parte del área de estudio, donde los menores valores de frecuencias se encuentran próximos al Canal Norte y al club deportivo San Miguel e incrementan conforme se aproximan a las lomadas, estas características sugieren gran heterogeneidad en la composición de los suelos. 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).



Figura 27. Disposición del equipo para la adquisición de datos de resistividad.

- **Frecuencias predominantes, F0:** En la Figura 28 se muestra la distribución espacial de los valores de F0, observándose el predominio de valores entre 2.40 a 15.4 Hz (0.1 a 0.4 segundos). Donde los valores bajos de frecuencia con alta amplificación se distribuyen en la parte central del C.P. Monterón. Asimismo, se identifica un pico de frecuencia bien definido entre 4 a 6 Hz; con amplificaciones de hasta 5.4 veces, lo cual sugiere la presencia de suelos blandos.

La Figura 29 muestra las razones espectrales (H/V) obtenidas para los puntos MO-01, MO-26 y MO-27, ubicados en la zona sur del centro poblado por el club deportivo San Miguel, presentan un pico bien definido con frecuencias predominantes altas de 3.68, 3.71 y 2.57 Hz y amplificaciones de 2.9, 1.8 y 4.0 veces.

Los puntos MO-10, MO-15 y MO-24 (Figura 30), ubicados el primero por el sector Salitral, el segundo por el sector La Arena y el tercero al norte de la I.E. Micaela Zapata, presentan un pico bien definido con frecuencias de, 4.98, 5.35 y 4.99 Hz con amplificaciones de 3.3, 2.6 y 4.1 veces respectivamente, así mismo se evidencia un segundo pico en el punto MO-10 con frecuencia de 0.97 Hz con amplificaciones de 3.3 veces.

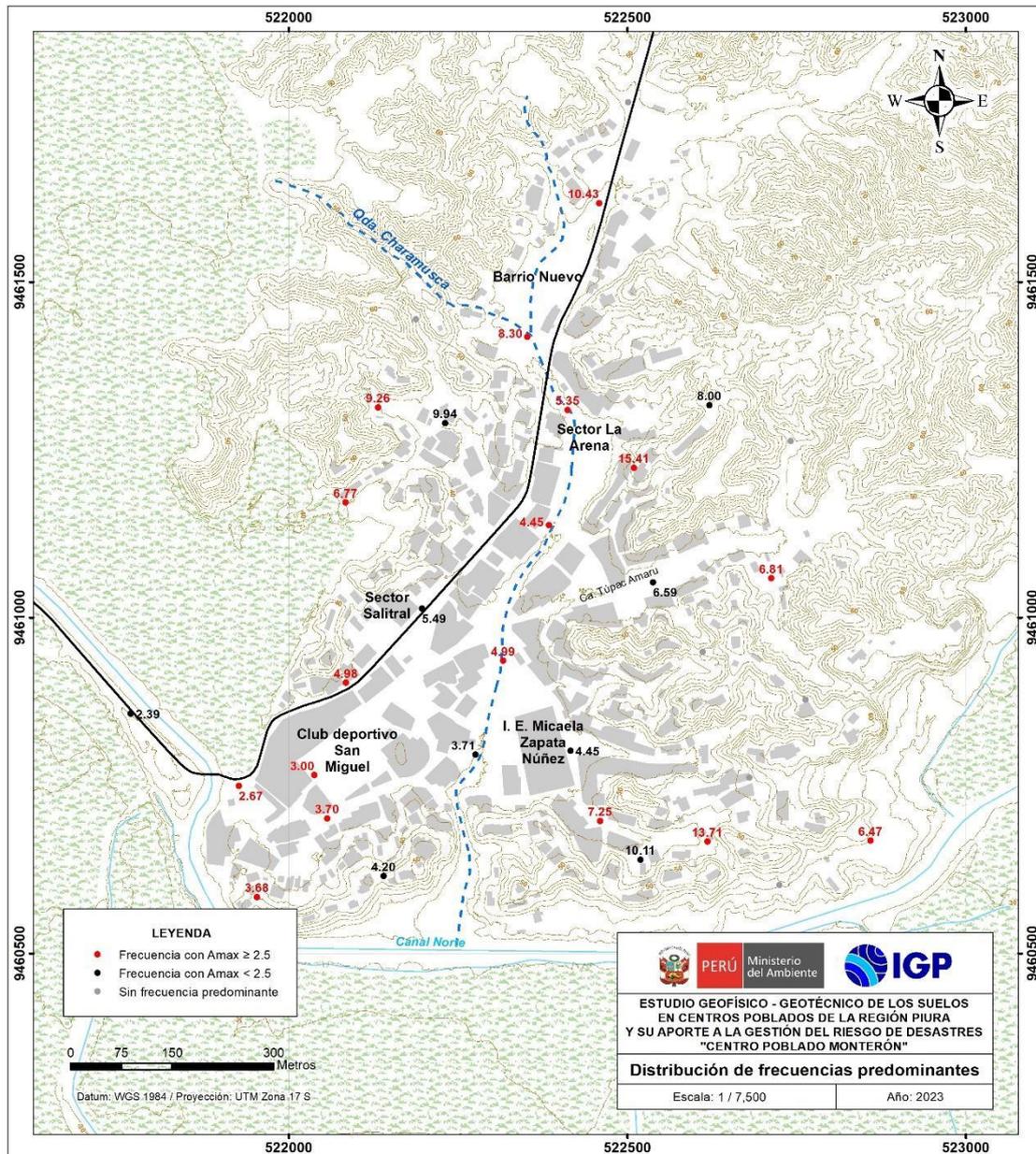
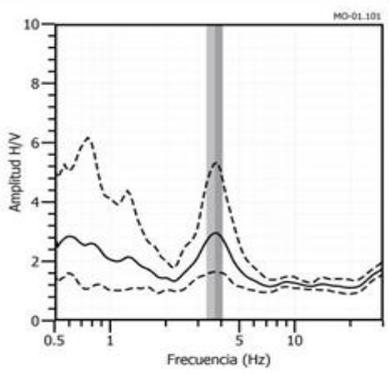
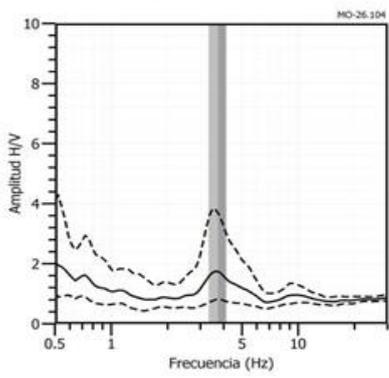


Figura 28. Distribución espacial de la frecuencia F_0 ($F > 2.0\text{Hz}$). Los valores en rojo corresponden a puntos con amplificaciones mayores a 2.5 veces.

MO-01



MO-26



MO-27

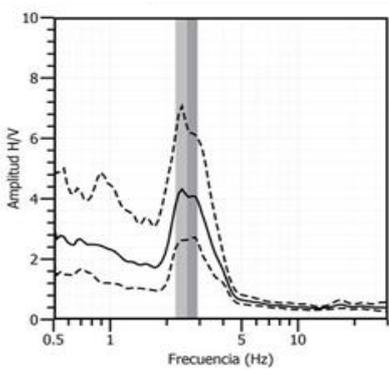
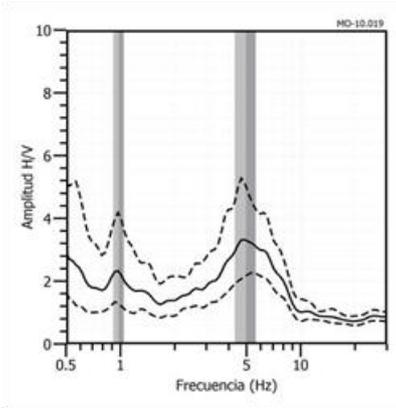
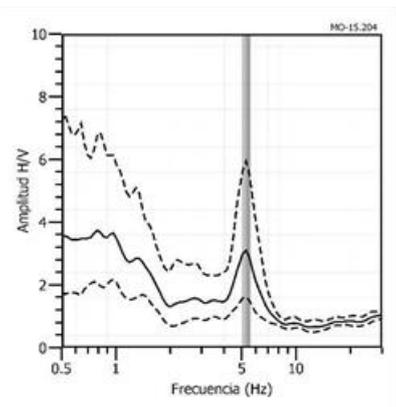


Figura 29. Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango y F_0 ($F > 2.0\text{Hz}$): Para los puntos MO-01, MO-26 y MO-27, ubicados en la zona sur del centro poblado por el club deportivo San Miguel, próximos al parque de la Cultura. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

MO-10



MO-15



MO-24

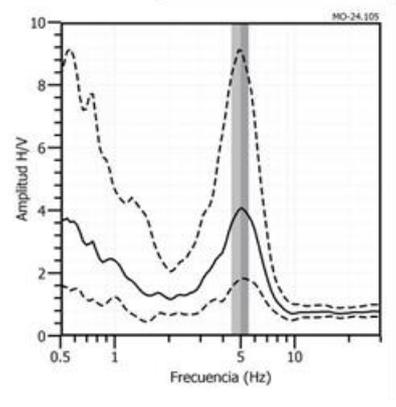
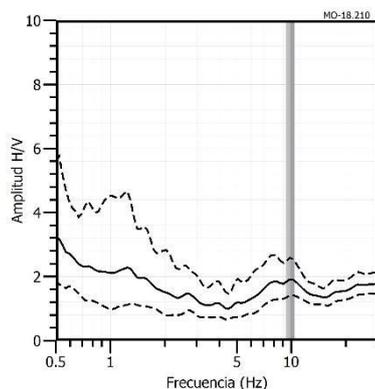
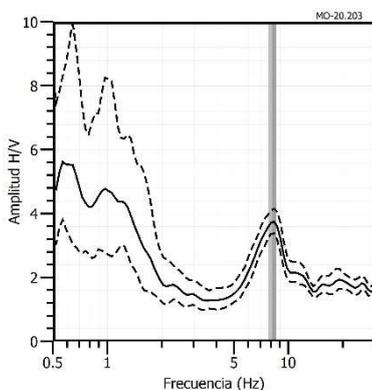


Figura 30. Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango y $F_0(F > 2.0\text{Hz})$: Para los puntos MO-10, MO-15 y MO-24, ubicados el primero por el sector Salitral, el segundo por el sector por La Arena y el tercero al norte de la I.E. Micaela Zapata. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

MO-18



MO-20



MO-21

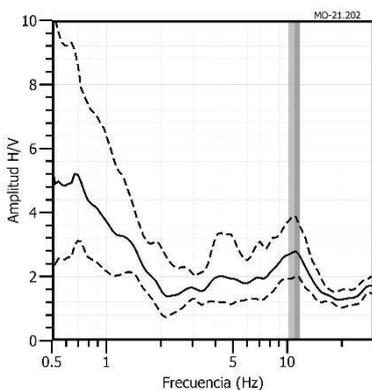


Figura 31. Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango y F_0 ($F > 2.0\text{Hz}$): Para los puntos MO-18, MO-20 y MO-21, ubicados por Barrio Nuevo. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

Finalmente, las razones los puntos MO-18, MO-20 y MO-21 (Figura 31), ubicados por Barrio Nuevo, responden a dos frecuencias, el primer pico a 9.94, 8.30 y 10.43 Hz con amplificaciones de 2.0 y 3.7 y 2.5 veces respectivamente.

Interpretación

El análisis de razones espectrales H/V en el área de estudio ha permitido observar que los suelos del área urbana de Monterón responden a un pico de frecuencias mayores a 2.0 Hz, los cuales se distribuyen en toda el área de estudio, principalmente donde está concentrada la mayor parte del área urbana, con moderada a alta amplificación por el club deportivo San Miguel, sector Salitral, I.E. Micaela Zapata y el sector La Arena.

Los resultados evidencian que el suelo del área de estudio es heterogéneo y presentaría baja consolidación, principalmente en la parte central (por el club deportivo San Miguel), a diferencia de los suelos que se emplazan al pie de las lomas.

- Periodos dominantes: A partir de las frecuencias predominantes, se obtiene los periodos de respuesta del suelo y cuya distribución se muestra en la Figura 32. En este caso, en el área de estudio los suelos responden a periodos con valores de 0.1 segundo, identificados en su mayoría al pie de las lomas, sugiere suelos de poca potencia. Por otro lado, periodos de hasta 0.4 segundos en la parte central, por el club deportivo San Miguel y Canal Norte, lo cual sugiere suelos conformados por estratos de mayor espesor.

Los suelos que no muestra respuesta algún periodo se identifican sobre las lomas que rodea el centro poblado, lo cual sugiere suelos compactos.

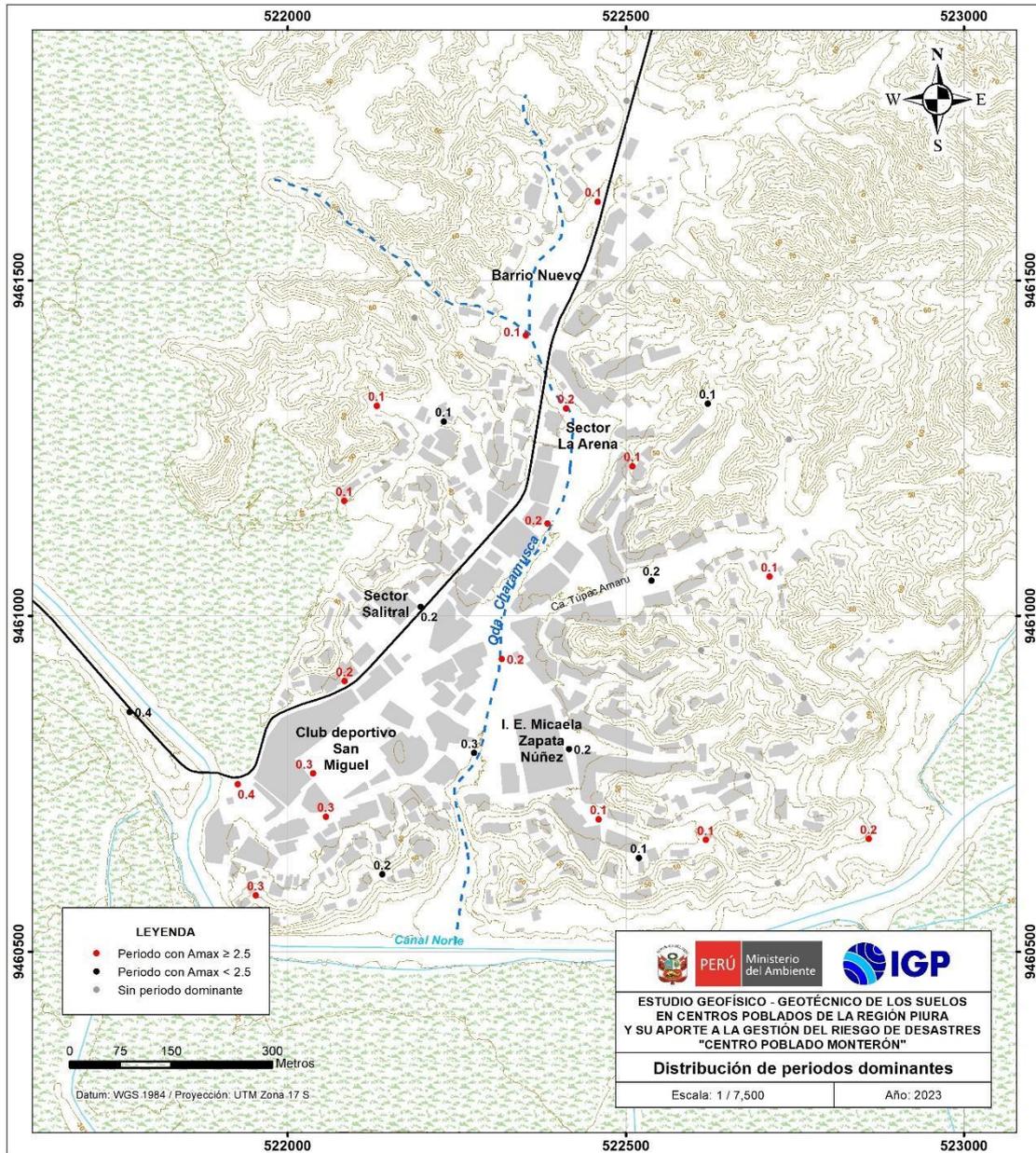


Figura 32. Distribución espacial de periodos dominantes del suelo para el C.P. Monterón. Los valores en rojo corresponden a puntos con amplificaciones mayores a 2.5 veces.

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

Línea sísmica LS01-MO: Ubicada por Barrio Nuevo, entrada al pueblo, siendo la profundidad de resolución promedio del perfil de 46 metros. Este perfil permite identificar la existencia de dos (2) capas sísmicas: La primera de 2 metros de espesor y velocidad V_s de 234 m/s corresponde a suelo intermedio (medianamente rígido). La segunda capa con espesor de 22 metros y velocidad de 615 m/s junto con el semiespacio, con velocidad $V_s > 724$ m/s, ambas sugieren suelo muy rígido.

Línea sísmica LS02-MO: Ubicada por el club deportivo San Miguel, siendo la profundidad de resolución promedio del perfil de 40 metros. Este perfil permite identificar la existencia de tres (3) capas sísmicas: La primera de 5 metros de espesor y velocidad V_s de 155 m/s corresponde a suelo blando. La segunda capa de 8 metros de espesor y velocidad V_s de 192 m/s y la tercera capa de 12 metros de espesor y velocidad V_s de 305 m/s, estas capas corresponden a suelo intermedio (medianamente rígido). El semiespacio, con velocidad $V_s > 416$ m/s, sugiere suelo rígido.

Línea sísmica LS03-MO: Realizada detrás de la I.E. Micaela Zapata Núñez, siendo la profundidad de resolución promedio del perfil de 44 metros. Este perfil permite identificar la existencia de dos (2) capas sísmicas: La primera de 13 metros de espesor y velocidad V_s de 237 m/s, corresponde a suelo intermedio (medianamente rígido). La

segunda capa con espesor de 18 metros y velocidad de 511 m/s junto con el semiespacio, con velocidad $V_s > 761$ m/s, sugiere suelo muy rígido.

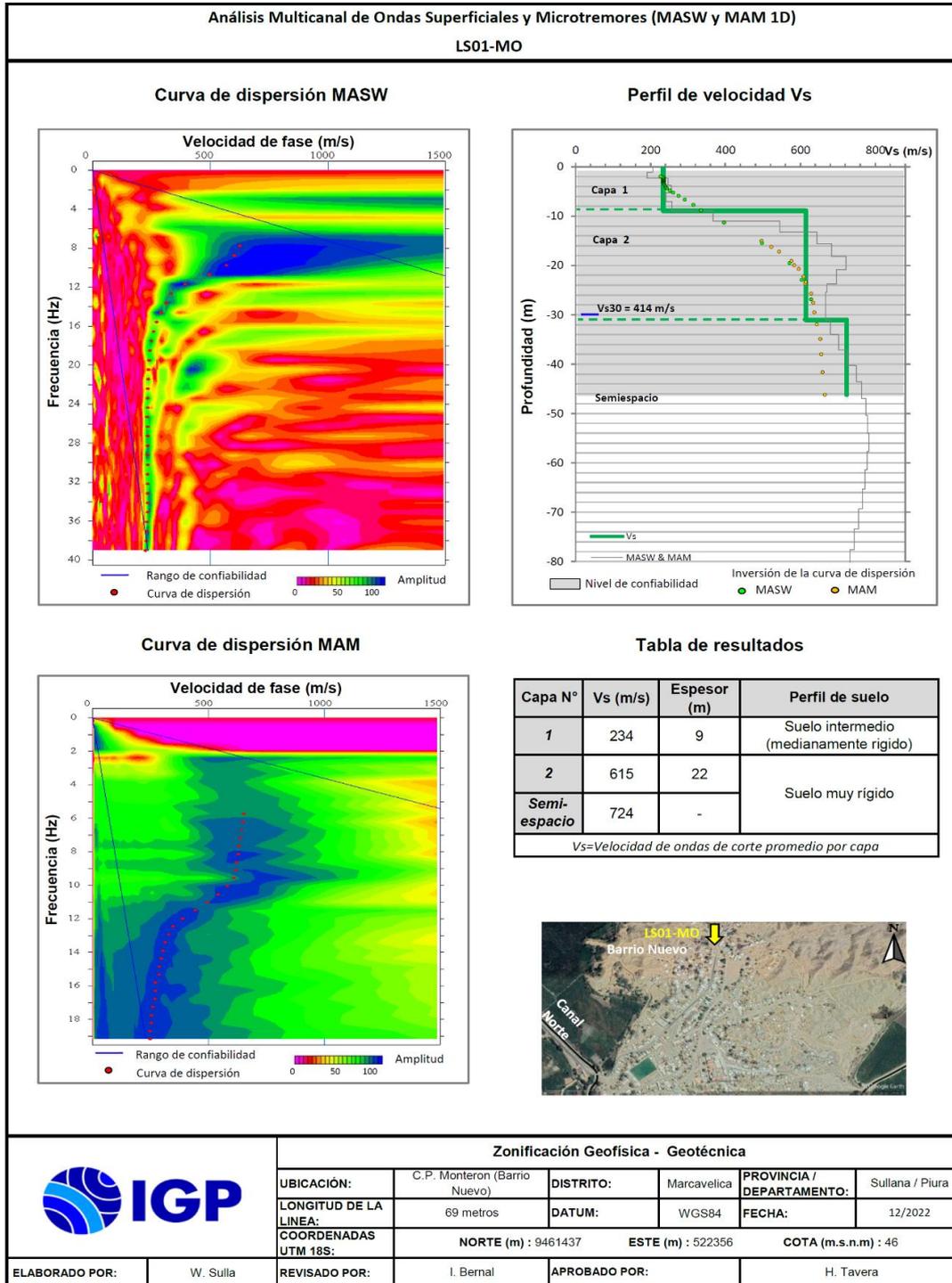


Figura 33. Resultados obtenidos con el ensayo MASW y MAM para la línea sísmica LS01-MO.

Línea sísmica LS04-MO: Realizada en la calle Túpac Amaru, al Este del área de estudio, siendo la profundidad de resolución promedio del perfil de 72 metros. Este perfil permite identificar la existencia de cuatro (4) capas sísmicas: La primera de 9 metros de espesor y velocidad V_s de 233 m/s corresponde a suelo intermedio (medianamente rígido), la segunda capa de 7 metros de espesor y velocidad V_s de 373 m/s corresponde a suelo rígido. La tercera capa de 18 metros de espesor y velocidad V_s de 601 m/s junto a la cuarta capa con espesor de 24 metros y velocidad de 761 m/s, ambas corresponden a suelo muy rígido. El semiespacio, con velocidad $V_s > 893$ m/s, sugiere roca moderadamente dura.

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

Tabla 13. Valores de espesor y V_s 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		
	V_s (m/s)	Esp. (m)	V_s (m/s)	Esp. (m)	V_s (m/s)	Esp. (m)	V_s (m/s)	Esp. (m)	V_s (m/s)	Esp. (m)	
LS01-MO	234	9	615	22	724	-	-	-	-	-	414
LS02-MO	155	5	192	8	305	12	416	-	-	-	236
LS03-MO	237	13	511	18	761	-	-	-	-	-	337
LS04-MO	233	9	373	7	601	18	761	24	893	-	361

- Suelo blando ($V_s < 180$ 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 ($V_s > 800$ m/s)

Interpretación

En el área urbana de Monterón, se ha identificado a nivel superficial el predominio de suelos medianamente rígidos ($V_s=233$ a 305 m/s) de 9 a 20 metros de espesor, pero localmente se ha identificado suelos blandos ($V_s= 155$ m/s) de 5 metros de espesor en el extremo suroeste (por el club deportivo San Miguel). Estos suelos cubren a suelos rígidos, con $V_s=373$ a 416 m/s, corresponden a una capa intermedia de 7 metros de espesor hacia el noreste (calle Túpac Amaru) y supera la profundidad investigada hacia el suroeste (club deportivo San Miguel).

En conjunto, los espesores de los suelos blandos, medianamente rígidos y rígidos van de 9 metros hacia el norte y de 13 a 16 metros hacia el sur y este, pero hacia el suroeste supera los 40 metros, ver Figura 34.

Por debajo se identifican los suelos muy rígidos, correspondientes al conglomerado, esto sugiere que el suelo superficial corresponde a depósitos aluviales de poco espesor que incrementan hacia el Canal Norte.

En este contexto, el suelo blando es debido a la presencia de material residual depositado por inundación pluvial 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 V_{s30} calculado, entre 236 y 337 m/s, corresponde a suelos Tipo S3 y entre 361 a 414 m/s a suelos Tipo S2; es decir suelos medianamente rígidos hacia el suroeste (en dirección al Canal Norte) y suelos rígidos hacia el noreste (adaptación de la clasificación de suelos de la Norma sismorresistente E.030, al área de estudio).

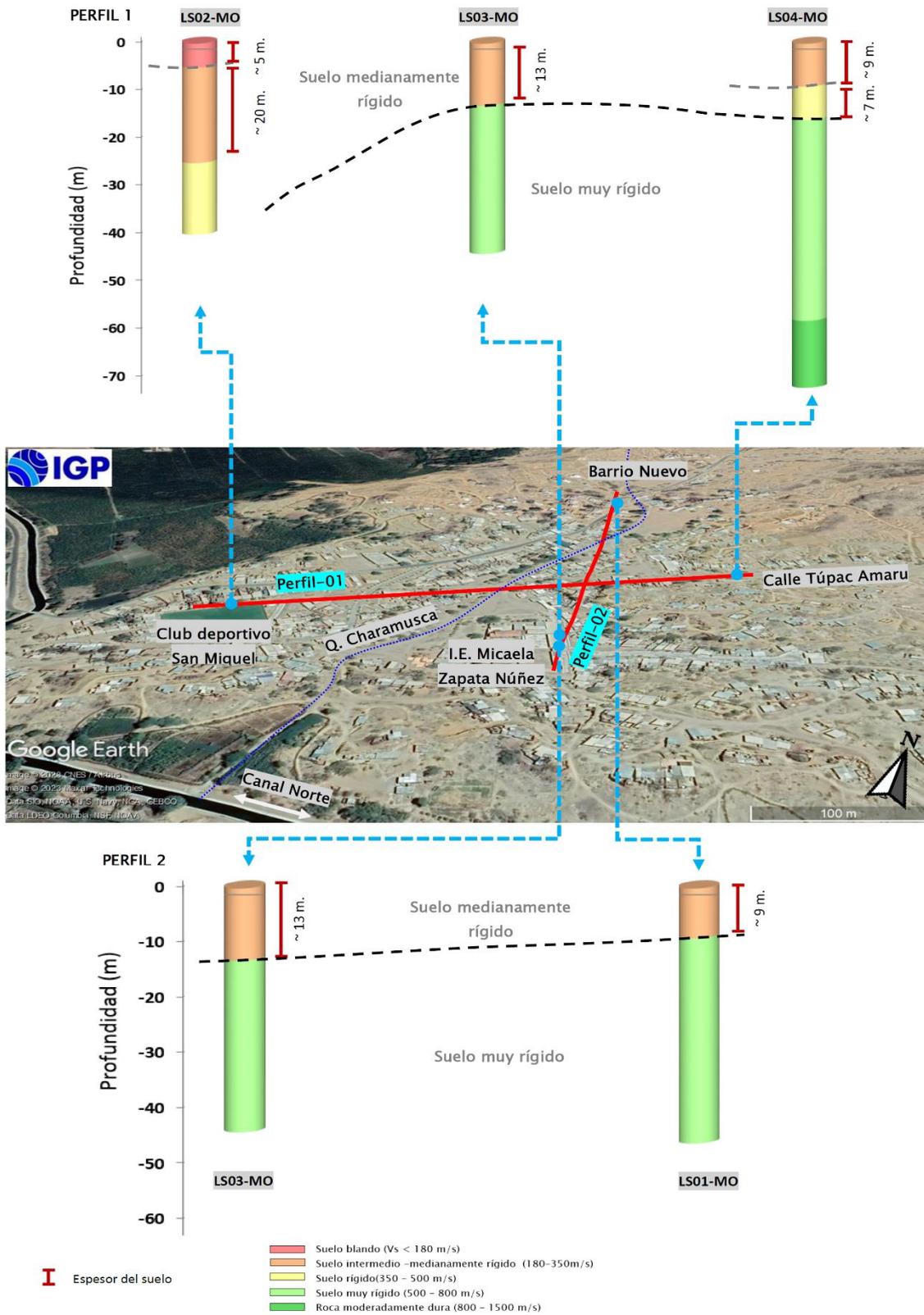


Figura 34. Resultados de MASW y MAM ubicados a lo largo del Perfil 1 (LS02-MO – LS03-MO y LS04-MO) y Perfil 2 (LS01-MO y LS03-MO) sobre la imagen satelital.

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 35, se presenta la sección obtenida para la línea LE01-MO y en el Anexo 2, para las secciones restantes

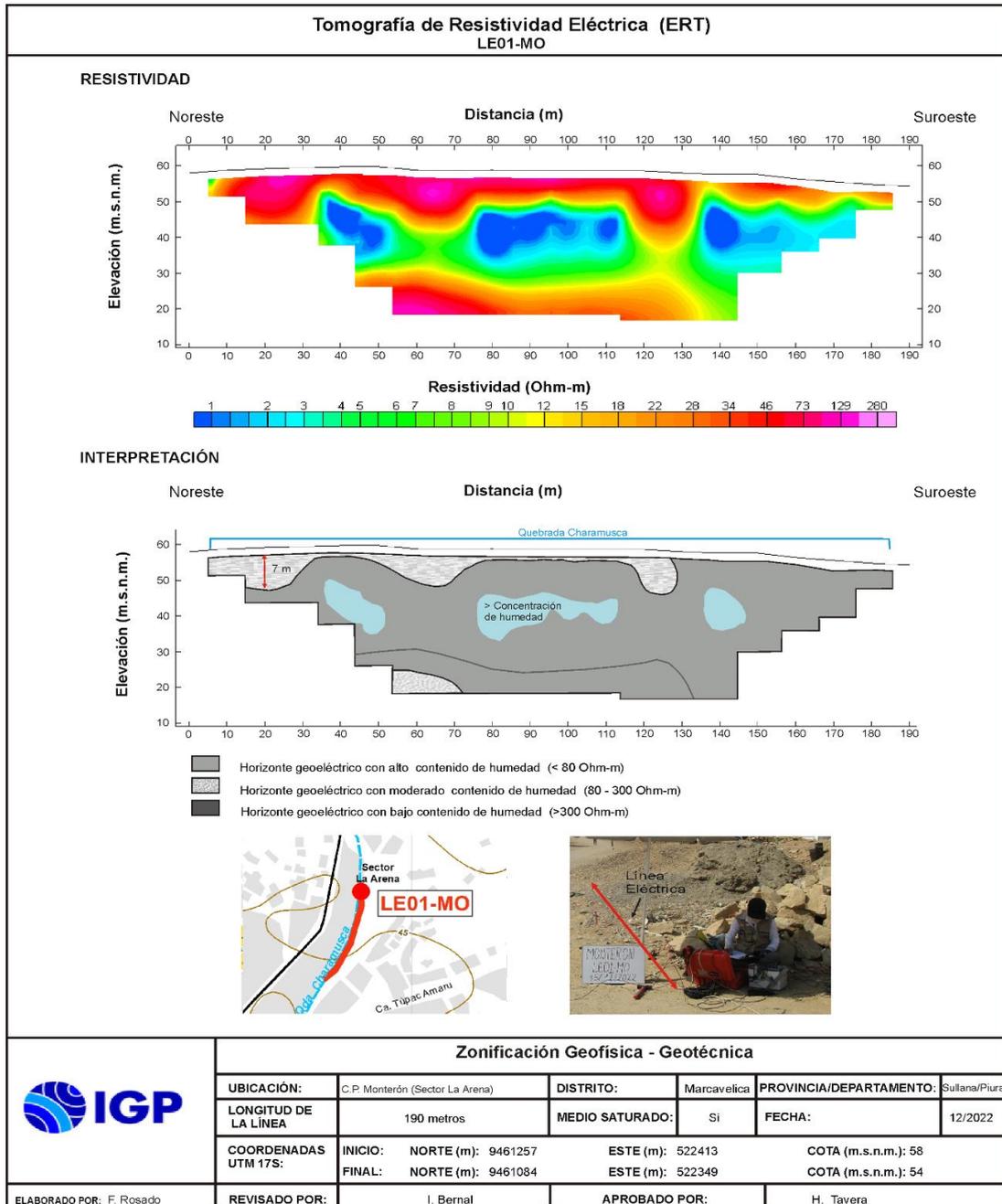


Figura 35. Resultado de tomografía eléctrica para la línea LE01-MO.

-Sección geoelectrica LE01-MO: Realizada en el sector La Arena sobre una longitud de 190 metros y en dirección NE-SO. En esta sección se presentan dos horizontes geoelectricos. El primer horizonte, presenta moderado contenido de humedad (80 a 300 Ohm-m) con espesores de hasta 7 metros al inicio de la sección (extremo noreste). El segundo horizonte, presenta alto contenido de humedad (< 80 Ohm-m), espesores de hasta 40 metros. Además, se presentan cinco zonas anómalas, las tres primeras ubicadas aproximadamente a los 20 metros de profundidad las cuales contienen mayor concentración de humedad, la cuarta anomalía que presenta menor contenido de humedad se ubica en la base de la sección (delimita con líneas plomas) y la quinta anomalía, presenta moderado contenido de humedad (80 a 300 Ohm-m).

-Sección geoelectrica LE02-MO: Realizada en las inmediaciones del club deportivo San Miguel sobre una longitud de 190 metros y en dirección NE-SO. En esta sección predominan depósitos con baja resistividad (< 80 Ohm-m), debido a la presencia de lutitas bentónicas y areniscas (formación Chira) con alto contenido de humedad y espesores mayores a 40 metros. Además, se presentan dos anomalías, la primera a nivel superficial con mayor concentración de humedad y la segunda anomalía con menor contenido de humedad se presenta en profundidad (delimitada con líneas plomas).

-Sección geoelectrica LE03-MO: Realizada en las inmediaciones de la I.E. Micaela Zapata Núñez sobre una longitud de 140 metros y en dirección NO-SE. En esta sección predominan los depósitos con baja resistividad (< 80 Ohm-m), espesores de hasta 40 metros. Además, a nivel superficial se presenta una anomalía de moderado contenido de humedad (80 a 300 Ohm-m) espesores de hasta 2 metros. En profundidad se presentan cuatro anomalías, las tres primeras

presentan mayor concentración de humedad y la cuarta menor concentración de humedad.

Interpretación

En el área urbana de Monterón, se ha identificado la presencia de capas con suelos húmedos y/o saturados con las siguientes características:

- Hacia el norte de la I.E. Micaela Zapata, se ha identificado la presencia de un horizonte con alto contenido de humedad con espesor de 30 metros y la presencia de una zona anómala con menor contenido de humedad. Esta sección fue realizada paralela a la quebrada Charamusca (Figura 36).

- Hacia el oeste de la I.E. Micaela Zapata, se ha identificado la presencia de un horizonte con alto contenido de humedad, esto se puede relacionar con el riego continuo que se da al campo deportivo del club San Miguel, además de que en esta zona se presentan arcillas.

- Hacia el este de la I.E. Micaela Zapata, se ha identificado la presencia de un horizonte con alto contenido de humedad y la presencia de una zona anómala con moderado contenido de humedad, al extremo sureste.

3.4. Integración de resultados

El área urbana de Monterón se emplaza sobre una terraza aluvial plana 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:

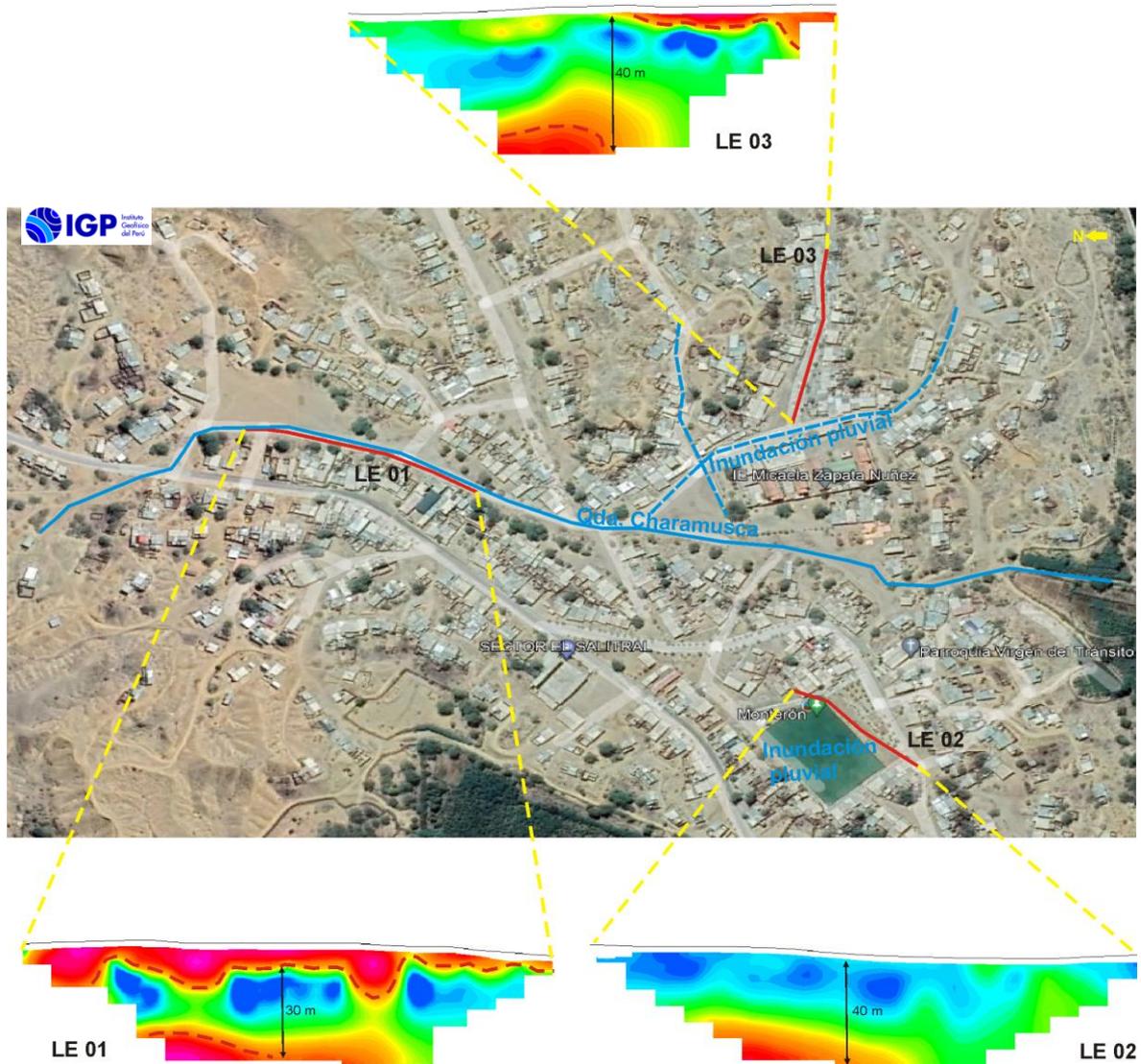


Figura 36. Ubicación y orientación de las líneas de tomografía eléctrica, realizadas al norte (LE01-MO) y al sur (LE02-MO y LE03-MO). Las líneas interlineadas rojas indican la presencia de contenido de humedad.

Los suelos del centro poblado Monterón muestran el predominio de periodos que varían de 0.1 a 0.4 segundos, siendo los mayores identificados por el club deportivo San Miguel.

Los resultados obtenidos por los métodos geofísicos permiten evidenciar que los suelos están conformados por capas superficiales de suelos medianamente rígidos y rígidos con espesores que van de 9 metros hacia el norte (Barrio Nuevo) y de 13 a 16 metros hacia el sur y este (I.E. Micaela Zapata y calle Túpac Amaru, respectivamente), pero hacia el suroeste supera los 40 metros y presenta mayor humedad (por el club deportivo San Miguel y Canal Norte). Las velocidades V_{s30} varían entre 236 y 337 m/s, corresponde a suelos Tipo S3 y entre 361 a 414 m/s a suelos Tipo S2; es decir suelos medianamente rígidos hacia el suroeste y suelos rígidos hacia el noreste.

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 250 m/s y 400 m/s para las ondas de corte (V_s) y periodos de 0.1 y 0.4 segundos, se estima la existencia de una capa sedimentaria de 10 a 25 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 centro poblado Monterón se encuentra ubicada en una zona que presenta moderado peligro por sismo, principalmente al suroeste del centro poblado (por el club deportivo San Miguel), 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 DE LOS SUELOS

El mapa de Zonificación geofísica-geotécnica para el C.P. Monterón, 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 Norma de Construcción Sismorresistente E.030, adaptado al área de estudio, la existencia de suelos de Tipo S3 y S2; es decir, suelos intermedios (medianamente rígidos) y rígidos, que responden a periodos de 0.1 a 0.4 segundos con amplificaciones moderadas a altas.

Para el área urbana de Monterón, se propone la siguiente Zonificación Geofísica-Geotécnica (Figura 37).

- **ZONA I:** Conformadas por suelos muy rígidos, no fueron identificados en el área de estudio.

- **ZONA II:** Suelos rígidos, conformado por capas de suelos granulares con espesores menores a los 15 metros y velocidades de ondas de corte Vs de 230 m/s para la capa superficial y de hasta 600 m/s a la profundidad de 30 metros con moderado a alto contenido de humedad. El periodo de vibración natural del suelo varía entre 0.1 a 0.2 segundos con amplificaciones relativas de hasta 3 veces. Presenta 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 rígidos.

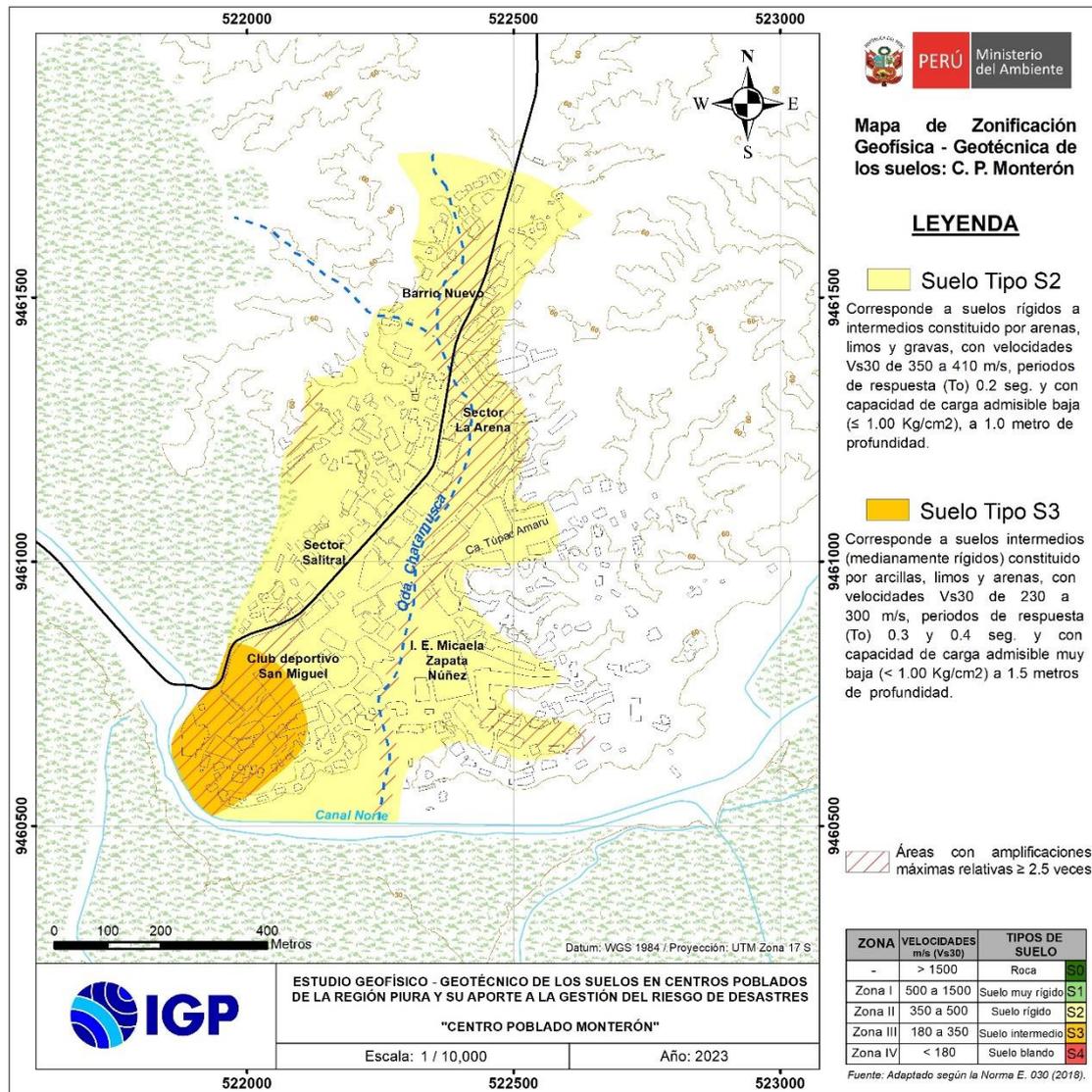


Figura 37. Mapa de zonificación geofísica-geotécnica de los suelos del C.P. Monterón. Las líneas inclinadas en rojo delimitan zonas con mayor amplificación.

- **ZONA III:** Suelos intermedios (medianamente rígidos), conformado por capas de suelos granulares y finos (arcillosos) que superan los 30 metros de espesor y velocidades de ondas de corte Vs de 150 m/s para la capa superficial y de hasta 400 m/s a la profundidad

de 30 metros. El periodo de vibración natural del suelo varía entre 0.3 a 0.4 segundos con alto contenido de humedad, con amplificaciones relativas de hasta 4 veces. El suelo presenta alto contenido de humedad, asimismo, se observa muy baja capacidad de carga admisible muy baja $<1.0 \text{ Kg/cm}^2$ hasta un metro y medio de profundidad. 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 del C.P. Monterón ubicado 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. Monterón, son las inundaciones pluviales que afectan las inmediaciones del sector Cesar Vallejo, Av. Miguel Grau y calle Mariano Melgar, debido a que ocupan depresiones con desniveles topográficos inferiores (alrededor de 1 metro) respecto a las calles adyacentes, generando la acumulación de las aguas de escorrentía, y en ambos márgenes de la quebrada Charamusca, que drena sus aguas a través de las calles Miguel Sánchez Cerro y Alfonso Ugarte, estos eventos se suscitan durante la ocurrencia de precipitaciones pluviales intensas.
- En el C.P. Monterón se identifica cinco tipos de suelos gravas limosas (GM) en el extremo oeste del poblado (inmediaciones de la calicata CM-03), arenas mal graduadas con limos (SP-SM) en las inmediaciones del poblado (zonas contiguas a la quebrada Charamusca), arenas limosas (SM) en menor proporción, arcillas inorgánicas (CL) en el extremo norte y sur del área de estudio (calicatas CM-01 y CM-05) y finalmente materiales antrópicos (desmonte) en el extremo noreste de la plaza principal de Monterón.
- Se ha determinado que para la profundidad de 1.0 metro y 1.5 metros, los suelos de cimentación de Monterón presentan

capacidad de carga admisible muy baja (menor a 1.00 kg/cm²).

- Según su comportamiento dinámico, los resultados muestran que los suelos del centro poblado Monterón responden a periodos de 0.1 – 0.4 segundos, identificándose los periodos más bajos próximos a las lomas y los valores más altos con amplificaciones de hasta 4 veces, se obtienen en la zona céntrica (por el club deportivo San Miguel y Canal Norte), evidenciando la presencia de suelos de gran espesor que a nivel superficial presentan baja consistencia. 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 Monterón están diferenciados en 4 capas sísmicas y un semi-espacio. Predominan suelos blandos, medianamente rígidos y rígidos correspondientes a la primera, segunda, tercera y hasta la cuarta capa sísmica ($V_s = 155$ a 416 m/s) y con espesores de 9 metros hacia el noreste y superan los 40 metros en dirección suroeste. En el área de estudio, se obtuvo velocidades de ondas de corte V_{s30} que fluctúan entre 236 y 414 m/s, que corresponde a suelos medianamente rígidos a rígidos.
- Los suelos del área de estudio presentan contenido de humedad principalmente al oeste del casco urbano, por el club deportivo San Miguel, a profundidades que fluctúa entre 2

y 40 metros. En el resto del área de estudio presenta moderado a bajo contenido de humedad.

- Los resultados obtenidos para el área urbana de Monterón 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, adaptación para el área de estudio, la existencia de suelos de Tipo S2 y S3; es decir, suelos rígidos y suelos intermedios o medianamente rígidos.
- A la ocurrencia de un sismo de moderada a mayor magnitud, los suelos del C.P. Monterón pueden experimentar niveles altos de sacudimiento principalmente hacia su extremo SO, por la presencia de suelos blandos con altos niveles de humedad a nivel superficial.

REFERENCIAS

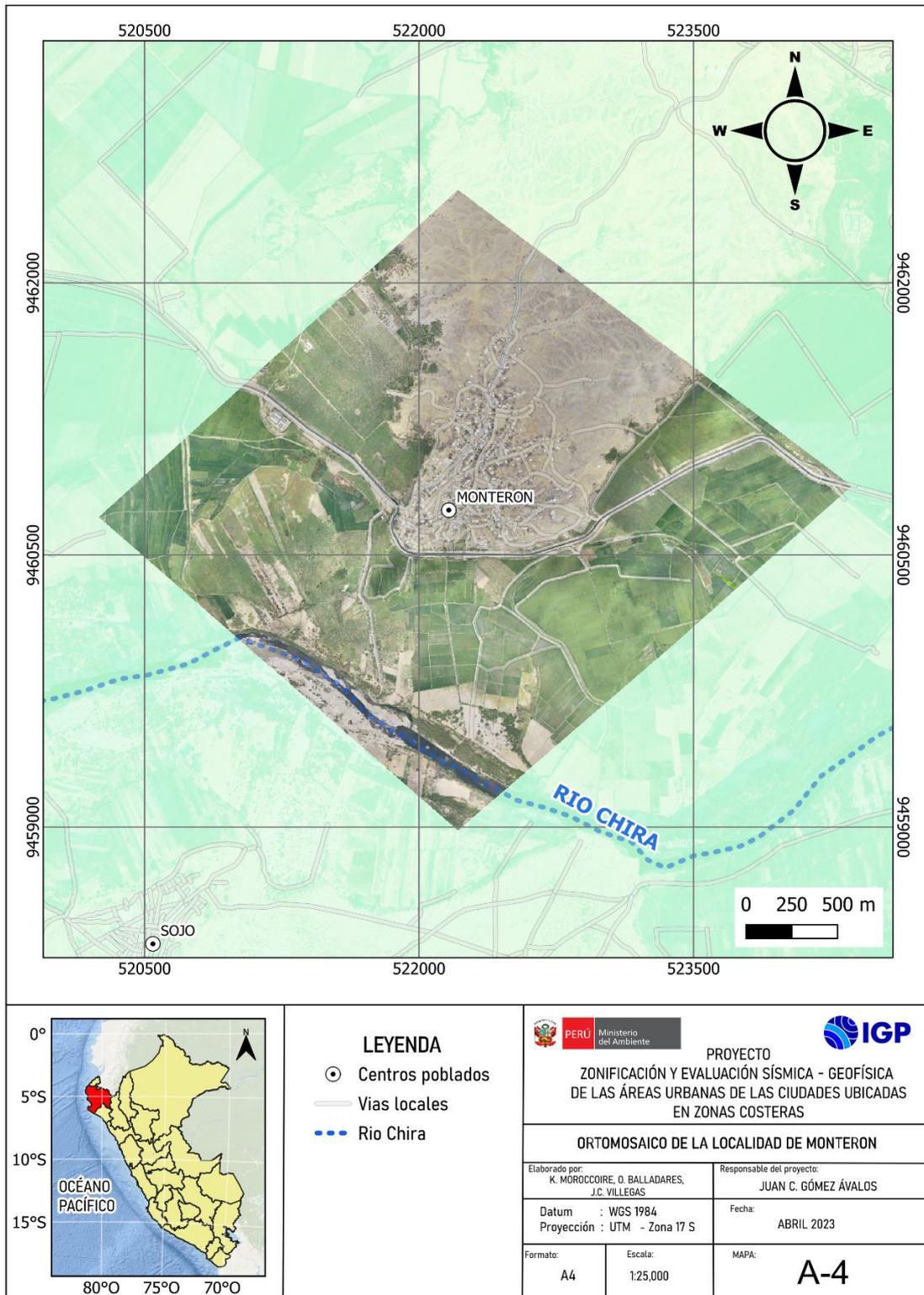
- Alfaro et al. (2014). Estimación de umbrales de precipitaciones extremas para la emisión de avisos meteorológicos, Boletín Técnico SENAMHI, pp135.
- Amézquita-Jiménez, J., Jalixto-Cuyo, R., Pampas-Quiroga, J., (2012), Teorías de capacidad de carga y sus limitaciones en suelos compresibles.
- Bernal, 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

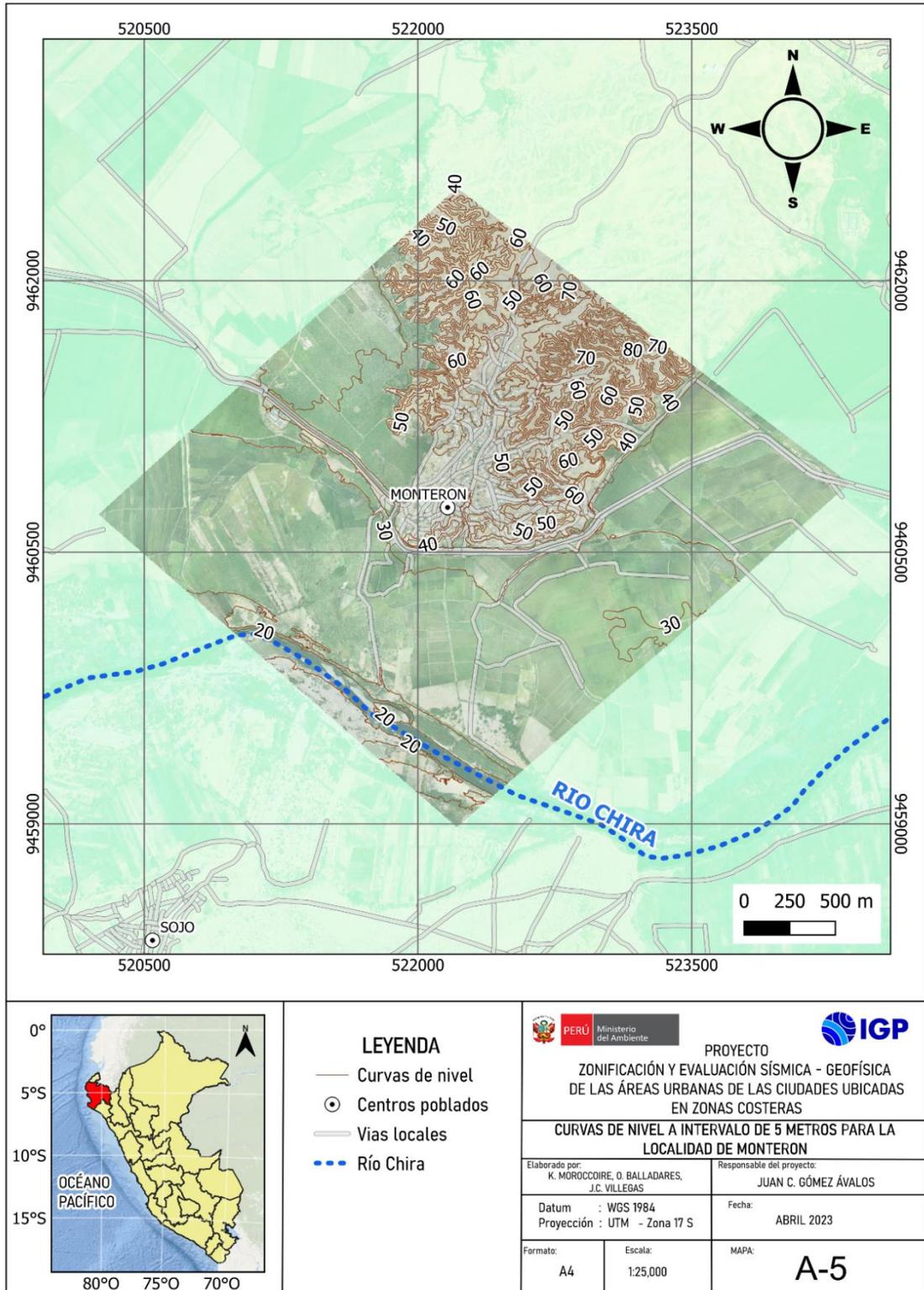
ANEXOS 1

Información topográfica

Ortomosaico



Curvas de nivel



ANEXOS 2

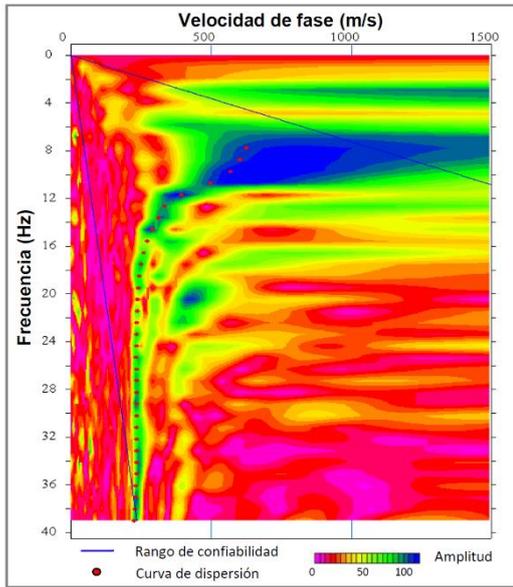
Información geofísica

Perfiles sísmicos MASW – MAM

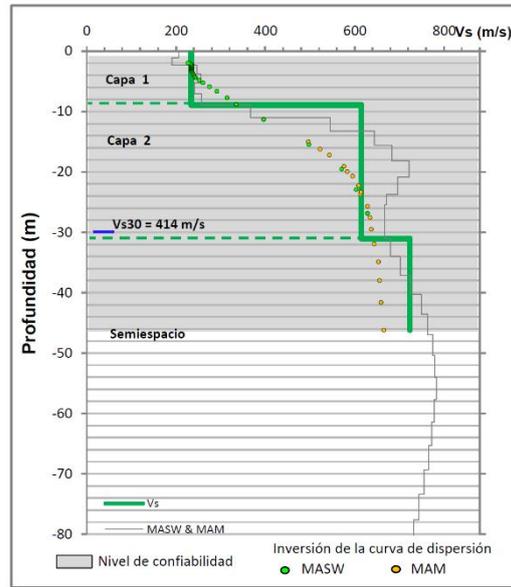
Análisis Multicanal de Ondas Superficiales y Microtremores (MASW y MAM 1D)

LS01-MO

Curva de dispersión MASW



Perfil de velocidad Vs



Curva de dispersión MAM

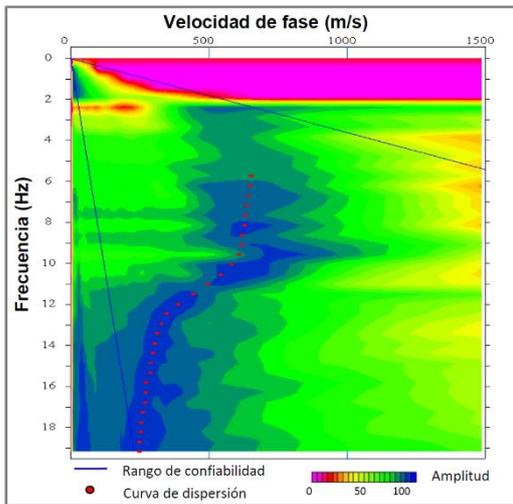


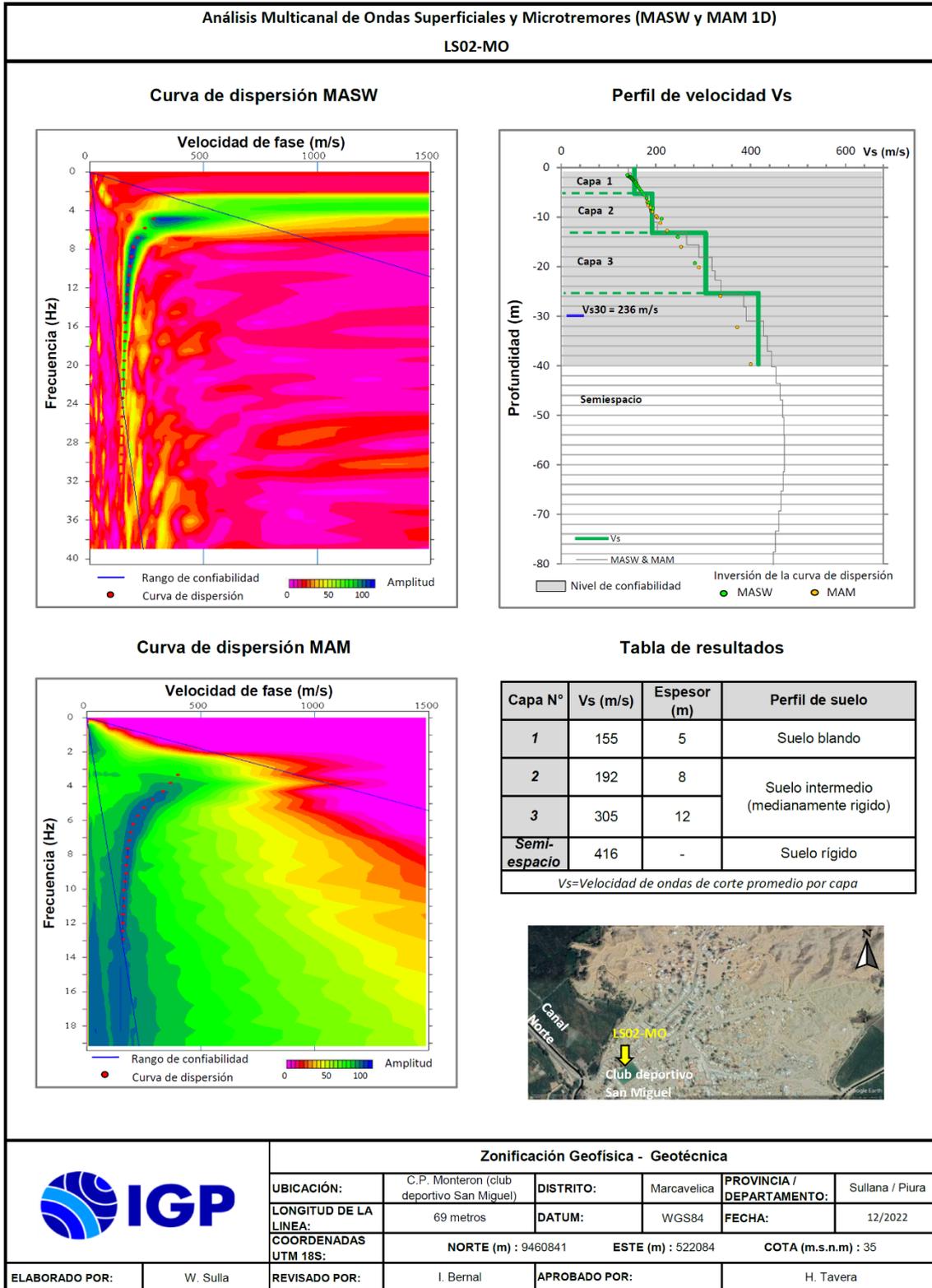
Tabla de resultados

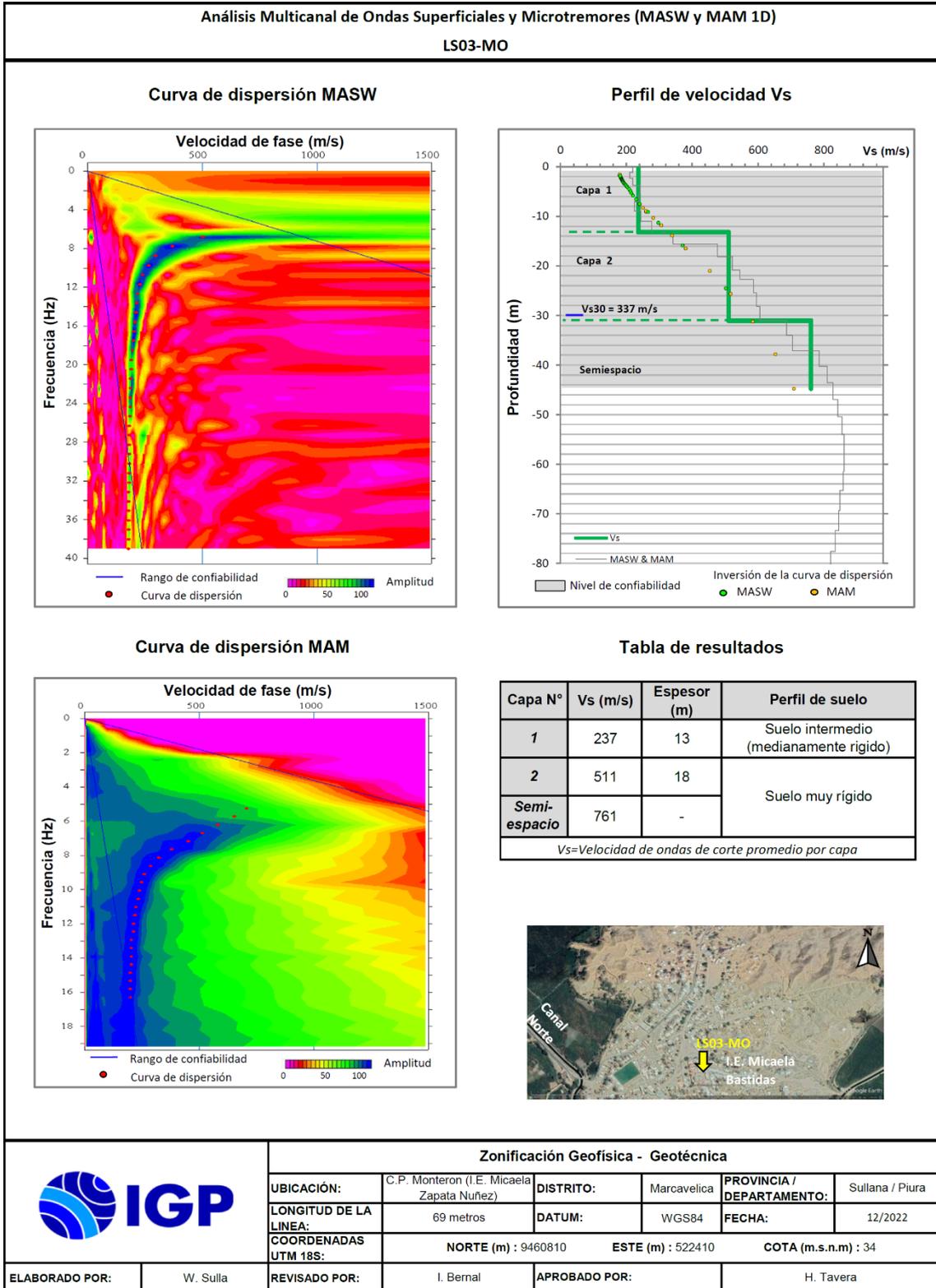
Capa N°	Vs (m/s)	Espesor (m)	Perfil de suelo
1	234	9	Suelo intermedio (medianamente rígido)
2	615	22	Suelo muy rígido
Semi-espacio	724	-	

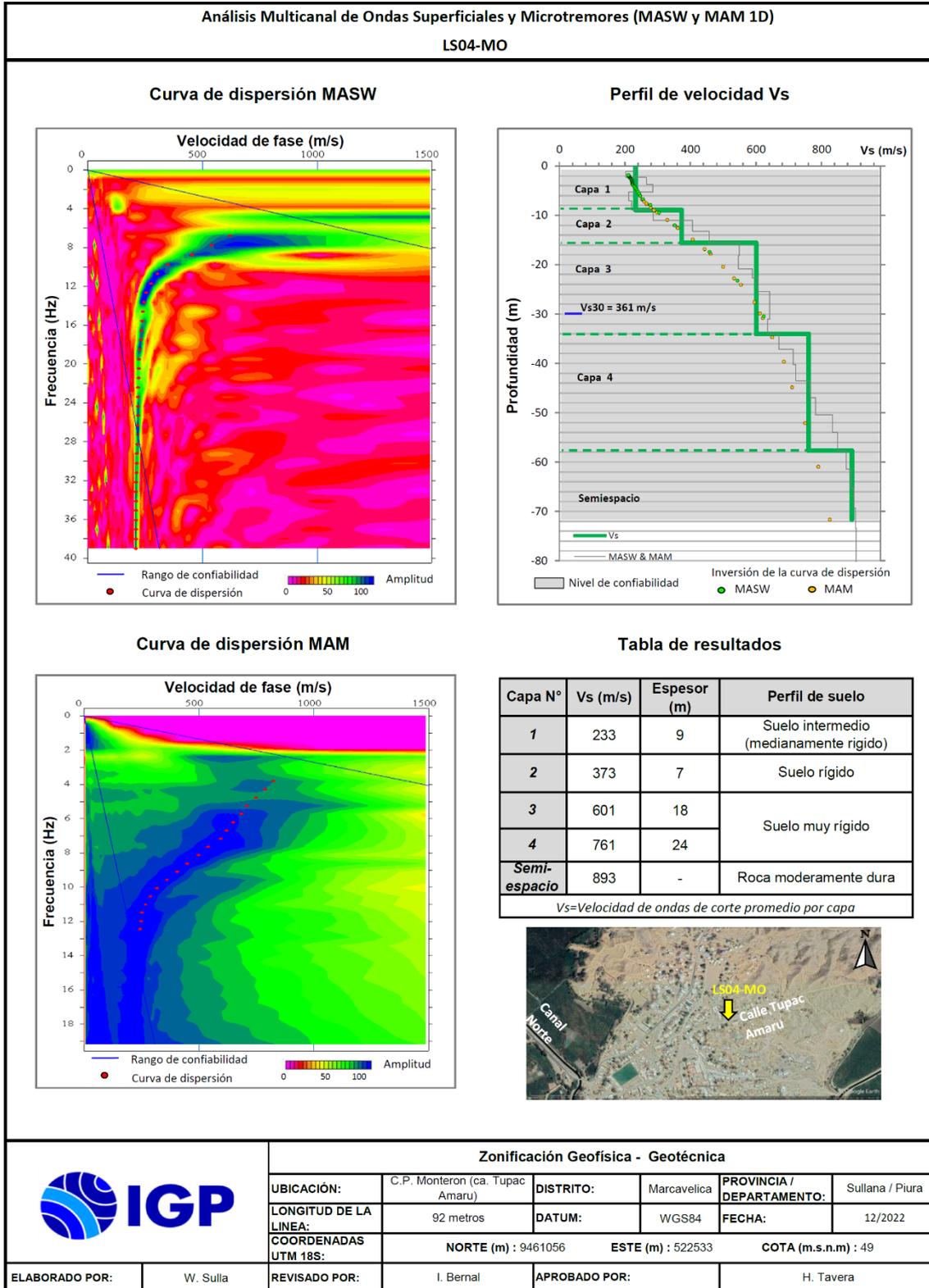
Vs=Velocidad de ondas de corte promedio por capa



Zonificación Geofísica - Geotécnica						
	UBICACIÓN:	C.P. Monteron (Barrio Nuevo)	DISTRITO:	Marcavelica	PROVINCIA / DEPARTAMENTO:	Sullana / Piura
	LONGITUD DE LA LINEA:	69 metros	DATUM:	WGS84	FECHA:	12/2022
	COORDENADAS UTM 18S:	NORTE (m) : 9461437		ESTE (m) : 522356		COTA (m.s.n.m) : 46
	ELABORADO POR:	W. Sullá	REVISADO POR:	I. Bernal	APROBADO POR:	H. Tavera







Secciones de tomografía eléctrica

