



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. SANTA SOFÍA

Informe Técnico N°011-2024/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. Santa Sofía.

Autores

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

Participantes:

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

Cartografía: Javier Oyola.

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

– C. P. SANTA SOFÍA –

Lima – Perú
Enero, 2024

CONTENIDO

RESUMEN

1.- 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 geoeléctricas

3.4. INTEGRACIÓN DE RESULTADOS

4. ZONIFICACIÓN GEOFÍSICA-GEOTÉCNICA

CONCLUSIONES

REFERENCIAS

ANEXOS

ANEXO 1: Información topográfica

Ortomosaico

Curvas de nivel

ANEXO 2: Información geofísica

Perfiles sísmicos

Secciones geoeléctricas

RESUMEN

En este estudio se analiza y evalúa las características físicas y dinámicas de los suelos del centro poblado Santa Sofía – Región Piura, a partir de la aplicación de técnicas geofísicas y geotécnicas. Los resultados obtenidos evidencian la presencia de suelos blandos a medianamente rígidos (suelos aluviales con velocidades V_{s30} : 226-233 m/s) formando capas de 54 metros en dirección norte por los sectores 07 de Junio y Pampa Nueva, y superan los 60 metros en dirección sur, por el sector 15 de setiembre y la iglesia Perpetuo Socorro (próximo al canal de regadío), los cuales responde a periodos largos de vibración (0.5 – 0.7 segundos) y capacidad portante muy baja $<1.0 \text{ Kg/cm}^2$ a profundidades de 1.5 metro. De acuerdo con estas características en el centro poblado Santa Sofía predominan Suelos Tipo S3 que corresponden a suelos intermedios, con la presencia de una capa delgada de suelos blandos a nivel superficial (Norma E.030 – adaptada para el área de estudio). Estos suelos, presentan alto contenido de humedad desde los 2 metros de profundidad, con espesores de hasta 40 metros en promedio. A la ocurrencia de un sismo de moderada a mayor magnitud, estos suelos pueden experimentar niveles altos de sacudimiento, por la presencia de suelos blandos y 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 levantan las ciudades y/o futuras áreas de expansión. En este sentido, resulta de vital importancia conocer la composición geológica de los suelos y su comportamiento dinámico a la ocurrencia de sismos y ello, es posible con la aplicación de métodos geofísicos. Estos métodos permiten conocer, por ejemplo, el contenido de humedad, espesores y velocidades de las ondas de corte (V_s) en las capas que conforman su subsuelo y a su vez, los resultados obtenidos pueden ser correlacionados con los aspectos geo-ambientales de la zona de estudio. El suelo acondiciona el diseño y

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

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

1.1. OBJETIVOS

El presente estudio tiene como objetivo conocer los parámetros físicos de la estructura del suelo y su comportamiento dinámico ante la ocurrencia de sismos, a fin de generar el Mapa de Zonificación Geofísica – Geotécnica para el C.P. Santa Sofía, ubicado en el distrito de Ignacio Escudero, 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 como 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 Santa Sofía se ubica en la región norte del Perú, en el distrito de Ignacio Escudero, provincia de Sullana y departamento de Piura (Figura 1), en las coordenadas geográficas latitud 4.88°S y longitud 80.84°O, a una elevación media de 34 m.s.n.m. Asimismo, tiene una población de 3388 habitantes (INEI, 2017) y su superficie se caracteriza



Figura 1. Centro poblado Santa Sofía.

por presentar un relieve llano ubicado a una distancia promedio de 1.5 kilómetros 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 la Tabla 1:

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

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

Dónde:

d_i = espesor de cada uno de los estratos n .

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

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

NORMA E.030 (2018)			ADAPTACIÓN DE LA NORMA E.030 AL ÁREA DE ESTUDIO					
Perfil	Velocidad - Vs30 -	Tipos de suelos	Perfil	Velocidad- Vs30 -	Periodos To (s)	Tipos de suelos	Zonas	
S0	>1500 m/s	Roca dura	S0	>1500 m/s	-	Roca dura	---	
S1	500 a 1500 m/s	Suelos muy rígidos	S1	500 a 1500 m/s	0.1-0.2	Suelos muy rígidos	Zona I	
S2	180 a 500 m/s	Suelos intermedios	S2	350 a 500 m/s	0.2-0.4	Suelos rígidos	Zona II	
			S3	180 a 350 m/s	0.5-0.7	Suelos intermedios - (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 Santa Sofía, 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 11.70 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 mayo de 1998 con valores de 201.00 mm/día.

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

Según el estudio, se han realizado cinco (5) calicatas en el área urbana del centro poblado Santa Sofía con profundidades máximas de 3.00 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 centro poblado de Santa Sofía, los suelos están compuestos por arcillas de baja plasticidad, limos de baja plasticidad y arcilla limosa con arena. Asimismo, los parámetros

geotécnicos obtenidos mediante el ensayo de corte directo indican que el ángulo de fricción de los suelos presenta valores entre 17° y 19°, así como cohesión de 0.00 a 0.03. Según el estudio geotécnico, la capacidad portante en el centro poblado de Santa Sofía presenta capacidad de carga admisible muy baja < a 1.00 kg/cm².

2. GEOLOGÍA, GEOMORFOLOGÍA Y GEOTÉCNIA

2.1. GEOLOGÍA LOCAL

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

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 ríos o quebradas 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 dren principal.

Depósitos coluviales (Q-co): Consiste en materiales recientes que han sido depositados sobre laderas o cauce de quebradas, formando abanicos, están conformados por clastos de roca, arena, limos y arcillas. Esta unidad se sitúa en el extremo sureste del centro poblado Santa Sofía.

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 ladera de la terraza.

Depósitos aluviales 2 (Q-al2): Unidad geológica reciente (Holoceno), que se encuentra conformada 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. Sobre esta unidad geológica se practica la actividad agrícola del centro poblado Santa Sofía.

Depósitos aluviales 1 (Q-al1): Consiste en materiales heterogéneos de origen aluvial antiguo (Pleistoceno). Sobre esta unidad geológica se asienta parte del área urbana del centro poblado Santa Sofía, (Figura 2).



Figura 2. Sobre estos depósitos aluviales antiguos se encuentran asentada el área urbana del centro poblado Santa Sofía.

Las unidades geológicas antes descritas han sido cartografiadas en campo y representadas en el mapa geológico de la Figura 3.

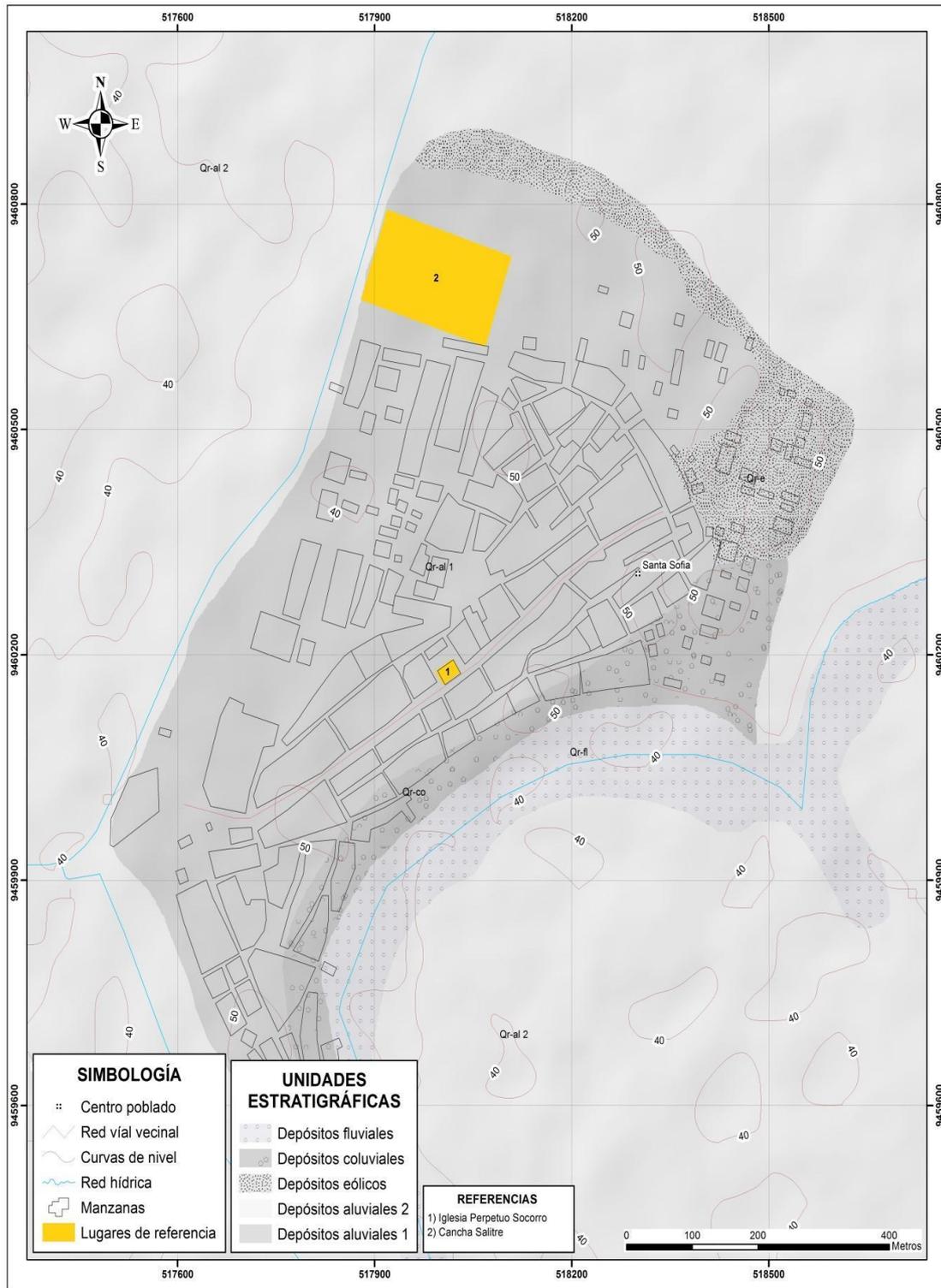


Figura 3. Mapa geológico del área urbana de centro poblado Santa Sofía.

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 centro poblado Santa Sofía 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 Santa Sofía, 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 (31 a 43 m.s.n.m.) se encuentra en la zona centro y áreas de cultivo ubicadas al noreste, mientras que la zona de menor elevación (18 a 25 m.s.n.m.) se distribuye al este y sur abarcando principalmente las zonas de cultivo (Figura 4).
- Ortomosaico: Se ha generado a partir de la unión de 1,129 mosaicos que han sido corregidos por distorsiones ocasionados por el relieve y los objetos presentes en Santa Sofía. La imagen abarca un área de 966 ha en total comprendiendo el casco urbano, áreas de cultivo hasta 1.6 Km de distancia del centro urbano. El centro poblado abarca un área aproximada de 69ha lo que representa el 7.2% del área total.
- 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

Santa Sofía con un intervalo de 4 metros a escala 1: 25000. Los resultados, de manera general muestran un relieve llano, con cambios de elevación de 1 metro en las zonas 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. Santa Sofía.

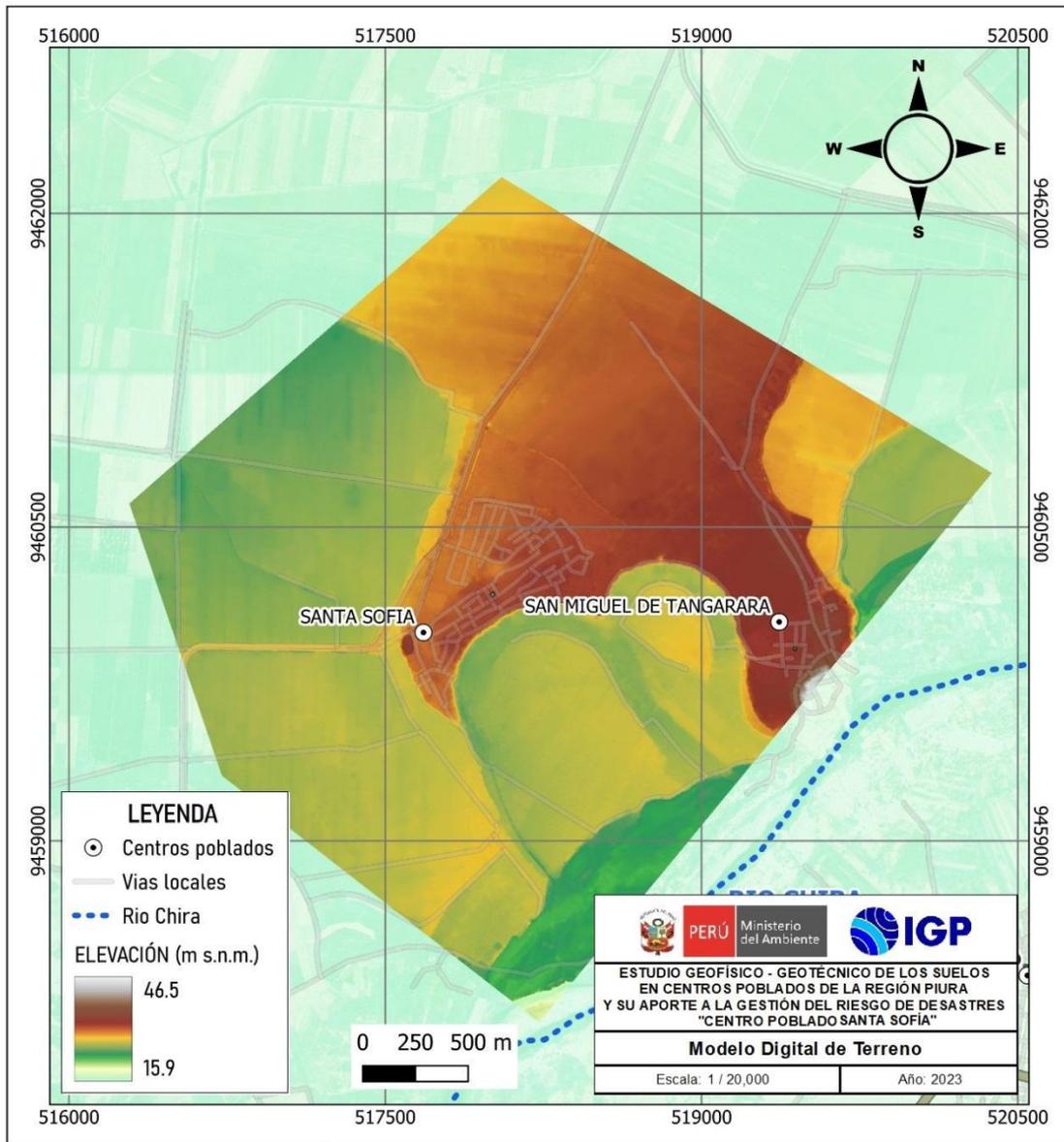


Figura 4. Modelo digital de terreno del C.P. Santa Sofía.

2.2.2. Unidades geomorfológicas

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

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

Esta unidad geomorfológica se encuentra representada por el lecho aluvial del dren principal que pasa en el extremo sureste del área urbana del centro poblado y discurre sus aguas en dirección predominante noreste – suroeste, hasta desembocar al río Chira.

Depresión: Formada por la acción hídrica en los suelos, es decir la energía de flujo manifestada en el arranque y desgaste del material que conforma el suelo. En el C.P. Santa Sofía se han identificado 2 depresiones que funcionan como cuencas ciegas, en la cual se acumulan las aguas pluviales, (Figura 5).

Ladera: Unidad geomorfológica constituida por superficies elevadas que conforman terrenos inclinados de montañas, lomas, terrazas, etc., presentan pendientes superiores a los 20° de inclinación. Está unidad se sitúa en las inmediaciones del cauce aluvial, y por la cancha El Salitre, (Figura 6).



Figura 5. En el C.P. Santa Sofía se han identificado 2 depresiones que funcionan como cuencas ciegas, zonas donde se acumulan aguas de las precipitaciones pluviales.



Figura 6. Laderas con pendiente superiores a los 20° de inclinación en las inmediaciones del cauce aluvial (situada a 100 metros al sureste de la iglesia Perpetuo Socorro).

Terraza aluvial 2: Las terrazas aluviales son plataformas, más o menos extensas y continuas que tiene un desnivel de entre 2 a 5 metros con respecto a la terraza aluvial 1 (antigua). Esta unidad geomorfológica es de origen depositacional, presenta una pendiente $< 10^\circ$, así como una geometría irregular y drenaje variable. Sobre esta unidad se practica la actividad agrícola.

Terraza aluvial 1: Consiste en una superficie llana o planicie antigua de origen aluvial, más o menos extensas y continuas, con ligeras ondulaciones y depresiones que tiene un desnivel de entre 5 a 10 metros con relación a la terraza aluvial 2. Sobre esta unidad se asienta el área urbana del C.P. Santa Sofía (Figura 7).



Figura 7. Sobre esta terraza aluvial 1 (antigua) se asienta el área urbana del centro poblado Santa Sofía, presenta ligeras ondulaciones y depresiones que sirven como cuencas ciegas.

Finalmente, en la Figura 8 se presenta el mapa de geomorfología del área urbana del centro poblado Santa Sofía, elaborado con la información recolectada en campo.

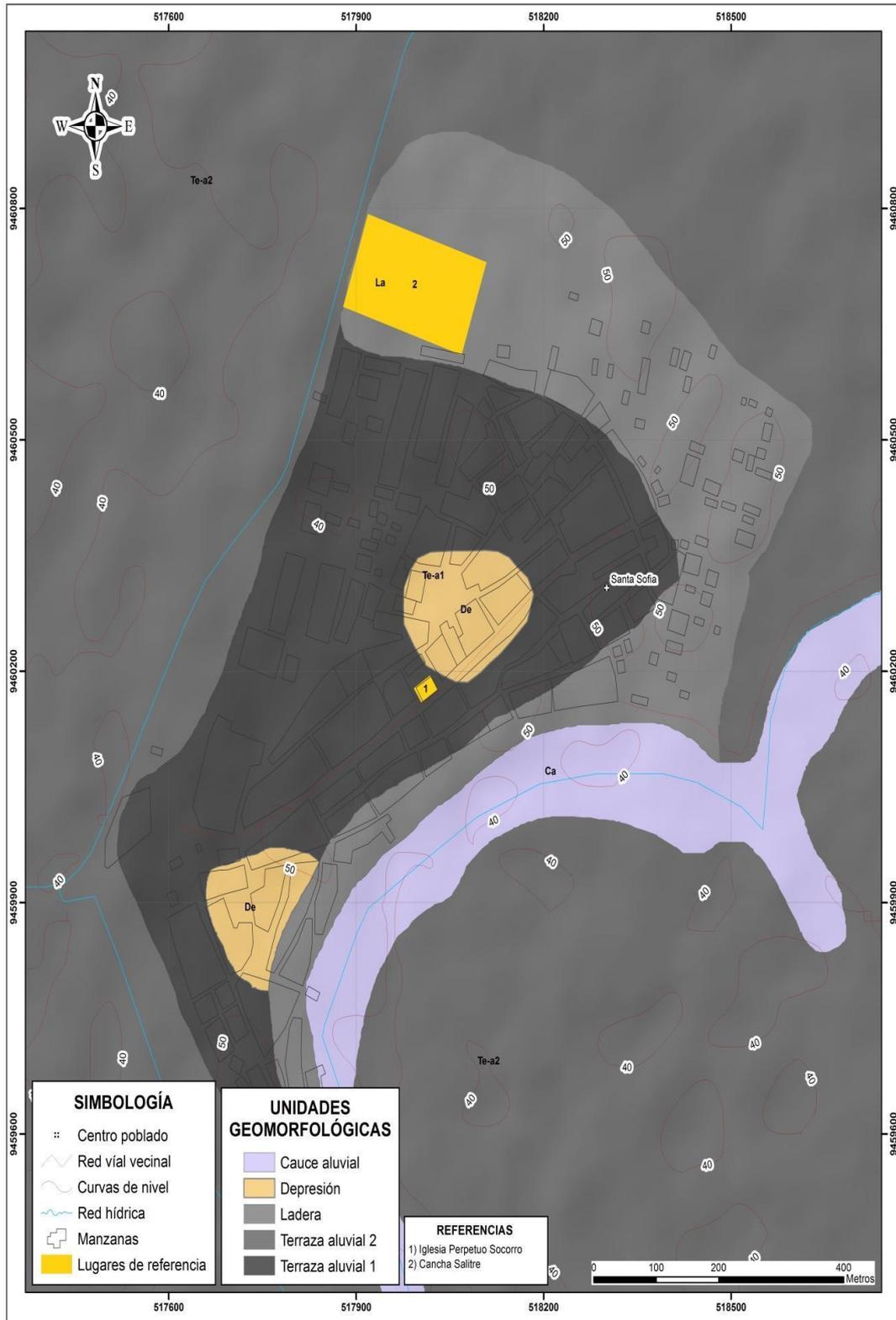


Figura 8. Mapa geomorfológico del área urbana del centro poblado Santa Sofía, donde la población se asienta principalmente sobre una terraza aluvial antigua.

2.3. GEODINÁMICA

La Geodinámica estudia los fenómenos geológicos que provocan modificaciones en la superficie terrestre producto de la interacción de procesos geológicos (internos y externos) que originan cambios físicos, químicos y/o morfológicos que alteran y modifican el relieve actual. Durante los trabajos de campo, en el área urbana del centro poblado Santa Sofía, 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.

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 cancha El Salitre e Iglesia Perpetuo Socorro, lado derecho de la I.E Santa Sofía, así como la Av. principal, esto 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, cancha deportiva, I.E. Santa Sofía y las calles del centro poblado en mención, (Figuras 9 a 14).

Finalmente, se cartografía y genera el mapa geodinámico para el área urbana del centro poblado Santa Sofía (Figura 15).



Figura 9. Áreas afectadas (polígono celeste) por inundaciones pluviales (escorrentías superficiales) en épocas de precipitaciones, las flechas indican la dirección del flujo.



Figura 10. Áreas afectadas por inundaciones pluviales por las calles principales del C.P. Santa Sofía, la dirección del flujo (flechas celestes) va hacia noreste del área urbana de Santa Sofía.



Figura 11. Zona de confluencia entre zonas de escorrentía, zona donde se acumulan las inundaciones pluviales generando malestar entre los vecinos que tratan de canalizar el agua hacia un canal de regadío, sin embargo, este supera su capacidad y genera más desborde.



Figura 12. Áreas afectadas (flechas celestes) por inundaciones pluviales situadas en las calles del C.P. Santa Sofía, afectando a las viviendas aledañas e incluso el agua va directamente a las viviendas, ya que es una calle sin continuidad.



Figura 13. Áreas afectadas (flechas celestes) por inundaciones pluviales situadas en la cancha El Salitre que se encuentra en zona de baja pendiente. Zona de acumulación de aguas de las calles principales, las flechas indican la dirección del flujo.



Figura 14. Áreas afectadas por inundaciones pluviales situadas en la Av. principal del C.P. Santa Sofía, la dirección del flujo (flechas celestes) se dirige a zonas de baja pendiente, afectando a las viviendas aledañas.

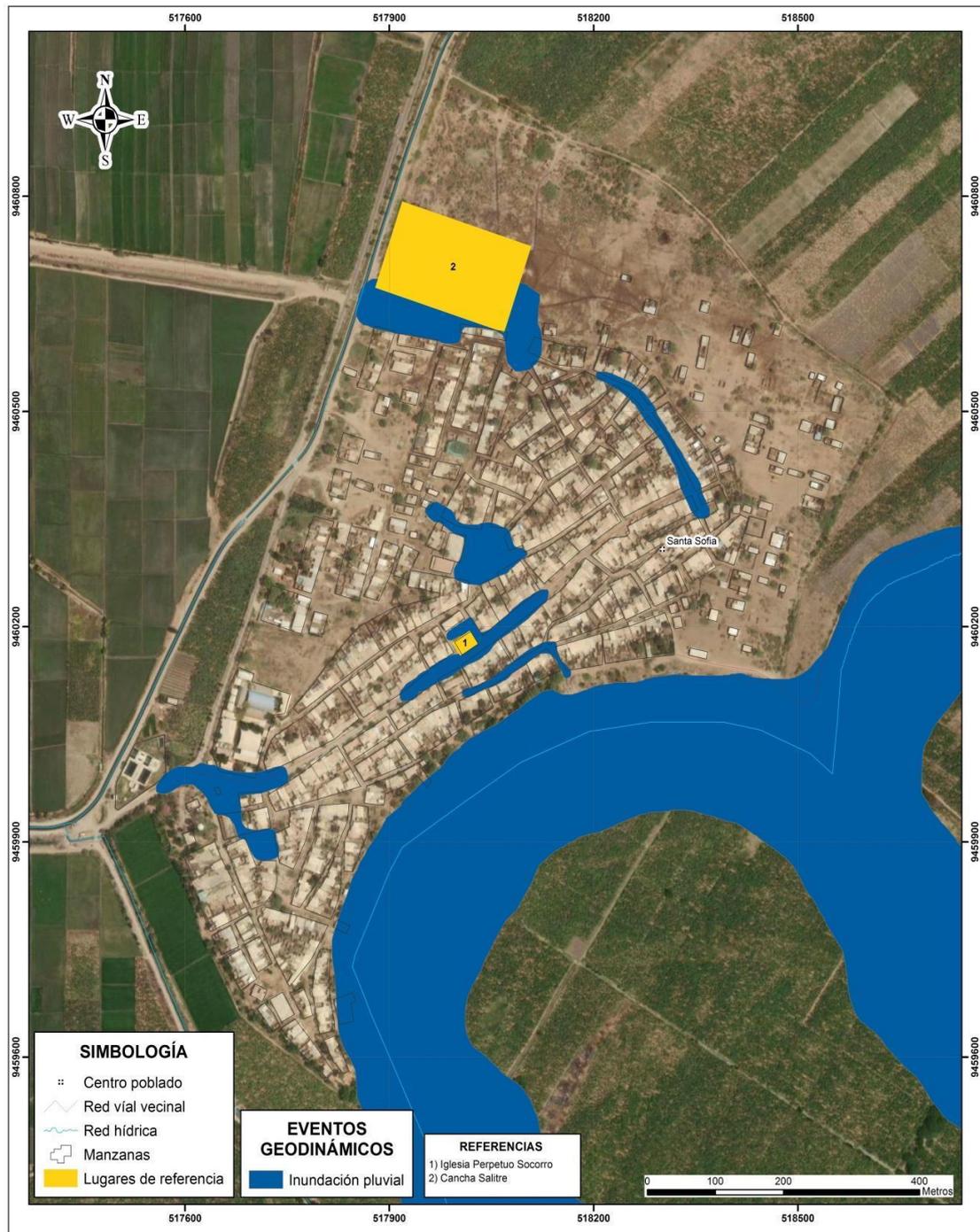


Figura 15. Con la información recopilada en campo, se generó un mapa geodinámico del C.P. Santa Sofía, delimitando las áreas susceptibles a inundaciones pluviales.

2.4. GEOTECNIA

Con la finalidad de obtener la información geotécnica de los suelos de cimentación en el área urbana del centro poblado Santa Sofía, 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.

Tabla 2. Ubicación de calicatas

CALICATA	UTM ESTE (m)	UTM NORTE (m)	PROFUNDIDAD (m)	NIVEL FREÁTICO A (m)
SF - 01	518419	9480559	2.30	NP
SF - 02	518370	9460194	2.20	NP
SF - 03	518032	9460311	3.00	NP
SF - 04	517701	9460208	3.00	NP
SF - 05	517735	9459697	3.00	NP

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

Clasificación de suelos SUCS en el área urbana del C.P. Santa Sofía: 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 (Figura 16 y Tabla 3):

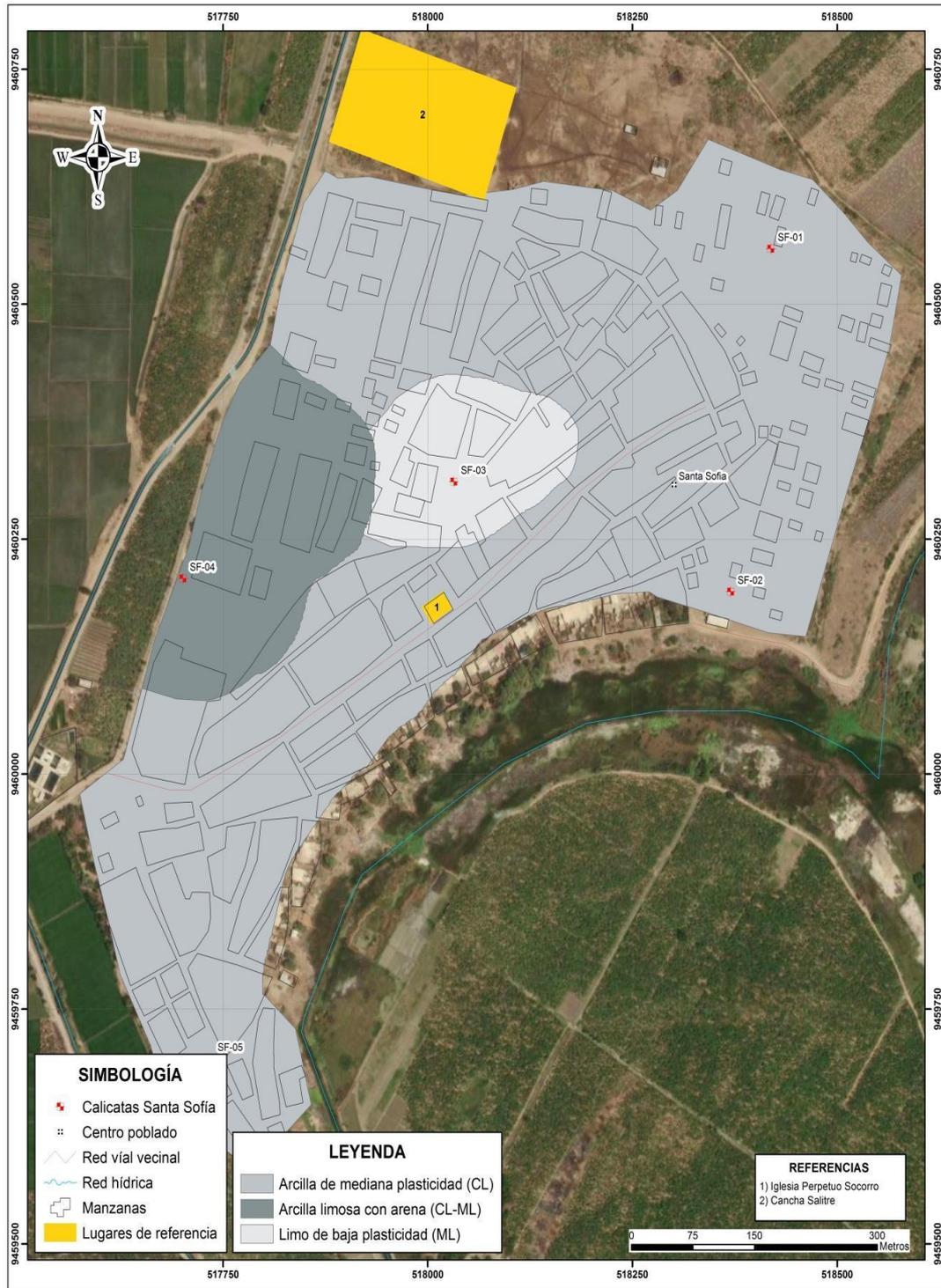


Figura 16. Mapa de clasificación SUCS de suelos en el área urbana del C.P. Santa Sofía.

- Suelos tipo CL: Están conformados por arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, de humedad moderada (10.60% hasta 17.60%), constituyen suelos de compacidad baja, presenta baja a moderada plasticidad (debido a la presencia de material fino). Presenta densidad natural de 1.045 gr/cm³. Abarca el 80 % del área de estudio y ha sido identificado en las inmediaciones de la cancha El Salitre y la iglesia Perpetuo Socorro (parte central del área urbana del C.P. Santa Sofía).

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

CALICATA	PROFUNDIDAD (m)	NIVEL FREÁTICO A (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
SF - 01	2.30	N.P.	0.00	6.50	93.50	29	21	8	17	CL	Arcilla de baja plasticidad
SF - 02	2.20	N.P.	0.00	17.10	82.90	29	21	8	10.60	CL	Arcilla de baja plasticidad
SF - 03	3.00	N.P.	0.00	8.30	91.70	29	23	6	15.30	ML	Limo de baja plasticidad
SF - 04	3.00	N.P.	0.00	19.30	80.70	28	21	7	14.80	CL - ML	Arcilla limosa con arena
SF - 05	3.00	N.P.	0.00	8.80	91.20	32	21	11	17.30	CL	Arcilla de mediana plasticidad

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

- Suelos tipo CL-ML: Están conformados por arcillas limosas con arena, de humedad moderada (14.80%), constituyen suelos de compacidad baja a media, presentan baja plasticidad (IP = 7). Presenta densidad natural de 1.042 gr/cm³. Abarca el 12% del área de estudio y ha sido identificado en el extremo noroeste de la iglesia Perpetuo Socorro del centro poblado Santa Sofía.
- Suelos Tipo ML: Están conformados por limos inorgánicos de baja plasticidad, de humedad moderada (15.30%), constituyen suelos de compacidad baja, presentan baja plasticidad (debido a la presencia de material fino). Presenta densidad natural de 1.040

gr/cm³. Abarca el 8% del área de estudio y ha sido identificado a 130 metros al noreste de la iglesia Perpetuo Socorro del C.P. Santa Sofía.

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 SF 01, muestra 0.316%,
- Calicata SF 02, muestra 0.276%,
- Calicata SF 03, muestra 0,310%
- Calicata SF 04, muestra 0.208% y.
- Calicata SF 05, muestra 0.272%

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

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 1000-2000 2000-20 000 >20 000	Leve Moderado Severo Muy Severo	Ocasiona un ataque químico directo a las estructuras de concreto
**Cloruros	> 600 > 1000 > 1500	Perjudicial	Ocasiona problemas de corrosión de armaduras o elementos metálicos.
**Sales Soluble totales	>5 000	Perjudicial	Ocasiona problemas de pérdida de resistencia mecánica por problema de lixiviación

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

Ensayo de corte directo (Norma ASTM D – 3080): La finalidad del ensayo de corte directo es determinar la resistencia al esfuerzo de corte de una muestra de suelo, sometida a fatigas y/o deformaciones (esfuerzos verticales y horizontales) que simula que existe o existirá en el terreno producto de la aplicación de carga. Esta resistencia al corte de los suelos se debe a dos componentes: la cohesión (comportamiento plástico que presentan las partículas finas) y el ángulo de fricción interna (rozamiento que existe en las partículas granulares).

Para conocer esta resistencia al corte en laboratorio se usa el equipo de corte directo, siendo el más usado una caja de sección cuadrada o circular dividida horizontalmente en dos mitades. Dentro de ella se coloca la muestra de suelo con dos placas de piedra porosa en ambos extremos, se aplica una carga vertical de confinamiento (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. Santa Sofía se presentan en el Tabla 5.

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

CALICATA	SF-1	SF-2	SF-3	SF-4	SF-5
ÁNGULO DE FRICCIÓN (°)	19	19	17	19	17
COHESIÓN	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03

Fuente: Gobierno Regional de Piura.

En la Tabla 5 se indica que, los suelos del C.P. Santa Sofía presentan ángulos de fricción entre 17° y 19°, no presentan cohesión a excepción de la calicata 5, presenta cohesión de 0.03.

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

Carga última (Qult.): Es la presión última por unidad de área de la cimentación soportada por el suelo, en exceso de la presión causada por el suelo alrededor al nivel de la cimentación (Amézquita, J. et al, 2012). Para determinar la carga última se usaron los resultados de los ensayos de corte directo (ángulo de fricción y la cohesión), datos que se usarán con la fórmula de corte general (suelos granulares densos y cohesivos de consistencia rígida) y local (suelos granulares sueltos y cohesivos de consistencia media a semidura) de Terzaghi (1943), a través de las siguientes expresiones:

Fórmula para falla por corte general

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

Fórmula para falla por corte local

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

Dónde: C= cohesión, q= carga ($\alpha * D_f$) 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: Braja 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.

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

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
SF-01	1.25	0.42	F.L	1.54	0.51	F.L
SF-02	1.26	0.42	F.L	1.74	0.58	F.L
SF-03	0.86	0.29	F.L	1.19	0.40	F.L
SF-04	1.12	0.37	F.L	1.55	0.52	F.L
SF-05	1.25	0.42	F.L	1.62	0.54	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.

De los resultados citados anteriormente y tomando en cuenta la Tabla 8, se ha determinado que para la profundidad de 1 y 1.5 metros, los suelos de cimentación del área urbana del C.P. Santa Sofía presentan capacidad de carga admisible muy baja (menor a 1.00 kg/cm²), (Figura 17).

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

Fuente: IGP, 2018.

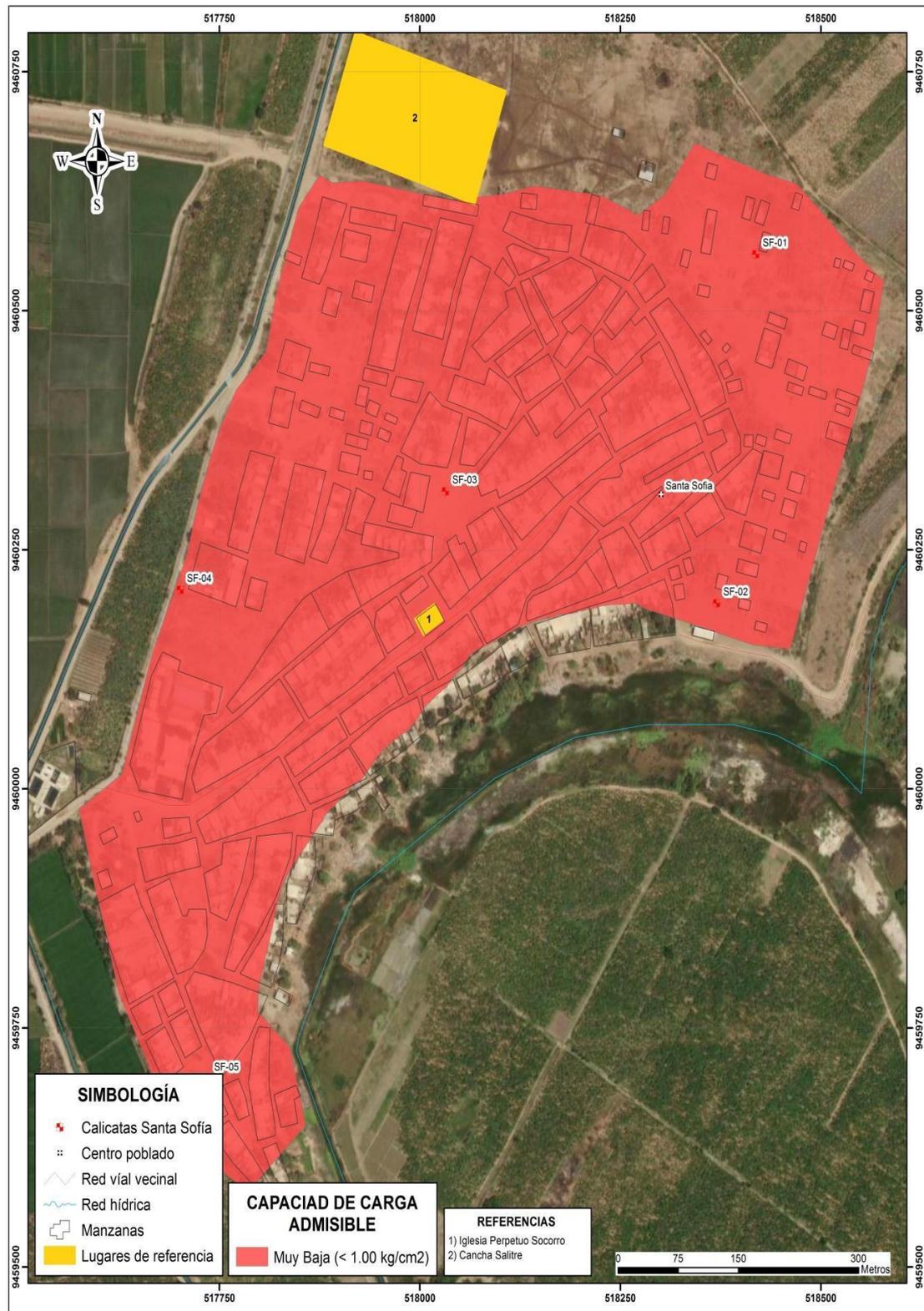


Figura 17. Mapa de capacidad de carga admisible de los suelos de cimentación del C.P. Santa Sofía, para una profundidad de cimentación de 1.0 metro y ancho de zapata de 1.0 metro.

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 del C.P. Santa Sofía, 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, 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/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 ocurrencia de sismos. 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 18, se muestra un ejemplo del proceso de análisis seguido usando como dato de entrada el registro de vibración ambiental (SS-19) 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 microtemores

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 Microtemores (MAM) o sísmica de Microtemores (Louie, 2001), es método complementario al MASW, que al utilizar registros de microtemores 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.

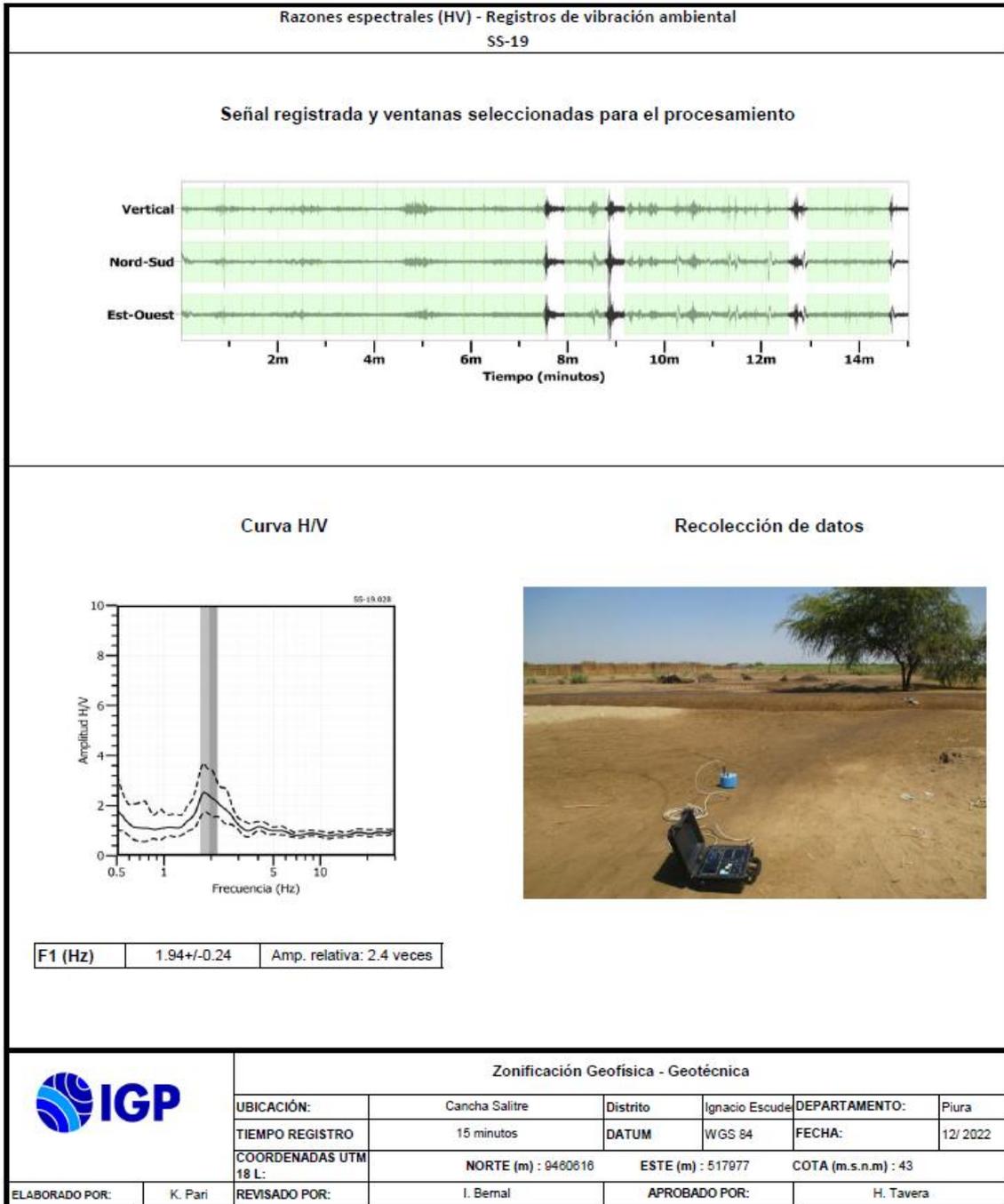


Figura 18. Resultados obtenidos con el método de razones espectrales (H/V) para el punto SS-19. Arriba, la señal registrada y abajo la curva promedio de las razones espectrales (H/V) en línea gruesa y su desviación estándar en líneas discontinuas. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

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 19.

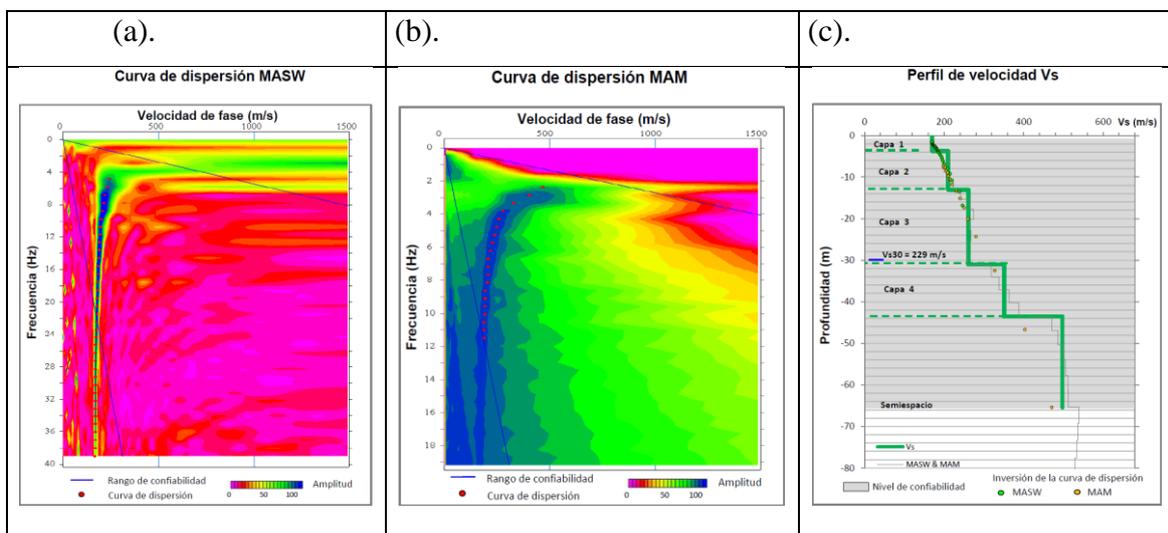


Figura 19. Curvas de dispersión obtenidos a partir de las técnicas MASW (a) y MAM (b) y perfil de velocidad obtenido a partir de la combinación de ambos ensayos (c).

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.

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

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

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 Santa Sofía, se ha recolectado en campo un total de 31 registros de vibración ambiental en puntos distribuidas de manera equidistante, tal como se observa en la Figura 20. Asimismo, se ha considerado datos obtenidos sobre tres líneas de tomografía eléctrica y de tres líneas de arreglos sísmicos.

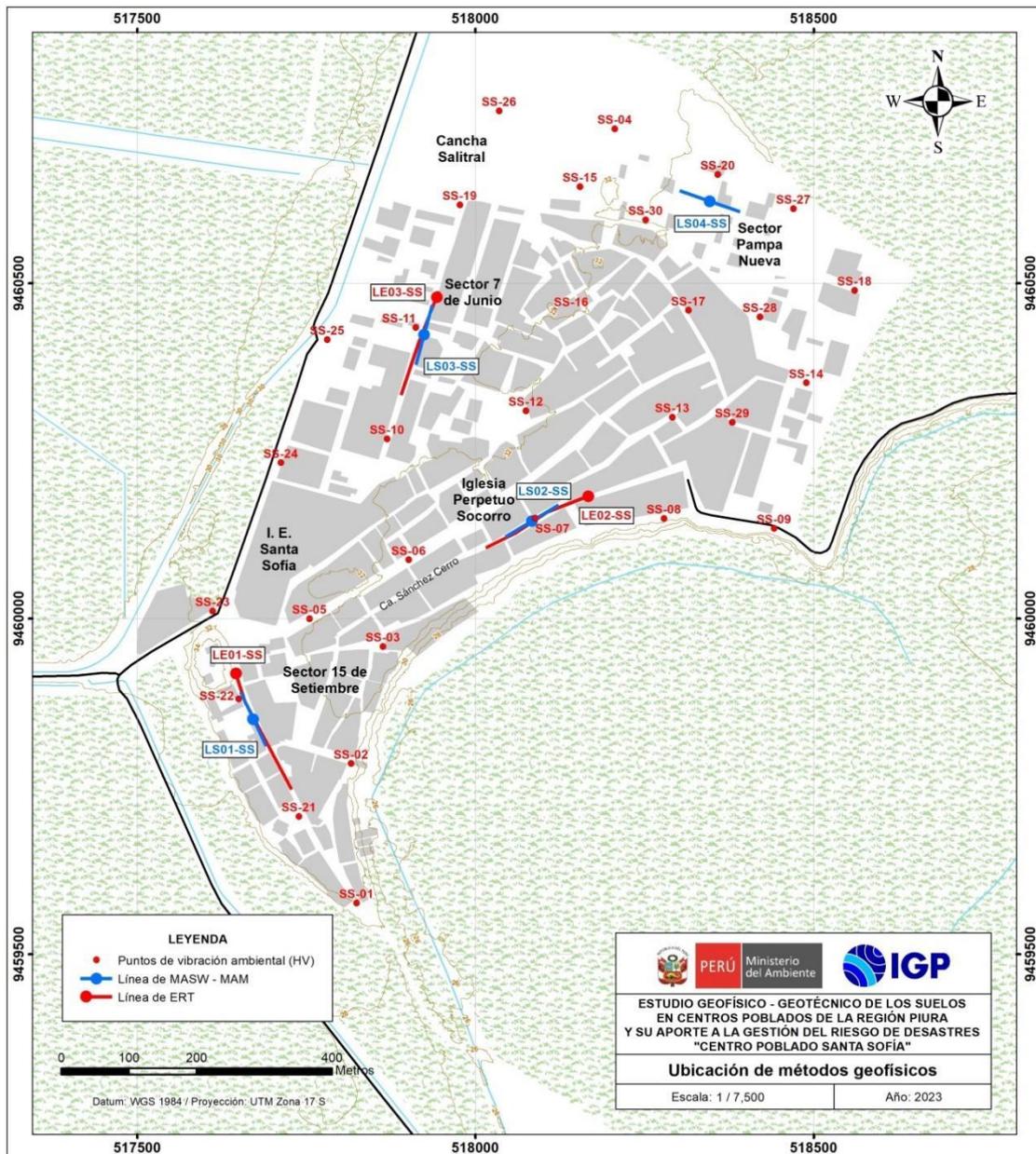


Figura 20. Distribución espacial de los puntos y líneas de adquisición de datos geofísicos en el C.P. Santa Sofía.

Registros de vibración ambiental: Para la adquisición de estos registros, se utilizaron sensores Lennartz y registradores CityShark II (Figura 21). Cada registro presenta una duración de 15 minutos, lo cual permite disponer de buena cantidad de datos para su posterior análisis. En la Figura 22, se muestra ejemplos de registros de vibración ambiental obtenidos en el punto ubicado por la cancha Salitre, donde existe ruido de poca amplitud y/o saltos transitorios (SS-15) y otro ubicado por la I.E. Santa Sofía y la carretera Paita - Sullana con presencia de altos niveles de ruido (SS-23). La correlación de las características físicas y dinámicas de estos suelos permite poder clasificarlos y a la vez zonificar el área de estudio en base a la respuesta del suelo ante la solicitación sísmica.



Figura 21. Equipo sísmico utilizado para el registro de vibraciones ambientales: sensor Lennartz (2N) y registradores CityShark II.

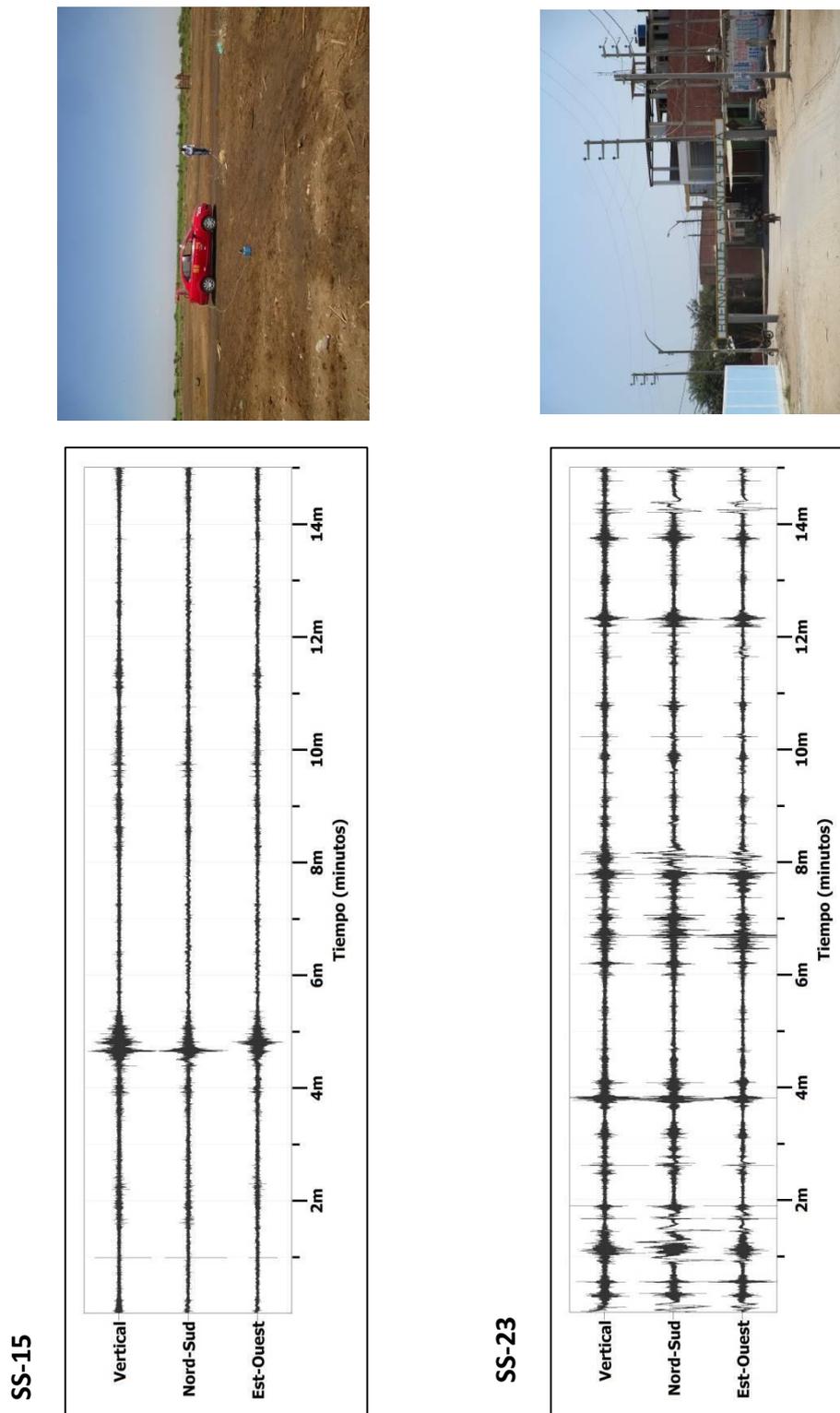


Figura 22. Ejemplos de registros de vibración ambiental obtenidos en los puntos SS-15 y SS-23, ubicados sobre diferentes tipos de suelos. Obsérvese las diferentes amplitudes de la señal registrada en cada punto.

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 23).

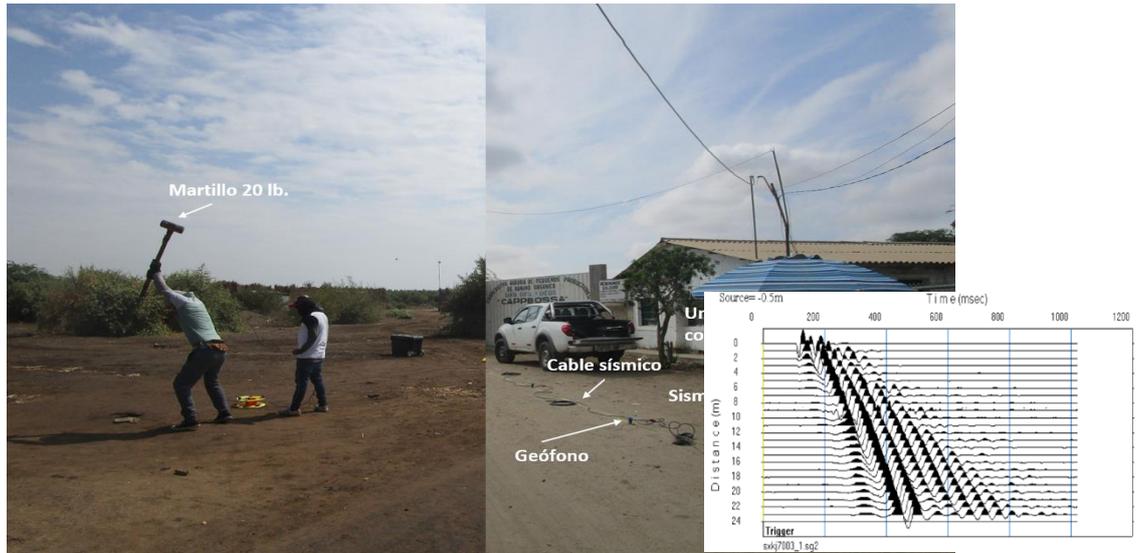


Figura 23. Disposición del equipo para la adquisición de registros sísmicos – MASW.

La distribución de las 4 líneas se presenta en la Figura 20 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)				
SANTA SOFÍA						
1	LS01-SS	517673	9459851	39	4	92
2	LS02-SS	518084	9460145	36	4	92
3	LS03-SS	517923	9460425	35	4	92
4	LS04-SS	518346	9460623	45	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 24) y accesorios (cables multipolar, electrodos, combas, etc.). La distribución de las 3 líneas se presenta en la Figura 20 y los parámetros utilizados para el registro de los datos de resistividad se detallan en la Tabla 12.



Figura 24. Disposición del equipo para la adquisición de datos de resistividad

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

Línea Sísmica	Coordenadas UTM – WGS84		Cota (m.s.n.m.)	Espaciamiento entre electrodos (m)	Longitud total (m)	
	Este (m)	Norte (m)				
SANTA SOFÍA						
1	LE01-SS	517642	9459926	44	10	200
		517728	9459745	49		
2	LE02-SS	518174	9460185	49	10	180
		518015	9460105	49		
3	LE03-SS	517942	9460487	47	10	180
		517889	9460332	44		

3.3. Resultados

3.3.1. Frecuencias predominantes

Los suelos del C.P. Santa Sofía, responden a bajas frecuencias $F \leq 2.0$ Hz; que se distribuyen uniformemente en toda el área de estudio, donde prevalece un pico de frecuencias bien definido, existen puntos que presentan amplificaciones mayores a 2.5 veces. Estas características sugieren la presencia de suelos homogéneos de gran espesor. 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 25 se muestra el mapa con la distribución espacial de los valores de frecuencias Fo, observándose el predominio de valores entre 1.0 a 2.0 Hz (0.5-0.7 segundos). Estos valores se presentan de manera uniforme en el área de estudio y sus mayores valores de amplificación se muestran al noreste. Se identifica un pico de frecuencia bien definido entre 1.0 a 2.0 Hz; con amplificaciones de hasta 5.4 veces. Estos valores bajos de frecuencia estarían asociados a la presencia de una capa sedimentaria de gran espesor.

En la Figura 26 se muestra ejemplos de razones espectrales (H/V) característicos para el área de estudio y corresponden a los puntos SS-04, SS-14 y SS-15, ubicados al noreste del C.P., presentan frecuencias predominantes altas de 1.67, 1.82 y 1.69 Hz y amplificaciones de 4.4, 5 y 5.4 veces respectivamente. Asimismo, en los puntos SS-03, SS-11 y SS-22, ubicados al centro y sur del centro poblado (Figura 27), presentan un pico bien definido con frecuencias de, 1.46, 1.80 y 1.79 Hz con amplificaciones de 2.8, 2.8 y 2.3 veces respectivamente.

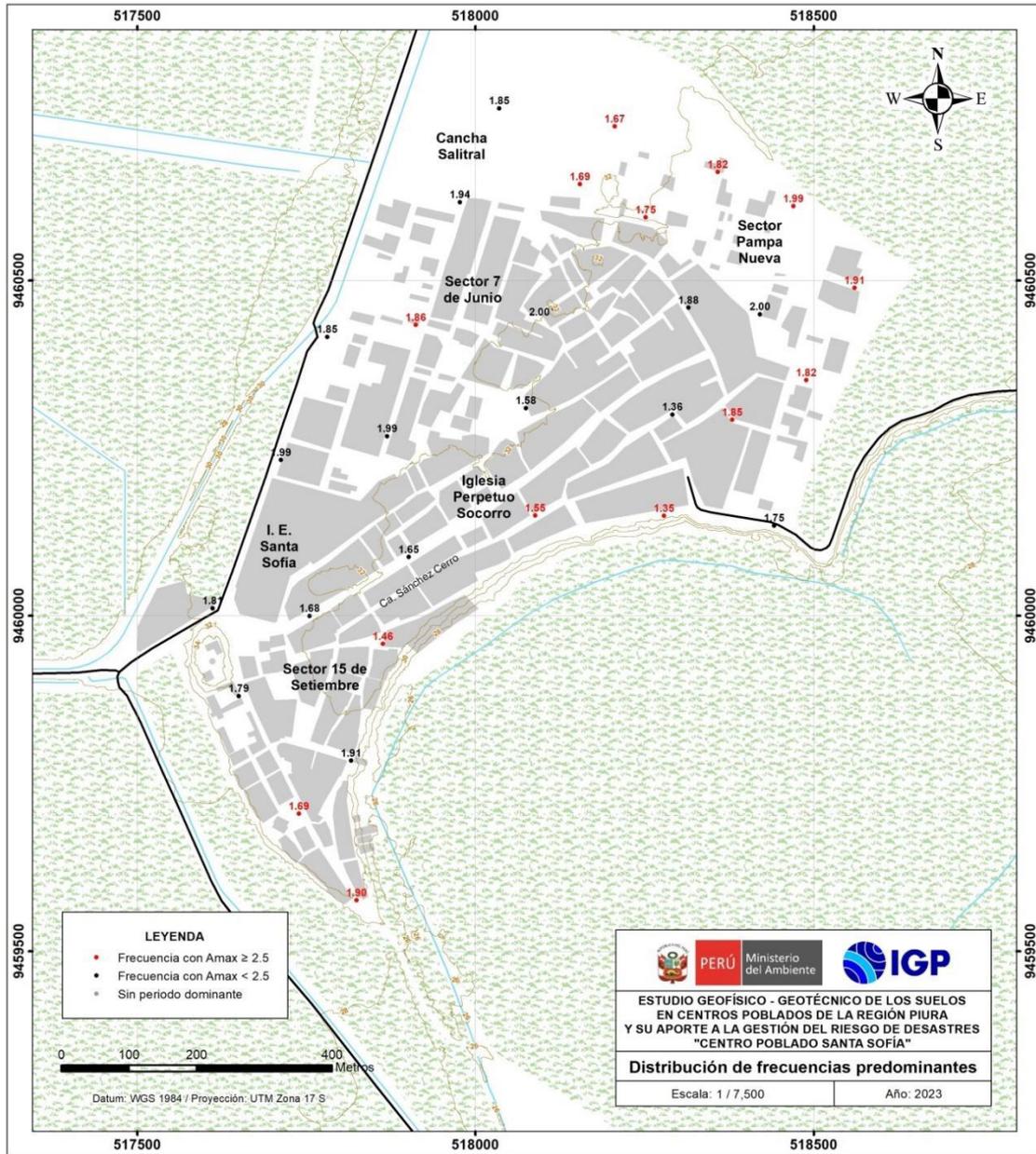
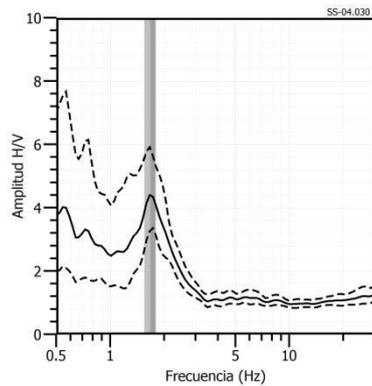


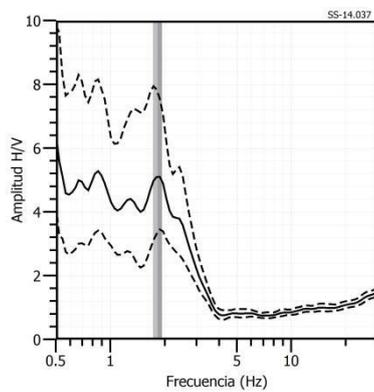
Figura 25. Distribución espacial de las frecuencias F_0 ($F \leq 2.0\text{Hz}$). Los valores en rojo corresponden a puntos con amplificaciones mayores a 2.5 veces.

De acuerdo con este análisis, el número de picos de frecuencias, formas de las curvas y factores de amplificación relativa, se evidencia su hubiera un cambio en el comportamiento dinámico del suelo en cada punto de observación. Los suelos del centro poblado Santa Sofía responden a un pico de frecuencia bien definido con amplificaciones medias, evidenciando que los suelos son homogéneos y de gran espesor.

SS-04



SS-14



SS-15

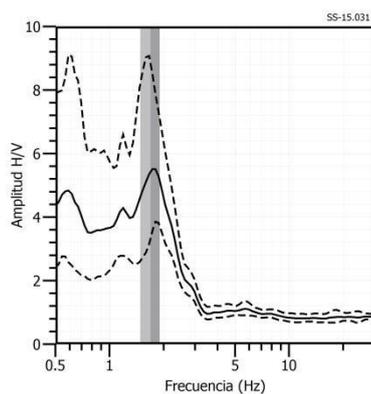
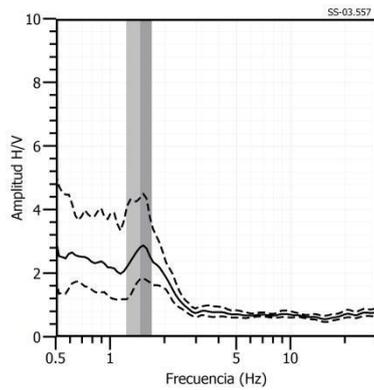
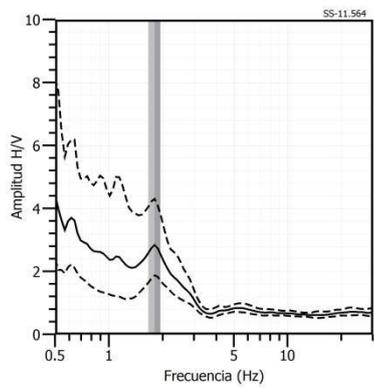


Figura 26. Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F0 ($F \leq 2.0\text{Hz}$): Para los puntos SS-04, SS-14 y SS-15, ubicados en el noreste del C.P. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

SS-03



SS-11



SS-22

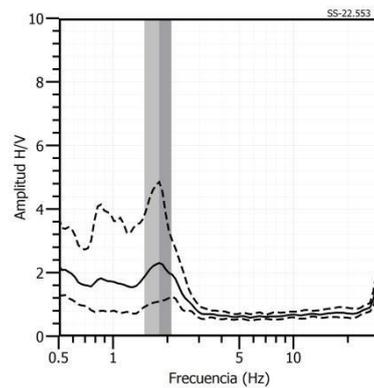


Figura 27. Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F_0 ($F \leq 2.0$ Hz): Para los puntos SS-03, SS-11 y SS-22, ubicados al centro y sur del C.P. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

Interpretación

El análisis de razones espectrales H/V en el área de estudio ha permitido observar que los suelos del C.P. Santa Sofía responden a un único pico de frecuencia que fluctúan entre 1.0 a 2.0 Hz, evidenciando la existencia de suelos cuya respuesta dinámica ante la ocurrencia de un sismo, es similar en toda el área de estudio con diferentes amplificaciones relativas, sugiriendo la presencia de suelos homogéneos.

- **Periodos dominantes:** A partir de las frecuencias predominantes, se obtiene los periodos de respuesta del suelo y cuya distribución se muestra en la Figura 28. En este caso, en el área de estudio los suelos responden a un rango de periodos bien definido con valores de 0.5 a 0.7 segundos; lo cual evidencia la presencia de suelos con similar comportamiento dinámico por presentar características físicas homogéneas, con diferente grado de consistencia.

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

Línea sísmica LS01-SS: Ubicada en el sector 15 de Setiembre, siendo la profundidad de resolución promedio del perfil de 66 metros. Este perfil permite identificar la existencia de cuatro (4) capas sísmicas: La primera de 4 metros de espesor y velocidad V_s de 170 m/s corresponde a suelo blando. La segunda capa de 9 metros de espesor y velocidad V_s de 210 m/s junto a la tercera capa con 18 metros de espesor y velocidad V_s de 261 m/s que corresponden a suelo intermedio (medianamente rígido). La cuarta capa, con espesor de 12

metros y velocidad de 354 m/s junto al semiespacio, con velocidad $V_s > 498$ m/s, sugiere suelo rígido.

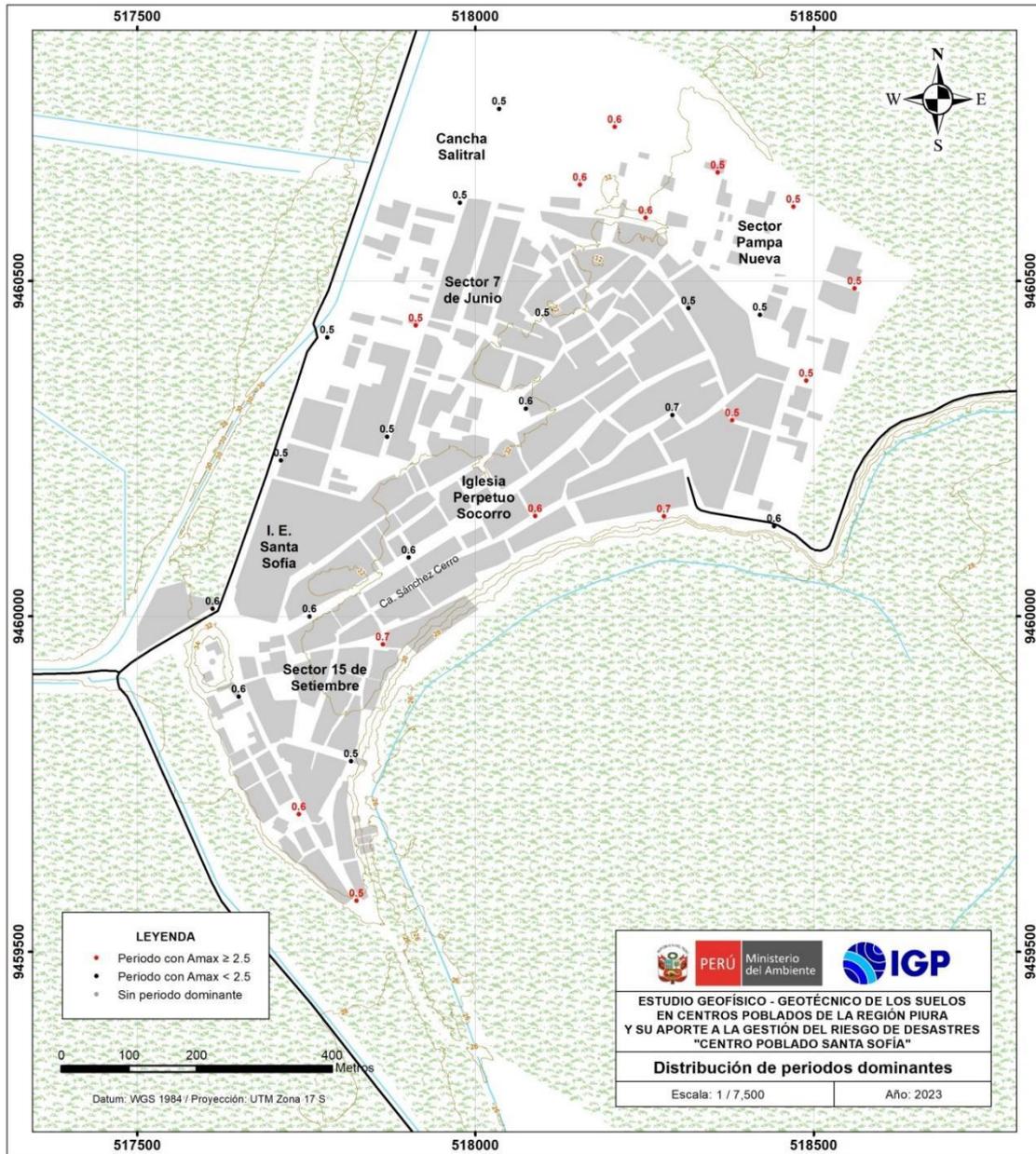


Figura 28. Distribución espacial de periodos dominantes del suelo para el C.P. Santa Sofía. Los valores en rojo corresponden a puntos con amplificaciones mayores a 2.5 veces.

Línea sísmica LS02-SS: Ubicada próximo a la Iglesia Perpetuo Socorro, siendo la profundidad de resolución promedio del perfil de 60 metros. Este perfil permite identificar la existencia de tres (3) capas sísmicas: La primera de 7 metros de espesor y velocidad V_s de 178 m/s corresponde

a suelo blando. La segunda capa de 11 metros de espesor y velocidad V_s de 234 m/s junto a la tercera capa de 23 metros de espesor y velocidad de 300 m/s corresponden a suelo intermedio (medianamente rígido). El semiespacio, con velocidad $V_s > 413$ m/s, sugiere suelo rígido.

Línea sísmica LS03-SS: Ubicada en el sector 7 de Junio, siendo la profundidad de resolución promedio del perfil de 78 metros. Este perfil permite identificar la existencia de cuatro (4) capas sísmicas: La primera de 5 metros de espesor y velocidad V_s de 163 m/s corresponde a suelo blando. La segunda capa de 10 metros de espesor y velocidad V_s de 194 m/s junto a la tercera capa con 22 metros de espesor y velocidad V_s de 322 m/s que corresponden a suelo intermedio (medianamente rígido). La cuarta capa, con espesor de 17 metros y velocidad de 443 m/s corresponde a suelo rígido. El semiespacio, con velocidad $V_s > 566$ m/s, sugiere suelo muy rígido.

Línea sísmica LS04-SS: Ubicada en el sector Pampa Nueva, siendo la profundidad de resolución promedio del perfil de 78 metros. Este perfil permite identificar la existencia de cuatro (4) 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 10 metros de espesor y velocidad V_s de 198 m/s junto a la tercera capa con 10 metros de espesor y velocidad V_s de 285 m/s que corresponden a suelo intermedio (medianamente rígido). La cuarta capa, con espesor de 32 metros y velocidad de 437 m/s corresponde a suelo rígido. El semiespacio, con velocidad $V_s > 568$ m/s, sugiere suelo muy rígido.

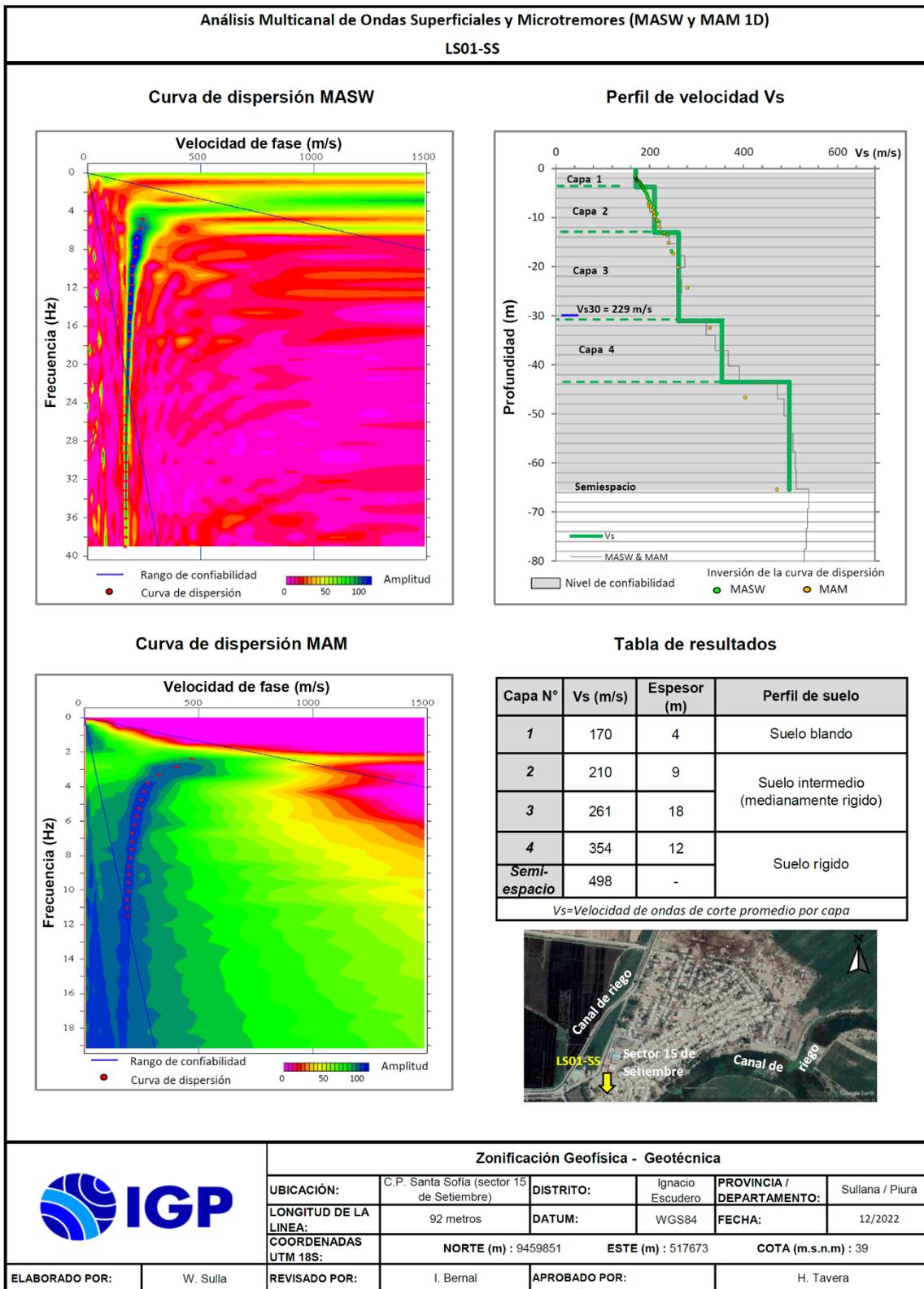


Figura 29. Resultados obtenidos con el ensayo MASW y MAM para la línea sísmica LS01-SS.

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-SS	170	4	210	9	261	18	354	12	498	-	229
LS02-SS	178	7	234	11	300	23	413	-	-	-	233
LS03-SS	163	5	194	10	322	22	443	17	566	-	227
LS04-SS	155	5	198	10	285	10	437	32	568	-	226

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

Interpretación

En el área urbana del C.P. Santa Sofía, se ha identificado una capa superficial de suelo blando (Vs=155 a 178 m/s) de aproximadamente 7 metros de espesor, que cubre a suelos medianamente rígidos (Vs=284 a 322 m/s), correspondiente a una capa intermedia de 20 a 34 metros de espesor. Este a su vez, cubre una capa de suelos rígidos (Vs=354 a 498 m/s) de 17 a 32 metros de espesor hacia el norte e incrementa hacia el sur (próximo al canal de regadío).

En conjunto, los espesores de los suelos blandos, medianamente rígidos y rígidos van de 54 a 57 metros en dirección norte, por los sectores 07 de Junio y Pampa Nueva, y superan los 60 metros en dirección sur, por

el sector 15 de Setiembre y la iglesia Perpetuo Socorro (próximo al canal de regadío, ver Figura 30).

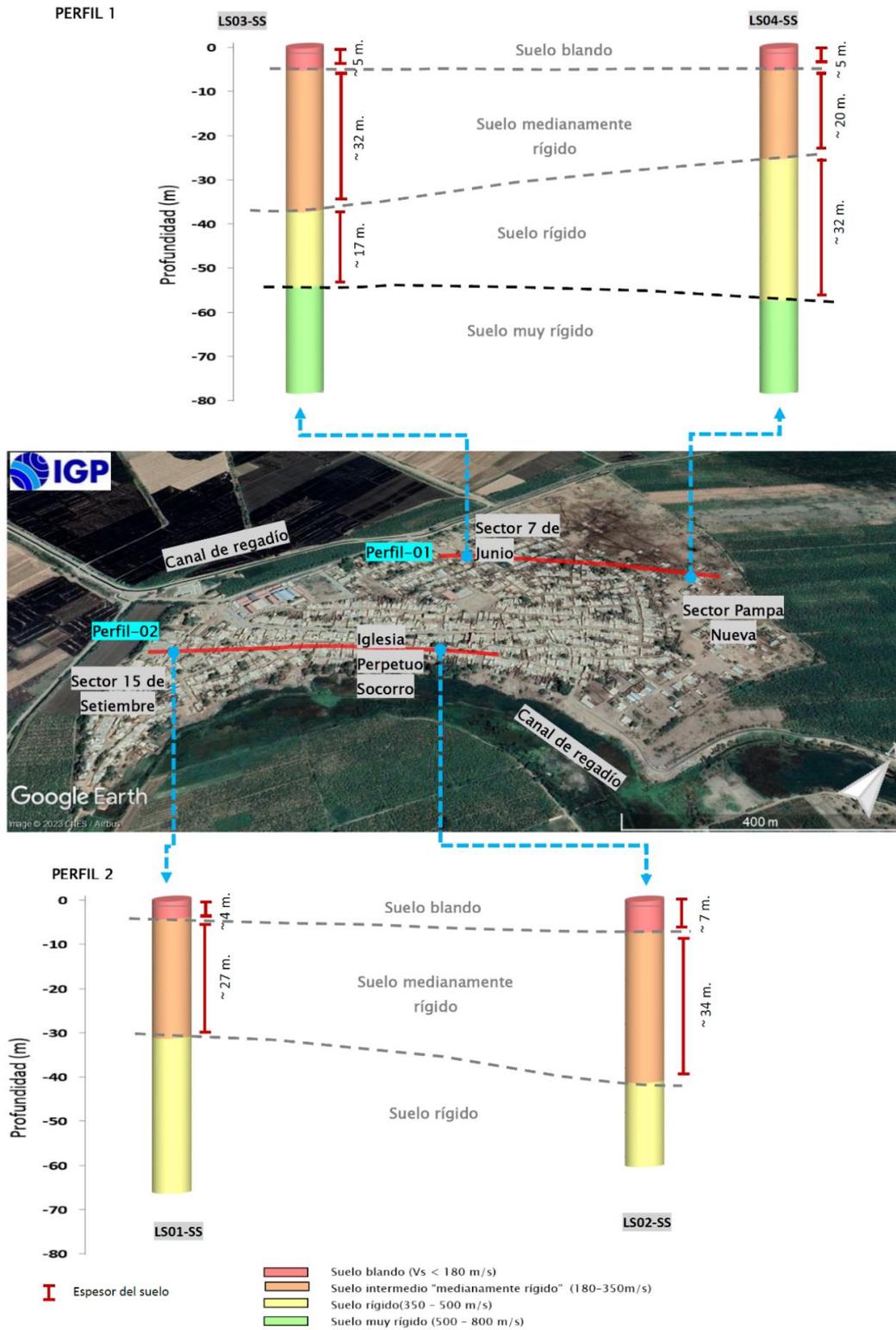


Figura 30. Resultados de MASW y MAM ubicados a lo largo del perfil 1 (LS03-SS y LS04-SS) y perfil 2 (LS01-SS y LS02-SS) sobre la imagen satelital.

Por debajo se identifican los suelos muy rígidos, principalmente hacia el norte, correspondientes al conglomerado, esto sugiere que el suelo superficial corresponde a depósitos aluviales de gran espesor.

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 Vs30 calculado, entre 226 y 233 m/s, corresponde a suelos Tipo S3; es decir medianamente rígido (Adaptación de la clasificación de suelos, indicada en la Norma sismorresistente E.030, al área de estudio).

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 31, se presenta la sección obtenida para la línea LE01-SS y en el Anexo 2, para las secciones restantes.

- **Sección geoelectrica LE01-SS:** Realizada en el sector 15 de Setiembre sobre una longitud de 200 metros y en dirección NO-SE. En esta sección predominan los depósitos con baja resistividad (< 80 Ohm-m), debido a la presencia de depósitos aluviales con alto contenido de humedad, espesores mayores a 40 metros. Además, se presentan dos anomalías con menor concentración de humedad (delimitadas por líneas plomas).

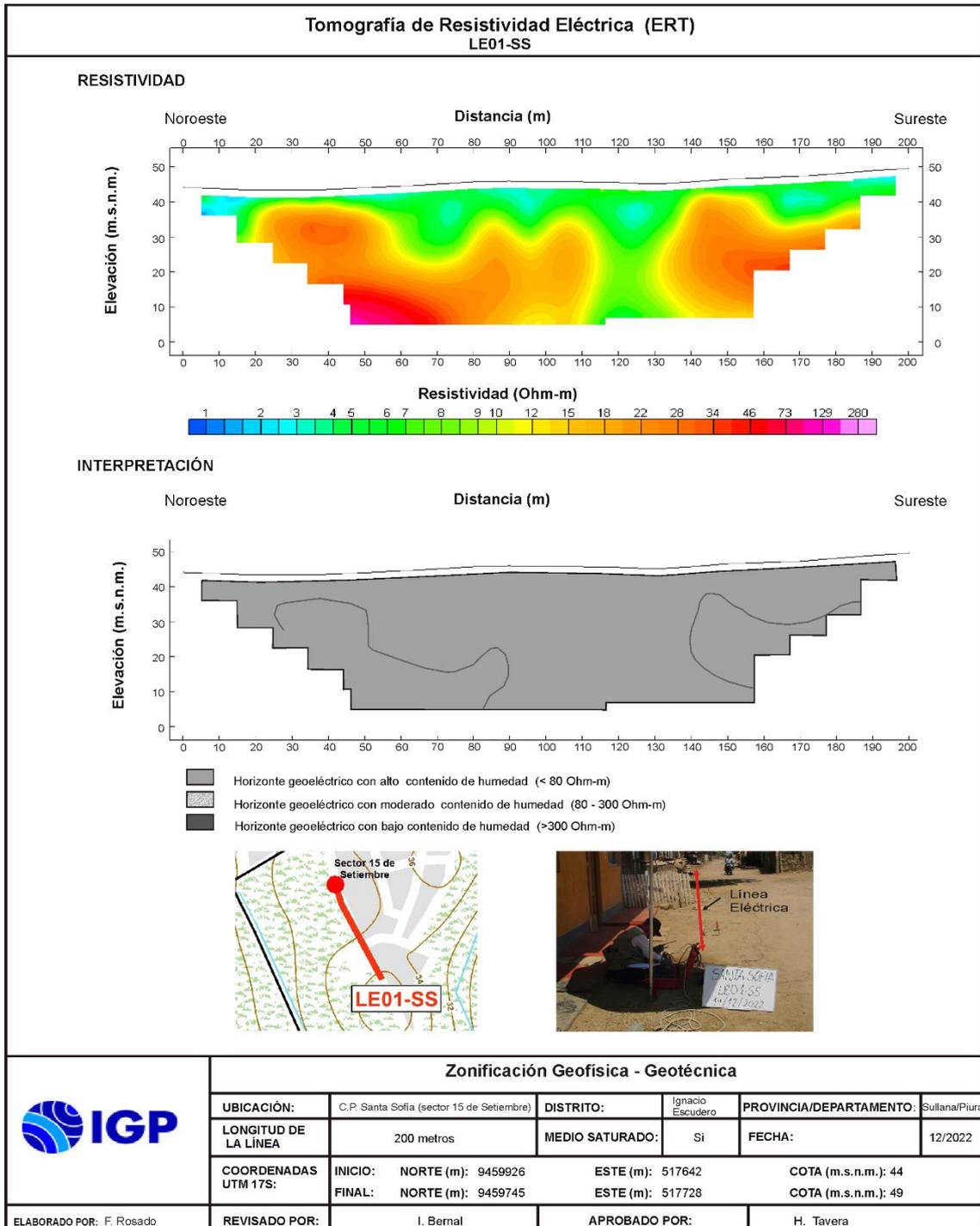


Figura 31. Resultado de tomografía eléctrica para la línea LE01-SS.

- **Sección geoelectrica LE02-SS:** Realizada en la calle Sánchez Cerro sobre una longitud de 180 metros y en dirección NE-SO. En esta sección predominan los depósitos baja resistividad (< 80 Ohm-m), debido a la presencia de depósitos aluviales con alto contenido

de humedad, espesores mayores a 40 metros. Además, dentro de este horizonte se presentan dos zonas anómalas la primera con bajo concentración de humedad a lo largo de toda la sección (delimitada por líneas plomas) y la segunda con mayor concentración de humedad. También se tiene una anomalía con moderado contenido de humedad (80 a 300 Ohm-m) hacia el final de la sección de hasta 15 metros de espesor.

- **Sección geoelectrica LE03-SS:** Realizada en el sector 7 de Junio sobre una longitud de 180 metros y en dirección NE-SO. En esta sección predominan los depósitos de baja resistividad (< 80 Ohm-m), debido a la presencia de depósitos aluviales con alto contenido de humedad, espesores mayores a 40 metros.

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

- Hacia el norte de la I.E. Santa Sofía, se ha identificado alto contenido de humedad, espesores mayores a 40 metros, el alto contenido de humedad se puede deber a las filtraciones de los canales y al riego por inundación de los terrenos agrícolas (Figura 32).
- Hacia el sur de la I.E. Santa Sofía, se ha identificado alto contenido de humedad, espesores de hasta 40 metros, en profundidad se presentan dos zonas anómalas con menor concentración de humedad (Figura 32).
- Hacia el este de la I.E. Santa Sofía, se ha identificado alto contenido de humedad con espesores de entre 30 a 40 metros. Además, a nivel

superficial se presenta una zona anómala con menor concentración de humedad (Figura 32).

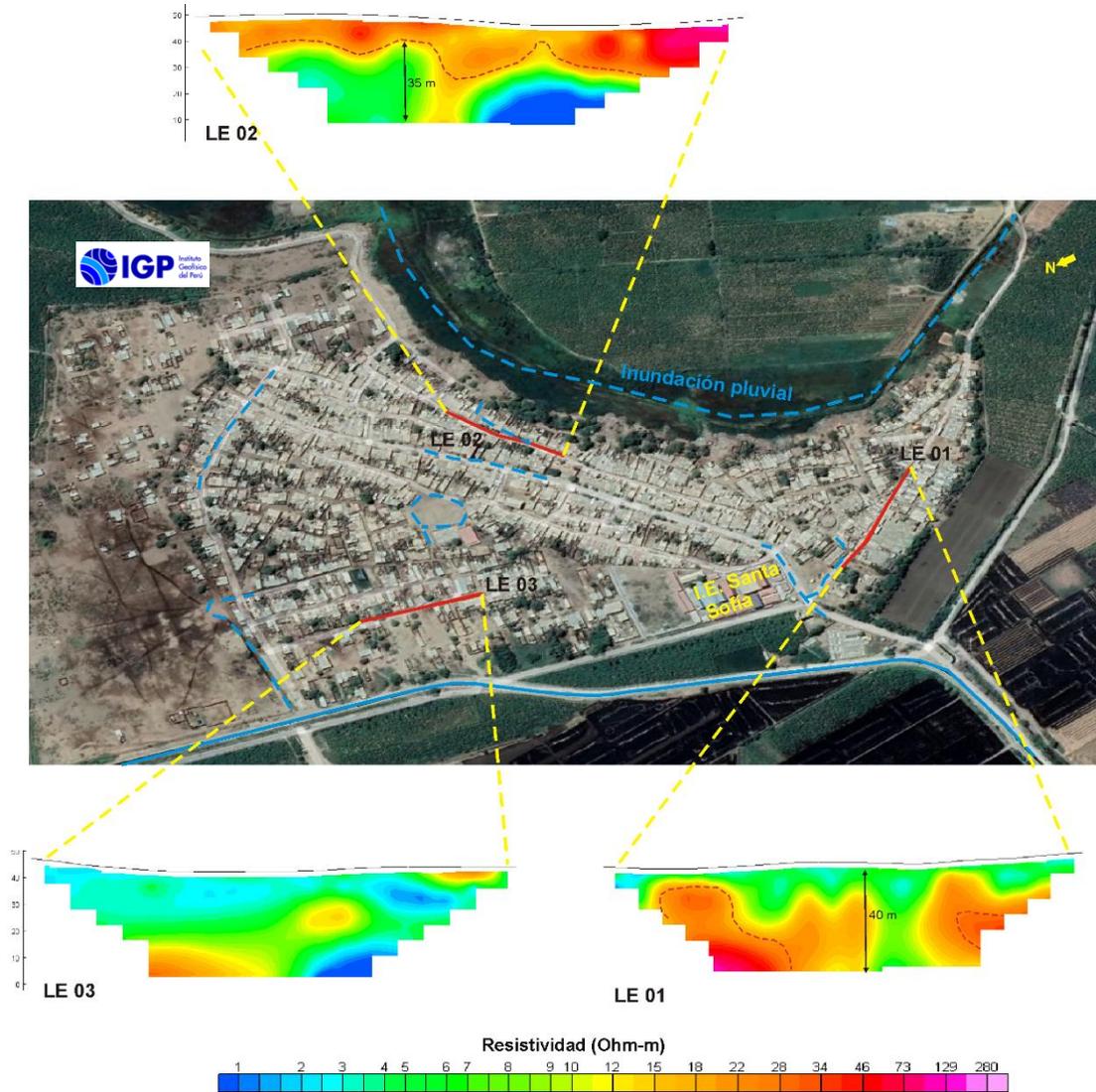


Figura 32: Ubicación y orientación de las líneas de tomografía eléctrica, LE01-SS, LE02-SS Y LE03-SS Las líneas interlineadas amarillas indican la orientación de las secciones y las líneas interlineadas rojas delimitan suelos con alto contenido de humedad.

3.4. INTEGRACIÓN DE RESULTADOS

El área urbana del C.P. Santa Sofía se emplaza sobre una terraza aluvial antigua 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:

Los suelos del área urbana del C.P. Santa Sofía responden predominantemente a periodos largos que varían entre 0.5 a 0.7 segundos que se distribuyen de manera uniforme sobre todo el área de estudio.

Los resultados obtenidos con los métodos geofísicos permiten evidenciar que los suelos están conformados por capas superficiales de suelos blandos a medianamente rígidos con espesores que varían entre 25 y 41 metros, estando el menor espesor identificado hacia el norte (sector Pampa Nueva) y los mayores, se identifican en dirección sur y sureste (sector 15 de Setiembre y por la iglesia Perpetuo Socorro) y velocidades de ondas de corte V_{s30} que varían entre 226 y 233 m/s, correspondiendo a suelos Tipo S3, es decir suelos intermedios.

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 226 m/s y 233 m/s para las ondas de corte (V_s) y periodos de 0.5 y 0.7 segundos, se estima la existencia de una capa sedimentaria con espesores de entre 30 y 50 metros. Estos espesores se correlacionan con los modelos de velocidad obtenidos con los arreglos sísmicos. Asimismo, estos suelos presentan alto contenidos de humedad (el cual se encuentra desde los 3 metros de profundidad), incrementando la complejidad del comportamiento dinámico de los suelos ante sismos (Figura 32).

Estas condiciones, evidencian que el centro poblado Santa Sofía se encuentra ubicada en una zona que presenta de moderado a alto peligro por sismo, debido a que sus suelos experimentarían altos niveles de sacudimiento (a periodos largos) 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 C.P. de Santa Sofía, 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 de suelos indicados en la Norma de Construcción Sismorresistente E.030, la existencia de suelos Tipo S3; es decir, suelos medianamente rígidos que responden a periodos de 0.5 a 0.7 segundos con amplificaciones moderadas.

Para el área urbana del C.P. Santa Sofía, se propone la siguiente Zonificación Sísmica-Geotécnica (Figura 33).

- ZONA I y II: Conformadas por suelos muy rígidos y rígidos respectivamente, no fueron identificados en el área de estudio.
- ZONA III: Suelo intermedio (medianamente rígido), conformado por capas de gran espesor de suelos granulares finos, arcillosos y limosos con espesores de 54 a 57 metros con velocidades de ondas de corte V_s de 155 m/s para la capa superficial y de hasta 260 m/s a la profundidad de 30 metros. El periodo de vibración natural del suelo varía entre 0.5 a 0.7 segundos con amplificaciones relativas de hasta 5.4 veces. Se presenta un alto contenido de humedad desde los 2 metros de profundidad hasta los 40 metros. Asimismo, se determina una muy baja capacidad de carga admisible <1.0

Kg/cm² hasta un 1.5 metros de profundidad. Estas características corresponden a Suelos Tipo S3, que comprenden a suelos intermedios y/o medianamente rígidos.

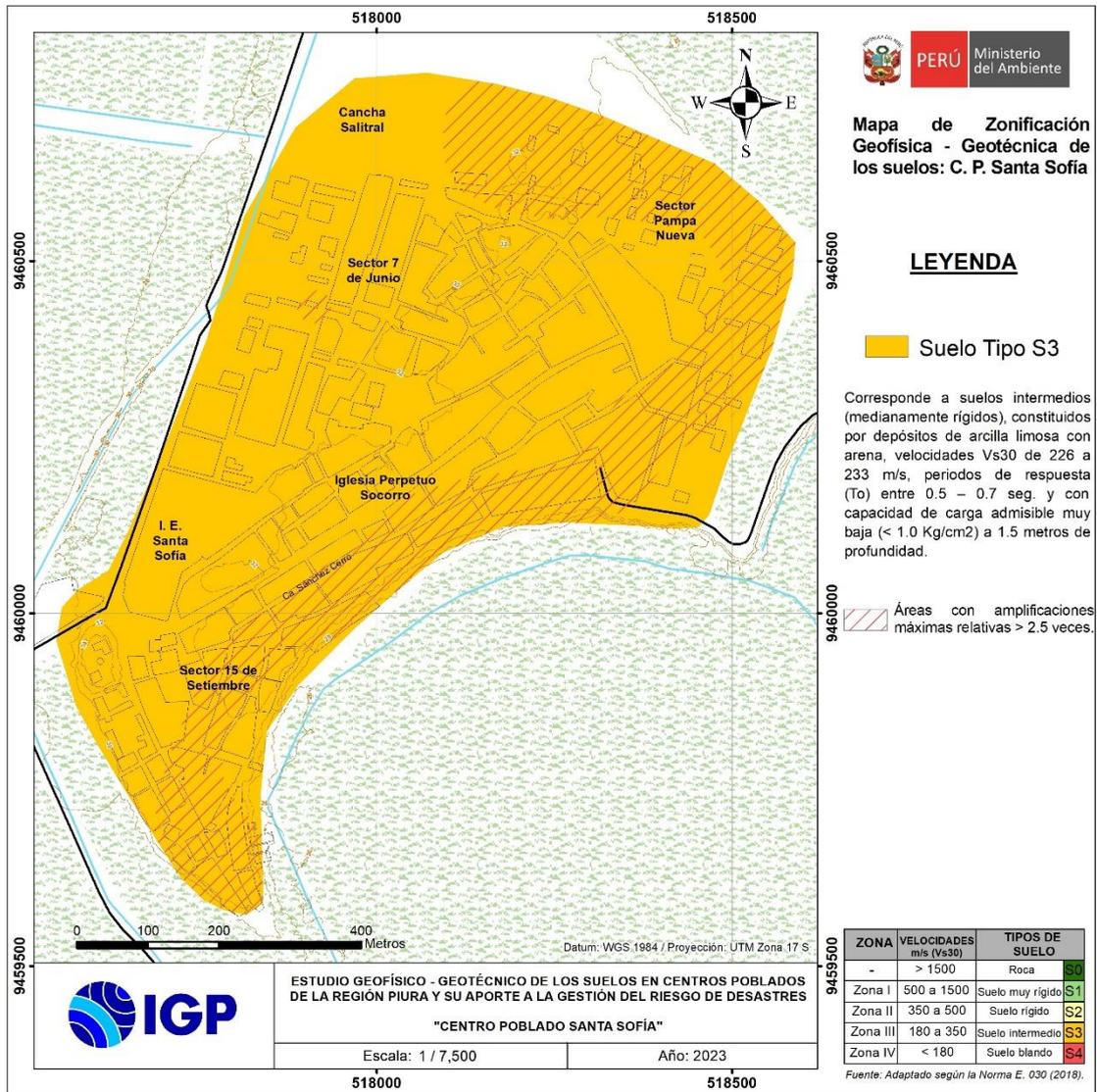


Figura 33. Mapa de zonificación geofísica-geotécnica de los suelos del centro poblado Santa Sofía. Las líneas inclinadas en rojo delimitan zonas con mayor amplificación.

CONCLUSIONES

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

- Los eventos geodinámicos identificados en el área urbana del C.P. Santa Sofía, son las inundaciones pluviales que afectan las inmediaciones de cancha El Salitre e iglesia Perpetuo Socorro, lado derecho de la I.E. Santa Sofía y la Av. principal. En estas zonas se observa la acumulación de aguas debido a la ausencia de drenaje pluvial.
- En el área urbana del C.P. Santa Sofía se identifica tres tipos de suelos: arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media (CL) que ocupan el 80% de toda al área de estudio; arcillas limosas con arena (CL-ML) que ocupa el 12% y limos inorgánicos (ML) ocupan el 8%.
- Se ha determinado que para la profundidad de 1 y 1.5 metros, los suelos de cimentación del C.P. Santa Sofía presentan capacidad de carga admisible muy baja (menor a 1.00 kg/cm²).
- Según su comportamiento dinámico, los suelos del C.P. Santa Sofía responden a un rango de periodos de 0.5 a 0.7 segundos, evidenciando la presencia de suelos homogéneos de gran espesor. En la zona noreste del C.P. se presentan las máximas amplificaciones con valores de hasta 5.4 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 del C.P. Santa Sofía están diferenciados en 4 capas sísmicas y un semi-espacio. Los suelos blandos corresponden a la primera capa con espesores de 4 a 7 metros ($V_s = 155$ a 178 m/s), predominan suelos medianamente rígidos, en la segunda y hasta la tercera capa sísmica ($V_s = 194$ a 322 m/s) y espesores entre 20 y 34 metros y la cuarta capa está constituida por suelos rígidos ($V_s = 354$ a 498 m/s) de 54 metros de espesor a más. En el área de estudio, se obtuvo velocidades de ondas de corte V_{s30} que fluctúan entre 226 y 233 m/s, que corresponden a suelos Tipo S3, es decir, suelos intermedios.
- Los suelos del área de estudio presentan alto contenido de humedad, principalmente en dirección norte y sur de la I.E. Santa Sofía, hasta profundidades de hasta 40 metros. El contenido de humedad se asocia a las filtraciones de los canales, al riego por inundación de los terrenos agrícolas entre otros.
- Los resultados obtenidos para el área urbana del C.P. Santa Sofía a partir de sus características físicas y dinámicas del suelo, han permitido identificar, de acuerdo con las consideraciones indicadas en la Norma de Construcción Sismorresistente E.030, adaptadas para el área de estudio, la existencia de suelos Tipo S3; es decir, suelos intermedios y/o medianamente rígidos.
- A la ocurrencia de un sismo de moderada a mayor magnitud, los suelos del C.P. Santa Sofía pueden experimentar niveles altos de sacudimiento, por la presencia de suelos blandos con altos niveles de humedad a nivel superficial.

REFERENCIAS

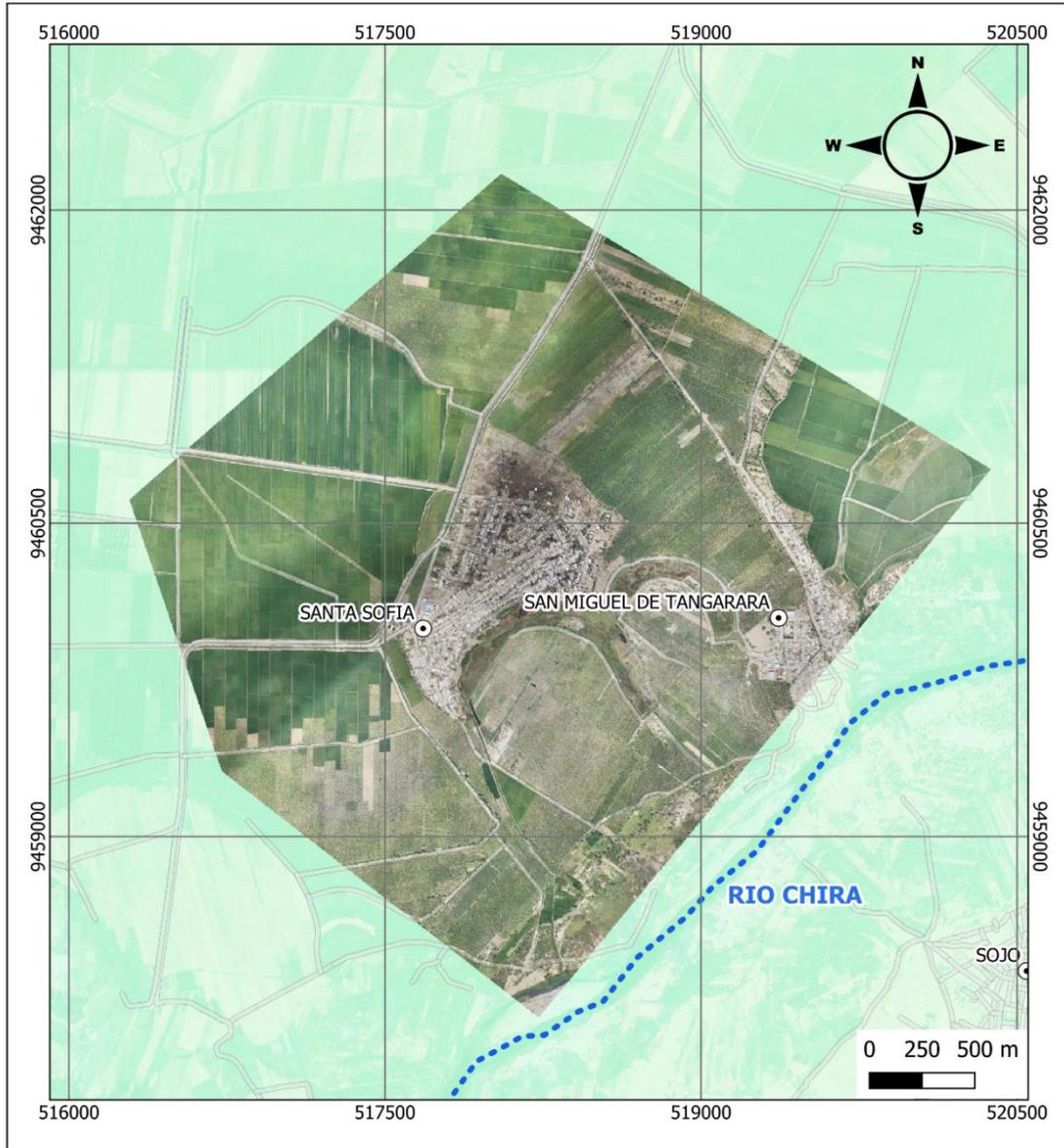
- Alfaro et al. (2014). Estimación de umbrales de precipitaciones extremas para la emisión de avisos meteorológicos, Boletín Técnico SENAMHI, pp135.
- Amézquita-Jiménez, J., Jalixto-Cuyo, R., Pampas-Quiroga, J., (2012), Teorías de capacidad de carga y sus limitaciones en suelos compresibles.
- Bernal Isabel. (2006), "Microzonificación sísmica de la ciudad de Tlaxcala, México", Tesis de Maestría, Posgrado en Ciencias de la Tierra, UNAM.
- Braja Das, (2011) - Principles of Foundation Engineering, Seven Edition, pág. 139-140.
- Gobierno Regional de Piura - Laboratorio de mecánica de suelos (2022). Estudio de mecánica de suelos con fines de cimentación para el proyecto: "Elaboración de los estudios de evaluación de riesgo de desastres - EVAR para la formulación del plan regional integral de reconstrucción ante el sismo de 30 de julio del 2021.
- Instituto Geofísico del Perú, (2021): Sismo de Sullana del 30 de julio del 2021 (M6.1) – Aspectos sismo tectónicos.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (2017): Directorio nacional de centros poblados. Censos nacionales 2017 XII de población, VII de vivienda y III de comunidades indígenas.
- INGEMMET, (1999), Cuadrángulo geológico de Sullana hoja 10-b.
- Louie, J. (2001). Faster, Better: Shear-Wave Velocity to 100 Meters Depth From Refraction Microtremor Arrays. Bulletin of the Seismological Society of America. Pg. 20. DOI: 10.1785/0120000098
- Loke, M. (2004). Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys.

- Nakamura Y., (1989): A method for dynamic characteristics estimation of subsurface <using microtrem or on the ground surface, Quaterly Report of the Railway Technology Research Institute, 30, 25–30.
- Norabuena, E, Leffler-Griffin, L., Mao, A. Dixon, T. (1998). Space geodetic observations of Nazca-South America Convergence. *Science*, 279, 358-362.
- Norma Técnica de edificaciones E.030. 2018. Aprobada por resolución ministerial N°355-2018-VIVIENDA.
- Norma Técnica de suelos y cimentaciones E.050. 2018. Aprobada por decreto supremo N° 011-2006-VIVIENDA.
- Norma Técnica de edificaciones E.060 concreto armado 2009. Aprobada por decreto supremo N°015-2004-VIVIENDA.
- SESAME, (2004): Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations. Measurements, processing and interpretation, European Commission – Research General Directorate Project No.EVG1-CT-2000–00026 SESAME, report D23.12.
- Silgado, E. (1978): Historia de los sismos más notables ocurridos en el Perú (1513-1974). INGEMMET. Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 3, 130 p.
- Tavera, H., Agüero, C y Fernández, E. (2016). Catálogo general de isosistas para sismos peruano. Instituto Geofísico del Perú.
- Terzaghi, K. Peck, B., G. & Mesri, G., (1948) – Soil mechanics in engineering practice, New York: Wiley
- Villegas-Lanza, JC., Chlieh, M., Cavalié, O., Tavera, H., Baby, P., Chire-Chira, J., Nocquet, J-M. (2016). Active tectonics of Peru: Heterogeneous interseismic coupling along the Nazca megathrust, rigid motion of the Peruvian Sliver, and Subandean shortening accommodation. *JGR*, 10.1002/2016JB013080

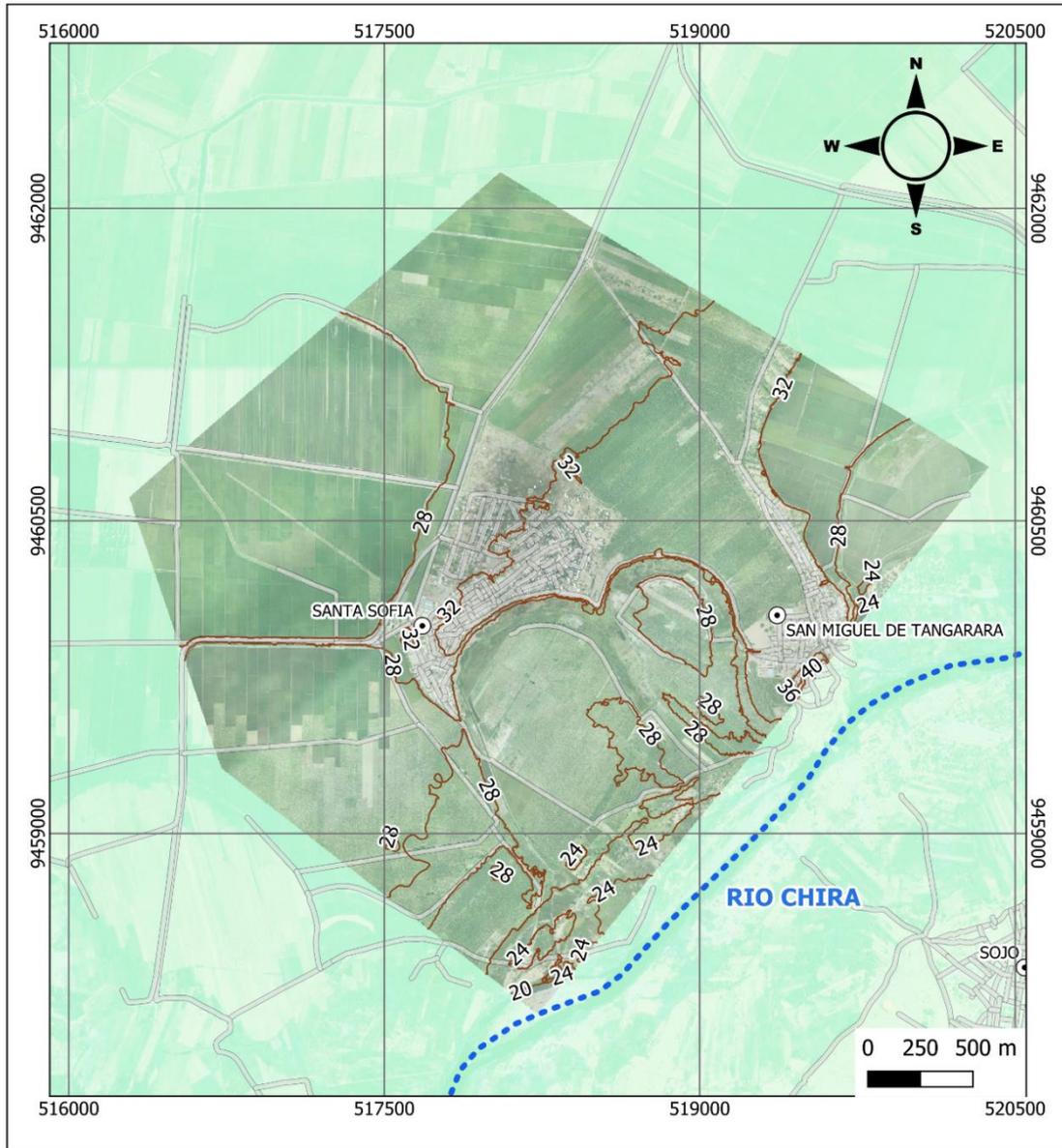
Villota H, (2005). Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de tierras. Segunda edición.

ANEXOS 1
Información topográfica

Ortomosaico



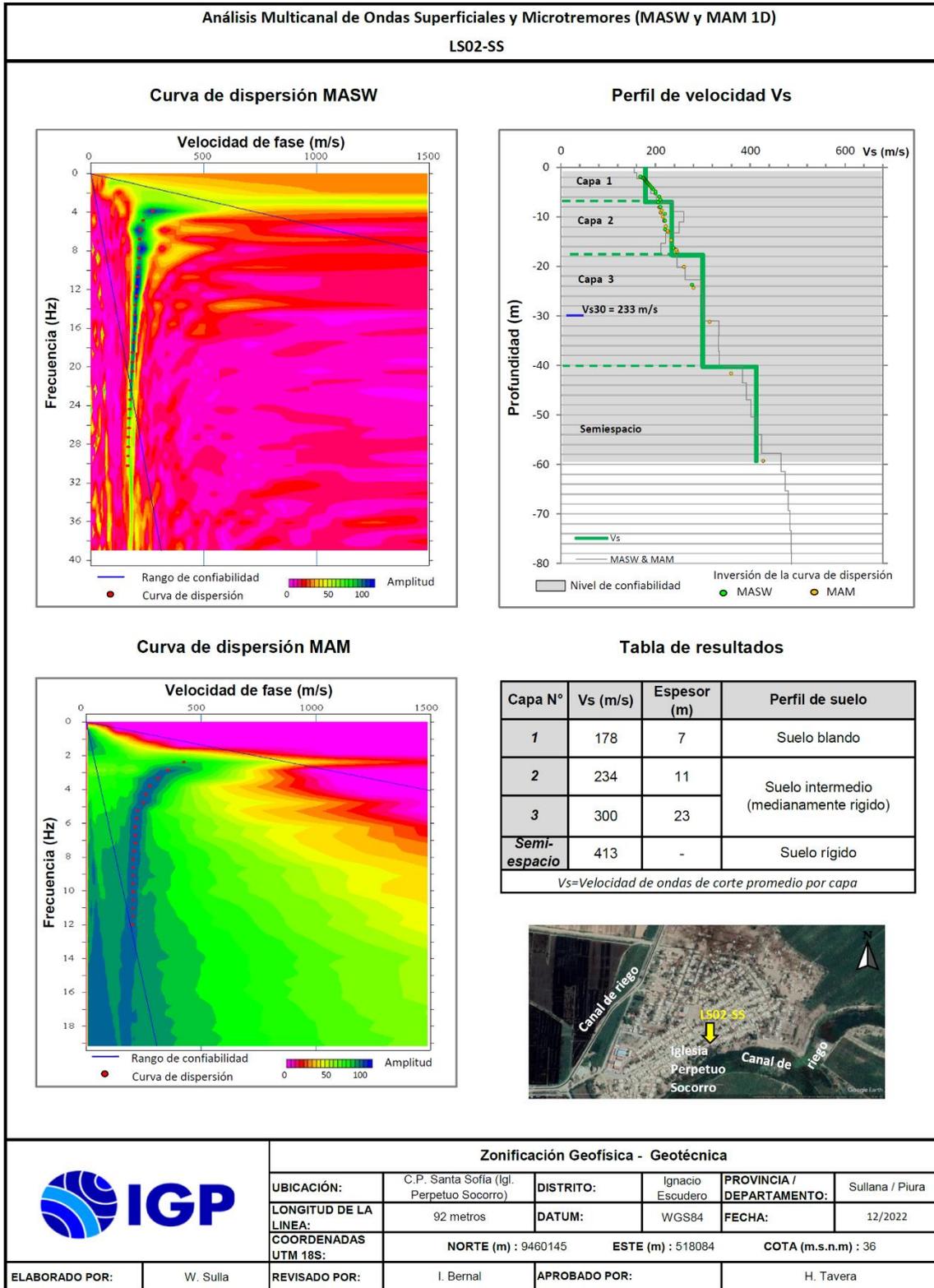
Curvas de nivel

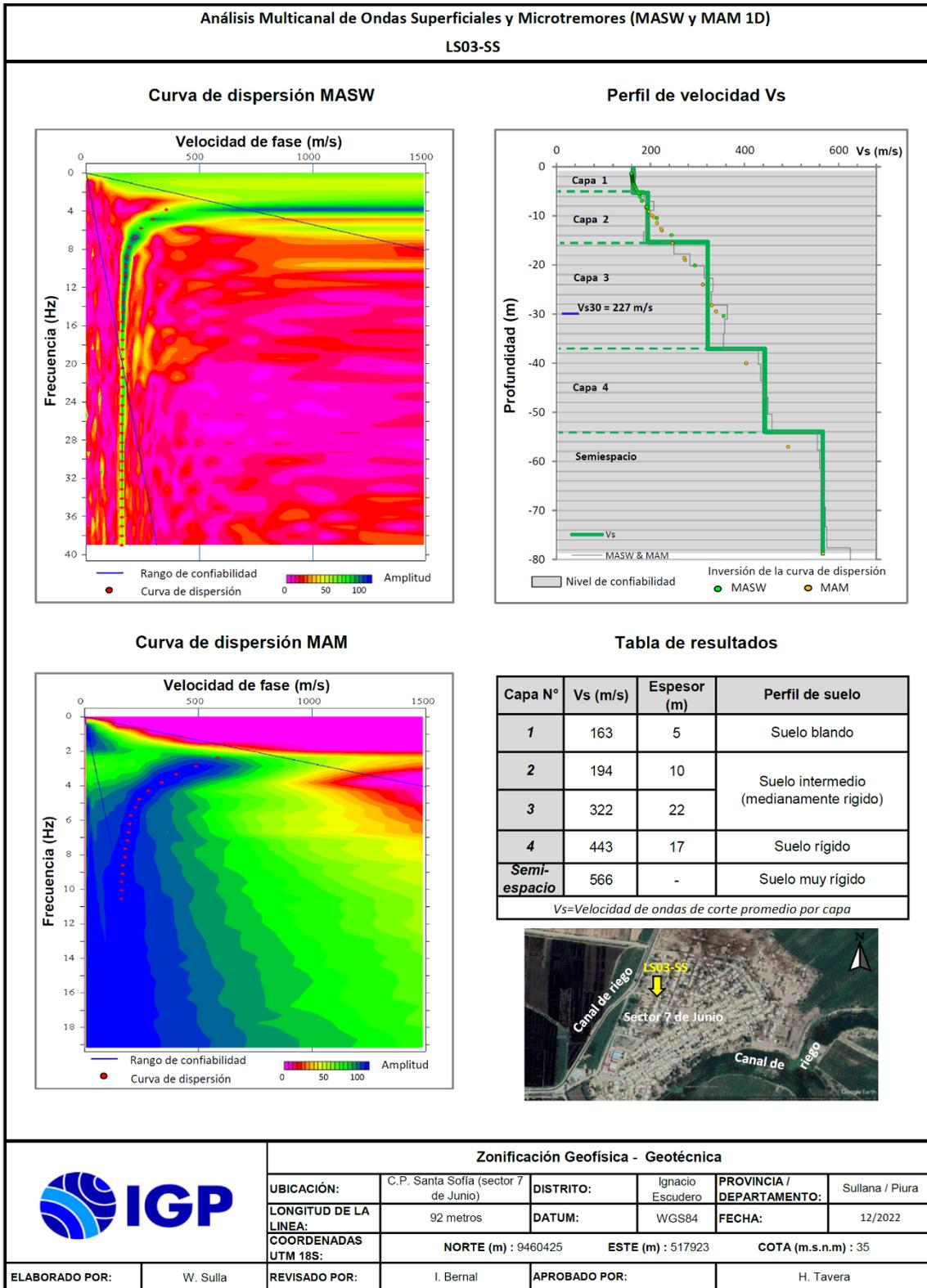


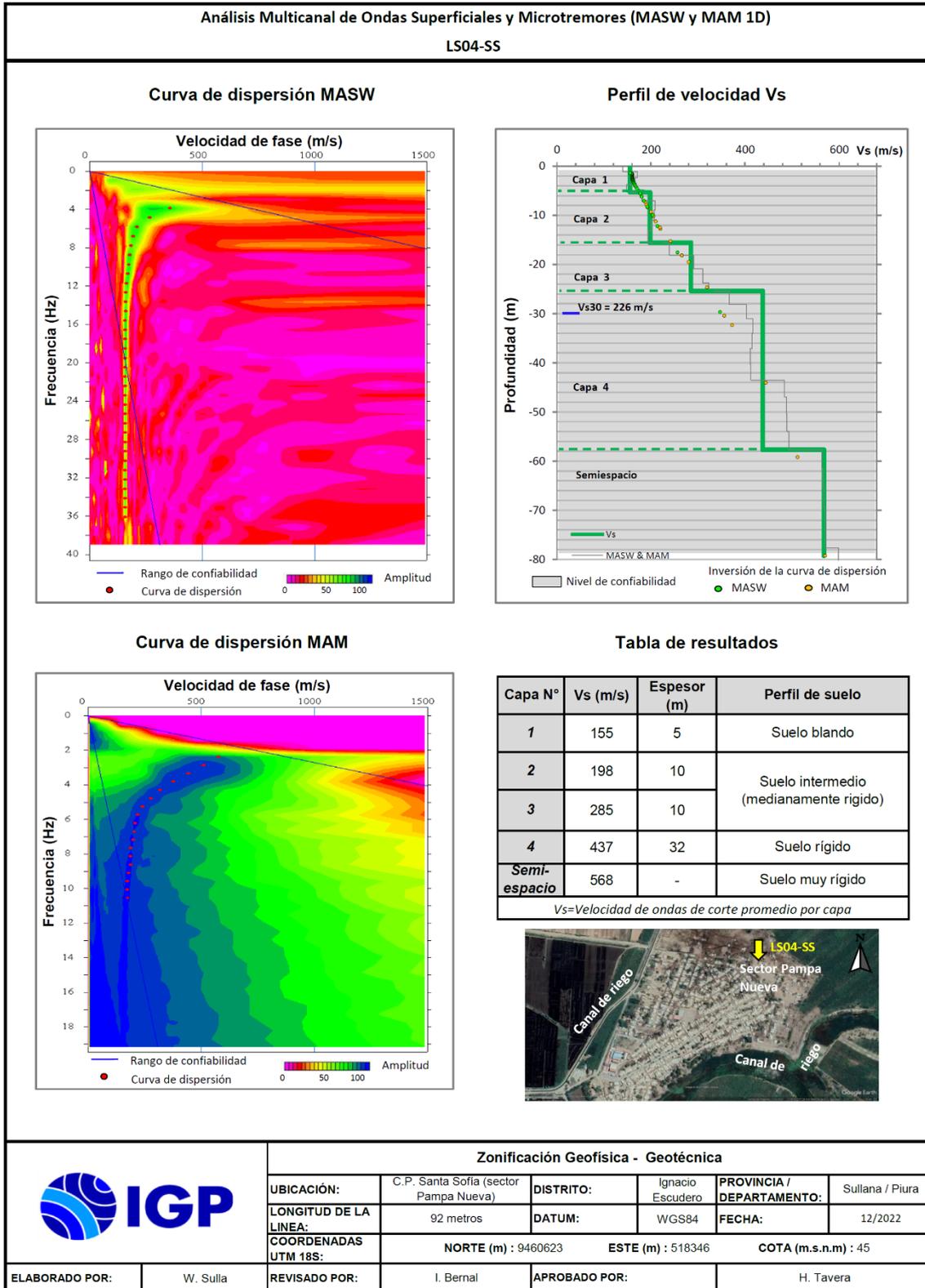
<p>0° 5°S 10°S 15°S</p> <p>OCEANO PACIFICO</p> <p>80°O 75°O 70°O</p>	<p>LEYENDA</p> <ul style="list-style-type: none"> — Curvas de nivel ⊙ Centros poblados - - - Rio Chira — Vias locales 	<p>PERU Ministerio del Ambiente</p>	<p>IGP</p>
		<p>PROYECTO</p> <p>ZONIFICACIÓN Y EVALUACIÓN SÍSMICA - GEOFÍSICA DE LAS ÁREAS URBANAS DE LAS CIUDADES UBICADAS EN ZONAS COSTERAS</p>	
		<p>CURVAS DE NIVEL DE LA LOCALIDAD DE SANTA SOFIA A UN INTERVALO DE 4 METROS</p>	
		<p>Elaborado por:</p> <p>K. MOROCCOIRE, O. BALLADARES, J.C. VILLEGAS</p>	<p>Responsable del proyecto:</p> <p>JUAN C. GÓMEZ ÁVALOS</p>
<p>Datum : WGS 1984</p> <p>Proyección : UTM - Zona 17 S</p>	<p>Fecha:</p> <p>ABRIL 2023</p>		
<p>Formato:</p> <p>A4</p>	<p>Escala:</p> <p>1:25,000</p>	<p>MAPA:</p> <p>A-5</p>	

ANEXOS 2
Información geofísica

Perfiles sísmicos MASW – MAM







Secciones de tomografía eléctrica

