



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. SOJO

Informe Técnico N°012-2024/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. Sojo.

Autores

Isabel Bernal, Liliana Torres, 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 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 APOORTE A LA GESTIÓN DEL RIESGO
DE DESASTRES**

– C. P. SOJO –

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 DE LOS SUELOS

CONCLUSIONES

REFERENCIAS

ANEXOS

ANEXO 1: Información topográfica

Ortomosaico

Curvas de nivel

ANEXO 2: Información geofísica

Perfiles sísmicos

Secciones geoeléctricas

RESUMEN

En este estudio se analiza y evalúa las características físicas y dinámicas de los suelos del Centro Poblado Sojo – Región Piura, a partir de la aplicación de técnicas geofísicas y geotécnicas. Los resultados obtenidos evidencian la presencia de suelos medianamente rígidos a rígidos (suelos aluviales con velocidades V_{s30} : 387-497 m/s) formando capas de 43 metros en dirección sur (sector San Francisco) y de 16 metros en la plaza del C.P. Sojo y dirección noroeste (Cancha club Unión), con moderado a alto contenido de humedad. Los suelos responden a periodos cortos de vibración (≤ 0.3 segundos) y presentan capacidad de carga admisible baja 1.0 Kg/cm², a profundidades de 1.0 y 1.5 metros. De acuerdo con estas características en el C.P. Sojo predominan Suelos Tipo S2 que corresponden a suelos rígidos a intermedios, con la presencia de una capa delgada de suelos blandos a nivel superficial (Norma E.030– adaptada para el área de estudio). A la ocurrencia de un sismo de moderada a mayor magnitud, estos suelos pueden experimentar niveles altos de sacudimiento, por la presencia de suelos blandos con alto contenido de humedad a nivel superficial.

1. INTRODUCCIÓN

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

Después de ocurrido el sismo de Sullana, la evaluación de los daños fue mayor en las ciudades y localidades de Piura, Sullana, Paita, Chulucanas y Colán, debido principalmente a la presencia de suelos blandos y/o con efectos de sitio, llegando a corroborar que las características físicas del subsuelo influyen directamente en el comportamiento dinámico del suelo sobre el cual se 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 el Centro Poblado Sojo (distrito de San Miguel Checa, 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 sísmica, a fin de generar el Mapa de Zonificación Geofísica – Geotécnica para el C.P. Sojo, ubicado en el distrito de San Miguel, 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 insumo para la gestión del riesgo de desastres, a fin de realizar una adecuada planificación y expansión urbana.

1.2. ÁREA DE ESTUDIO

El centro poblado Sojo se ubica en el distrito de San Miguel Checa, provincia de Sullana en el departamento de Piura (Figura 1), en las coordenadas geográficas latitud 4.87°S y longitud 80.72°O, a una elevación media de 62 m.s.n.m. Asimismo, tiene una población de 4403

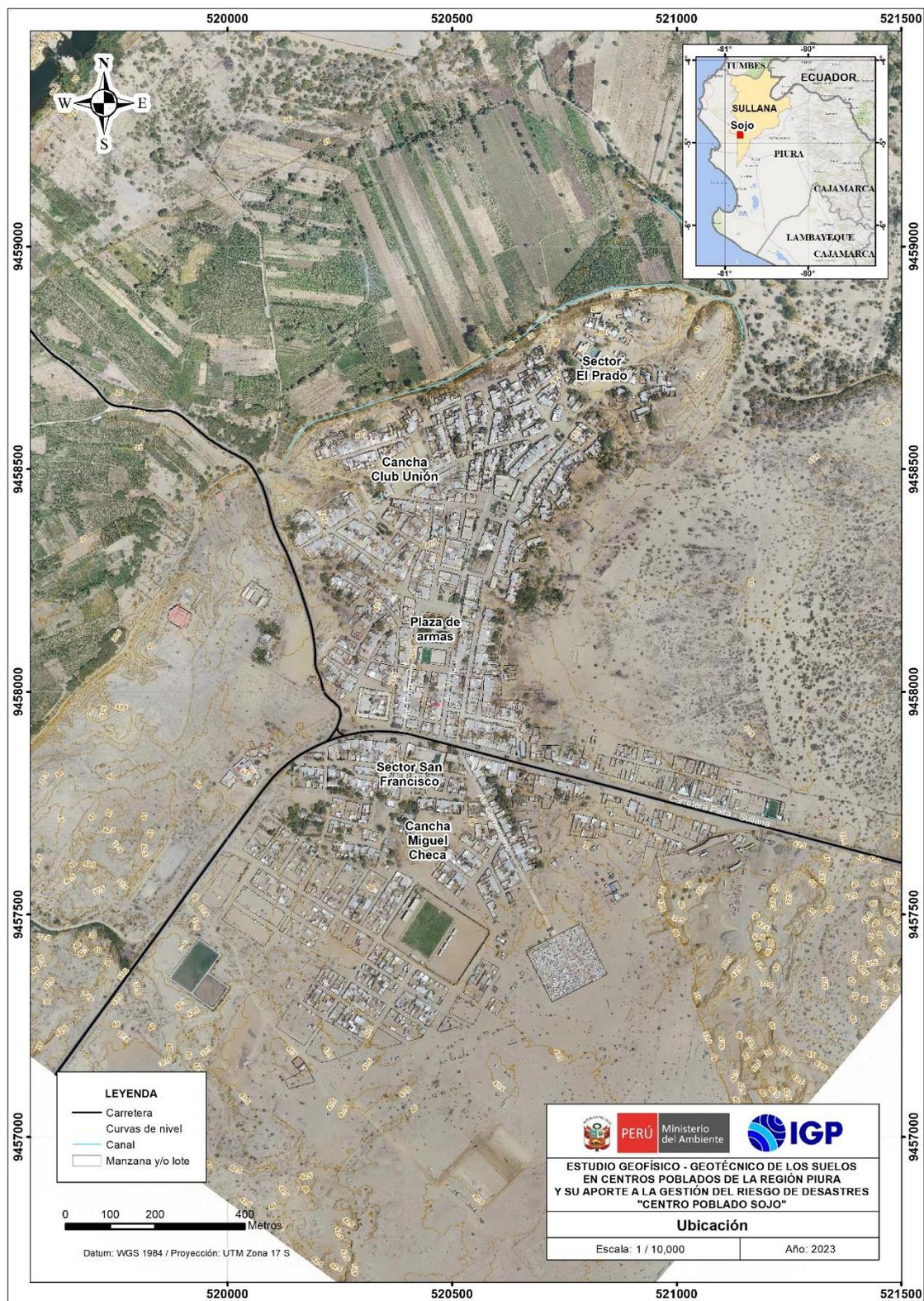


Figura 1. Centro Poblado de Sojo.

habitantes (INEI, 2017) y su superficie se caracteriza por presentar un relieve llano ubicado a una distancia promedio de 1.4441 metros al sur del cauce del río Chira. Los fenómenos naturales que afectan directamente a esta población son los sismos y las intensas precipitaciones que pueden generar altos niveles de sacudimiento del suelo e inundaciones, que causarían daños a la población.

1.3. MARCO TEÓRICO

● Zonificación, Norma Técnica E.030

En el Perú, la construcción de obras civiles de cualquier envergadura debe considerar lo establecido por la Norma Técnica E.030 "Diseño Sismorresistente" del Reglamento Nacional de Edificaciones, modificada según Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda y actualizada según Resolución Ministerial N° 355-2018-Vivienda. Básicamente, esta norma considera los perfiles de suelos en función de sus propiedades físicas, tomando en cuenta la velocidad promedio de propagación de las ondas de corte, o alternativamente estudios de mecánica de suelos (EMS). A continuación, se describen los parámetros empleados para clasificar los perfiles de suelos en la Tabla 1:

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

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

Dónde:

d_i = espesor de cada uno de los estratos n.

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

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

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

Para este estudio, la Zonificación Geofísica - Geotécnica de las ciudades se realiza en función de las características mecánicas, físicas y dinámicas de los suelos que conforman el terreno de cimentación del área de estudio y de las consideraciones dadas por la Norma E.030. De acuerdo con los estudios realizados por el Instituto Geofísico del Perú (IGP), el rango de velocidad de los perfiles de suelo S1 y S2 se subdividen, a fin de analizar con mayor detalle las velocidades de ondas de corte que caracterizan a los suelos identificados en la zona de estudio, en ese sentido se establece la existencia de 5 zonas cuyas características se muestran en la Tabla 1.

• **Antecedentes:**

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

Alfaro et al. (2014): 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 10.40 km al noreste del área de estudio. De acuerdo con los datos en el área de estudio se presentan entre el periodo diciembre – mayo, siendo el registro histórico máximo de precipitaciones con valores de 80.70 mm/día.

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

Según el estudio, se han realizado cinco (5) calicatas en el área urbana del C.P. Sojo con profundidades máximas de 3.0 metros y luego, ensayos de mecánica de suelos (contenido de humedad del suelo, análisis granulométrico, límites líquido y plástico, corte directo y sales solubles totales) y cuyos resultados han permitido identificar, según la clasificación SUCS, que en el área urbana de Sojo, los suelos están compuestos por limo inorgánico de baja plasticidad, arcilla inorgánica de baja plasticidad con limo, arenas arcillosas con limos y arenas mal graduadas con limos. Asimismo, los parámetros geotécnicos obtenidos mediante el ensayo de corte directo, indican que el ángulo de fricción de los suelos presenta valores entre 25° y 33°, así como cohesión de 0.009.

2. GEOLOGÍA, GEOMORFOLOGÍA Y GEOTÉCNIA

2.1. GEOLOGÍA LOCAL

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

Formación Chira (Pe-chi): Unidad geológica que se encuentra conformada por materiales heterogéneos como lutitas con presencia de bentonita, intercalada con areniscas y conglomerados, esta unidad constituye el sustrato rocoso. Esta unidad se encuentra aflorando a 500 metros al noroeste de la plaza principal del C.P. Sojo (Figura 2).

Depósito aluvial antiguo (Qh-al1): Están conformados por arenas y limos de grano medio a fino, color gris a beige que han sido transportados y depositados por antiguos cauces de quebradas. Sobre esta unidad geológica se asienta el área urbana del C.P. Sojo, (Figura 3).

Depósito fluvio - aluvial (Qh-fal): Están conformados por materiales heterogéneos como arenas con presencia de clastos subredondeados y capas de limos, se encuentran a ambos márgenes del río. Sobre esta unidad se asienta el valle del Chira y se desarrollan actividades agrícolas. Esta unidad ha sido reconocida a 550 metros al norte de la plaza principal del C.P. Sojo (Figura 4).



Figura 2. Formación Chira, areniscas intercaladas con lutitas y conglomerados en las inmediaciones de la localidad de Sojo.



Figura 3. Depósito aluvial antiguo, sobre esta unidad se encuentra asentada toda el área urbana del C.P. Sojo.

Depósito aluvial reciente (Qh-a12): Unidad geológica que se encuentra conformada por materiales heterogéneos poco consolidados (arenas,

limos y gravas en menor proporción) dispuestos sobre quebradas y cursos de agua temporales. Esta unidad geológica ha sido reconocida en las inmediaciones de la zona urbana del C.P. Sojo (200 metros al este, 270 metros al este y 290 metros al noreste de la plaza principal de Sojo) (Figura 5).

Depósito eólico (Qh-e): Unidad geológica que se encuentra conformada por arenas de grano medio a fino, color beige que han sido transportados por la acción de los vientos. Esta unidad geológica ha sido reconocida en el extremo occidental de la plaza principal del C.P. Sojo (aproximadamente a una distancia de 200 metros), cubriendo una loma (Figura 6).

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



Figura 4. Depósito fluvio - aluvial que conforman el valle del Chira en el C.P. Sojo.



Figura 5. Depósito aluvial reciente en las inmediaciones de la zona urbana del C.P. Sojo.



Figura 6. Depósito eólico conformados por arenas sueltas de grano fino a medio que cubren una loma ubicada hacia el extremo oeste del C.P. Sojo.

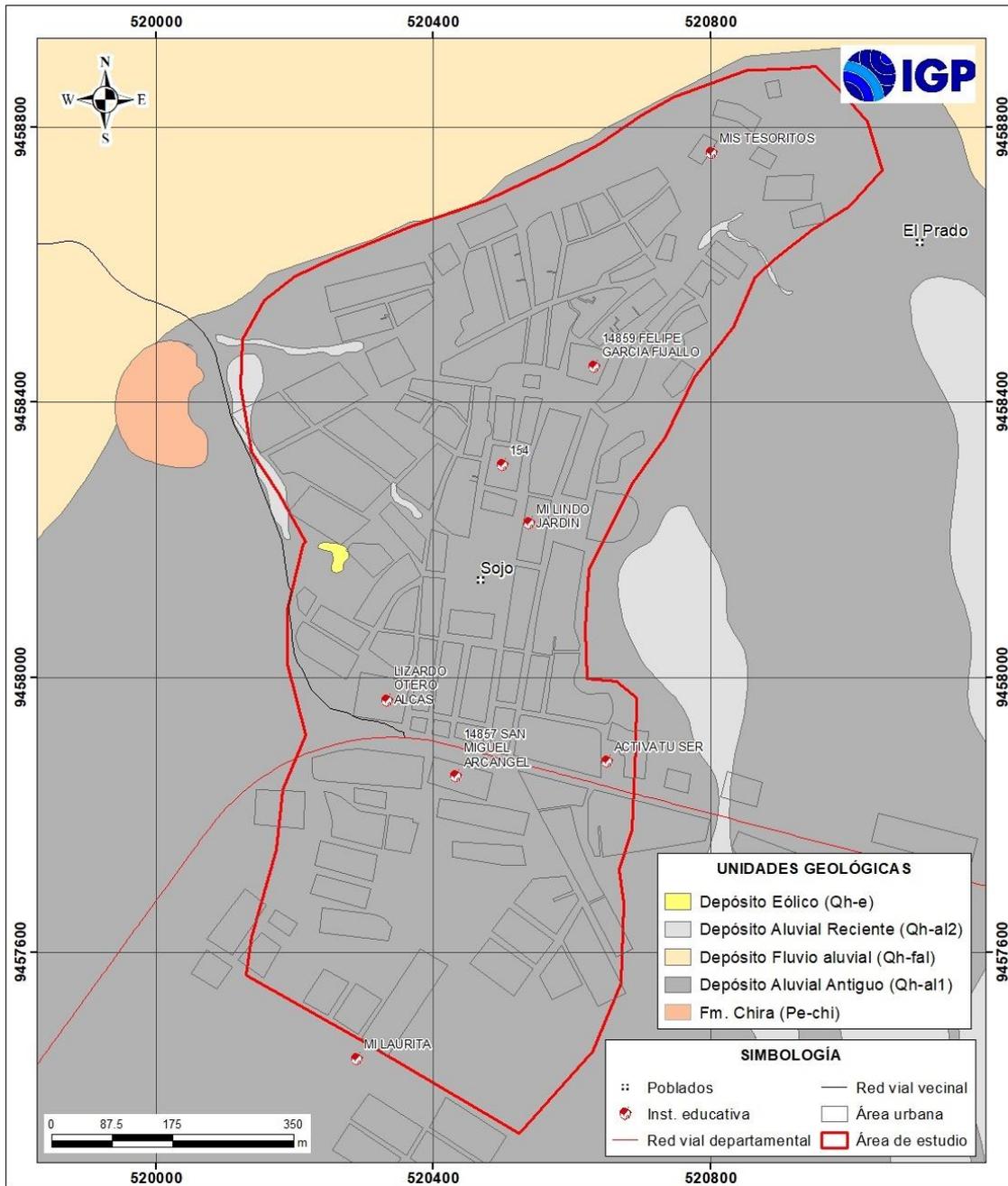


Figura 7. Mapa geológico del área urbana del distrito de Sojo.

2.2. GEOMORFOLOGÍA

La geomorfología estudia las diferentes formas del relieve de la superficie terrestre (geoformas) y los procesos que las generan. A continuación, se presenta el levantamiento topográfico del área de estudio identificando las elevaciones y pendiente del terreno y se

describe las unidades geomorfológicas identificadas en el área urbana del C.P. Sojo 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 de la localidad de Sojo, 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 55 m.s.n.m.) se encuentra en la zona centro y sur comprendiendo el casco urbano del C.P. Sojo y el área de la cantera, mientras que la zona de menor elevación (18 a 25 m.s.n.m.) se distribuye al norte, este y suroeste abarcando áreas de cultivo y cauce del río Chira (Figura 8).
- Ortomosaico: Se ha generado a partir de la unión de 1,172 mosaicos que han sido corregidos por distorsiones ocasionados por el relieve y los objetos presentes en el C.P. Sojo. La imagen permite identificar las áreas de cultivo identificadas abarcan un área aproximada de 500 ha, el casco urbano 130 ha y el cauce del río Chira 34 ha, la zona árida y de expansión urbana 338 ha, estas zonas representan el 49%, 12%, 33% y 3% 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 C.P. Sojo con un intervalo de 5 metros a escala 1: 25000. Los resultados muestran

elevaciones máximas en la zona fuera del casco urbano en la zona donde se procesa material de cantera.

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

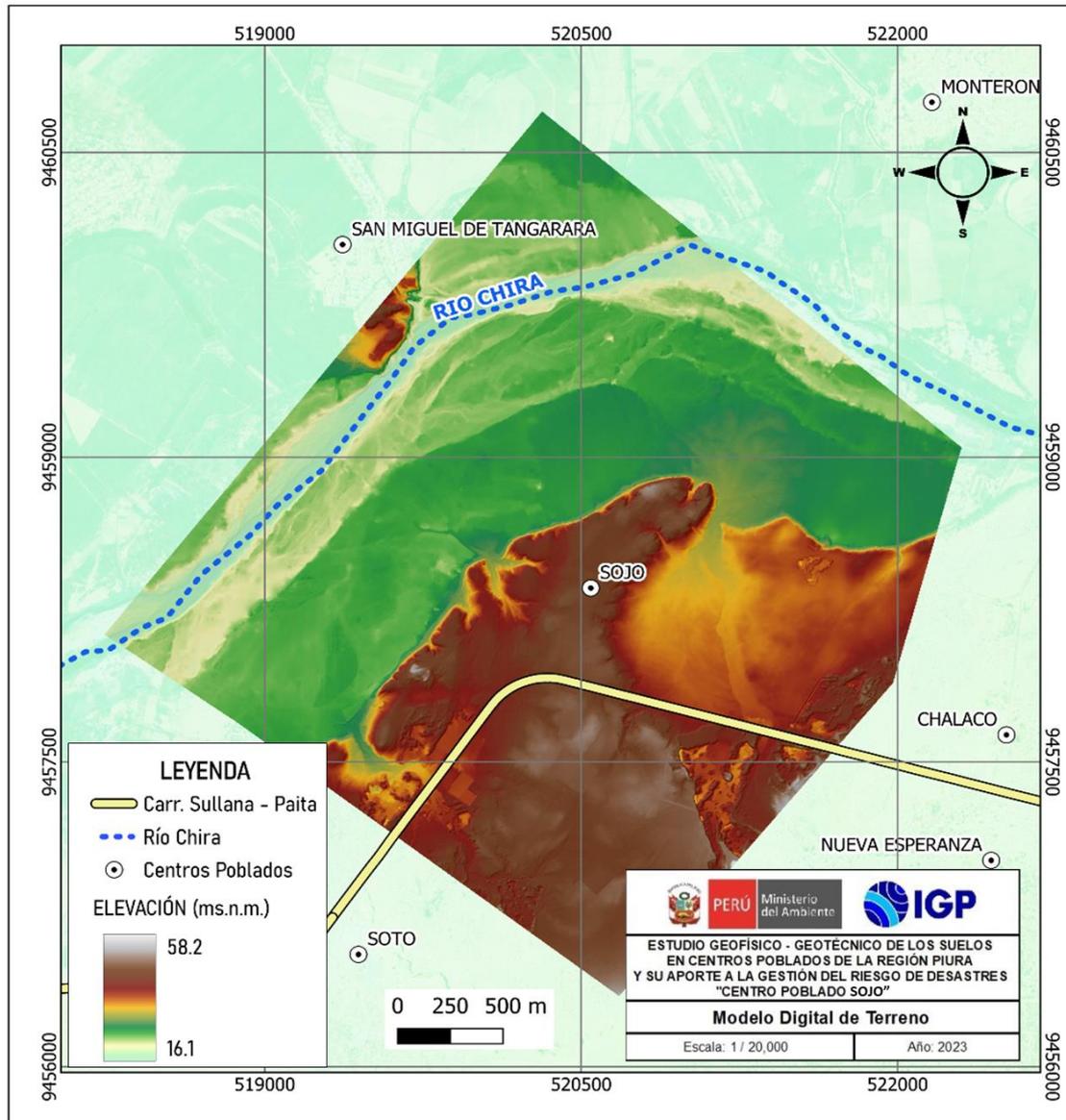


Figura 8. Modelo digital de terreno del C.P. Sojo.

2.2.2. UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS

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

Cauce aluvial: Comprende el cauce de las quebradas, por donde se desplaza el flujo de agua. Son de cauce temporal (durante los meses de diciembre a abril). Esta unidad se encuentra a 720 metros al sureste de la plaza principal del C.P. Sojo (Figura 9 y 10).



Figura 9. Cauce aluvial sobre la quebrada (línea amarilla entre cortada) que corresponde a una quebrada que se ubica aproximadamente a 720 metros hacia el extremo sureste de la plaza principal del C.P. Sojo.

Terraza fluvio - aluvial: Consiste en una superficie llana, presenta desnivel topográfico inferior de aproximadamente 1 a 3 metros respecto a las viviendas del C.P. Sojo. Esta unidad es de origen fluvio – aluvial, presenta una pendiente $< 12^\circ$. Esta unidad ha sido identificada en las inmediaciones de la zona agrícola del C.P. Sojo, aproximadamente a 540 metros hacia el norte de la plaza principal del C.P. Sojo (Figura 11).



Figura 10. Cauce aluvial (línea amarilla) que corresponde a una quebrada temporal que se ubica aproximadamente a 600 metros hacia el extremo noreste de la plaza principal del C.P. Sojo



Figura 11. Terraza fluvio aluvial (polígono amarillo) que se ubica aproximadamente a 540 metros hacia el norte de la plaza principal del C.P. Sojo.

Depresión aluvial: Constituye una superficie de baja pendiente (inferior a los 1° de inclinación) situada por debajo del nivel de sus áreas circundantes. Esta unidad geomorfológica en el C.P. Sojo presenta desniveles topográficos de hasta 2.0 metros 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 durante el periodo de lluvias intensas, (Figura 12).

Terraza aluvial: Las terrazas aluviales son superficies horizontales o ligeramente inclinadas, cuyo relieve presenta pendientes menores a 15° . Generalmente se encuentra conformada por materiales heterogéneos (clastos subangulosos a subredondeados envueltos en una matriz areno-limosa) y capas delgadas de limos. Sobre esta unidad se asienta el área urbana del C.P. Sojo, (Figura 13).



Figura 12. Depresión aluvial (polígono amarillo) ubicada a 120 metros al noroeste de la plaza del C.P. Sojo que presenta desnivel topográfico inferior de 2 metros respecto a las viviendas del área de estudio



Figura 13. Terraza aluvial (flecha amarilla) sobre la cual se asientan las viviendas del C.P. Sojo

Loma: Se refiere a superficies elevadas de forma alargada, presenta pendientes superiores a 15° de inclinación. Se sitúan a 440 metros al noroeste de la plaza principal del C.P. de Sojo (Figura 14).



Figura 14. Loma (polígono amarillo) ubicada a 190 metros, al noroeste de la plaza principal del C.P. Sojo

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

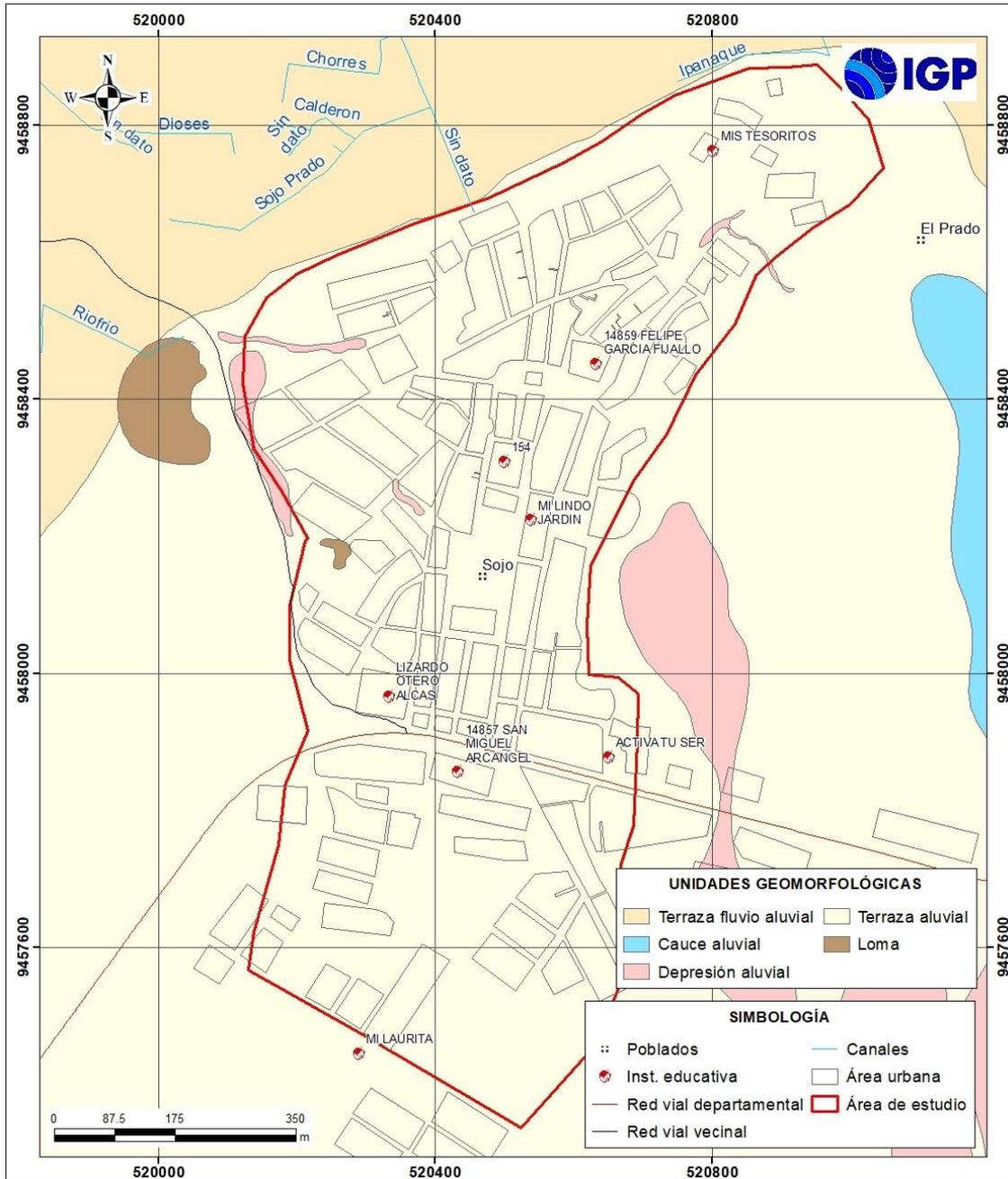


Figura 15. Mapa geomorfológico del área urbana del C.P. Sojo, donde la población se asienta principalmente sobre una terraza aluvial.

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 se recorrió toda el área urbana del C.P. Sojo, siendo los eventos geodinámicos identificados los siguientes:

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, el C.P. Sojo presenta relieves variables (planicies y depresiones) los mismos que fueron reconocidos en los extremos occidental (300 metros hacia el oeste de la plaza principal del poblado) y oriental (200 metros de distancia de la plaza principal) del C.P. Sojo, debido a la acumulación y evacuación de las aguas en la parte baja de los techos de las viviendas, ya que no cuentan con un sistema de drenaje perimetral y evacua las aguas hacía la calle, pudiendo afectar a las viviendas aledañas (Figuras 16 y 17).

Flujo de lodo: Son movimiento de materiales que se comportan como fluidos a causa del agua (provoca la pérdida total de resistencia de los materiales) y se desplazan sin presentar superficies de rotura, en algunos casos sus materiales se depositan en forma de conos deyeativos. Se ha identificado una zona susceptible a este tipo de

evento, debido a la probable activación de una quebrada que se sitúa a 670 metros al este de la plaza principal del C.P. Sojo, inmediaciones del sector denominado El Prado, (Figura 18).



Figura 16. Zona de depresión (polígono amarillo) ubicada a 300 metros al oeste de la plaza principal del C.P. Sojo, inmediaciones de la vía asfaltada que conduce al río Chira, donde se acumula y discurre agua en época de lluvias intensas



Figura 17. Zona susceptible a inundaciones pluviales (polígono amarillo) ha sido identificada a 200 metros hacia el este de la plaza principal del C.P. Sojo



Figura 18. Zonas susceptibles a inundaciones fluviales (polígono azul) han sido identificadas en las inmediaciones de una quebrada situada a 670 metros de la plaza principal del C.P. Sojo

Finalmente, se cartografía y genera el mapa geodinámico para el área urbana del centro poblado Sojo (Figura 19).

2.4. GEOTECNIA

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

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

muestras en bolsas herméticas con capacidad de 5 kg. La ubicación de las calicatas se muestra en la Tabla 2.

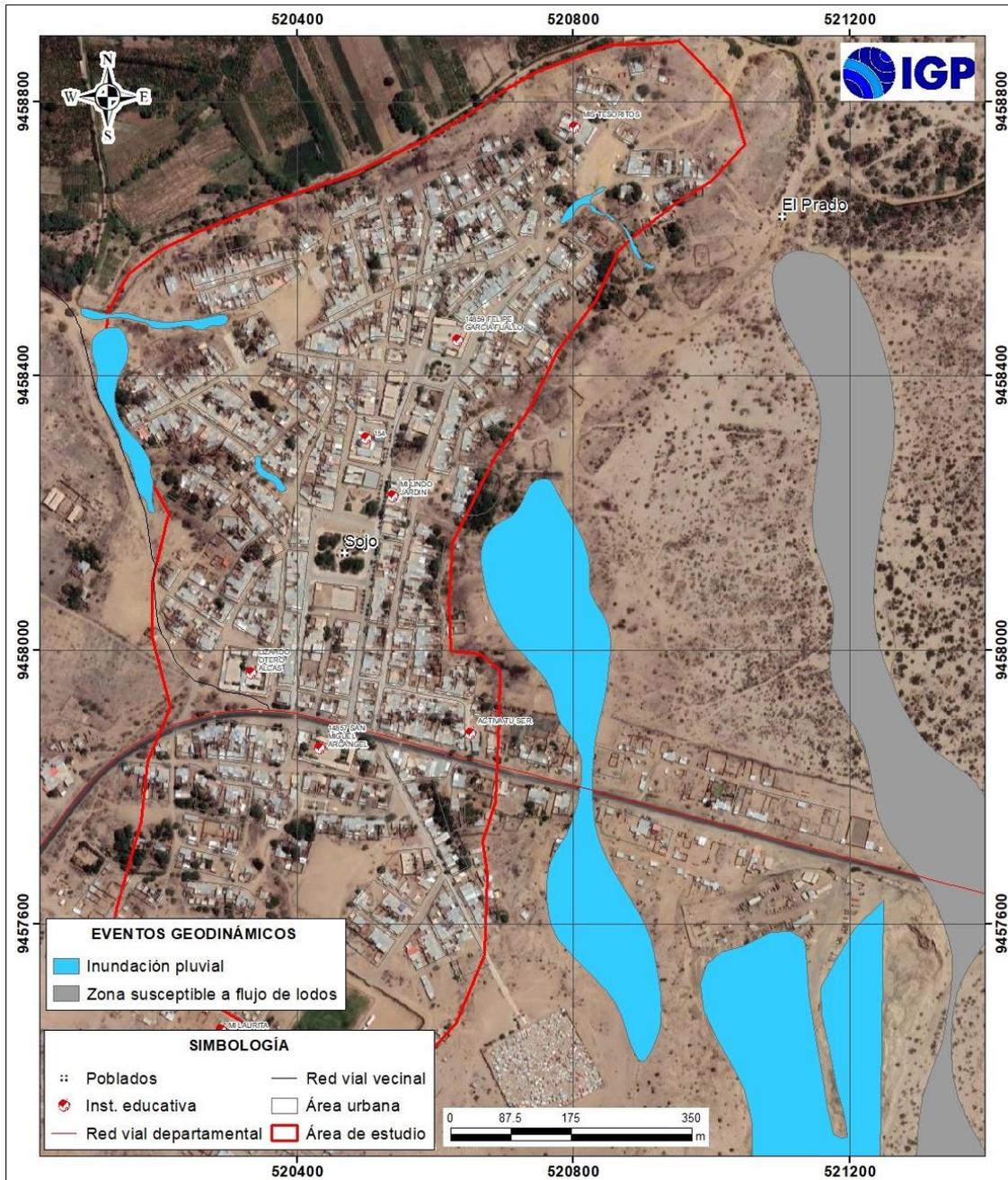


Figura 19. Con la información recopilada en campo, se generó el mapa geodinámico del C.P. Sojo, delimitando las áreas susceptibles a inundaciones pluviales y zonas susceptibles a flujos de lodo.

Tabla 2. Ubicación de calicatas.

CALICATA	MUESTRA	UTM ESTE(m)	UTM NORTE(m)	PROFUNDIDAD (m)	NIVEL FREÁTICO A (m)
CS-01	M-1	520813	9458672	0.20 - 2.00	N.P.
CS-02	M-1	520424	9458528	0.20 - 2.00	N.P.
CS-03	M-1	520459	9457705	0.30 - 1.00	N.P.
	M-2			1.00 - 2.40	
	M-3			2.40 - 3.00	
CS-04	M-1	520185	9457602	0.15 - 1.50	N.P.
	M-2			1.50 - 2.30	
CS-05	S/M	520259	9458176	0.00 - 1.30	N.P.
	M-1			1.30 - 2.60	
	M-2			2.60 - 3.00	

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

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

- Suelos tipo SP – SM: Arena mal gradada con limos, con contenido de humedad de entre 2.60 y 3.20 %, constituyen suelos de compacidad media a baja, no presentan índice plástico (debido a la escasa presencia de material fino). Presentan densidad máxima de 1.762 gr/cm³. Este tipo de suelo han sido identificados en las calicatas 4 y 5, ubicadas a 605 metros al suroeste y 210 metros al oeste de la plaza principal de Sojo. Abarcan el 61% del área urbana del C.P. Sojo.

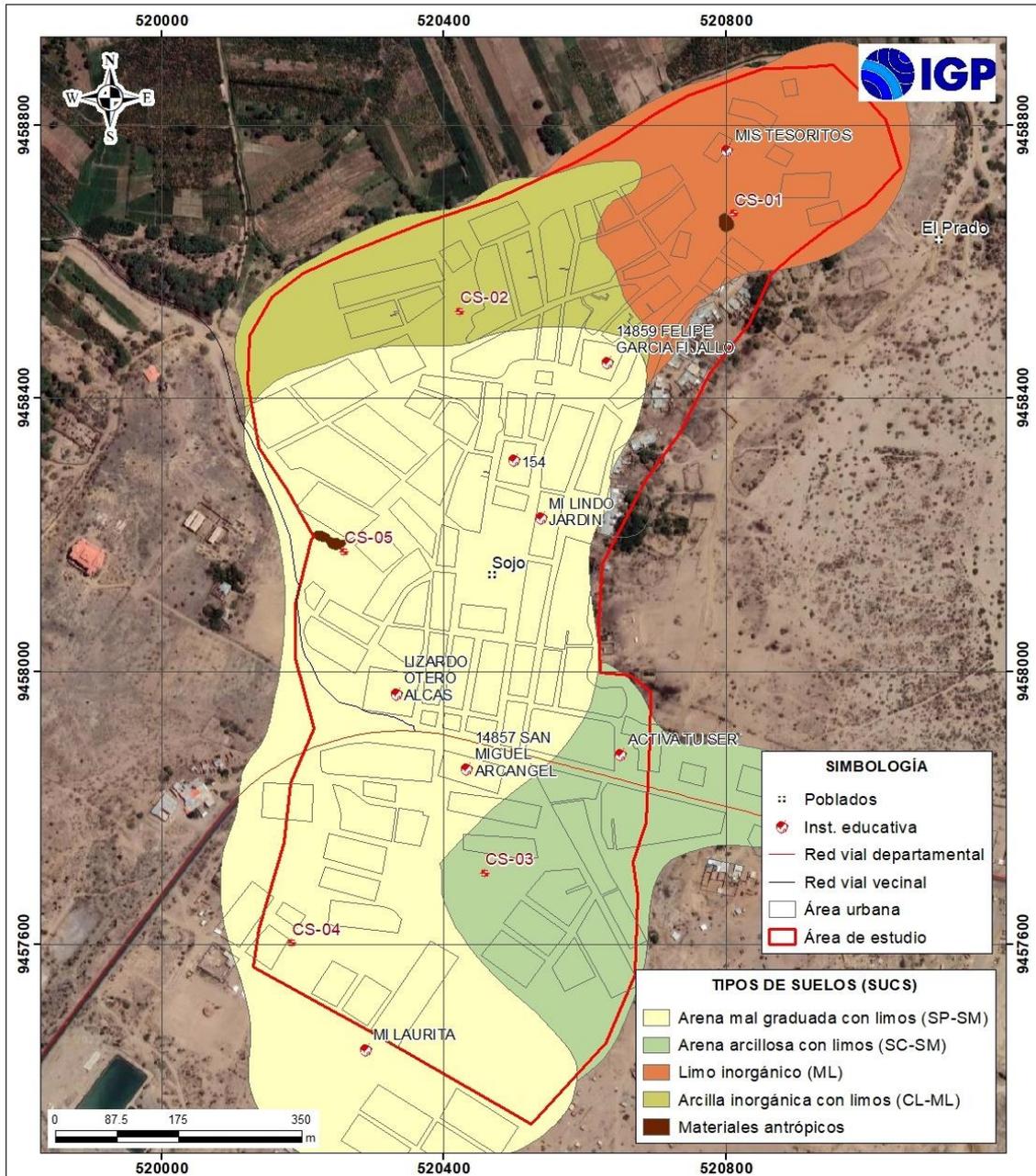


Figura 20. Mapa de clasificación SUCS de suelos en el área urbana del C.P. Sojo.

- Suelos tipo SC – SM: Están conformados por arenas arcillosas con limo, de humedad baja (1.70%), constituyen suelos de compacidad media a baja, presenta baja plasticidad (4%) y densidad natural de 2.246 gr/cm³.

- Este tipo de suelos abarca el 17% del área urbana del distrito de Sojo y ha sido identificado en la calicata 3, situada a 440 metros al sur de la plaza principal del C.P. Sojo.

- Suelos Tipo ML: Están conformados por limos inorgánicos, de humedad baja (6.90%), constituyen suelos de compacidad baja, presentan plasticidad bajo de (debido a la escasa presencia de material fino). Presenta densidad natural de 1.82 gr/cm³. Abarcan el 10% del área de estudio y ha sido identificado en la calicata 1, situada a 636 metros al noreste de la plaza principal del C.P. Sojo, hasta una profundidad de 2.0 metros.

- Suelos tipo CL – ML: Están conformados por arcillas inorgánicas de baja plasticidad con contenido de limos con contenido de humedad baja (3.10%), constituyen suelos de compacidad media, presentan baja plasticidad de 8% y densidad natural de 1.825 gr/cm³. Este tipo de suelos abarca el 10% del área urbana del C.P. Sojo y ha sido identificado en la calicata 2, que se ubica a 390 metros al norte de la plaza principal del C.P. Sojo.

- Suelos de origen antrópico: Están conformados por materiales heterogéneos (desmonte, rellenos, residuos y basura) los cuales no se encuentran compactados. Este tipo de suelos abarca el 2% del área urbana del C.P. Sojo y han sido identificados a 600 metros al norte y 200 metros al oeste de la plaza del C.P. Sojo.

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

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

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
CS - 01	2.00	N.P.	0.00	4.90	95.10	36	–	11	6.90	ML	Limo inorgánico
CS - 02	1.00	N.P.	0.00	32.30	67.70	28	–	8	3.10	CL - ML	Arcilla inorgánica con limo
CS - 03	2.40	N.P.	0.00	66.10	33.90	19	–	4	1.70	SC - SM	Arena arcillosa con limo
CS - 04	3.00	N.P.	0.00	93.10	6.90	N.P.	–	N.P.	2.60	SP - SM	Arena mal gradada con limo
CS - 05	3.00	N.P.	0.00	94.30	5.70	29	–	10	3.20	SP - SM	Arena mal gradada con limo

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

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

- Calicata CS 01, muestra 0.041%,
- Calicata CS 02, muestra 0.097%,
- Calicata CS 03, muestra 0,051%,
- Calicata CS 04, muestra 0.074% y
- Calicata CS 05, muestra 0.073%.

Considerando estos resultados y haciendo la comparativa con los límites permisibles de agresividad del suelo al concreto (Tabla 4), se determina que las calicatas se encuentran dentro de límite permisible; los suelos no generarían problemas de resistencia en las cimentaciones de las viviendas

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

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

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

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

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

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

CALICATA	CS-1	CS-2	CS-3	CS-4	CS-5
ÁNGULO DE FRICCIÓN (°)	25	--	33	29	30
COHESIÓN	0.00	--	0.00	0.01	0.00

Fuente: Gobierno Regional de Piura.

La Tabla 5 indica que, los suelos del C.P. Sojo presentan ángulos de fricción entre 25 y 33°, así mismo, solo en la calicata CS-4 presentan cohesión de 0.01 kg/cm².

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

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

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

Fórmula para falla por corte general

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

Fórmula para falla por corte local

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

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

Luego, en base a los resultados de la carga última (Qult.) se calculó la capacidad de carga admisible de los suelos para una profundidad de cimentación de 1.0 metro y ancho de zapata de 1.0 metro, así como también para profundidad de cimentación de 1.50 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.

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 Sojo presentan capacidad de carga admisible muy baja (menor a 1.0 kg/cm²), (Figura 21).

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

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

Fuente: Braja Das, 2011.

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

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
CS-01	0.99	0.33	F.L.	1.33	0.44	F.L.
CS-02	-	-	-	-	-	-
CS-03	2.05	0.68	F.L.	2.26	0.75	F.L.
CS-04	1.33	0.44	F.L.	1.83	0.61	F.L.
CS-05	1.67	0.56	F.L.	1.99	0.66	F.L.
DIMENSIONES DE CIMENTACIÓN	Profundidad: 1.00 m ancho:1.00m (Zapata Cuadrada)			Profundidad: 1.50 m y ancho:1.00m (Zapata cuadrada)		

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

Tabla 8. Rango de capacidad de carga admisible.

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

Fuente: IGP, 2018.

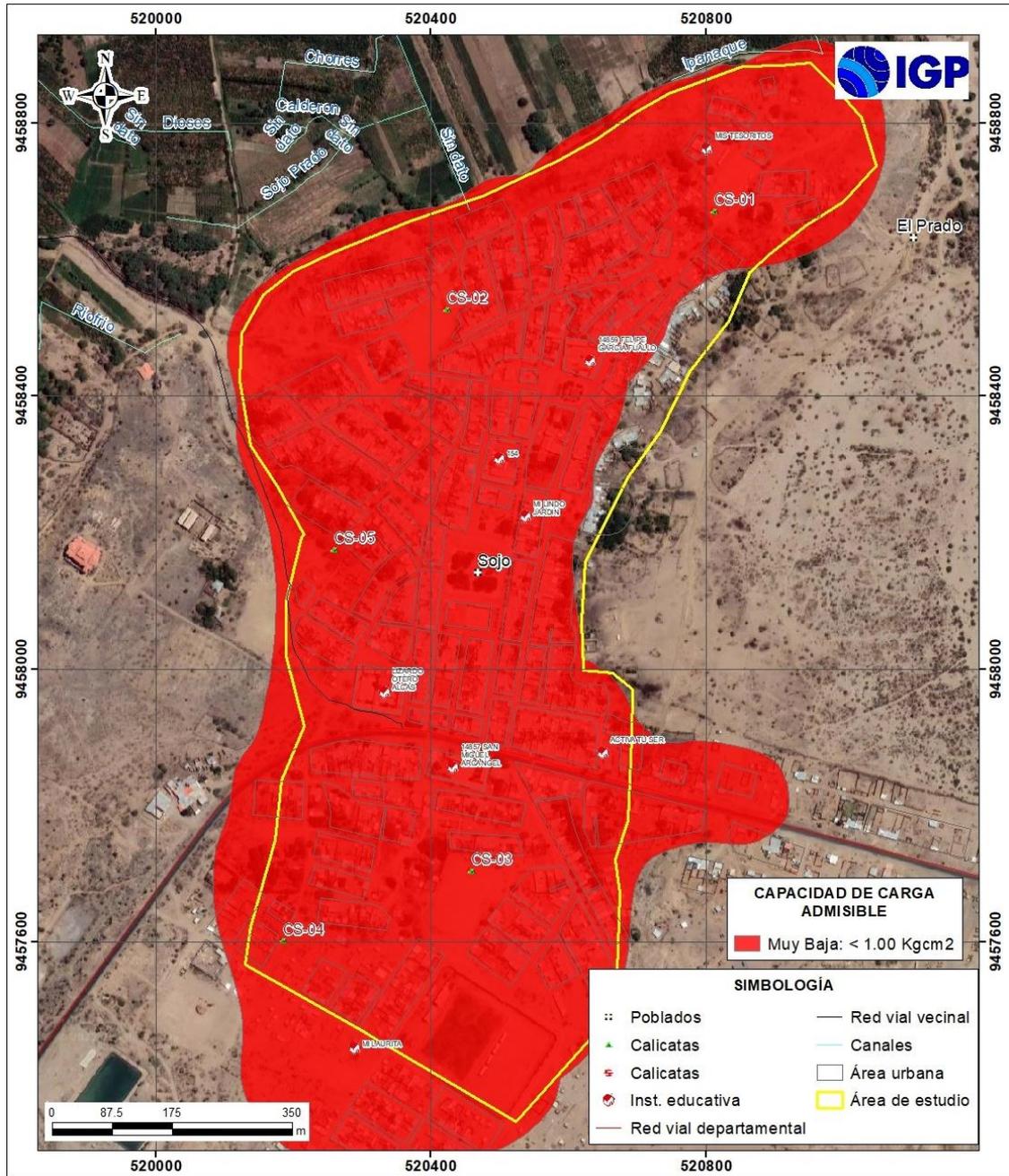


Figura 21. Mapa de capacidad de carga admisible de los suelos de cimentación del C.P. Sojo, para una profundidad de cimentación de 1.5 metros y ancho de zapata de 1.0 metro.

3. EVALUACIÓN GEOFÍSICA

A fin de conocer los diferentes parámetros físicos que controlan el comportamiento dinámico de la estructura del suelo en el área urbana de Sojo, 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, tomografía eléctrica, perfiles sísmicos obtenidos mediante el análisis multicanal de ondas superficiales y microtremores (MASW y MAM). A continuación, se describe cada método.

3.1.1. RAZONES ESPECTRALES (H/V)

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

En la Figura 22, se muestra un ejemplo del proceso de análisis seguido usando como dato de entrada el registro de vibración ambiental (SJ-25) obtenido en campo. El primer recuadro presenta la selección de las

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

Para la interpretación de los resultados se considera que: 1) Las frecuencias predominantes menores a 1 Hz corresponden a vibraciones generadas por el oleaje del mar, y/o cambios meteorológicos (periodos muy largos), 2) Las bajas frecuencias o periodos largos son debidas a la presencia de depósitos profundos y 3) Las frecuencias altas o periodos cortos son debidos a depósitos superficiales blandos y de poco espesor (SESAME, 2004; Bernal, 2006). Asimismo, se evalúa la correspondencia de los parámetros físicos-dinámicos encontrados con los aspectos geológicos, geomorfológicos y geotécnicos que domina a la zona de estudio.

3.1.2. ONDAS SUPERFICIALES Y MICROTREMORES

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

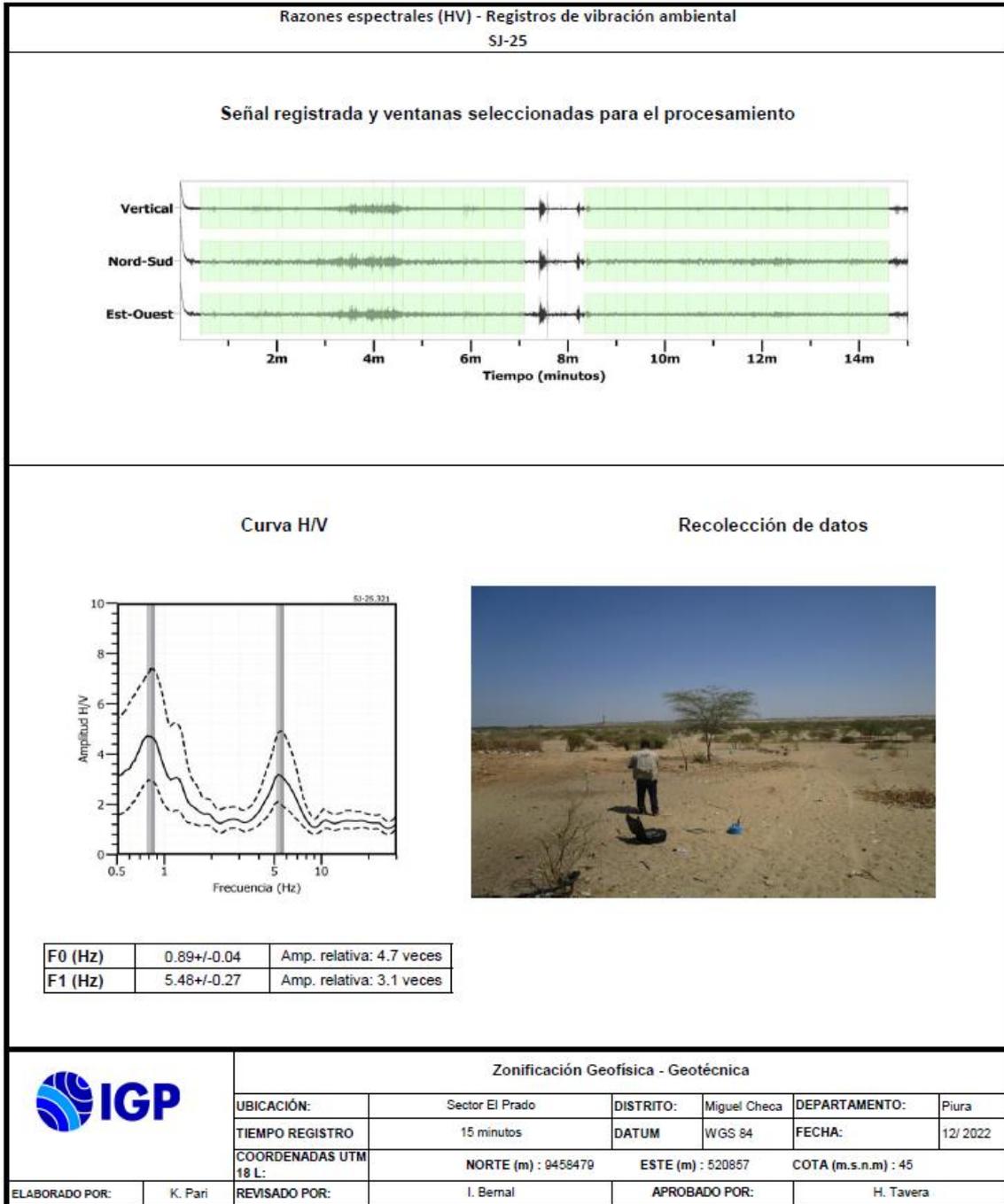


Figura 22. Resultados obtenidos con el método de razones espectrales (H/V) para el punto SJ-25. Arriba, la señal registrada y abajo la curva promedio de las razones espectrales (H/V) en línea gruesa y su desviación estándar en líneas discontinuas. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

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 Seislmager y en su procedimiento, se aplicó la Transformada Rápida de Fourier (FFT) para obtener la curva de dispersión que relaciona la velocidad de fase de las ondas superficiales con la frecuencia (Reynolds, 2011). Seguidamente, cada curva de dispersión perteneciente a un mismo arreglo (MASW y MAM), fue sometida a un proceso de inversión a fin de obtener los perfiles Vs en una dimensión (1D) para el punto central de la línea, ver Figura 23.

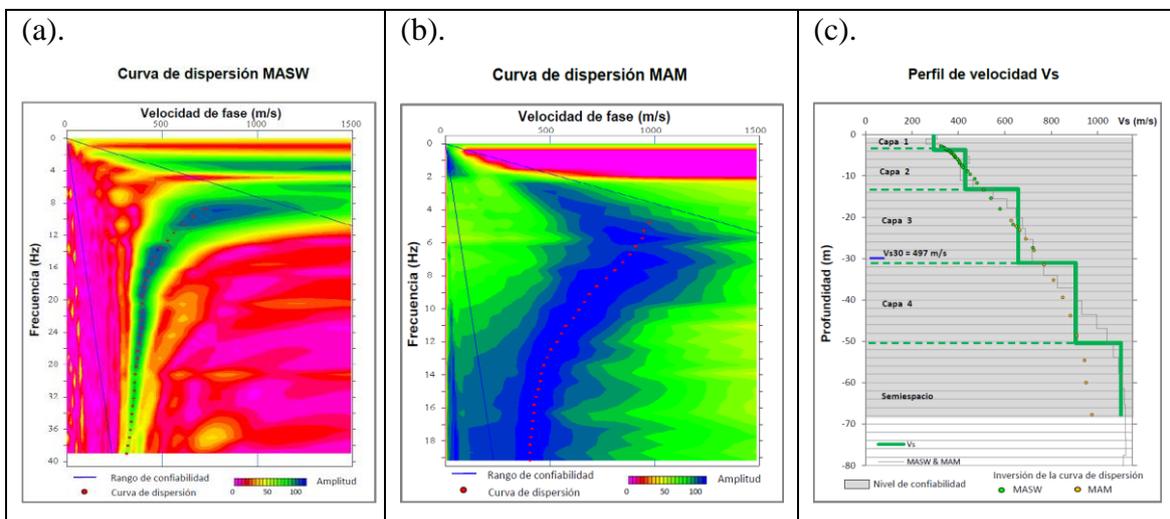


Figura 23. Curvas de dispersión obtenidos a partir de las técnicas MASW (a) y MAM (b) y perfil de velocidad obtenido a partir de la combinación de ambos ensayos (c).

Para el análisis de los resultados obtenidos, se considera la clasificación de suelos propuesta por la Norma E.030 Diseño Sismorresistente (2018). En este caso, el rango de velocidad de los perfiles

de suelo S1 y S2 se subdividen a fin de considerar dos clasificaciones adicionales, tal como se describe en la Tabla 9.

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

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

3.1.3. TOMOGRAFÍA DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA

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

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

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

3.2. ADQUISICIÓN DE DATOS

En el área urbana del centro poblado Sojo, se ha recolectado en campo un total de 43 registros de vibración ambiental en puntos distribuidas de manera equidistante, tal como se observa en la Figura 24. Asimismo, se ha considerado datos obtenidos sobre cuatro líneas de arreglos sísmicos y tres líneas de tomografía eléctrica.

Registros de vibración ambiental: Para la adquisición de estos registros, se utilizaron sensores Lennartz y registradores CityShark II (Figura 25). Cada registro presenta una duración de 15 minutos, lo cual permite disponer de buena cantidad de datos para su posterior análisis. En la Figura 26, se muestra ejemplos de registros de vibración ambiental obtenidos en el punto SJ-15, ubicado en la plaza de armas del C.P. Sojo. Aquí se observa que la señal es estable; es decir, no está muy perturbada en comparación con la señal de SJ-11 que presenta

algunos saltos y/o picos de señal debido a que dicho punto, está ubicado al sur por la carretera Sullana-Paita.

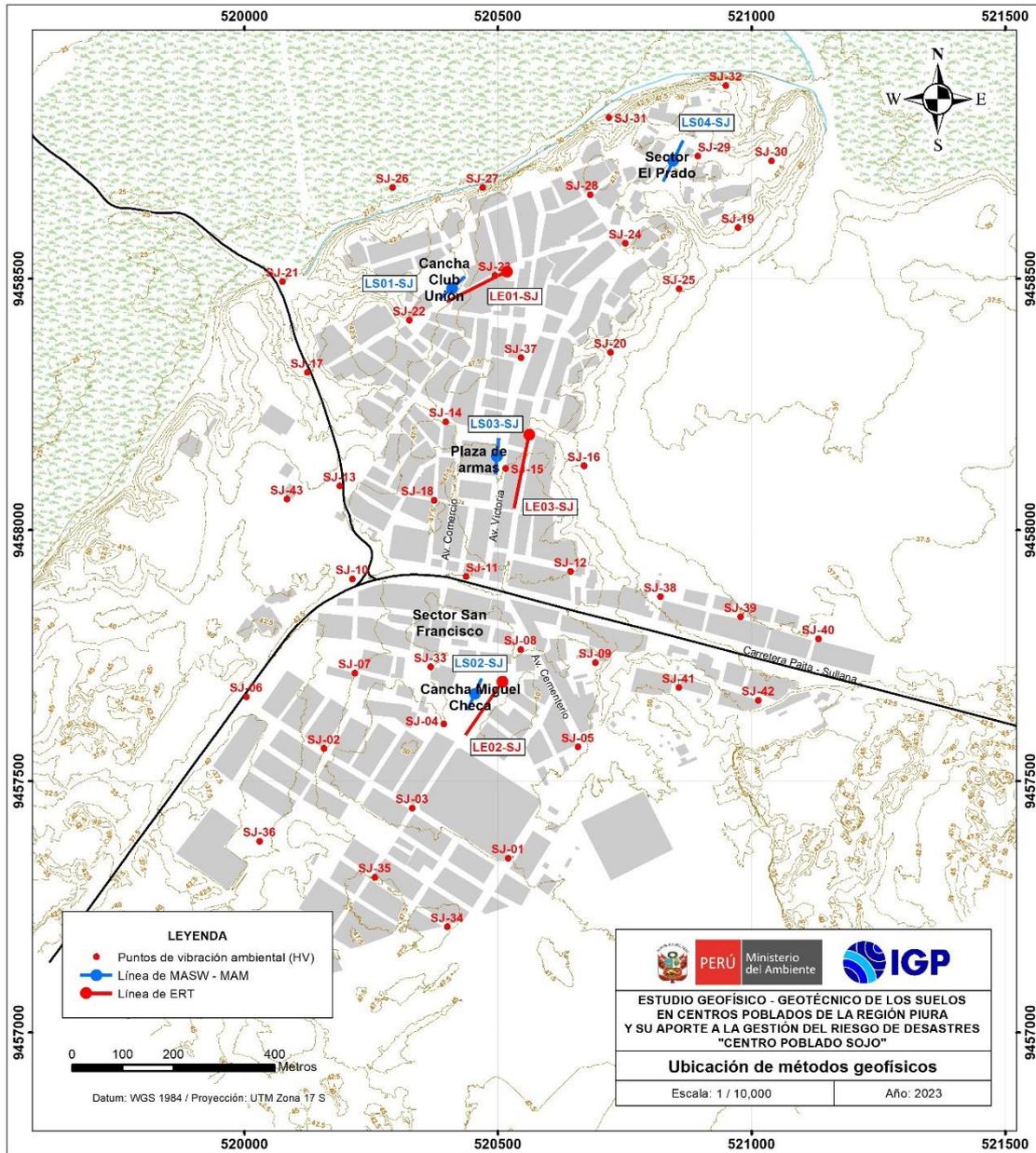


Figura 24. Distribución espacial de los puntos y líneas de adquisición de datos geofísicos en el C.P. Sojo.



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

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

La distribución de las 4 líneas se presenta en la Figura 24 y los parámetros utilizados para el registro de los datos se detallan en la Tabla 11.

Tomografía eléctrica: Para la adquisición de los datos de resistividad se utilizó el equipo de Resistividad/IP Syscal Pro de marca Iris Instruments (Figura 28) y accesorios (cables multipolar, electrodos, combas, etc.). La distribución de las 3 líneas se presenta en la Figura 24 y los parámetros utilizados para el registro de los datos de resistividad se detallan en la Tabla 12.

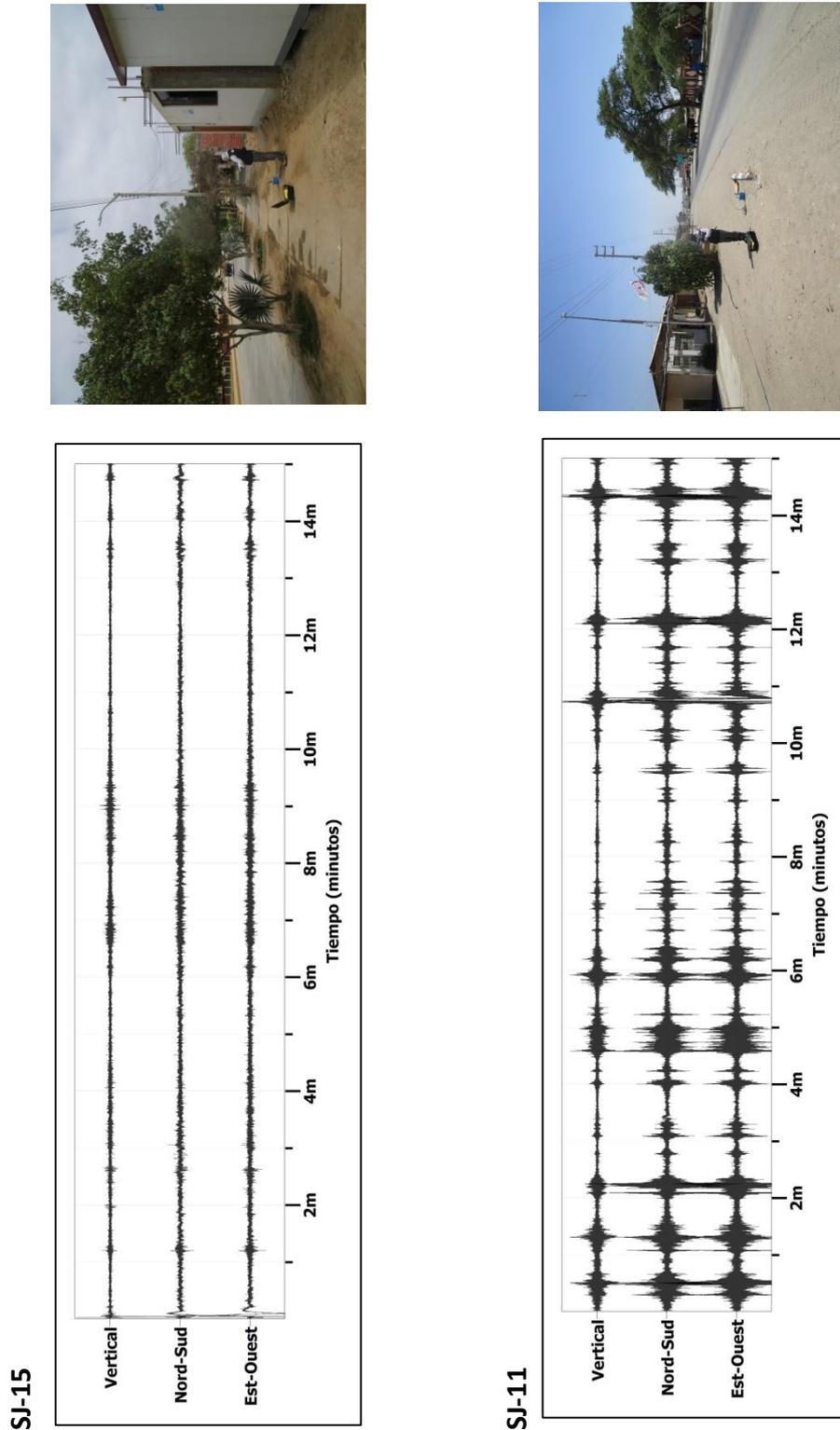


Figura 26. Ejemplos de registros de vibración ambiental obtenidos en los puntos SJ-15 Y SJ-11, ubicados sobre diferentes tipos de suelos. Obsérvese las diferentes amplitudes de la señal registrada en cada punto.

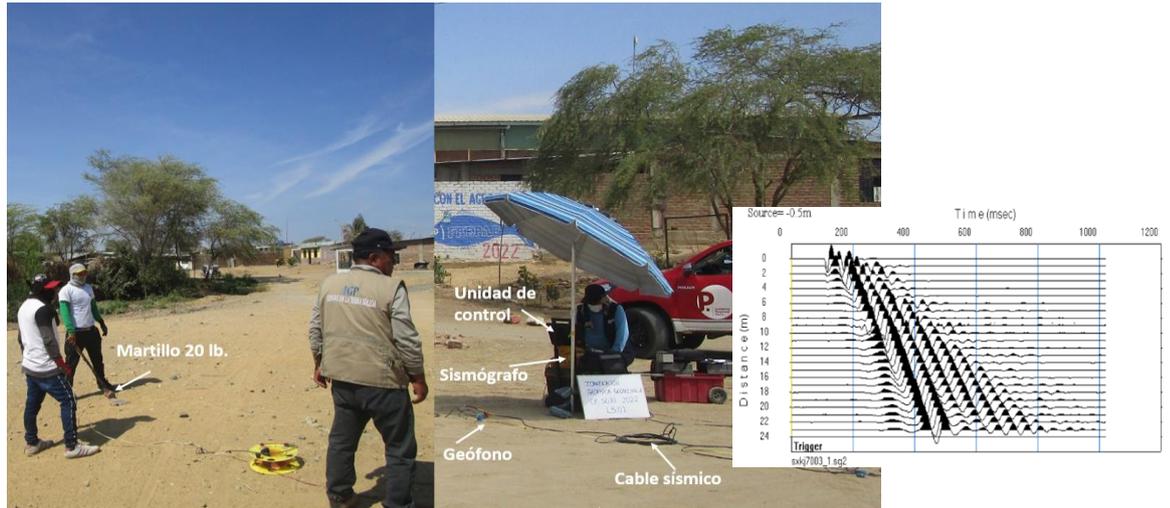


Figura 27. Disposición del equipo para la adquisición de registros sísmicos – MASW.

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)				
SOJO						
1	LS01-SJ	520409	9458482	43	3	69
2	LS02-SJ	520453	9457675	52	3	69
3	LS03-SJ	520499	9458148	52	3	69
4	LS04-SJ	520847	9458735	55	4	92

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)				
SOJO						
1	LE01-SJ	520527	9458519	63	10	150
		520396	9458451	55		
2	LE02-SJ	520515	9457708	65	10	140
		520435	9457591	62		
3	LE03-SJ	520563	9458201	62	10	170
		520531	9458042	64		



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

3.3. RESULTADOS

3.3.1. Frecuencias predominantes

Los suelos del C.P. Sojo, responden a altas frecuencias $F > 2.0$ Hz con amplificaciones mayores a 2.5 veces hacia las zonas sur y norte del área de estudio, la distribución espacial de ambas frecuencias en toda el área de estudio sugiere la presencia de suelos heterogéneos de gran espesor y menor consistencia a nivel superficial. A fin de evaluar el comportamiento dinámico del suelo en el área, se analiza de manera conjunta la información obtenida en cada gráfico de razones espectrales (H/V).

- **Frecuencias predominantes, Fo:** En la Figura 29 se muestra el mapa con la distribución espacial de los valores de frecuencias F_0 y de acuerdo con los resultados, se tiene el predominio de valores entre 3.0 a 10 Hz (0.1-0.3 segundos). Estos valores se presentan de manera uniforme en el área de estudio con amplificaciones moderadas, menores a 2.5 veces y las mayores amplificaciones del suelo se presentarían principalmente en la zona noreste del centro poblado.

Asimismo, se identifica la presencia de un pico de frecuencia bien definido entre 3 a 6 Hz y bajas amplificaciones menores a 3.0 veces. Estos valores bajos de frecuencia estarían asociados a la presencia de una capa sedimentaria de suelos más heterogéneos y no consolidados.

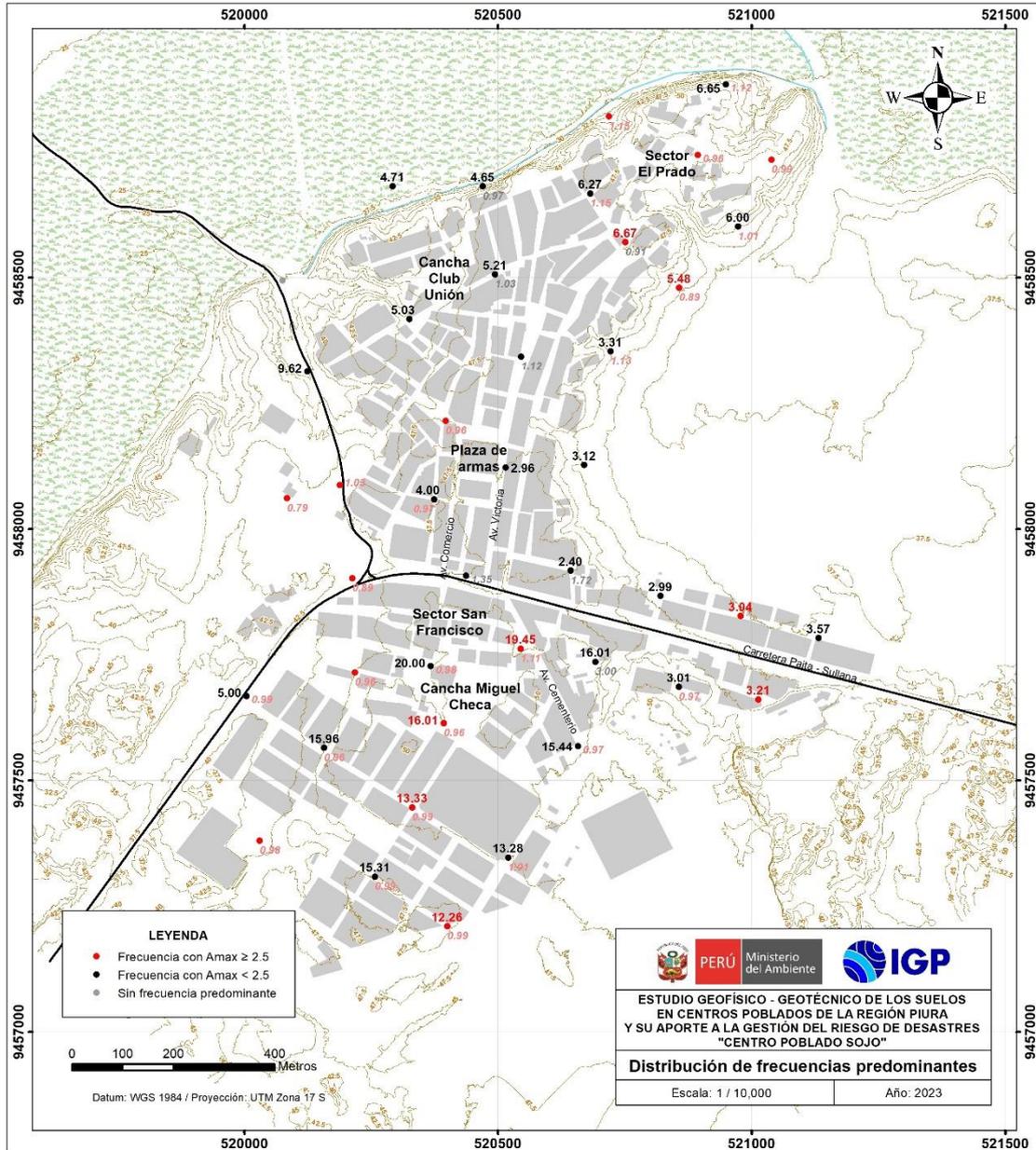


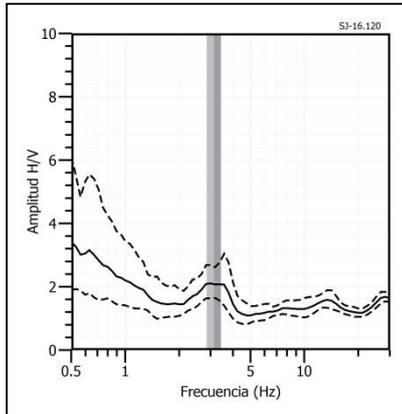
Figura 29. Distribución espacial de las frecuencias F_0 ($F > 2.0\text{Hz}$). Los valores en rojo, corresponden a puntos con amplificaciones mayores a 2.5 veces.

En la Figura 30 se muestra ejemplos de razones espectrales (H/V) característicos para el área de estudio y corresponden a los puntos SJ-16, SJ-22 y SJ-26, ubicados el primero al este de la plaza de armas, el segundo por la cancha club Unión y el tercero al noroeste del centro poblado. En todos se observa la existencia de un pico bien definido con frecuencias de 3.12, 5.03 y 4.71 Hz; y amplificaciones de hasta 2 veces. Asimismo, en los puntos SJ-38, SJ-40 y SJ-42, ubicados al este por la carretera Paita – Sullana (Figura 31), responden a frecuencias de 2.99, 3.57 y 3.21 Hz con amplificaciones de hasta 2.5 veces. En general, estos resultados evidencian que los suelos en el C.P. Sojo, responden a un pico de frecuencia con bajas amplificaciones, evidenciando que los suelos son más estables, hacia el norte y sur del C.P. Sojo se presentan las más altas amplificaciones del suelo y responden a dos picos de frecuencia, que corresponde a suelos heterogéneos y poco consolidados.

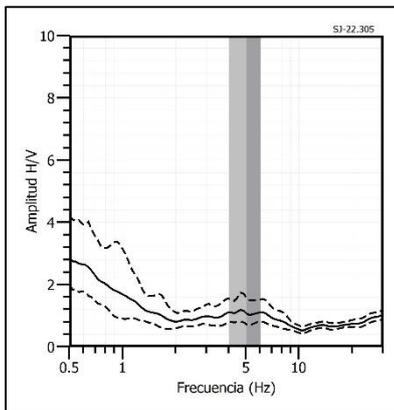
Interpretación

El análisis de las razones espectrales H/V en el área de estudio ha permitido observar que los suelos del área urbana de Sojo responden a un único pico de frecuencia $F_0 > 2.0$ Hz, evidenciando la existencia de suelos cuya respuesta dinámica ante la ocurrencia de un sismo, es similar en el área de estudio con diferentes amplificaciones relativas, sugiriendo la presencia de suelos heterogéneos y con amplificaciones menores a 2.5 veces. Además, hacia el sur del área de estudio, se puede observar que los suelos muestran sensibilidad a frecuencias de entre 0.89 a 1.1 Hz pero con amplificaciones de hasta 6 veces evidenciando la presencia de material heterogéneo poco consolidado.

SJ-16



SJ-22



SJ-26

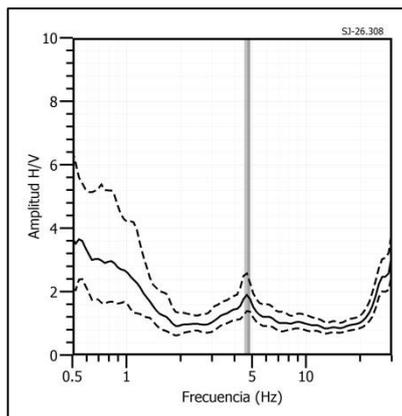
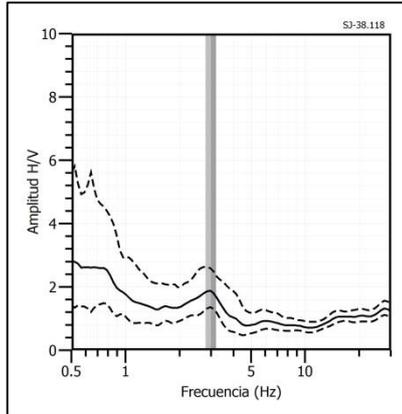
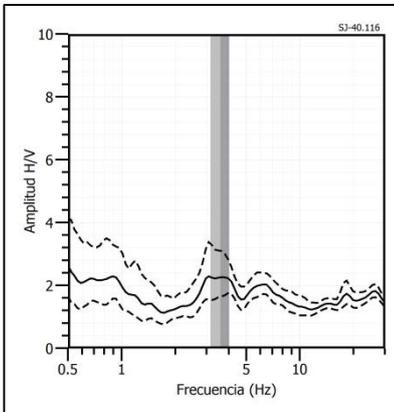


Figura 30. Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F0 ($F > 2.0\text{Hz}$): Para los puntos SJ-16, SJ-22 y SJ-26, ubicados el este de la plaza de armas, y hacia la zona norte del centro poblado por la cancha club Unión. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

SJ-38



SJ-40



SJ-42

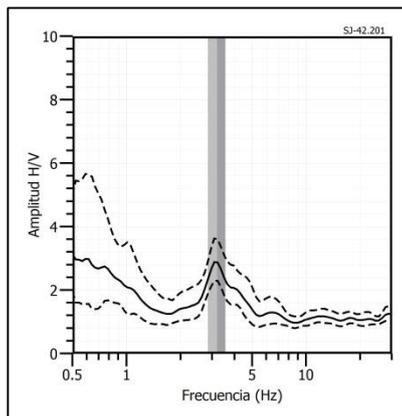


Figura 31. Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F0 ($F > 2.0\text{Hz}$): Para los puntos SJ-38, SJ-40 y SJ-42, ubicados al este por la carretera Paita - Sullana. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

- **Periodos dominantes:** A partir de las frecuencias predominantes, se obtiene los periodos de respuesta del suelo y su distribución se muestra en la Figura 32. En este caso, en el área de estudio los suelos responden a un rango de periodos bien definido con valores de 0.1 a 0.3 segundos, con amplificaciones máximas relativas de hasta 2.5 veces. Asimismo, con mínimas amplificaciones, en la zona central y noroeste del centro poblado por la Cancha Club Unión, se muestra que los suelos responden a periodos de 0.2 y 0.3 segundos con muy bajas amplificaciones.

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-SJ y en el Anexo 2, para las líneas restantes.

Línea sísmica LS01-SJ: Realizada en la cancha deportiva Club Unión, siendo la profundidad de resolución promedio del perfil de 68 metros. Este perfil permite identificar la existencia de cuatro (4) capas sísmicas: La primera de 4 metros de espesor y velocidad V_s de 240 m/s corresponde a suelo intermedio (medianamente rígido), la segunda capa de 9 metros de espesor y velocidad V_s de 430 m/s sugiere un suelo rígido, la tercera capa de 18 metros de espesor y velocidad V_s de 658 m/s corresponde a suelo muy rígido. La cuarta capa con espesor de 19 metros y velocidad V_s de 906 m/s junto al semiespacio, con velocidad $V_s > 1101$ m/s, sugiere roca moderadamente dura.

Línea sísmica LS02-SJ: Ubicada en sector San Francisco, siendo la profundidad de resolución promedio del perfil de 68 metros. Este perfil permite identificar la existencia de cuatro (4) capas sísmicas: La primera de 4 metros de espesor y velocidad V_s de 240 m/s corresponde

a suelo intermedio (medianamente rígido). La segunda capa de 24 metros de espesor y velocidad V_s de 427 m/s junto a la tercera capa de 15 metros de espesor y velocidad V_s de 391 m/s, ambas capas corresponden a suelo rígido. La cuarta capa con espesor de 14 metros y velocidad V_s de 566 m/s junto al semiespacio, con velocidad $V_s > 709$ m/s, sugiere suelo muy rígido.

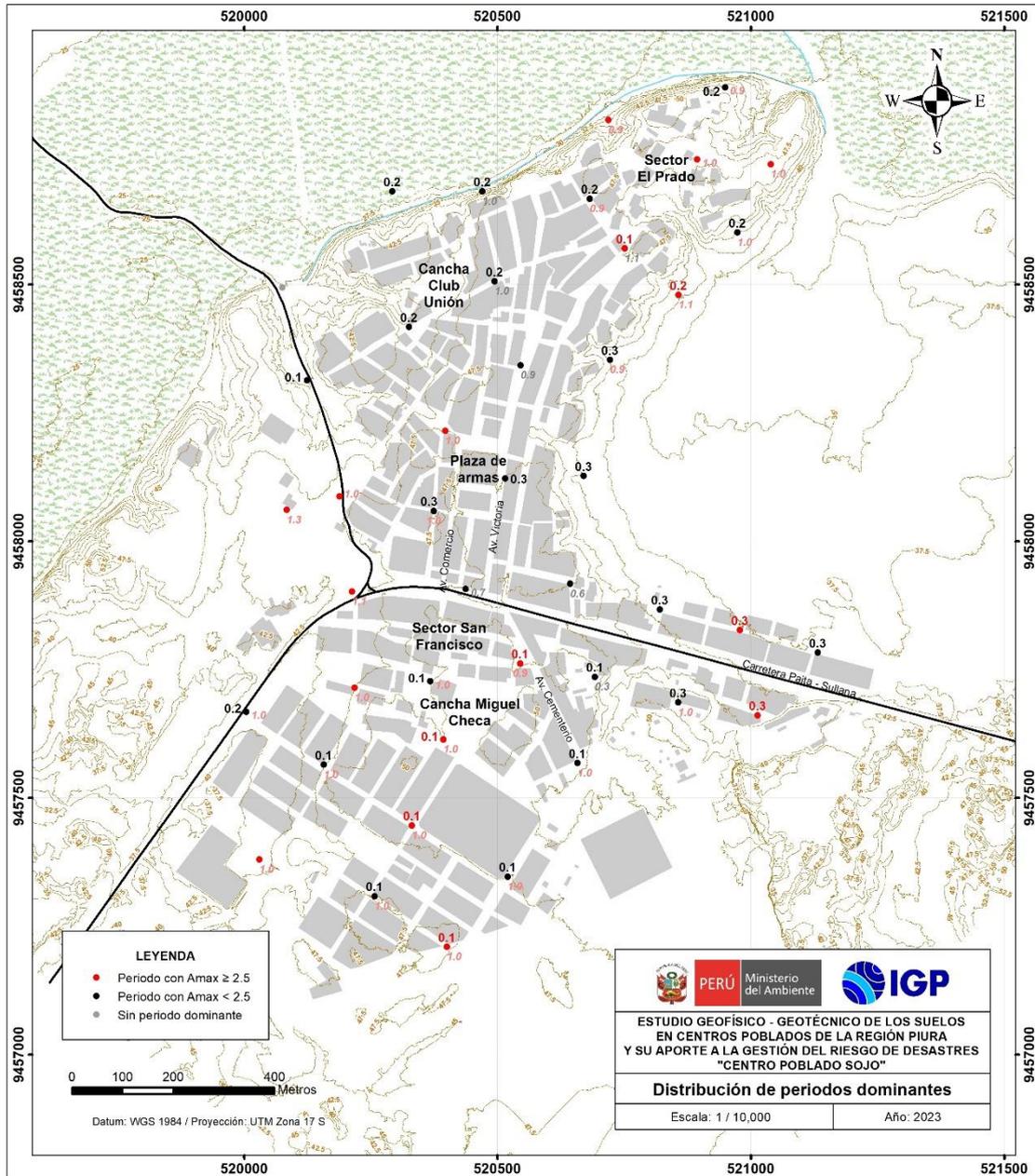


Figura 32. Distribución espacial de periodos dominantes del suelo para el C.P. Sojo. Los valores en rojo corresponden a puntos con amplificaciones mayores a 2.5 veces.

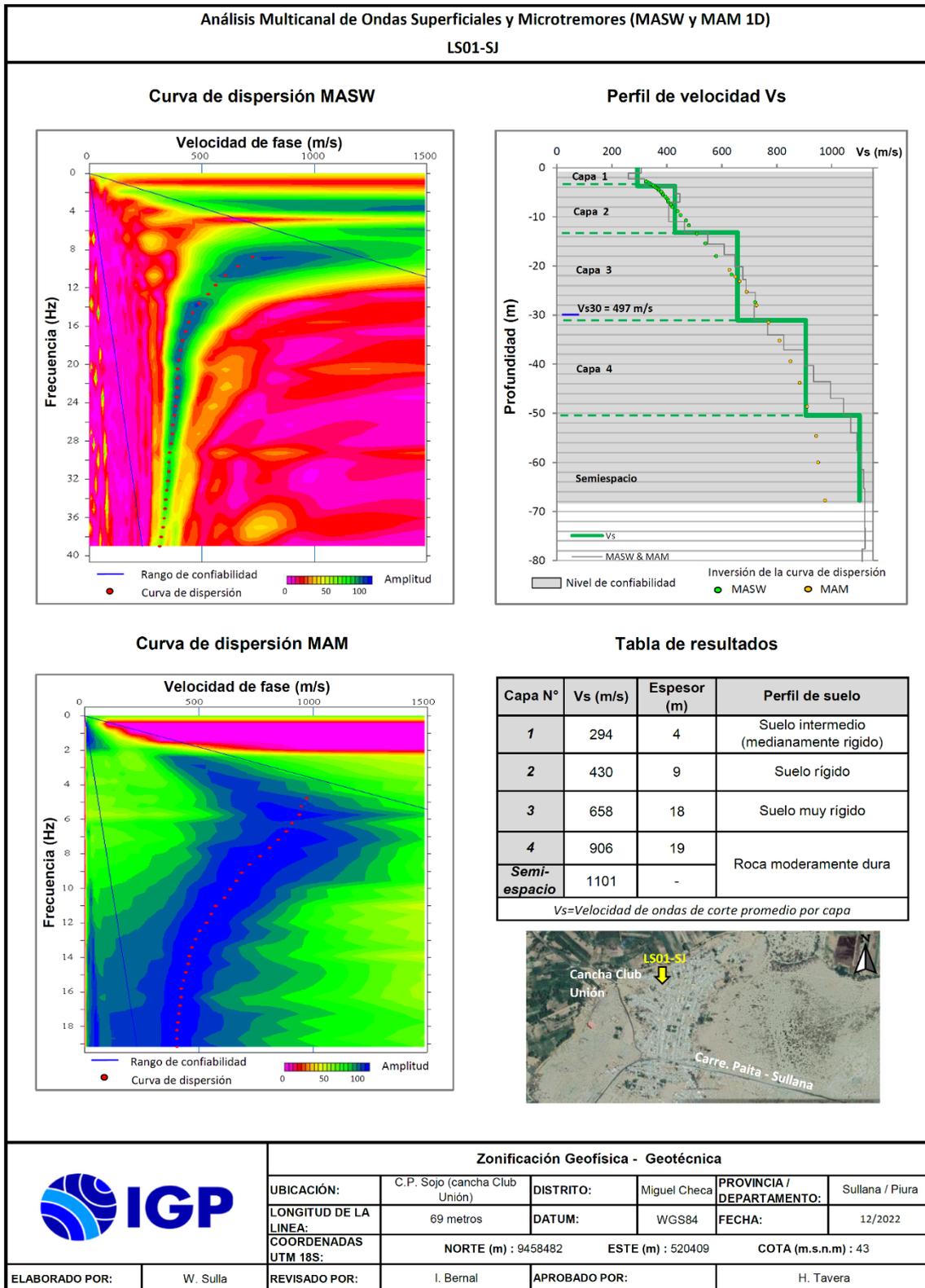


Figura 33. Resultados obtenidos con el ensayo MASW y MAM para la línea sísmica LS01-SJ.

Línea sísmica LS03-SJ: Realizada por la Plaza principal del centro poblado, 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 4 metros de espesor y velocidad V_s de 333 m/s corresponde a suelo intermedio (medianamente rígido), la segunda capa de 5 metros de espesor y velocidad V_s de 487 m/s junto a la tercera capa con espesor de 7 metros y velocidad V_s de 445 m/s, ambas sugieren un suelo rígido. La cuarta capa con espesor de 28 metros y velocidad de 606 m/s corresponde a suelo muy rígido. El semiespacio, con velocidad $V_s > 818$ m/s, sugiere roca moderadamente dura.

Línea sísmica LS04-SJ: Ubicada en el sector El Prado, 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 4 metros de espesor y velocidad V_s de 282 m/s junto a la segunda capa de 7 metros de espesor y velocidad de 345 m/s, ambas corresponden a suelo intermedio (medianamente rígido). La tercera capa de 9 metros de espesor y velocidad V_s de 576 m/s sugiere un suelo muy rígido. La cuarta capa con espesor de 30 metros y velocidad de 968 m/s junto al semiespacio, con velocidad $V_s > 1093$ m/s, ambos sugieren 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 Vs de los perfiles sísmicos obtenidos para el área de estudio.

Superficie		→ Profundidad									
Línea Sísmica	N° DE CAPA										
	1		2		3		4		Semiespacio		VS30 (m/s)
	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-SJ	294	4	430	9	658	18	906	19	1101	-	497
LS02-SJ	240	4	427	24	391	15	566	14	709	-	387
LS03-SJ	333	4	487	5	445	7	606	28	818	-	487
LS04-SJ	282	4	345	7	576	9	968	30	1093	-	490

	Suelo blando ($V_s < 180$ m/s)
	Suelo intermedio -medianamente rígido (180–350 m/s)
	Suelo rígido(350 – 500 m/s)
	Suelo muy rígido (500 – 800 m/s)
	Roca moderadamente dura (800 – 1500 m/s)
	Roca dura ($V_s > 1500$ m/s)

Interpretación

En el área urbana de Sojo, se ha identificado una capa superficial de suelo medianamente rígido ($V_s=240$ a 333 m/s) de 4 a 11 metros de espesor, que cubre al suelo rígido a muy rígidos ($V_s=427$ a 658 m/s), correspondiente a una capa intermedia de 39 a 53 metros de espesor.

En conjunto, los espesores de los suelos medianamente rígidos y rígidos van de 11 metros en dirección norte, por el sector El Prado, y de 43 metros en dirección sur y suroeste, por el sector San Francisco, ver Figura 34. Los resultados evidencian que hasta la profundidad investigada de 70 metros hay presencia de material muy rígido o roca moderadamente dura, sugiriendo que el suelo corresponde a depósitos aluviales donde el mayor espesor se identifica hacia el sur y disminuye hacia el norte.

Localmente, en los resultados obtenidos por la Plaza principal y en el sector San Francisco, se han identificado una capa de material menos

rígido 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.

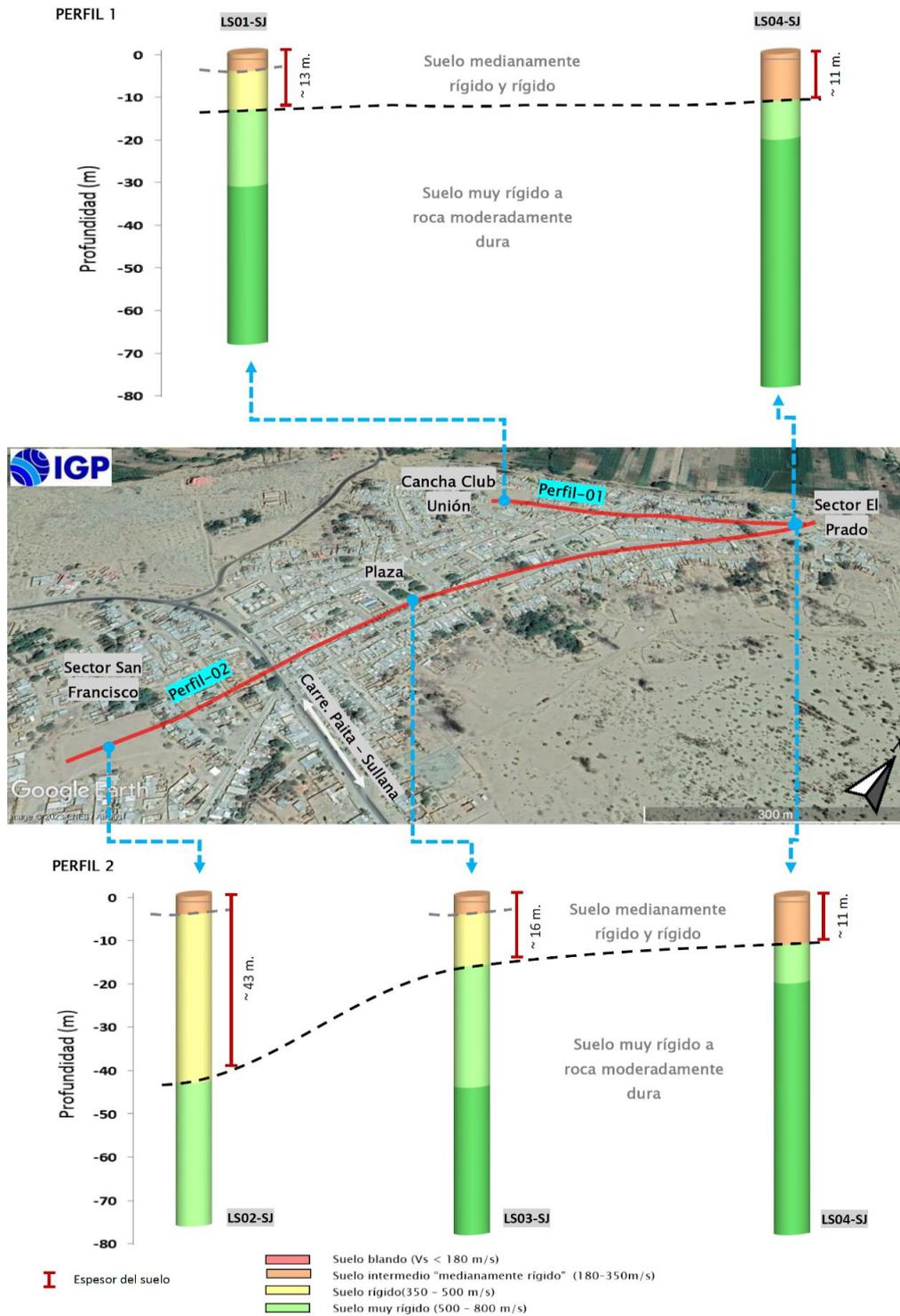


Figura 34. Resultados de MASW y MAM ubicados a lo largo del perfil 1 (LS02-SJ - LS04-SJ y LS01-SJ) y perfil 2 (LS02-SJ y LS03-SJ) sobre la imagen satelital.

Para el área de estudio, el Vs30 calculado varía entre 387 y 497 m/s, que corresponde a suelos Tipo S2; es decir suelos rígidos (Adaptación de la clasificación de suelos, indicada en la Norma sismorresistente E.030, al área de estudio). Pero en el sector San Francisco, a pesar de ser suelo rígido, es necesario tener en cuenta su espesor.

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-SJ y en el Anexo 2, para las secciones restantes.

- **Sección geoelectrica LE01-SJ:** Realizada en la cancha del club Unión (calle Juan Morales) sobre una longitud de 150 metros y en dirección NE-SO. 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, en profundidad se presenta una anomalía con menor contenido de humedad (delimitado con líneas plomas).
- **Sección geoelectrica LE02-SJ:** Realizada en el sector San Francisco (cancha Miguel Checa) sobre una longitud de 140 metros y en dirección NE-SO. En esta sección se ha identificado la presencia de dos horizontes geoelectricos, el primer horizonte, presenta moderado contenido de humedad (80 a 300 Ohm-m), espesores de 12 a 5 metros, el menor espesor se presenta hacia el final de la sección (extremo SO). El segundo horizonte, presenta alto contenido de humedad (< 80 Ohm-m), espesores de hasta 20 metros. Además, en este horizonte se presenta una anomalía con mayor contenido de humedad.

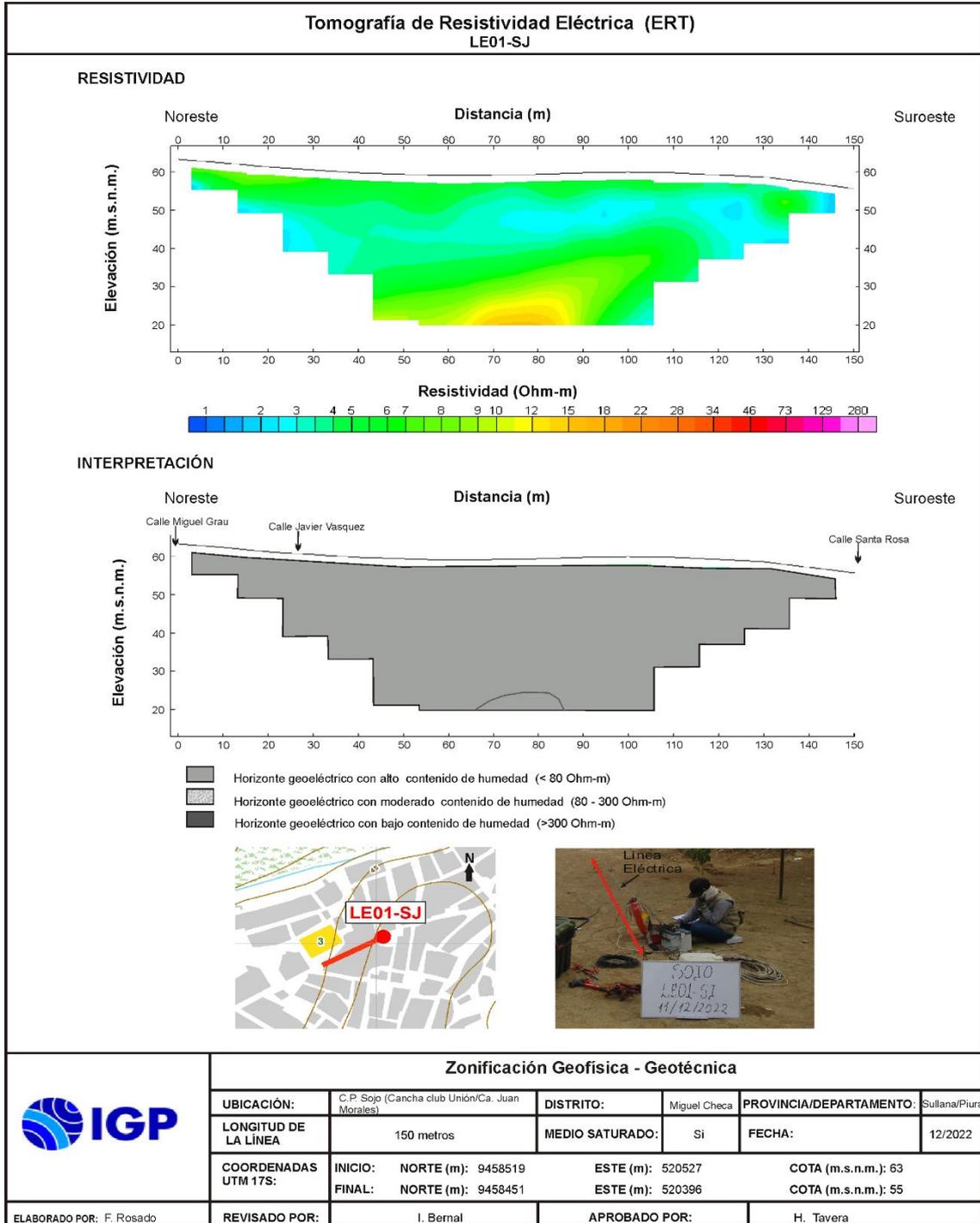


Figura 35. Resultado de tomografía eléctrica para la línea LE01-SJ.

- **Sección geoelectrica LE03-SJ:** Realizada en la calle José Carlos Mariátegui sobre una longitud de 170 metros y en dirección NE-SO. En esta sección se ha identificado la presencia de dos horizontes geoelectricos, el primer horizonte, a lo largo de toda la sección presenta moderado contenido de humedad (80 a 300 Ohm-m), espesores de 5 a 15 metros, el mayor espesor se presenta al final de la sección (extremo suroeste). El segundo horizonte, con alto contenido de humedad (<80 Ohm-m), espesores mayores a 20 metros.

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

- Hacia el norte de la plaza de Sojo (Cancha club Unión), se ha identificado la presencia de dos horizontes, el primero con contenido de humedad y espesores mayores a 40 metros (Figura 36).
- Hacia el este y sur de la plaza de Sojo, se ha identificado la presencia de dos horizontes, el primero con espesores de 5 a 15 metros con moderado contenido de humedad. El segundo horizonte, con alto contenido de humedad con espesores entre 15 y 20 metros.

3.4. INTEGRACIÓN DE RESULTADOS

El área urbana de Sojo se emplaza sobre una terraza aluvial antigua plana horizontal o ligeramente inclinada y depresiones aluviales que se consideran como áreas de inundación pluvial. Los parámetros físicos del suelo muestran las siguientes características:

Los suelos del área urbana de Sojo responden predominantemente a periodos cortos que fluctúan entre 0.1 y 0.3 segundos, mostrando una baja sensibilidad a un segundo rango de periodos de 0.9 a 1.3 segundos

hacia el sur de la Plaza de Armas (zonas próximas al Sector San Francisco y cancha Miguel Checa) y el extremo noreste (sector El Prado).

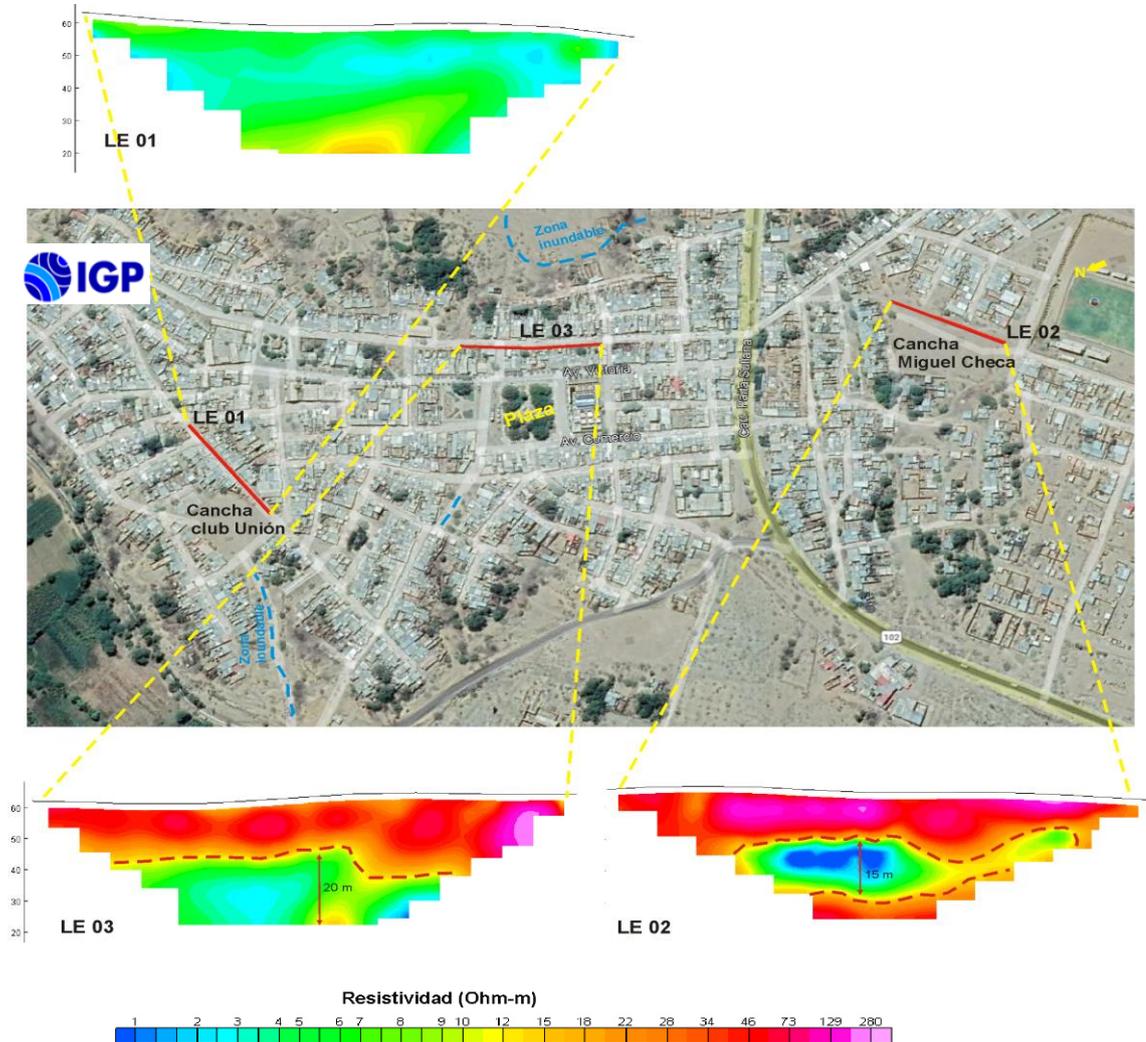


Figura 36: Ubicación y orientación de las líneas de tomografía eléctrica, realizadas al sur (LE01-SJ, LE02-SJ y LE03-SJ) del área de estudio. Las líneas interlineadas amarillas indican la orientación de las secciones y las líneas interlineadas rojas la mayor concentración de humedad.

Los resultados obtenidos con los métodos geofísicos permiten evidenciar que los suelos están conformados por capas superficiales de suelos medianamente rígidos a rígidos con espesores que varían de 40 metros en dirección norte, por el Sector El Prado a 57 metros en dirección sur y sureste, por el sector San Francisco (carretera Paita - Sullana) y

velocidades de ondas de corte V_{s30} que varía entre 387 y 497 m/s, correspondiendo a suelos Tipo S2; 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 345 m/s y 427 m/s para las ondas de corte (V_s), se estima la existencia de una capa sedimentaria de 8 a 21 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 contenido de humedad (el cual se encuentra desde los 5 metros de profundidad), incrementando la complejidad del comportamiento dinámico de los suelos ante sismos.

Estas condiciones, evidencian que el C.P. Sojo se ubica en una zona que presenta moderado peligro por sismo, debido a que sus suelos experimentarían altos niveles de sacudimiento (a periodos cortos) 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 geofísica-geotécnica para el C.P. Sojo, se elabora en función de la integración de los resultados de los estudios geológicos, geotécnicos y geofísicos, delimitando zonas cuyos suelos presentan características de respuesta similares ante la ocurrencia de sismos.

Asimismo, las características dinámicas del suelo y sus propiedades mecánicas han permitido identificar en el área de estudio, de acuerdo con la adaptación de la clasificación de los perfiles del suelo indicados en la Norma de Construcción Sismorresistente E.030, la existencia de suelos Tipo S2; es decir, suelos rígidos a medianamente rígidos que responden a periodos de 0.1 a 0.3 segundos con amplificaciones moderadas.

Para el área urbana de Sojo, 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: Conformados por suelos rígidos a medianamente rígidos, con una capa delgada de depósitos recientes (arenas) con espesores de ~4 metros con velocidades de ondas de corte V_s de 294 m/s para la capa superficial y de hasta 490 m/s a la profundidad de 30 metros. El periodo de vibración natural del suelo varía entre 0.1 a 0.3 segundos con amplificaciones relativas de hasta 3.0 veces; asimismo, de manea sectorizada hacia los extremos norte y sur del área de estudio, los suelos muestran

sensibilidad a un segundo rango de periodos que fluctúa entre 0.9 – 1.1 segundos. Presenta moderado contenido de humedad que se incrementa hacia el extremo norte y zona céntrica del C.P. Sojo. Asimismo, se observa una baja capacidad de carga admisible >1.0 Kg/cm² hasta un metro de profundidad. Estas características corresponden a Suelos Tipo S2 que corresponde a suelos rígidos a medianamente rígidos.

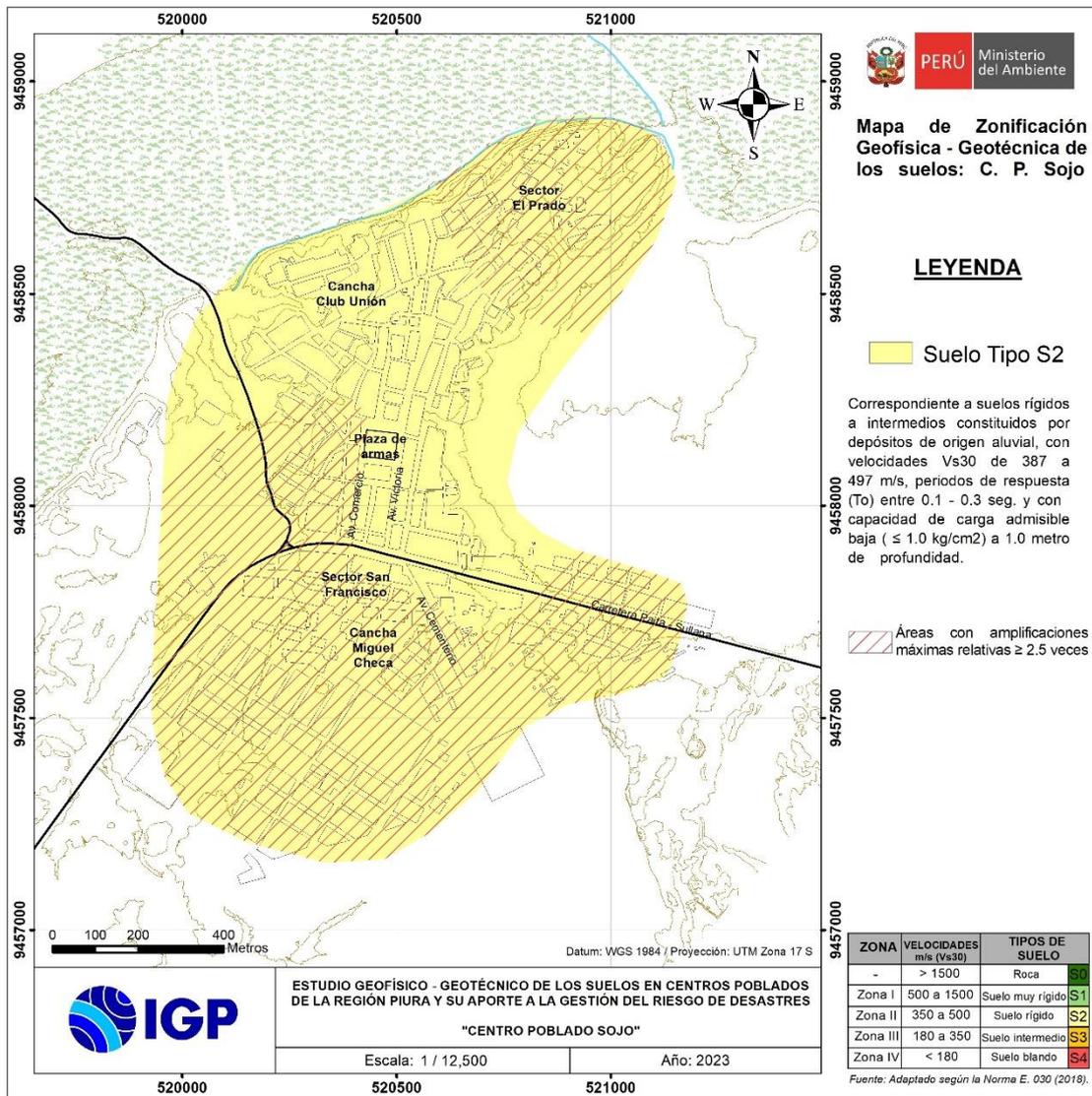


Figura 37. Mapa de zonificación geofísica-geotécnica de los suelos del C.P. Sojo. Las líneas inclinadas en rojo delimitan zonas con mayor amplificación

CONCLUSIONES

El análisis y evaluación geofísica - geotécnica de los suelos del C.P. Sojo ubicado en el distrito de San Miguel Checa, provincia de Sullana - Piura, ha permitido llegar a las siguientes conclusiones:

- Los eventos geodinámicos identificados en el área urbana de Sojo son las inundaciones pluviales y fluviales que afectan las inmediaciones del Sector El Prado, hacia el este, sureste y noroeste de la Plaza de armas, por la carretera Paita – Sullana. Y la inundación fluvial en el sector El Prado.
- En el área urbana de Sojo se identifica cinco tipos de suelos: arena mal gradada con limos (SP-SM) que ocupan el 61%; arena arcillosa con limos (SC-SM) que ocupa el 17%, limo inorgánico (ML) que ocupa el 10% de toda el área de estudio, arcilla inorgánica con limos (CL-ML) que ocupa el 10% y materiales antrópicos (SP) que ocupan el 2%.
- Se ha determinado que para la profundidad de 1.0 y 1.5 metros, los suelos de cimentación de Sojo presentan capacidad de carga admisible muy baja (menor a 1.00 kg/cm²).
- Según su comportamiento dinámico, los suelos del C.P. Sojo responden a un rango de periodo de 0.1 – 0.3 segundos con amplificaciones máximas relativas de hasta 3 veces, evidenciando la presencia de suelos homogéneos de moderado espesor que a nivel superficial presentan baja consistencia. Asimismo, se identifica la influencia de un segundo rango de periodos a 0.9 - 1.1 segundos. 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 Sojo están diferenciados en 4 capas sísmicas y un semi-espacio. Predominan suelos rígidos a medianamente rígidos correspondientes a la primera, segunda, tercera y hasta la cuarta capa sísmica ($V_s = 240$ a 497 m/s), y con espesores entre 11 y 43 metros. En el área de estudio, se obtuvo velocidades de ondas de corte V_{s30} fluctúa entre 387 y 497 m/s, que corresponde a suelos Tipo S2; es decir, suelos rígidos.
- Los suelos del área de estudio presentan moderado contenido de humedad a profundidades que fluctúa entre 2 y 40 metros. Hacia el norte del área de estudio, por la Cancha Club Unión se incrementa el contenido de humedad en superficie y hacia el sur, en profundidad.
- Los resultados obtenidos para el área urbana de Sojo 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 de Tipo S2; es decir, suelos rígidos a medianamente rígidos.
- A la ocurrencia de un sismo de moderada a mayor magnitud, los suelos del C.P. Sojo pueden experimentar niveles altos de sacudimiento, por la presencia de suelos blandos con moderado a alto contenido 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

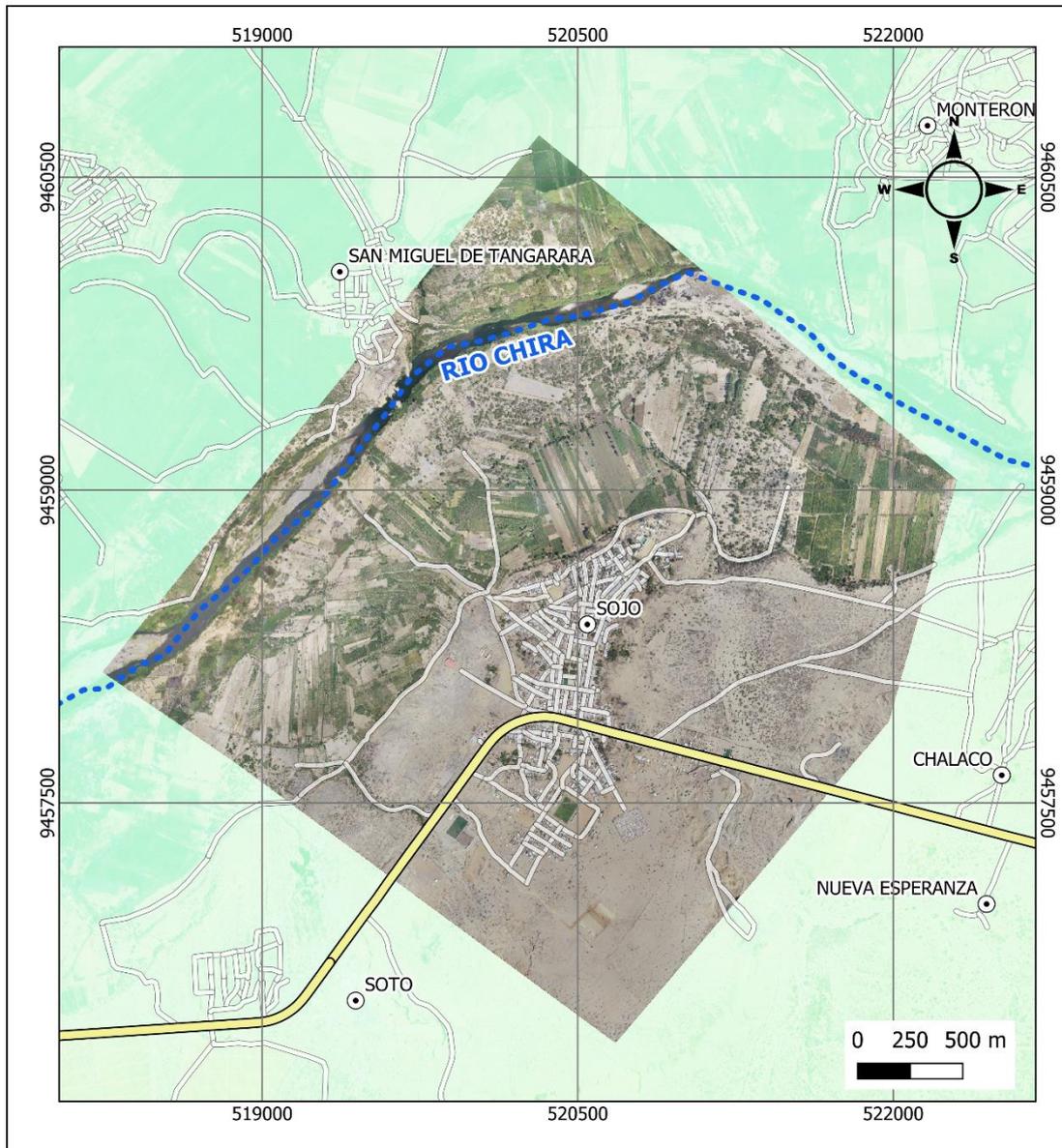
Villegas-Lanza, JC., Chlieh, M., Cavalié, O., Tavera, H., Baby, P., Chire-Chira, J., Nocquet, J-M. (2016). Active tectonics of Peru: Heterogeneous interseismic coupling along the Nazca megathrust, rigid motion of the Peruvian Sliver, and Subandean shortening accommodation. JGR, 10.1002/2016JB013080

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

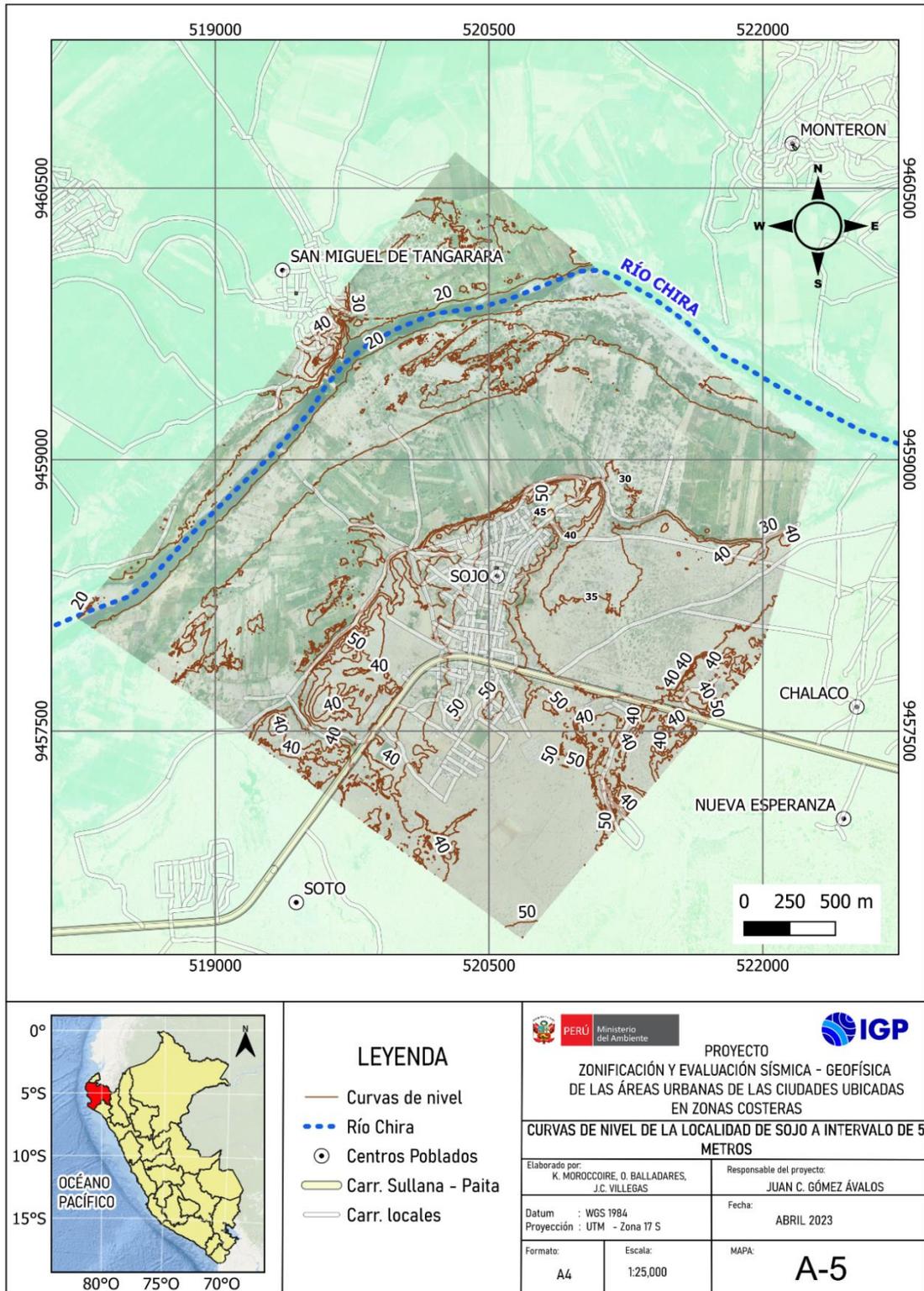
ANEXOS 1

Información topográfica

Ortomosaico

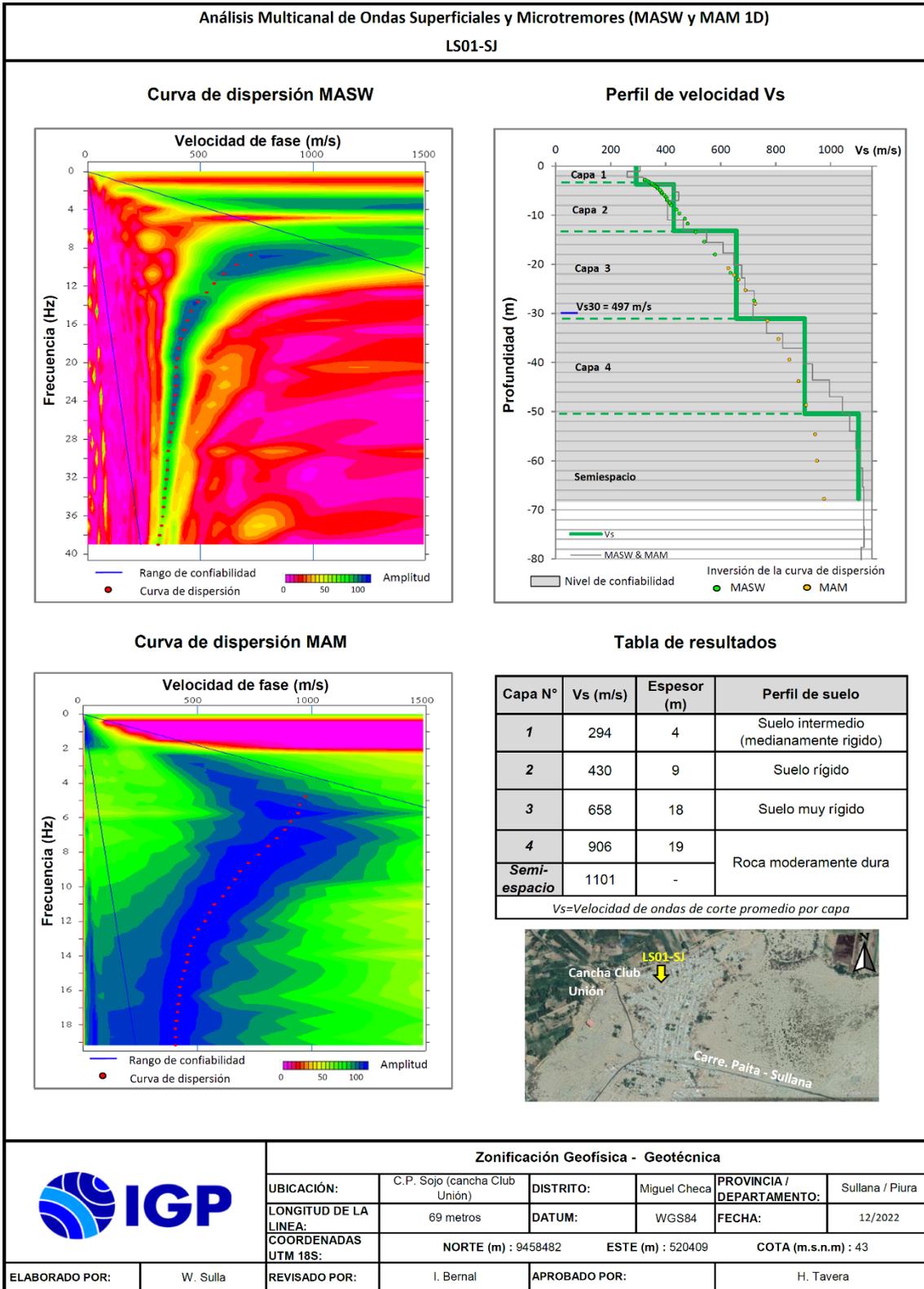


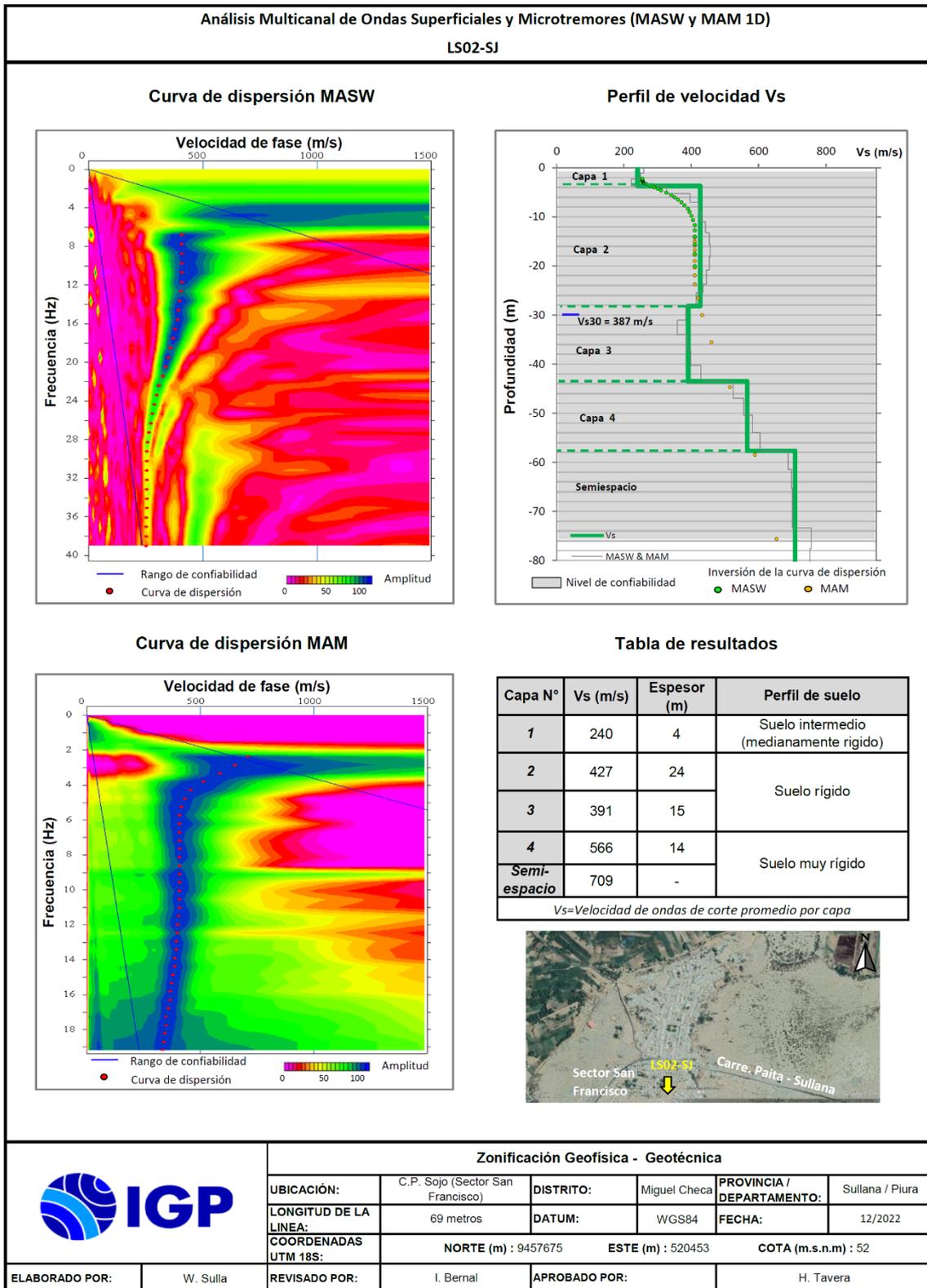
Curvas de nivel

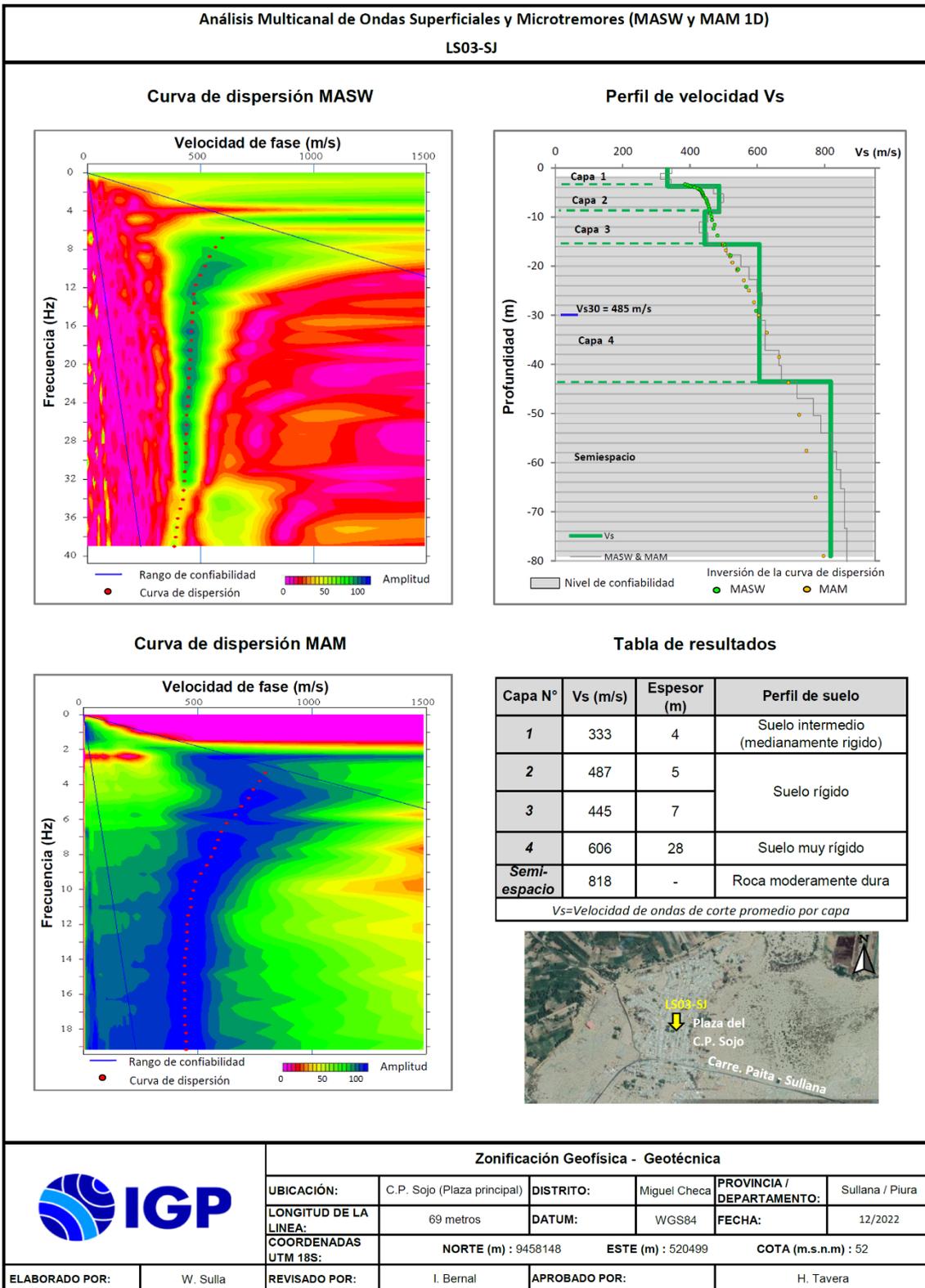


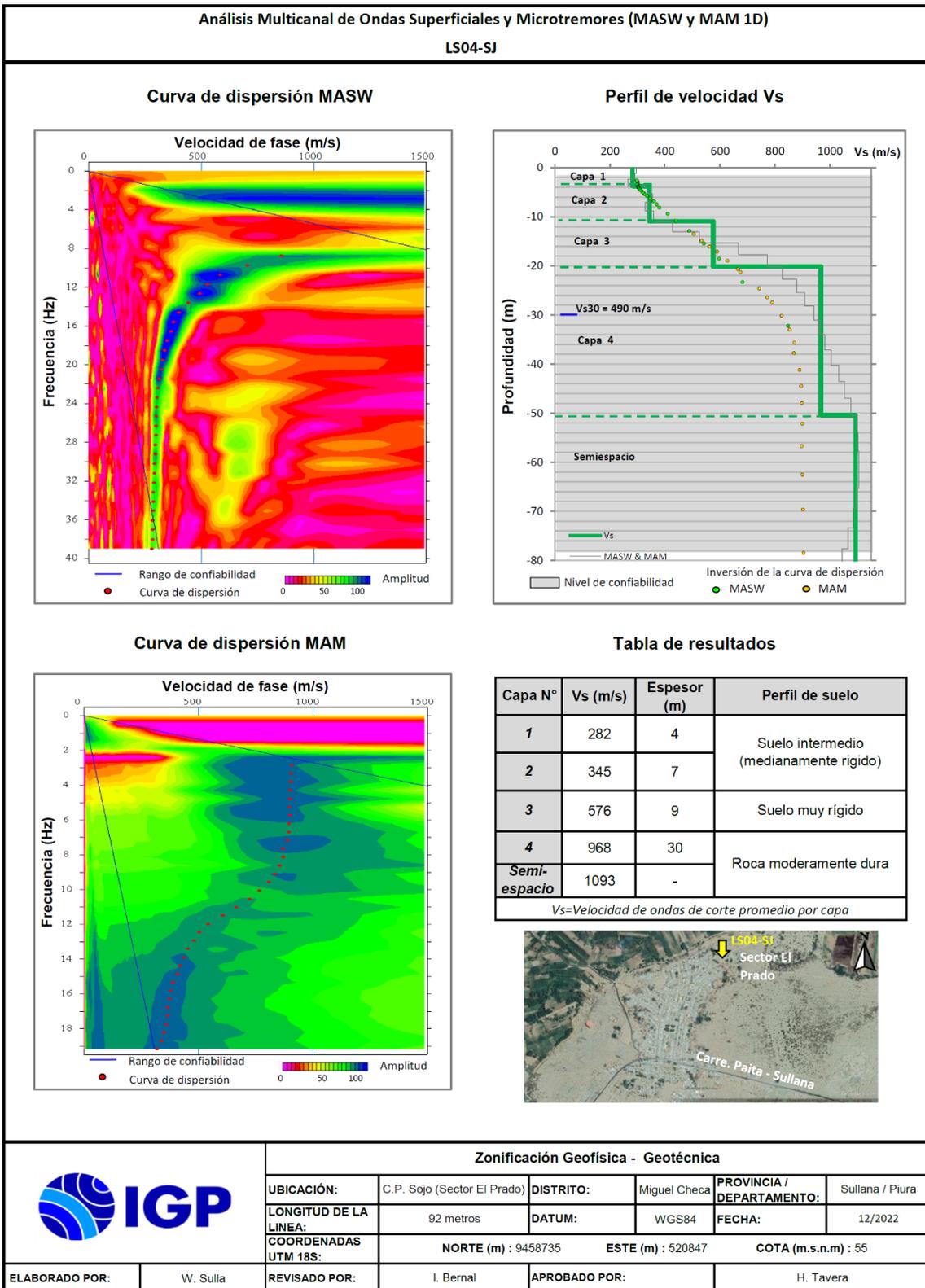
ANEXOS 2
Información geofísica

Perfiles sísmicos MASW – MAM

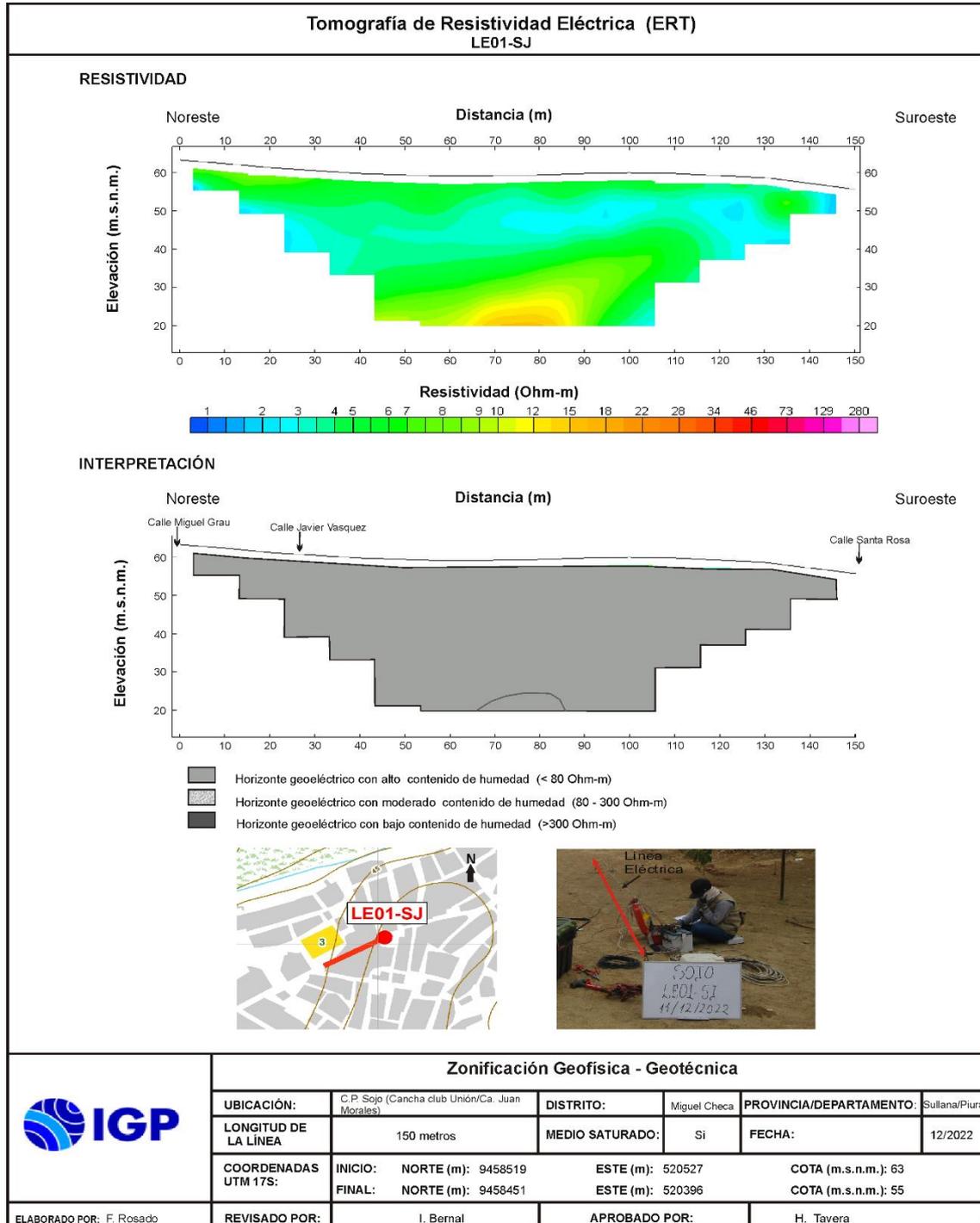


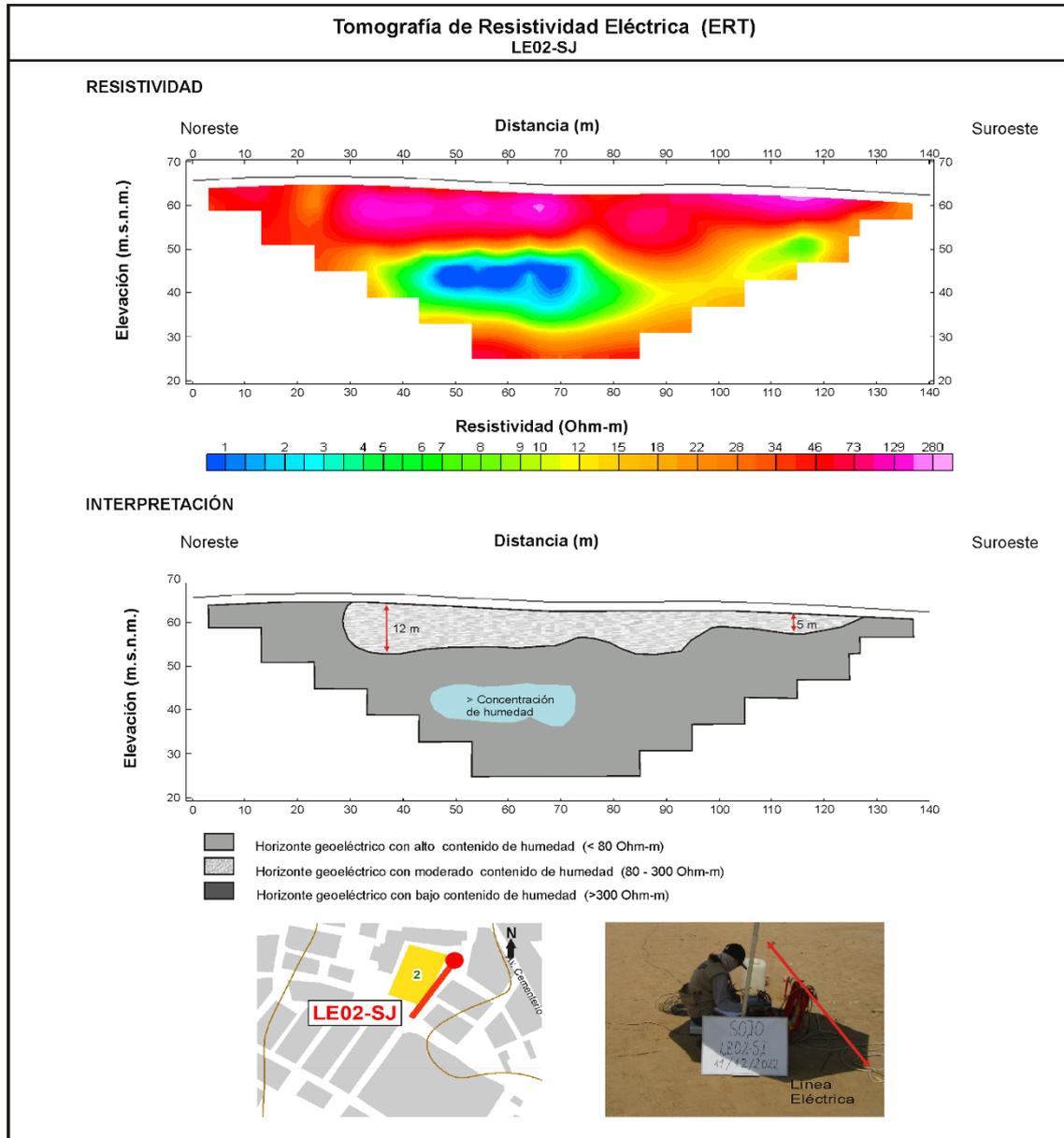






Secciones de tomografía eléctrica





Zonificación Geofísica - Geotécnica																			
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%;">UBICACIÓN:</td> <td style="width: 25%;">C.P. Sojo (Sector San Francisco/Cancha Miguel Checa)</td> <td style="width: 25%;">DISTRITO:</td> <td style="width: 25%;">Miguel Checa</td> <td style="width: 25%;">PROVINCIA/DEPARTAMENTO:</td> <td style="width: 25%;">Sullana/Piura</td> </tr> <tr> <td>LONGITUD DE LA LÍNEA</td> <td>140 metros</td> <td>MEDIO SATURADO:</td> <td>Si</td> <td>FECHA:</td> <td>12/2022</td> </tr> <tr> <td>COORDENADAS UTM 17S:</td> <td> INICIO: NORTE (m): 9457708 FINAL: NORTE (m): 9457591 </td> <td> ESTE (m): 520515 ESTE (m): 520435 </td> <td colspan="3"> COTA (m.s.n.m.): 65 COTA (m.s.n.m.): 62 </td> </tr> </table>	UBICACIÓN:	C.P. Sojo (Sector San Francisco/Cancha Miguel Checa)	DISTRITO:	Miguel Checa	PROVINCIA/DEPARTAMENTO:	Sullana/Piura	LONGITUD DE LA LÍNEA	140 metros	MEDIO SATURADO:	Si	FECHA:	12/2022	COORDENADAS UTM 17S:	INICIO: NORTE (m): 9457708 FINAL: NORTE (m): 9457591	ESTE (m): 520515 ESTE (m): 520435	COTA (m.s.n.m.): 65 COTA (m.s.n.m.): 62		
	UBICACIÓN:	C.P. Sojo (Sector San Francisco/Cancha Miguel Checa)	DISTRITO:	Miguel Checa	PROVINCIA/DEPARTAMENTO:	Sullana/Piura													
	LONGITUD DE LA LÍNEA	140 metros	MEDIO SATURADO:	Si	FECHA:	12/2022													
COORDENADAS UTM 17S:	INICIO: NORTE (m): 9457708 FINAL: NORTE (m): 9457591	ESTE (m): 520515 ESTE (m): 520435	COTA (m.s.n.m.): 65 COTA (m.s.n.m.): 62																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%;">ELABORADO POR:</td> <td style="width: 25%;">F. Rosado</td> <td style="width: 25%;">REVISADO POR:</td> <td style="width: 25%;">I. Bernal</td> <td style="width: 25%;">APROBADO POR:</td> <td style="width: 25%;">H. Tavera</td> </tr> </table>	ELABORADO POR:	F. Rosado	REVISADO POR:	I. Bernal	APROBADO POR:	H. Tavera													
ELABORADO POR:	F. Rosado	REVISADO POR:	I. Bernal	APROBADO POR:	H. Tavera														

