



PERÚ

Ministerio
del Ambiente



ZONIFICACIÓN GEOFÍSICA - GEOTÉCNICA DE SUELOS

ÁREA URBANA DEL DISTRITO DE SANTA

(Región Ancash)

Informe Técnico N°039-2025/IGP CIENCIAS DE LA TIERRA SÓLIDA



Lima – Perú
Noviembre, 2025

Instituto Geofísico del Perú

Jefe Institucional: Hernando Tavera

Director Ciencias de la Tierra Sólida: Juan Carlos Gómez

Informe Técnico

Zonificación Geofísica - Geotécnica de suelos, área urbana del distrito de Santa
(Región Ancash)

Autores

Isabel Bernal, Liliana Torres, Juan Carlos Gómez, Hernando Tavera

Participantes:

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

Cartografía: Javier Oyola.

Evaluación Geodinámica-Geotécnica: Pilar Vivanco / Juan Carlos Gómez.

Apoyo técnico: Liliana Torres / Jesús Huarachi / Luz Arredondo.

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

ZONIFICACIÓN GEOFÍSICA - GEOTÉCNICA DE SUELOS
ÁREA URBANA DEL DISTRITO DE SANTA
(Región Ancash)

Lima – Perú
Noviembre - 2025

RESUMEN

Con la aplicación de técnicas geofísicas y geotécnicas, se analiza y evalúa las características físicas y dinámicas de los suelos en el área urbana del distrito de Santa, provincia de Santa - región Ancash. Los resultados obtenidos evidencian el predominio de suelos medianamente rígidos a rígidos, con velocidades de ondas de corte Vs30: 314-340 m/s identifican por el centro poblado San Luis, A.H. Los Ángeles y A.H. Virgen de Guadalupe y Vs30: 350-370 m/s entre la plaza de Armas, Urb. San Carlos Alto, centro poblado La Huaca II, con espesores que varían entre los 11 y 34 metros, cubiertos por una capa delgada de suelos blandos. Localmente, por el centro poblado Río Seco y zonas aledañas, se ha identificado suelos muy rígidos (Vs30=620 m/s). Los suelos, presentan de moderado a alto contenido de humedad, superando los 40 metros de profundidad en sectores próximos al río Shisho; y su periodo dominante de respuesta fluctúa entre 0.1 y 0.3 segundos con amplificaciones de hasta 3.5 veces; adicionalmente, hacia el extremo oeste del área de estudio, los suelos muestran sensibilidad a periodos largos (0.5 - 0.7 segundos). La capacidad de carga portante del suelo es de baja a muy baja ($<1.0 \text{ kg/cm}^2$) a 1.0 metro de profundidad. A la ocurrencia de un sismo de moderada a mayor magnitud, los suelos medianamente rígidos a blandos con alto contenido de humedad, experimentarían altos niveles de sacudimiento que afectarían principalmente a las construcciones y la infraestructura que se asientan sobre estos suelos.

CONTENIDO

RESUMEN

1. INTRODUCCIÓN

- 1.1. Objetivo del estudio
- 1.2. Área de estudio
- 1.3 Condiciones locales de sitio
- 1.4. Norma Técnica E.030
- 1.5. Antecedentes

2. GEOMORFOLOGÍA, GEOLOGÍA Y GEOTECNIA

- 2.1. Geomorfología
 - 2.1.1. Levantamiento topográfico
 - 2.1.2. Unidades geomorfológicas
- 2.2. Geología local
- 2.3. Geodinámica superficial
- 2.4. Aspectos geotécnicos
 - 2.4.1. Clasificación de suelos (SUCS)
 - 2.4.2. Capacidad de carga del suelo

3. EVALUACIÓN GEOFÍSICA

- 3.1. Método de razones espectrales
 - 3.1.1. Adquisición de datos
 - 3.1.2. Procesamiento y análisis
 - 3.1.3. Resultados e interpretación
- 3.2. Métodos Sísmicos MASW-MAM
 - 3.2.1. Adquisición de datos
 - 3.2.2. Procesamiento y análisis
 - 3.2.3. Resultados e interpretación

3.3. Método de Resistividad Eléctrica

3.3.1. Adquisición de datos

3.3.2. Procesamiento y análisis

3.3.3. Resultados e interpretación

4. ZONIFICACIÓN GEOFÍSICA - GEOTÉCNICA

4.1. Caracterización física y dinámica de suelos

4.2. Zonificación Geofísica – Geotécnica

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS:

ANEXO 1 – Información topográfica

ANEXO 2 – Información geológica – geotécnica

ANEXO 3 – Información geofísica: Perfiles sísmicos MASW-MAM y secciones de tomografía eléctrica

1. INTRODUCCIÓN

En el marco del Programa Presupuestal por Resultados N°068: Reducción de la Vulnerabilidad y Atención de Emergencias por Desastres, el Instituto Geofísico del Perú, se ejecutó el proyecto “Zonas Geográficas con Gestión de Información Sísmica”, el mismo que tuvo como una de sus actividades la “Generación de Estudios Territoriales de Peligros Sísmicos” obteniéndose como resultado final, el mapa de Zonificación Geofísica – Geotécnica de suelos para el área urbana del distrito de Santa, provincia de Santa, departamento de Ancash. El estudio permite conocer el Comportamiento Dinámico del Suelo a partir de la recolección de información y aplicación de estudios multidisciplinarios.

De acuerdo a la historia sísmica del Perú, la región centro ha sido afectada en varias oportunidades por eventos sísmicos de variada magnitud que han generado altos niveles de sacudimiento del suelo, puesta en evidencia con los daños observados post-sismo, en los departamentos de Ancash y La Libertad (Silgado, 1978; Tavera et al. 2014). 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. Entonces, no es tan importante el tamaño del sismo, sino la intensidad del sacudimiento del suelo, la educación de la población y la calidad de las construcciones.

Los estudios de Zonificación Geofísica – Geotécnica de suelos permiten tener mayor conocimiento sobre las características físicas y dinámicas del suelo sobre el cual se levantan las ciudades y/o futuras áreas de expansión. Para ello se aplica diferentes metodologías que consideran información sísmica, geofísica, geológica, geodinámica, geomorfológica y de geotecnia. Estos métodos permiten conocer, el contenido de humedad, espesores y velocidades de las ondas de corte (V_s) de las capas que conforman el suelo

y a su vez, los resultados se correlacionan con los aspectos geo-ambientales del área de estudio a fin de obtener un adecuado mapa de zonificación de suelos. Es importante mencionar, que el suelo condiciona el diseño y la construcción de viviendas y/o estructuras, por ende, estos estudios son una herramienta básica para la planificación urbana y la Gestión del Riesgo de Desastres (GRD).

1.1. Objetivo del estudio

El presente estudio tiene como objetivo generar el Mapa de Zonificación Geofísica – Geotécnica de suelos para el área urbana del distrito de Santa, provincia de Santa en la región Ancash, mediante la realización de estudios multidisciplinarios de geofísica, geología, geodinámica y geotecnia, a fin de determinar los parámetros físicos y dinámicos que caracterizan a cada tipo de suelo y así conocer su comportamiento dinámico ante la ocurrencia de un sismo de moderada a gran magnitud.

1.2. Área de estudio

El área urbana del distrito de Santa, se encuentra en la región central del Perú, provincia de Santa y región Ancash (Figuras 1 y 2), en las coordenadas 4.98°S y 78.61°O, a una elevación media de 24 m s.n.m. Asimismo, tiene una población de 22,689 habitantes (INEI, 2017) que se asientan sobre una superficie llana y de pendiente baja; con un solo cambio de elevación en dirección NE, el cerro Choloque, en el centro poblado Rio Seco. Los fenómenos naturales que afectan directamente a esta población son los sismos que pueden generar altos niveles de sacudimiento del suelo y las intensas precipitaciones con lluvias que, en conjunto, causarían daños a la población e infraestructura.

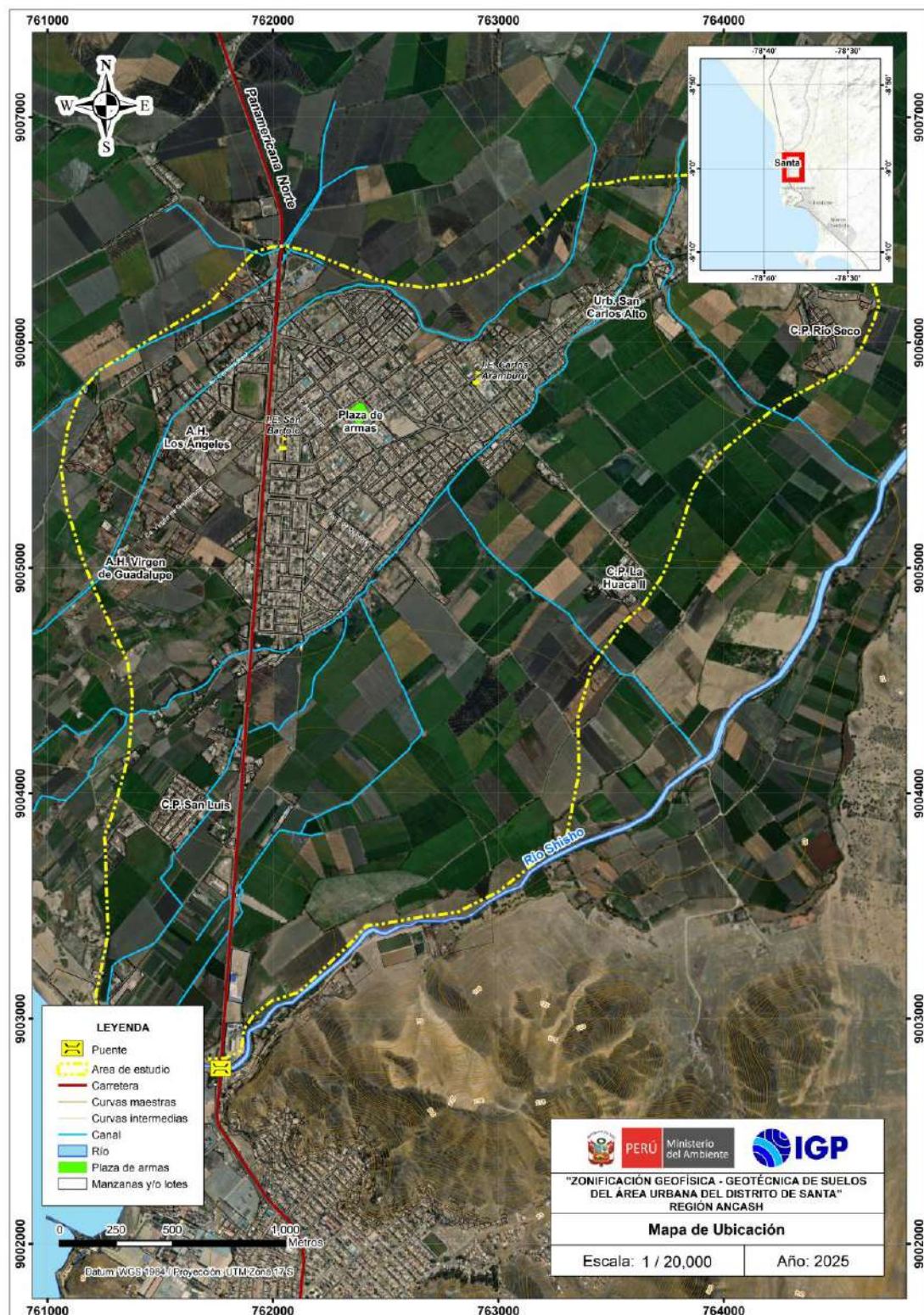


Figura 1. Ubicación del área de estudio.



Figura 2. Vista panorámica de la plaza de Armas del distrito de Santa.

1.3. Condiciones locales de sitio

En la actualidad, es ampliamente conocido que las condiciones locales de sitio son uno de los principales factores responsables de los daños que se producen en cualquier tipo de edificación durante la ocurrencia de sismos severos. Este factor es fuertemente dependiente de las características físicas y dinámicas del suelo (Lermo y Chávez-García, 1994 a, b; Bard y SESAME,

2004; Bernal, 2002, 2023). Estos controlan la amplificación de las ondas sísmicas causantes de los daños a observarse en superficie después de ocurrido un evento sísmico.

La metodología a seguir en este estudio, con el objetivo de lograr el mayor conocimiento sobre el comportamiento dinámico del suelo o efectos de sitio, considera estudios multidisciplinarios de geofísica, sismología, geología, geomorfología y geotecnia. Cada uno de estos campos de investigación provee información básica de observaciones de campo y la toma de datos in situ, para lo cual es necesario disponer de mapas catastrales actualizados de la zona de estudio y también, las zonas de futura expansión urbana.

En general, los efectos que produce cada tipo de suelo sobre la propagación y amplitud de las ondas sísmicas, permiten tipificar los suelos y estimar su comportamiento dinámico. El resultado final es el Mapa de Zonificación Geofísica – Geotécnica que debe constituirse como el documento más importante en las tareas y programas de gestión del riesgo ante la ocurrencia de sismos.

1.4. 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. En base a lo descrito anteriormente, se establecen 5 tipos de perfiles cuyas características se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1. Clasificación de perfiles de suelos de la Norma E.030 (2018).

Perfil	Vs30 (m/s)	Descripción
S0	> 1500	Roca dura
S1	500 a 1500	Roca o suelos muy rígidos
S2	180 a 500	Suelos intermedios
S3	< 180	Suelos blandos
S4	Clasificación basada en el EMS	Condiciones Excepcionales

La velocidad de propagación de ondas de corte para los primeros 30 metros (Vs30) 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).








En este estudio, el mapa de Zonificación Geofísica - Geotécnica se realiza en función de las características mecánicas, físicas y dinámicas de los suelos que conforman el terreno de cimentación del área de estudio. De acuerdo a los estudios de zonificación realizados por el IGP, el rango de velocidades 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 (Tabla 2), mejorando la descripción de las condiciones locales de cada tipo de suelo.

1.5. Antecedentes

Según Barriga y De La Cruz (2023), las 5 calicatas elaboradas en el área de estudio a una profundidad de 1.5 metros, indican que los suelos predominantes son del tipo SP-SM, SP y SM. En el año 2023, en el reporte SINPAD 167872, se indica que como producto del desborde del río se ha destruido el puente carrozable de ingreso al sector de Huamanchacate, Pampa el Medano; así como el ingreso al vivero municipal y al botadero de

la Municipalidad distrital de Santa, dejando sin servicio a 130 hectáreas de cultivo y sin ingreso de vehículos al botadero de residuos sólidos. Asimismo, el Reporte SINPAD 167180, emergencia por lluvias intensas, indica que el día 13 de marzo del 2023 se suscitaron lluvias intensas que afectaron 402 viviendas de los sectores Puerto Santa, Casa Colorada, La Huaca II y III, Pampa La Grama, Isla Blanca, Río Seco, San Luis, Santa Rosa, Santa y El Rami. Los canales de desagüe colapsaron e inundaron las calles.

Tabla 2. Clasificación de perfiles de suelos adaptados a la zona de estudio, a partir de lo establecido en la Norma Peruana de Diseño Sismorresistente E.030 (2018).

Perfil	Velocidades de ondas de corte – V_{s30} (m/s)	Períodos T_0 (seg.)	Tipos de suelos	Simbología
S0	>800 m/s	--	Roca dura	
S1	500 a 800 m/s	0.1-0.2	Suelos muy rígidos o roca fracturada	
S2	350 a 500 m/s	0.2-0.4	Suelos rígidos	
S3	180 a 350 m/s	0.4-0.6	Suelos intermedios (medianamente rígidos)	
S4	<180 m/s	--	Suelos blandos	
	Condiciones Excepcionales	--	Suelos inestables por su composición (pantanos, rellenos antrópicos, eólicos)	
			Suelos inestables por topografía	

En el año 2012, la Municipalidad provincial de Santa generó el plan de acondicionamiento de la provincia de Santa para el periodo 2012 – 2022, tras ocurridos, en dos años diferentes, el incremento inusual de las aguas del río Santa en la época de El Niño y post Niño. El primero ocurrió en 1983 y el segundo en 1997-1998, siendo el más fuerte el primero, ocasionando el desborde del río y afectando a más de 150 hectáreas de terrenos de cultivo, principalmente en la zona de Tablanos, Vinzos, Rinconada, San Bartolo y la parte baja de Puente Santa. En 1997-1998, además se afectó la quebrada de Cascajal dañando un tramo de 15 metros de la carretera Panamericana.

En el 2000, PNUD – CEREN – INDUR realizó el “Estudio de mapa de peligros y plan de usos del suelo de la ciudad de Chimbote, dentro del

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, centro ejecutivo de reconstrucción El Niño, Instituto Nacional de Desarrollo Urbano". Los resultados obtenidos evidenciaron que la expansión urbana se realiza en dirección sur; con una tendencia de crecimiento longitudinal a lo largo de la actual carretera Panamericana Norte. Estos suelos presentan una cobertura de arena eólica de 20 metros de espesor, una capacidad portante promedio de 1.4 a 2.0 kg/cm² y un nivel freático presente a una profundidad de 16 metros.

Según Cossio y Jaén (1967) indican que la localidad de Santa se asienta sobre el Batolito de la Costa y una secuencia sedimentaria-volcánica. Se ha reconocido la presencia de tres secuencias distintas del Mesozoico y Cenozoico: La Formación La Zorra compuesta por flujos de andesitas y rocas piroclásticas.

2. GEOMORFOLOGÍA, GEOLOGÍA Y GEOTECNIA

2.1. 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 distrito de Santa en base a sus características físicas y los procesos que las han originado.

2.1.1. Levantamiento topográfico

Se realizó el levantamiento topográfico en alta resolución del área urbana del distrito de Santa, 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 del Terreno: Se han obtenido dos modelos digitales del terreno (MDT), uno para la zona del ámbito urbano de Santa (992 ha) con una resolución espacial de 28.8 cm/pixel, y otro para la zona del cauce del río Santa (766 ha) con una resolución de 29.3 cm/pixel. Se evidencia que, en la zona del cauce del río, las localidades de San Juanito y Santa Rosa se ubican en zonas relativamente elevadas, en las faldas de pequeñas montañas con elevaciones en promedio son de 60 y 90 m s.n.m., respectivamente. Asimismo, el centro poblado de Río Seco, ubicado hacia el extremo SE de la zona de estudio con una elevación promedio de 75 m s.n.m. Por otro lado, las localidades de Santa, San Luis y Huaca III se encuentran a una elevación promedio de 30 a 40 m s.n.m. Finalmente, se observa que la zona del río Santa, en una extensión aproximada de 6,000 metros de longitud presenta un cambio de elevación de 40 a 60 m s.n.m en la parte alta del río y de 20 m s.n.m en la parte baja cerca de la desembocadura (Figura 3).

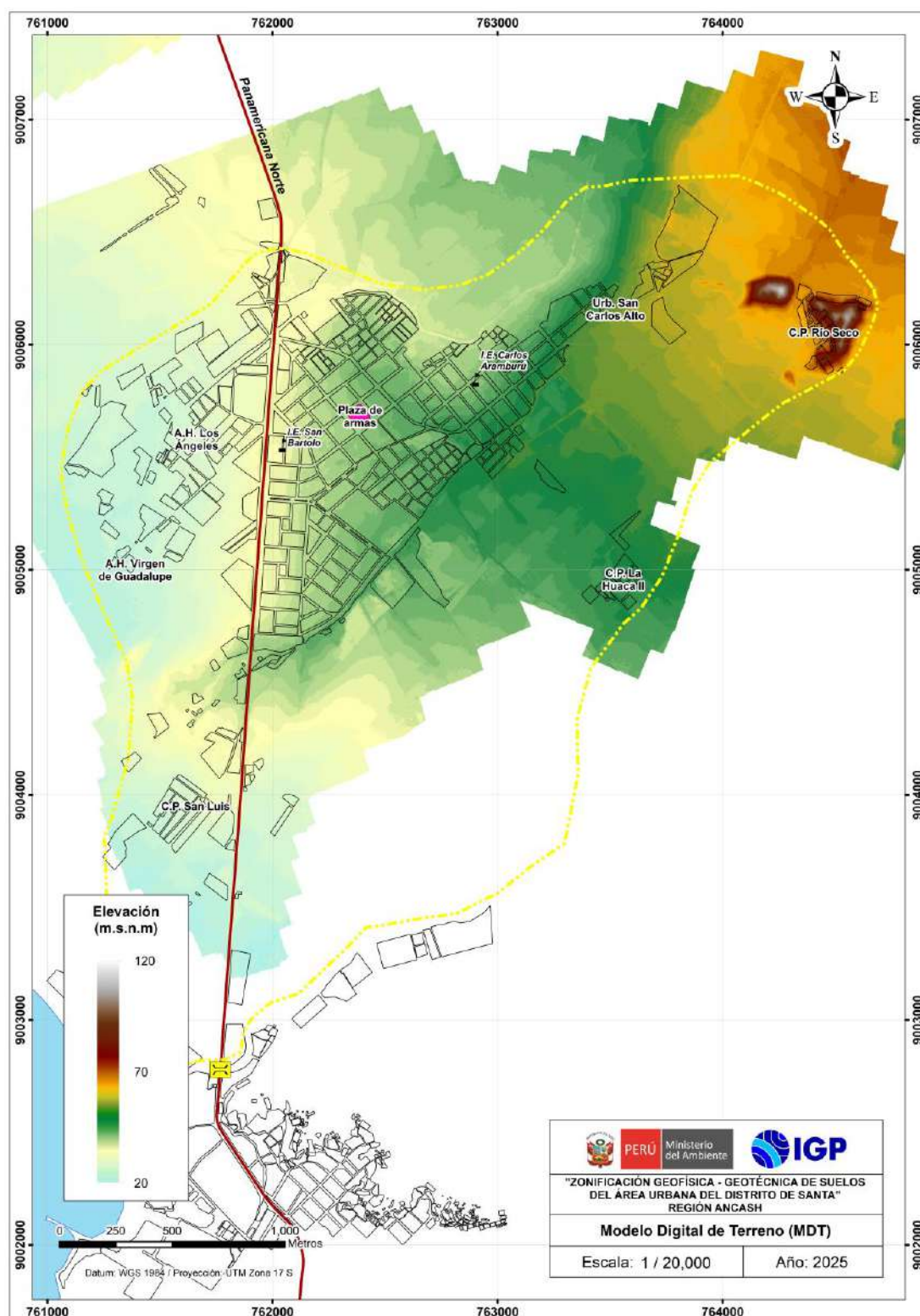


Figura 3. Modelo digital de terreno del área urbana de Santa.

- **Ortomosaico:** Se ha generado a partir de la unión de 1,507 mosaicos de alta resolución inferior a 7.3 cm/píxel a escala 1/5,000 que han sido corregidos por distorsiones ocasionados por el relieve y los objetos presentes en Santa. Se ha evidenciado que las áreas de cultivo, abarcan una extensión aproximada de 1,410 hectáreas lo que representa un 80% del área de estudio.

- **Mapa de curvas de nivel:** A partir del Modelo Digital del Terreno, se ha generado un mapa de curvas de nivel con un intervalo de 5 metros a escala 1/30,000. El mapa de curvas de nivel permite identificar lomas en el margen derecho del río Santa que corresponden a los centros poblados de Santa Rosa y San Juanito pertenecientes al departamento de La Libertad, con elevaciones que oscilan entre 50 a 115 m s.n.m. Las elevaciones intermedias corresponden al centro urbano de Santa y cauce del río Santa, que oscila entre 30 a 50 m s.n.m. Por ultimo las cotas bajas (<25 m s.n.m.) corresponden a la zona de desemboque del río Santa.

En el Anexo 1, se presenta el mapa de ortomosaico y de curvas de nivel con intervalos de 5 metros, para el área urbana de Santa. Los rangos de pendiente del terreno fueron definidos bajo la siguiente clasificación (Tabla 3):

Tabla 3. Rango de clasificación de pendientes del terreno.

RANGOS DE PENDIENTE (°)	CLASIFICACIÓN
< 1.00	Muy Baja
1.00 – 5.00	Baja
5.00 – 15.00	Media
15.00 – 25.00	Inclinada
>25.00	Fuerte

El área urbana de Santa se asienta sobre una terraza con inclinación inferior a los 5°; mientras que, hacia el extremo este de la ciudad se evidencian pendientes fuertes con valores que varían de 25° a 35° como las zonas del cerro o Huaca Choloque.

2.1.2. Unidades geomorfológicas

Las principales unidades geomorfológicas identificadas en Santa son:

Terraza aluvial: Superficie llana de pendiente inferior a los 5° de inclinación que se encuentra conformada por la acumulación de materiales heterogéneos (gravas, arenas y limos) que han sido erosionados de rocas pre-existentes, para luego ser transportados a través del cauce de quebradas y depositados en zonas de baja pendiente. Esta unidad geomorfológica se ubica en un nivel topográfico superior al río Santa. Sobre esta unidad se asienta el área urbana de Santa y se desarrolla la actividad agrícola (Figura 4).

Lomas: Esta unidad geomorfológica está constituida por superficies elevadas mostrando en la base una forma alargada. Presenta pendientes de 20° a 35° y se ubica aproximadamente a 1,700 metros hacia el NE de la plaza de Armas de Santa, correspondiendo al cerro Choloque (Figura 5).

Finalmente, en la Figura 6 se presenta el mapa de geomorfología del área urbana de la localidad de Santa, elaborado con la información recolectada en campo.

2.2. 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 1/100,000 (Cuadrángulo Geológico de Santa – hoja 18-f); mientras que, para la geología local se ha hecho uso de información recolectada directamente en campo para el presente estudio a la escala 1/15,000. De acuerdo con estos resultados, se ha logrado identificar las siguientes unidades geológicas:



Figura 4. Terraza aluvial donde se asienta el área urbana de Santa y se desarrolla la actividad agrícola.



Figura 5. Loma identificada en el cerro Choloque, con elevación de aproximada de 25 metros, en la zona de la cima se identificaron zonas arqueológicas y se ubica a 1.7 kilómetros en dirección este de la plaza de Armas de Santa.

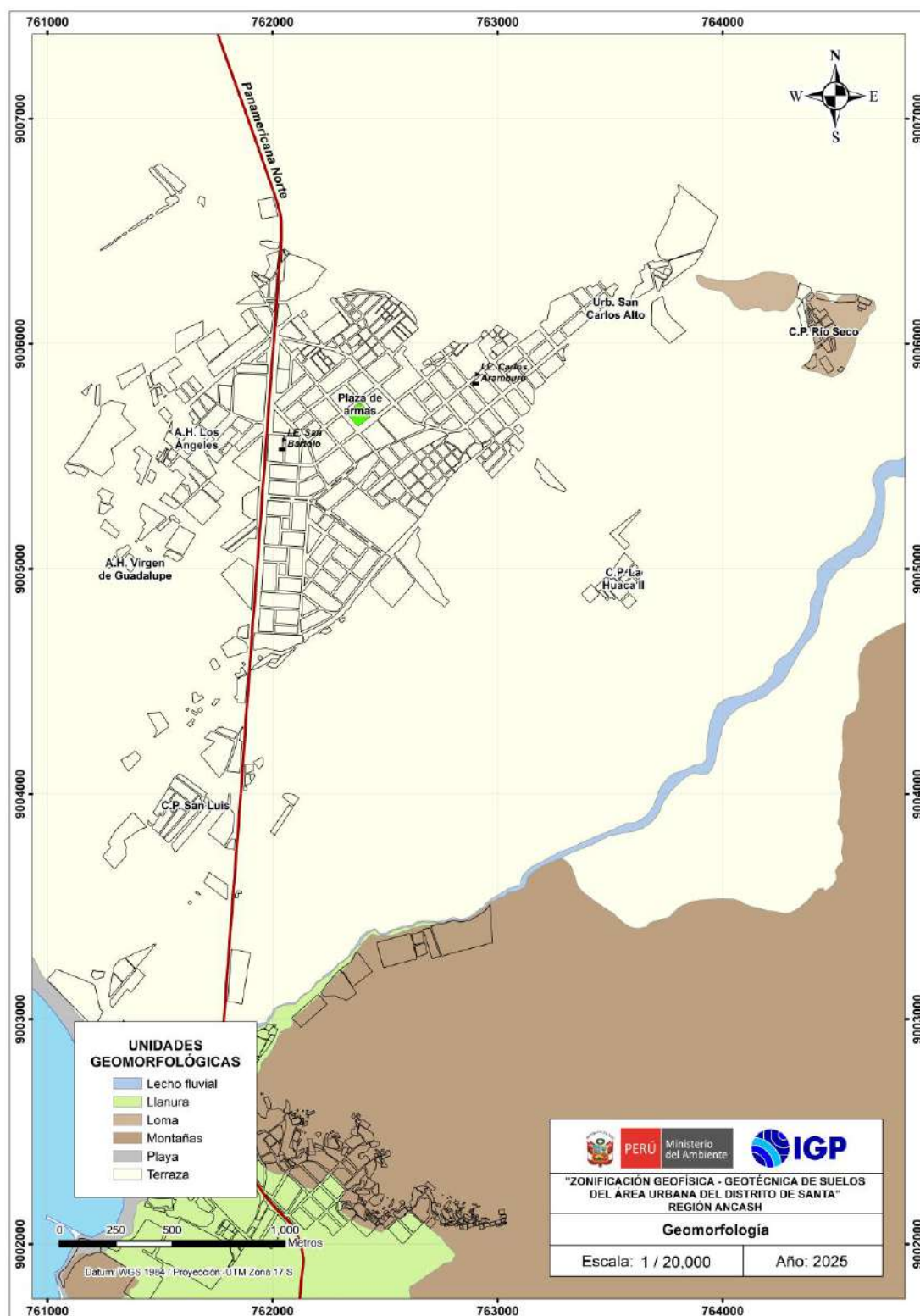


Figura 6. Mapa geomorfológico del área urbana del distrito de Santa, donde la población se asienta principalmente en la terraza fluvial.

Formación La Zorra (Ki-z): Consiste en rocas volcánicas de tipo andesita (color gris verdoso, con tonalidades plomas, ligeramente alterada, con fuerte meteorización diaclasamiento) que son intruidas por granodioritas y cubiertas por depósitos eólicos, este tipo de rocas afloran en el cerro Choloque y en su mayor dimensión en el sector Huamanchacate de la localidad de Coishco.

Batolito de la Costa - granodiorita: Constituida por rocas de tipo granodiorita y granito que conforman el substrato rocoso que incluye a la Formación La Zorra en el cerro Choloque ubicado hacia el extremo NE del centro urbano de Santa (Figura 7).

Depósitos aluviales (Qh-al): Consiste en materiales heterogéneos, tales como clastos de roca, grava, arenas y limos. Sobre estos depósitos se asientan a 2 kilómetros al SE del centro urbano, límite Coishco.

Depósito fluvial (Q-fl): Conformado mayormente por suelos gravosos, con elementos de diferentes diámetro y origen en matriz arenosa o areno-limosa. Estos materiales son transportados por la dinámica y evolución del cauce del río Santa (Figura 8).

Depósito marino (Q-m): Conformados por arenas de grano medio y gravas menores a 1" de diámetro, color gris, distribuidas a lo largo del litoral en el área urbana de estudio. Se han delimitado 2 kilómetros al Este del centro urbano.

Las unidades geológicas, antes descritas han sido cartografiadas en campo y representadas en el mapa geológico de la Figura 9.



Figura 7. Afloramiento de rocas intrusivas en el cerro Choloque



Figura 8. Depósitos fluviales en el valle de Santa.

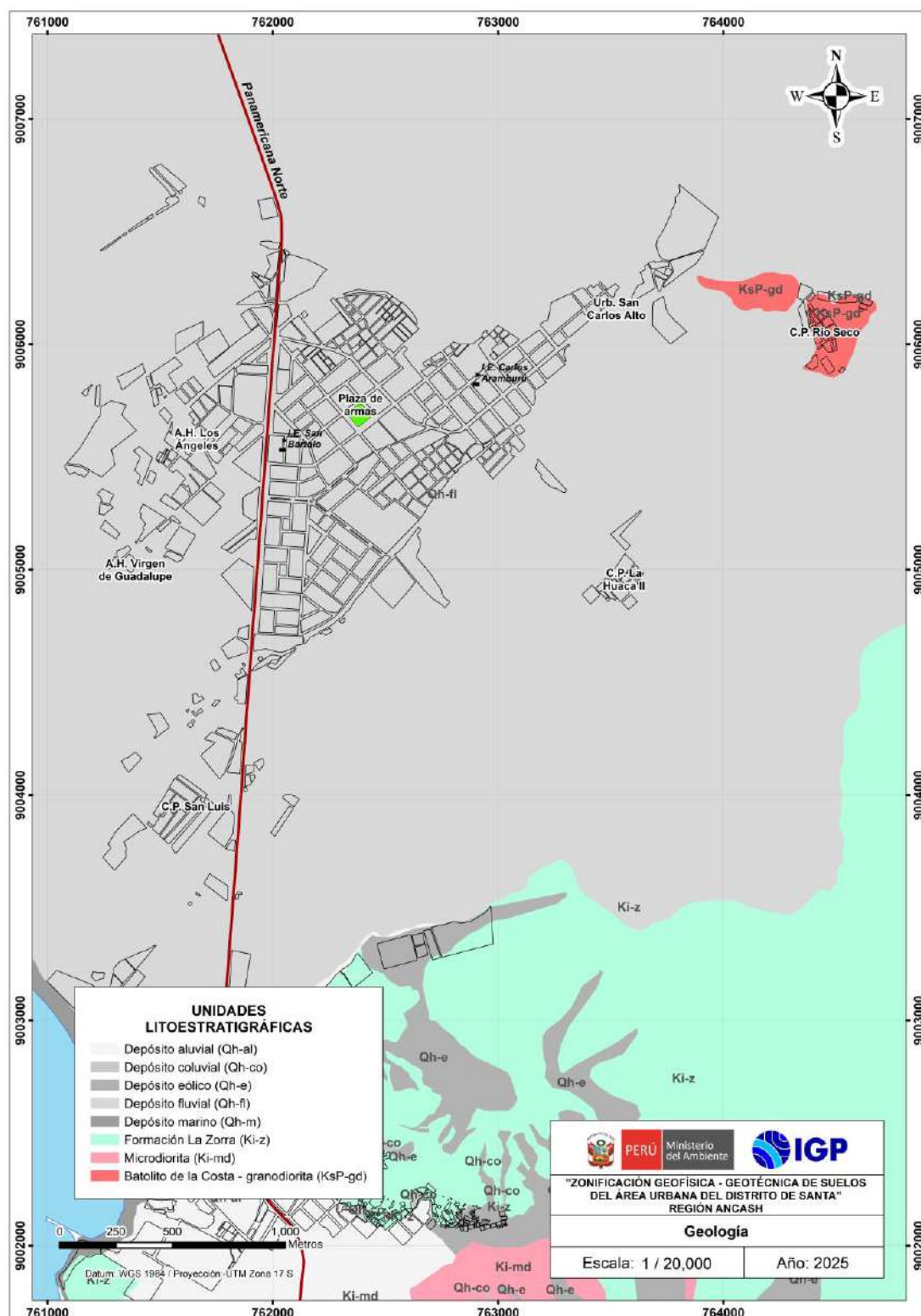


Figura 9. Mapa geológico del distrito de Santa

2.3. Geodinámica superficial

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 distrito de Santa, se identificaron zonas de inundación.

-Inundación fluvial y pluvial: Las inundaciones se originan por el desborde del agua, desde el cauce de los ríos o canales, debido al incremento del caudal por el aumento de precipitaciones, generando daños a los elementos expuestos. En este estudio, las zonas afectadas por inundaciones fueron identificadas hacia la margen izquierda del río Santa, donde se asienta el área urbana sobre una terraza aluvial.

En el año 2017, producto de las precipitaciones extraordinarias (fenómeno de El Niño), se generaron inundaciones que afectaron a los sectores Cruce de Santa y Javier Heraud, ubicados a 350 metros al NO y 800 metros al SO respectivamente, de la plaza de Armas de Santa, la inundación alcanzó alturas entre 0.20 y 0.50 metros (Figura 10). Asimismo, el desborde del canal Santa (Cruce de Santa) afecta el sector centro poblado Santa, entre el cruce del Jr. Río Santa, Av. Perú y la carretera Panamericana Norte, la inundación alcanza alturas entre 0.30 y 0.50 metros (Figura 11).

Finalmente, en la Figura 12 se presenta el mapa de geodinámica del área urbana de Santa, elaborado con la información recolectada en campo.



Figura 10. Sector Javier Heraud (cruce de calle Milagros con Panamericana) afectado por inundación pluvial.



Figura 11. Inundación por desborde del canal cruce Santa, delimitado por el polígono color azul.

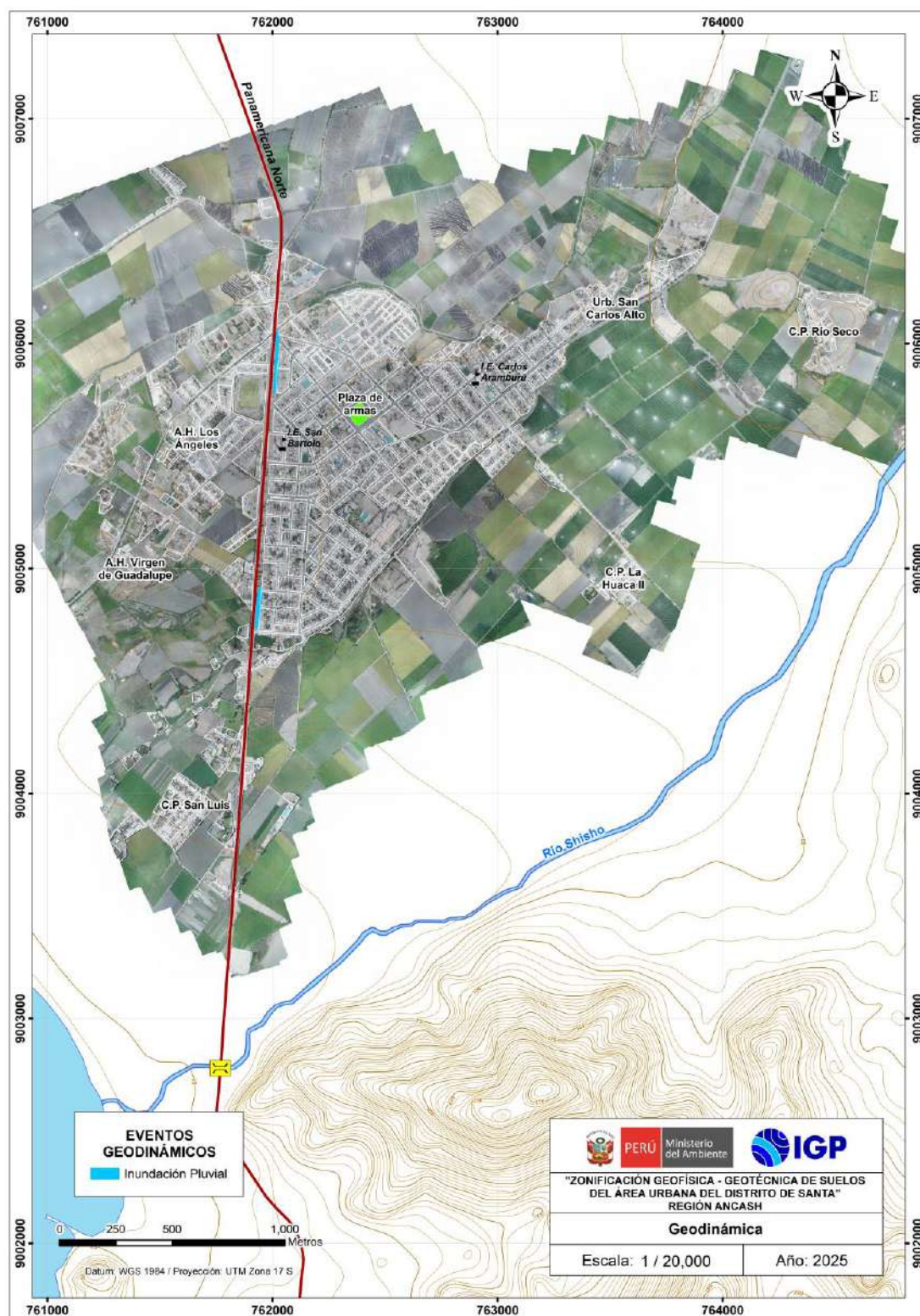


Figura 12. Mapa geodinámico del distrito de Santa.

2.4. Aspectos geotécnicos

Con la finalidad de obtener la información geotécnica de los suelos de cimentación en el área urbana de Santa, en coordinación con la Municipalidad de Santa, se ejecutaron exploraciones a cielo abierto (calicatas) y cortes directos para la clasificación de suelos (SUCS) y la estimación de la capacidad de carga admisibles de los suelos.

Para el análisis geotécnico, en el área urbana de Santa, se realizaron 05 calicatas, 07 posteos y 07 ensayos de penetración dinámica ligera (DPL), indicados en la Figura 13. Las muestras extraídas, se enviaron al laboratorio GSE Laboratorio, Ingeniería y Construcción, con la finalidad de determinar la composición granulométrica, plasticidad, corte directo y realizar el cálculo de la capacidad portante de los suelos de cimentación.

- Exploraciones a cielo abierto (calicatas, norma ASTM 420): En el área de estudio se realizaron 05 calicatas con profundidades de exploración de 2.2 metros, extrayendo muestras en bolsas herméticas con capacidad de 5 kilogramos. Las características físicas de las calicatas se muestran en la Tabla 4. La exploración geotécnica ha permitido identificar suelos conformados por limos, arena arcillosa, arcillas y arena mal graduada y zonas con presencia de nivel freático a una profundidad promedio de 1.60 metros, principalmente en las calicatas CS-04 y CS-05, ubicadas en el A.H. Los Ángeles y centro poblado San Luis.

-Exploraciones con posteadora manual: A fin de obtener muestras del suelo, se realizaron sondeos exploratorios (perforaciones) en suelos blandos (arcillas y arenas) hasta una profundidad de 5 a 6 metros. En cada uno de los ensayos se llevó a cabo una detallada descripción de los tipos de suelos encontrados y el contenido de humedad que presenta. Se evidenció la presencia de nivel freático superficial a 1.70 metros de profundidad en los posteos 2 y 4 ubicados en el extremo norte de área de estudio. La ubicación

de los posteos y resultados obtenidos se muestran en la Tabla 5; mientras que, el registro de perforaciones se describe en el Anexo 2.

Tabla 4: Ubicación de calicatas

CALICATA	COORDENADAS UTM		ELEVACIÓN (m s.n.m.)	PROFUNDIDAD (m)	PROF. DEL NIVEL FREÁTICO (m)
	ESTE (m)	NORTE (m)			
C-S 01	763445	9006015	42	3.00	N.P.
C-S 02	763621	9004943	30	2.50	2.50
C-S 03	762539	9005126	25	2.80	N.P.
C-S 04	761565	9005630	1	1.60	1.60
C-S 05	761554	9003743	-	1.60	1.60

Fuente: IGP, 2023. Dónde: N.P. = No presenta

Tabla 5: Ubicación de posteos y clasificación de suelos SUCS

POSTEO	COORDENADAS UTM		ELEVACIÓN (m s.n.m.)	PROFUNDIDAD (m)	TIPO DE SUELO (SUCS)	PROF. DEL NIVEL FREÁTICO (m)
	ESTE (m)	NORTE (m)				
Post - 01	763709	9006290	47	2.00	SM	N.P.
Post - 02	762676	9006034	23	1.80	CL	1.70
Post - 03	763242	9006175	26	2.10	CL	N.P.
Post - 04	761948	9006465	23	1.80	CH	1.70
Post - 05	762550	9005722	28	1.50	SM	N.P.
Post - 06	761849	9004514	19	2.20	SM	N.P.
Post - 07	761673	9005113	20	2.00	CH	N.P.

Fuente: IGP, 2023. Dónde: NP= No Presenta

-Ensayo de penetración dinámica ligera – DPL (Norma DIN 4094): El DPL es un equipo de campo de registro continuo dónde se contabiliza y registra el “N”, que es el número de golpes dados por un martillo de 10 kilogramos. Este martillo se deja caer por gravedad desde una altura de 0.50 metros, medida en la parte superior del tambor de acero, para

profundizar tramos cada 10 centímetros, a través de una punta cónica de 60° que se encuentra en el extremo inferior. Este ensayo permite estimar el ángulo de fricción de suelos específicos, que ayudarán a calcular mediante fórmulas empíricas la capacidad portante (resistencia al corte) de los suelos en kg/cm², además, se puede tener las propiedades de compacidad de los suelos.

En la Tabla 6, se indica la ubicación de los ensayos de penetración dinámica ligera (DPL) realizados en el área de estudio, el número de golpes y el ángulo de fricción interna calculado en base a los parámetros de compacidad (correlación del valor de N) establecida por Terzaghi y Peck 1984 y densidad relativa según la fórmula de Meyerhof (1956). La ficha del ensayo se adjunta en el Anexo 2 y el mapa de ubicación de ensayos geotécnicos en el área de estudio, en la Figura 13.

$$\phi = 25^{\circ} + 0.15 * Dr$$

Dónde:

ϕ = Ángulo de fricción interna Dr = Densidad relativa

Tabla 6. Ubicación de ensayos de penetración dinámica ligera (DPL) y parámetros obtenidos.

DPL	COORDENADAS UTM		ELEVACIÓN (m s.n.m.)	PROF. (m)	NÚMERO DE GOLPES	ϕ
	ESTE (m)	NORTE (m)				
DPL_01	763709	9006290	47	3.30	8	24.5
DPL_02	762676	9006034	23	3.30	15	27.5
DPL_03	761662	9005906	15	3.00	45	38.1
DPL_04	761942	9006468	23	2.80	45	29.0
DPL_05	762550	9005722	28	3.30	28	32.0
DPL_06	761945	9005725	20	3.30	37	34.3
DPL_07	761673	9005113	20	3.30	30	33.2

Fuente: IGP, (2023). Dónde: ϕ = ángulo de fricción interna

Los ensayos DPL alcanzaron una profundidad en promedio de 3.10 metros esta información permite inferir que los suelos del área urbana de Santa y anexos, presentan resistencia y correspondería a suelos constituidos por gravas.

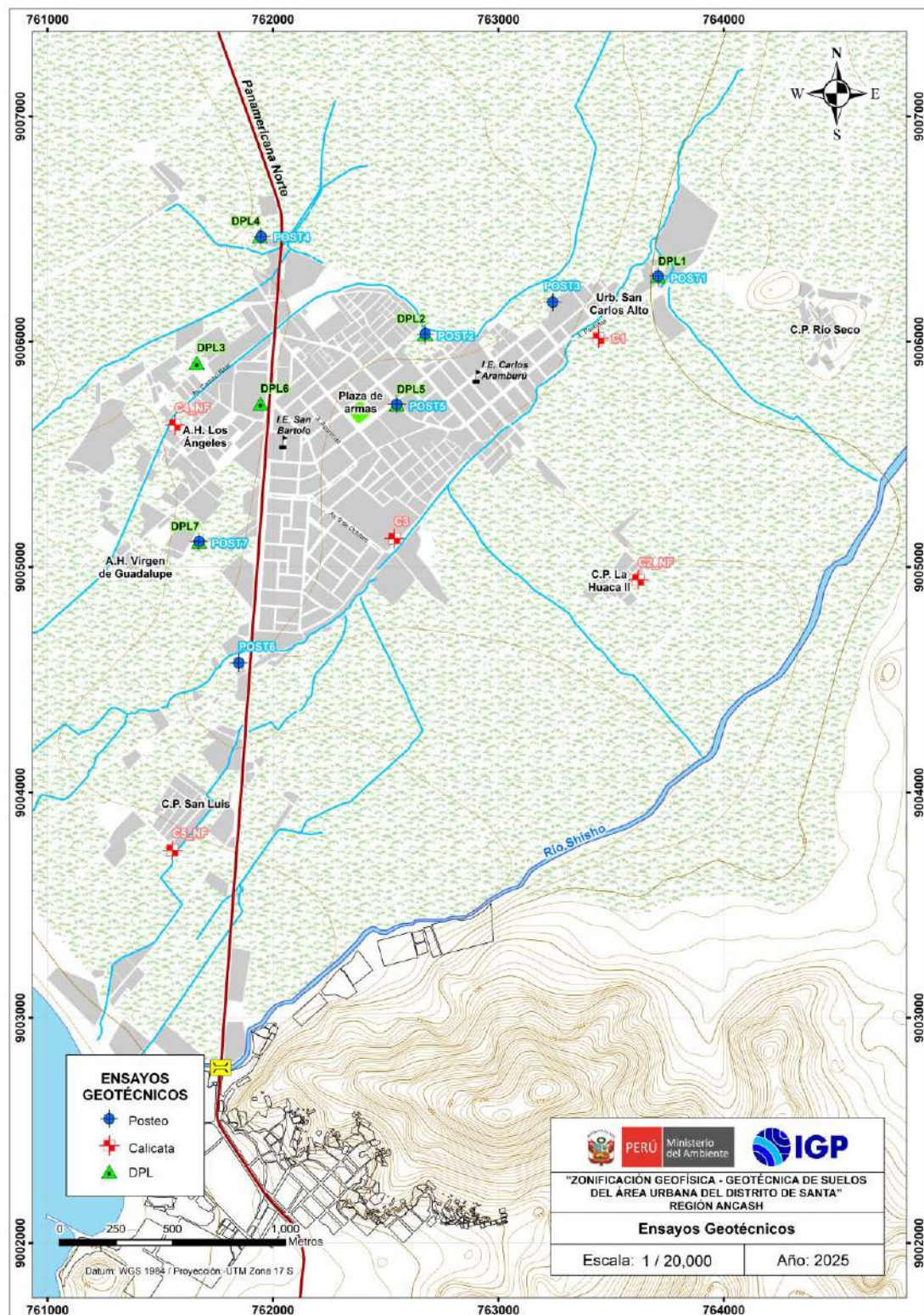


Figura 13. Mapa de ubicación de ensayos geotécnicos.

2.4.1. Clasificación de suelos (SUCS)

En base a la información recolectada de las calicatas y los resultados obtenidos de los ensayos granulométricos y de plasticidad, se han identificado, en el área urbana de Santa, 04 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 7 y Figura 14):

- **Suelo tipo SP:** Están conformados por arenas mal graduadas con grava, cuyo contenido de humedad es de 19.98%, constituyen suelos de compacidad media a suelta. Este tipo de suelo ha sido identificado hacia el sur del centro urbano de Santa, abarcando el 7% de la zona de estudio y hacia el sur de la plaza de Armas de Santa (calicata C-S 03).
- **Suelo tipo SM:** Están conformados por arena limosa mal graduada, cuyo contenido de humedad es de 14.46%, constituyen suelos de compacidad baja (suelta), no presenta plasticidad. Abarca el 40% de la zona de estudio y se identificaron en la plaza de Armas de Santa, en las inmediaciones del centro poblado San Luis (calicata C-S 05).
- **Suelo tipo SC:** Están conformados por arena arcillosas, cuyo contenido de humedad es de 17.52%, constituyen suelos de compacidad media. Abarca el 4% de la zona de estudio y se identificó en el sector La Huaca Etapa III (calicata C-S 02).
- **Suelo tipo CL:** Constituidos por arcillas con contenido de humedad entre 19.98% a 26.88%, constituyen suelos de compacidad media a alta, y presentan índice de plasticidad entre 9 a 18 (plasticidad media). Abarca el 49% de la zona de estudio y se han identificado en la Urb. San Carlos Alto, sector Los Angeles, A.H. Virgen de Guadalupe (calicatas C-S 01 y C-S 04).

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

Tabla 7: Clasificación SUCS de los suelos de Santa.

CALICATA	PROFUNDIDAD (m)	NIVEL FREÁTICO (m)	LÍMITE LIQUIDO (%)	LÍMITE PLÁSTICO (%)	ÍNDICE PLÁSTICO	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	CLASIFICACIÓN SUCS	DENOMINACIÓN
C-S 01	3.00	N.P	35	17	18	19.98	CL	Arcilla inorgánica de plasticidad media
C-S 01	2.50	2.50	20	6	14	17.52	SC	Arena arcillosa
C-S 03	2.80	N.P	25	N.P.	N.P.	1.19	SP	Arena pobremente gradada
C-S 04	1.60	1.60	26	17	9	26.88	CL	Arcilla inorgánica de plasticidad media
C-S 05	1.60	1.60	18	N.P.	N.P.	14.46	SM	Arena limosa

Fuente: IGP, 2023. Dónde: N.P. =No presenta

2.4.2. Capacidad de carga del suelo

En base a la información recolectada de las calicatas y los resultados obtenidos de los ensayos de corte directo, se determina la capacidad de carga portante del suelo.

-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).

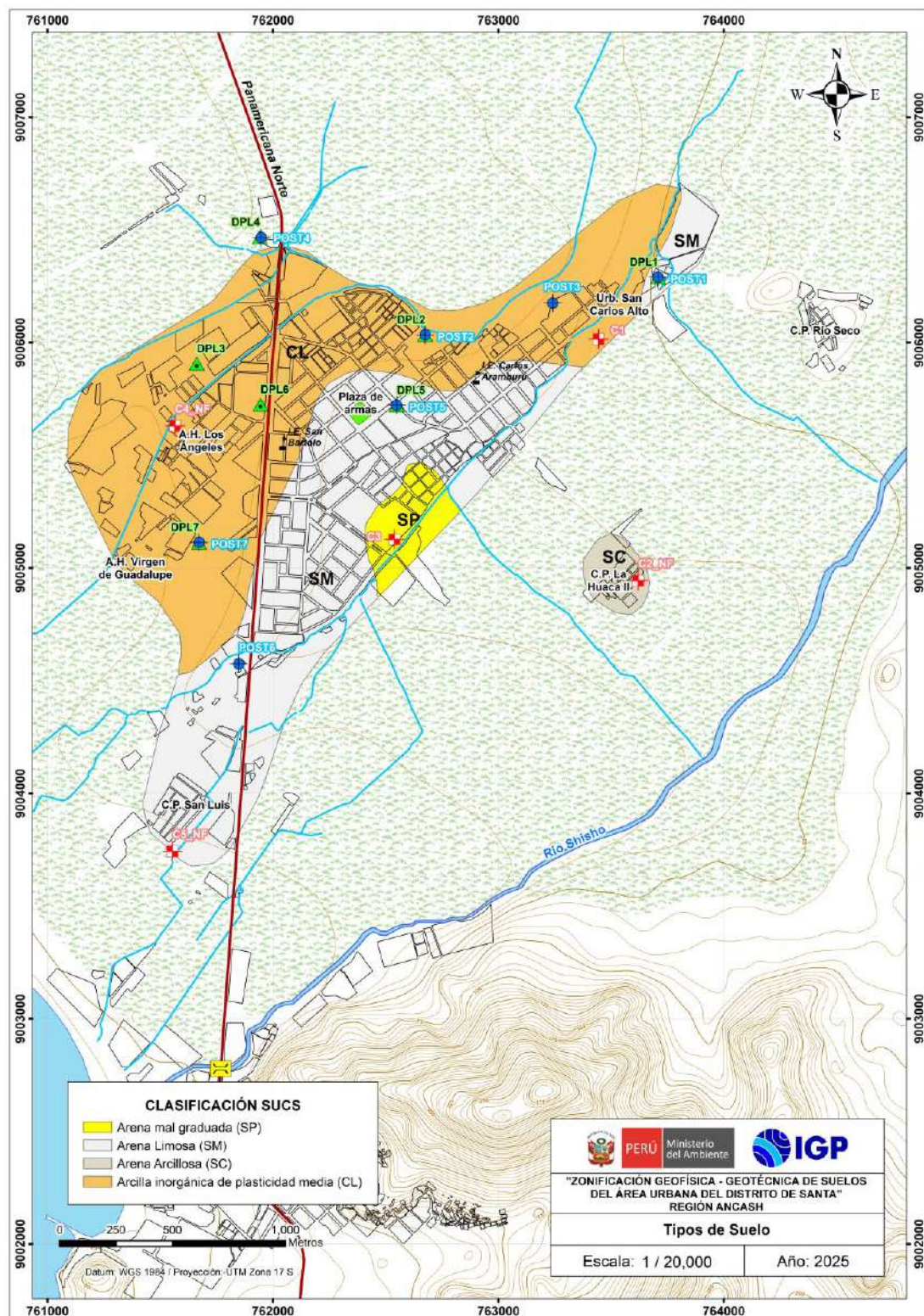


Figura 14. Mapa de clasificación de suelos SUCS para el área urbana de Santa.

Los valores finales de la capacidad portante de los suelos del área urbana de Santa están basados en datos de laboratorio de Mecánica de Suelos (Anexo de Geotecnia – Resultados de Laboratorio), corroborados con datos teóricos de los parámetros de ángulo de fricción y cohesión de Terzaghi e información de DPL realizados en campo, haciendo uso de las fórmulas de falla general o local, según el tipo de suelo.

-Capacidad de carga portante: Es la máxima presión ejercida por una cimentación transmitida a un suelo sin que se produzcan asentamientos excesivos, es decir, que la presión de la cimentación no sea mayor a la portante, manteniendo el mismo factor de seguridad especificado en la Norma E 0.50 de diseño de cimentación. Los resultados de capacidad de carga portante de las 05 muestras de suelos, se presentan en el Tabla 8.

Tabla 8. Capacidad de carga portante de cinco (05) muestras extraídas de los suelos del área urbana de Santa.

MUESTRA	Capacidad de carga última (kg/cm ²)	Capacidad de carga portante (kg/cm ²)	Falla de corte
C-S 01	2.81	0.94	Falla general
C-S 02	8.00	2.67	Falla general
C-S 03	1.44	0.48	Falla Local
C-S 04	2.18	0.73	Falla general
C-S 05	1.57	0.52	Falla Local
DIMENSIONES DE CIMENTACIÓN	Profundidad: 1.00 m y ancho: 1.00 m		

Fuente: Anexo de Geotecnia. Datos del ensayo de DPL y SPT corregidos.

Según los valores del ángulo de fricción corregido a partir del "N" de la correlación del "N" del DPL en función al del SPT y los datos de cohesión de los suelos obtenidos mediante el corte directo realizado en el laboratorio de Mecánica de Suelos, se determinó las capacidades portantes de los suelos investigados para los DPL que alcanzaron una profundidad de cimentación de 1.00 metro y ancho de 1.00 metro, Tabla 9.

Tabla 9. Capacidad de carga portante del suelo (criterio de falla general y local) en base al ángulo de fricción corregido del N del DPL vs SPT y cohesión obtenida del ensayo de corte directo.

ENSAYO	Capacidad de carga última (kg/cm ²)	Capacidad de carga portante (kg/cm ²)	Falla de corte
DPL-01	2.23	0.74	Falla general
DPL-02	2.29	0.76	Falla local
DPL-03	2.06	0.69	Falla general
DPL-04	2.03	0.68	Falla general
DPL-05	0.92	0.31	Falla local
DPL-06	3.49	1.16	Falla general
DPL-07	1.57	1.57	Falla general
DIMENSIONES DE CIMENTACIÓN	Profundidad: 1.00 m y ancho: 1.00 m.		

Fuente: IGP, 2023

Tabla 10. Rango de capacidad de carga admisible.

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

Según los resultados, indicados en la Tabla 10, se ha determinado que el área urbana de Santa, en su mayoría ha sido construida sobre suelos con capacidad de carga admisible que va desde muy baja a media. Ante ello, se ha realizado la siguiente clasificación:

- Capacidad de carga portante muy baja: Comprende rangos de capacidad de carga admisible menores a 1.00 kg/cm², se consideran suelos cohesivos con contenido de arenas de grano fino de compacidad muy suelta a suelta. Abarca el 95% de la zona de estudio, sobresaliendo en los sectores C.P. San Luis, A.H. Virgen de Guadalupe, Los Ángeles, La Plaza de Armas de Santa y Urb. San Carlos Alto.

- Capacidad de carga portante media: Comprende rangos de capacidad de carga admisible entre 2.00 – 3.00 kg/cm², se consideran suelos tipo arena arcillosa. Abarca el 7% del área estudiada. Sobre este tipo de suelos se asienta el área urbana de La Huaca III.

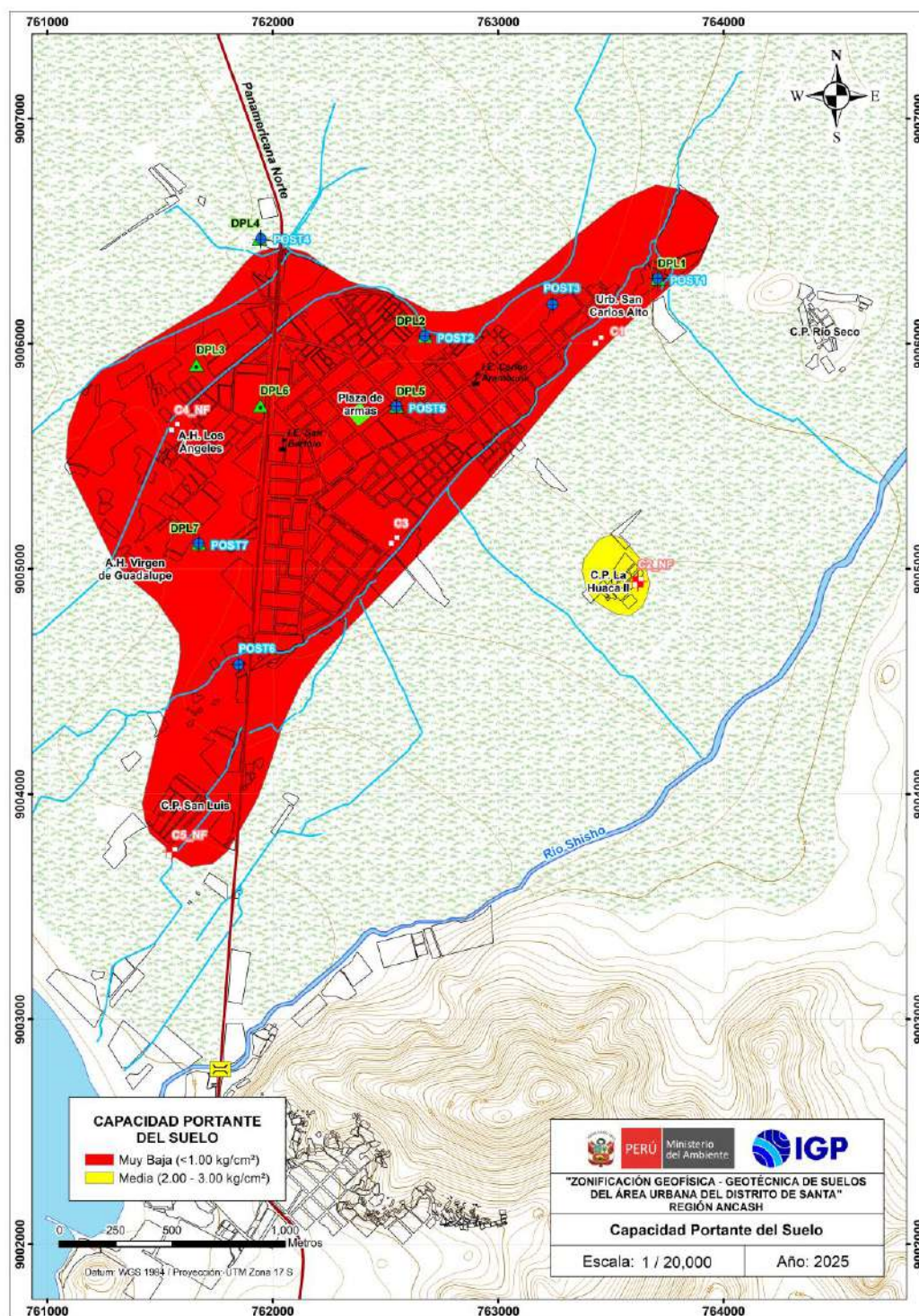


Figura 15. Mapa de capacidad de carga portante de los suelos de Santa.

Finalmente, en la Figura 15 se presenta el mapa de capacidad de carga portante del área urbana del distrito de Santa, elaborado con la información recolectada en campo.

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 distrito de Santa, se procede a aplicar diferentes métodos geofísicos, cuyos resultados se correlacionan entre sí y con los aspectos geo-ambientales de la zona de estudio.

A continuación, se describe cada método y se presenta los resultados obtenidos.

3.1. Método de Razones Espectrales – Vibración Ambiental

El método de razones espectrales (H/V) permite caracterizar la respuesta dinámica del suelo a partir del periodo de respuesta del suelo y en algunos casos, estimar su amplificación, ante la sollicitación sísmica. El método hace uso de registros de vibración ambiental que contienen información sobre las características físicas y dinámicas de los suelos en sus primeras decenas de metros por debajo de la superficie (Nakamura, 1989; SESAME, 2004). Asimismo, debemos 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.

3.1.1. Adquisición de datos

Para la adquisición de los registros de vibración ambiental, se utilizaron sensores Lennartz y registradores CityShark II (Figura 16). Cada registro presenta una duración de 15 minutos, lo cual permite disponer de buena cantidad de datos para su posterior análisis. En el área urbana del distrito de Santa, se ha recolectado en campo un total de 150 registros de vibración ambiental en puntos distribuidas de manera equidistante, tal como se observa en la Figura 17.



Figura 16. Equipo sísmico utilizado para el registro de vibraciones ambientales: sensor Lennartz (2N) y registradores CityShark II.

En la Figura 18, se muestra ejemplos de registros de vibración ambiental obtenidos en el punto SNT-90, ubicado próximo al centro poblado Rio Seco (extremo NE de área de estudio). Aquí se observa que la señal es estable; es decir, no está muy perturbada en comparación con la señal de SNT-13 que presenta mayor amplificación de la señal, con algunos saltos y/o picos de señal debido a que dicho punto, está ubicado sobre suelos con diferente consistencia o rigidez, permitiendo clasificarlos y a la vez zonificar el área de estudio en base a la respuesta sísmica del suelo

3.1.2. Procesamiento y análisis

Para aplicar la técnica de Razones Espectrales H/V, los registros de vibración ambiental fueron tratados por ventanas de 20 segundos, para luego calcularse FFT a fin de obtener espectros para cada componente de registro, para luego sumar las horizontales (H) antes de dividir las entre la vertical (H/V). Finalmente, en cada señal se procedió a identificar la

frecuencia predominante considerando un rango de interés que fluctúa entre 0.5 a 20 Hz y picos/rangos con amplificaciones relativas de al menos 2 veces. En la Figura 19, se observa los resultados obtenidos para el punto SA-70.

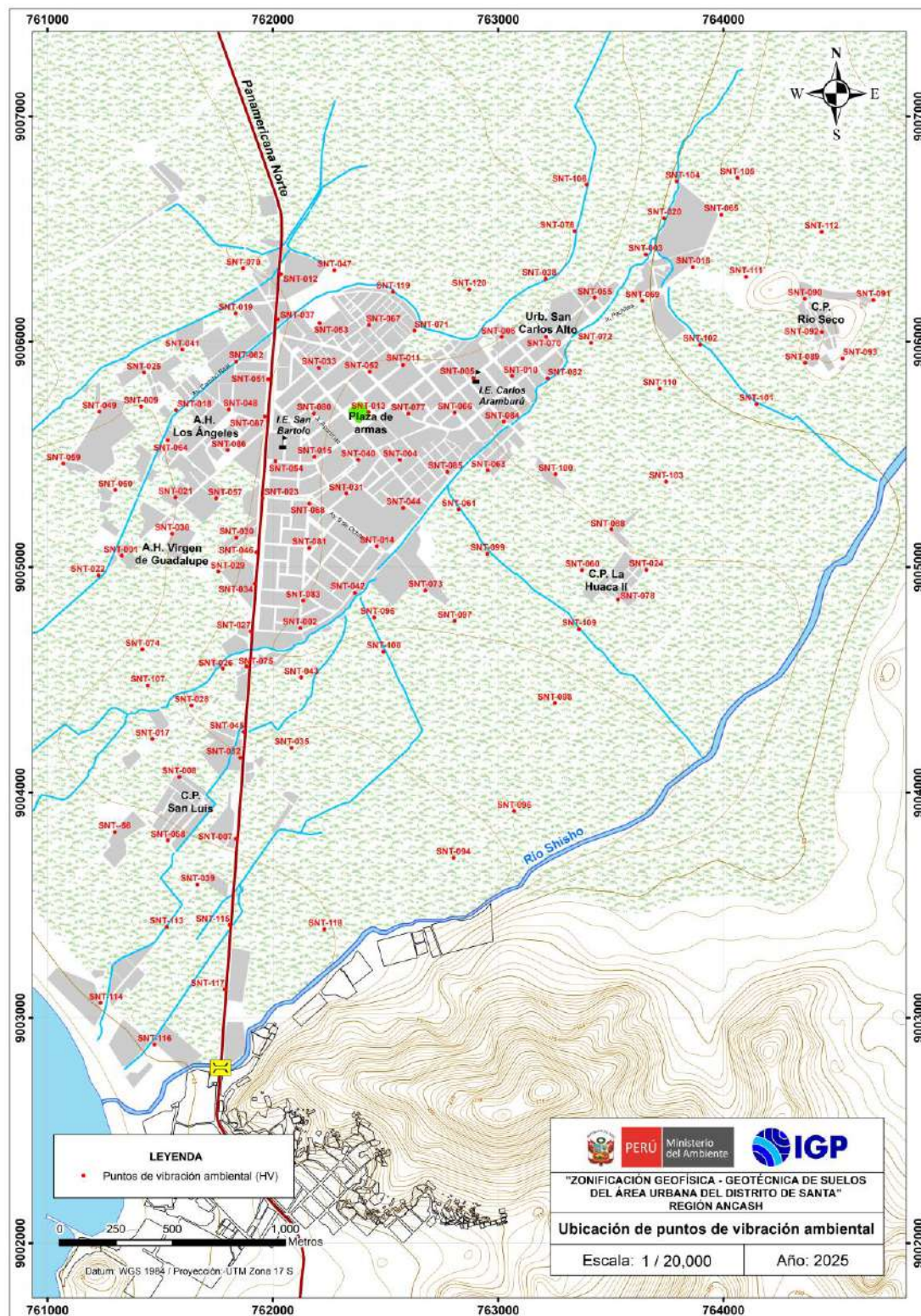


Figura 17. Distribución espacial de los puntos de registros de vibración ambiental, en el área urbana del distrito de Santa.

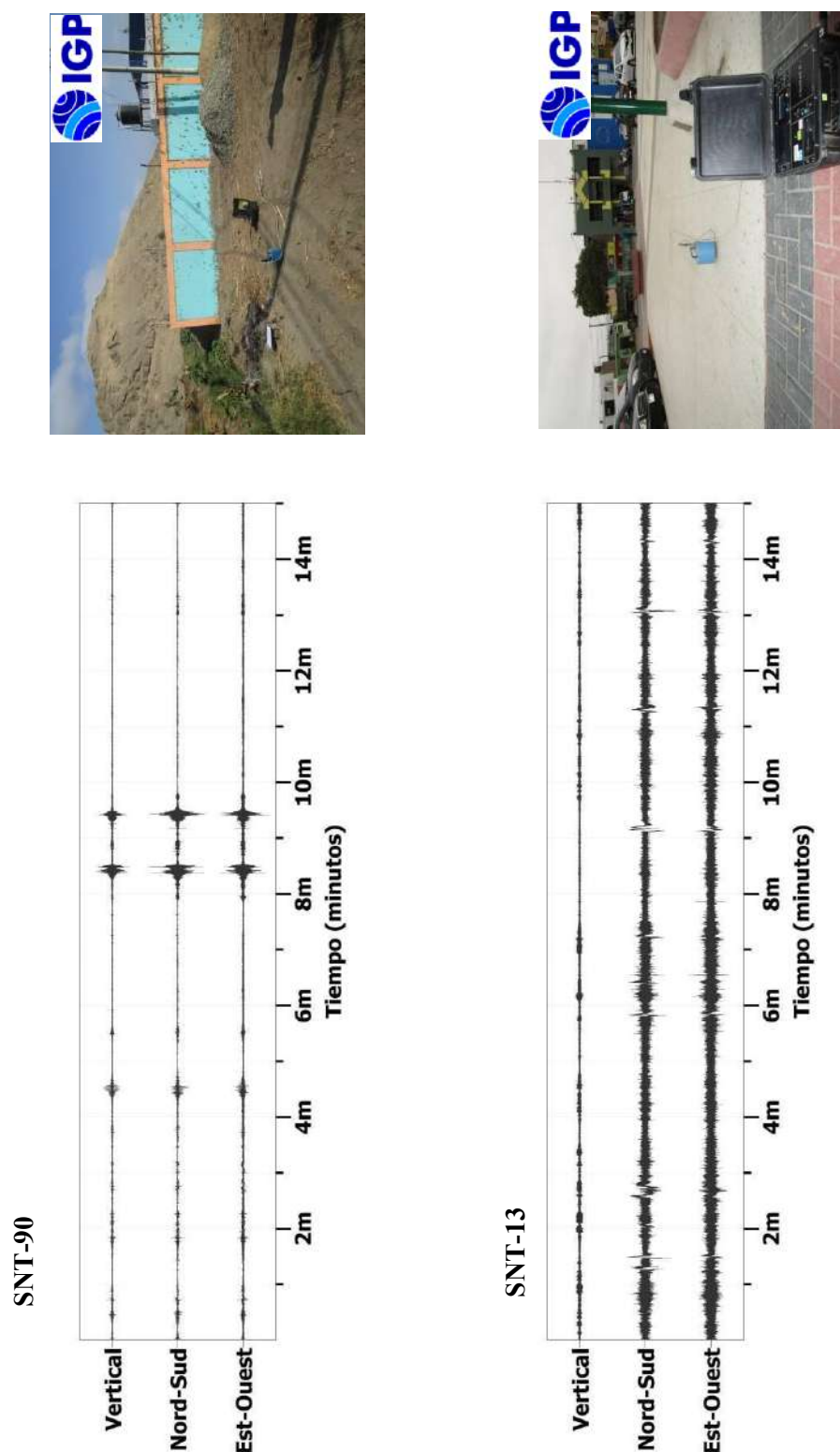


Figura 18. Ejemplos de registros obtenidos: al sur con ruido constante (SA-90) y en la plaza de Armas de Santa, con ruido transitorio (SNT-13). Obsérvese las diferentes amplitudes de la señal registrada en cada punto.

Para la interpretación de los resultados se considera que: 1) Las frecuencias predominantes menores a 1.0 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.

3.1.3. Resultados e interpretación

Los suelos del área urbana del distrito de Santa, responden a un rango de frecuencias, que fluctúa entre 1.0 y 10.0 Hz que corresponde a periodos de respuesta que fluctúa entre periodos de 0.1 y 1.0 segundos. En la Figura 20, se presenta la distribución espacial de los periodos dominantes de la respuesta del suelo de Santa, donde se observa que predominan periodos de 0.1 y 0.2 segundos y de manera sectorizada, se identifica periodos de 0.3 segundos hacia los extremos NE y SO del área de estudio. Adicionalmente, hacia su extremo Oeste, los suelos muestran sensibilidad a periodos de entre 0.5 y 0.7 segundos.

Asimismo, las mayores amplificaciones relativas se presentan en lugares próximos a los drenajes y terrenos de cultivo, en los extremos sur y norte, hacia el centro poblado San Luis, hacia la Urb. San Carlos Alto y centros poblados de Río Seco, San Luis, La Huaca II y A. H. Virgen de Guadalupe. Los suelos de la zona céntrica del distrito responden a un pico de frecuencia con bajas amplificaciones, evidenciando que los suelos son más estables; sin embargo, hacia el extremo SO del distrito se encuentran humedales y zonas de relleno, con presencia de suelos heterogéneos y poco consolidados, características que contribuyendo a las altas amplificaciones del suelo.

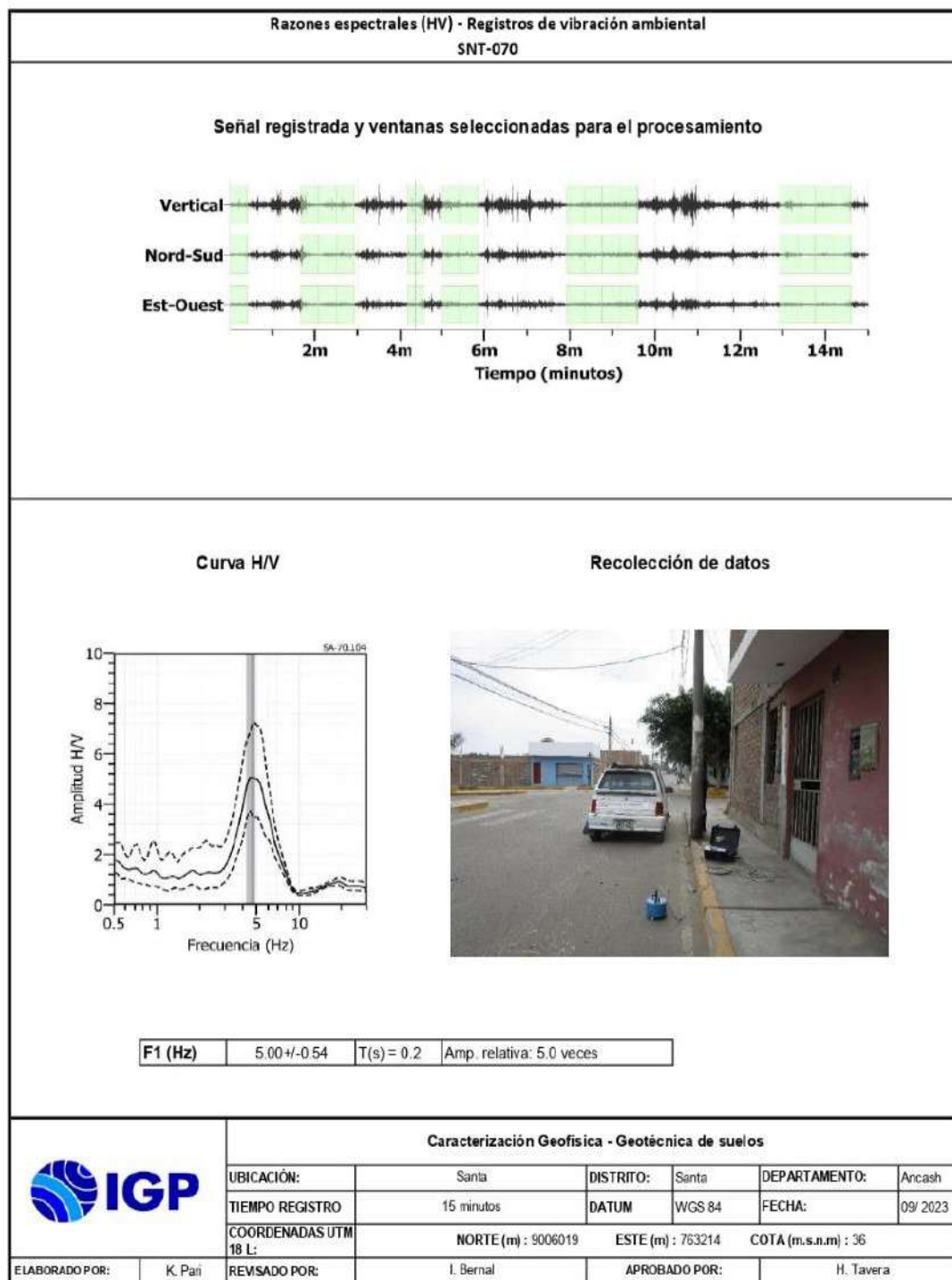


Figura 19. Resultados obtenidos con el método de razones espectrales (H/V) para el punto SNT-70. Arriba, la señal registrada y abajo la curva promedio de las razones espectrales (H/V) en línea gruesa y su desviación estándar en líneas discontinuas. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

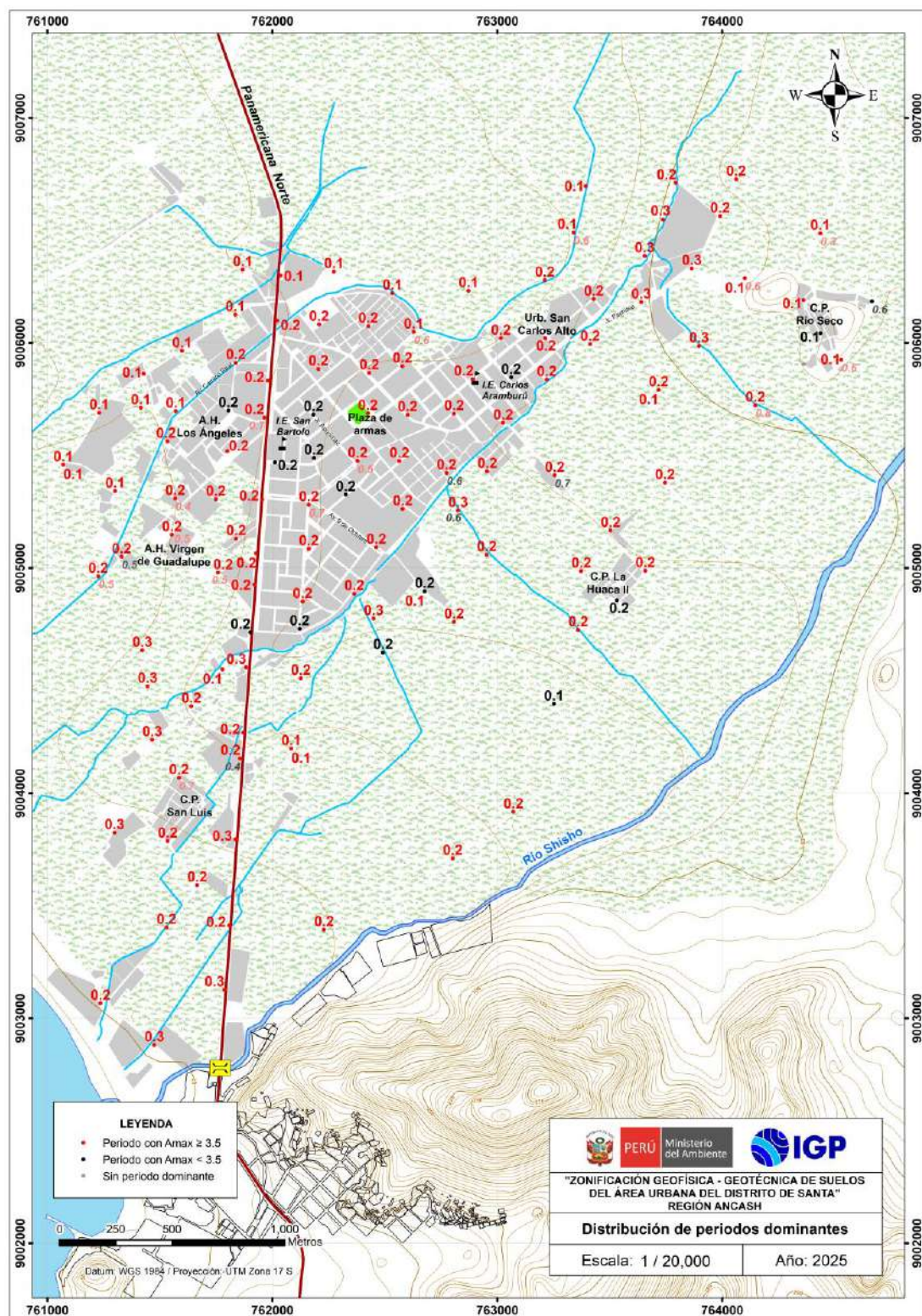


Figura 20. Distribución espacial de los periodos predominantes del suelo ($T_o \geq 0.1$ seg). Los valores en rojo, corresponden a puntos con amplificaciones mayores a 3.0 veces.

En la Figura 21, se muestra la distribución de las curvas de razones espectrales (H/V) representativas para 03 sectores identificados en el área de estudio:

-Sector A	Identificado al norte y noroeste del área de estudio, por el A.H. Los Ángeles y A.H. Virgen de Guadalupe, donde los suelos responden a periodos de 0.1- 0.3 y 0.5 - 0.7 segundos con amplificaciones de más de 3.0 veces. La forma de las curvas H/V, evidencian que el suelo al responder a dos rangos de periodos con altas amplificaciones, evidenciando que los suelos son heterogéneos con una respuesta dinámica compleja ante sismos.
-Sector B	Identificado en la zona céntrica, extremo sur y sureste del área de estudio, por la plaza de Armas de Santa, Urb. San Carlos Alto, centro poblado San Luis y extremo Sur del centro poblado La Huaca II, donde los suelos responden a periodos entre 0.1 y 0.3 segundos con amplificaciones de hasta 3.0 veces. La forma de las curvas H/V, evidencian que el suelo al responder a un rango de periodos con altas amplificaciones, son homogéneos, pero poco compactos a nivel superficial.
-Sector C	Identificado en el extremo noreste del área de estudio, por el centro poblado Rio Seco y extremo Norte del centro poblado La Huaca II, donde el suelo responde a periodos de 0.1 segundos con bajas amplificaciones. Evidenciando la presencia de suelos compactos.

Estos resultados evidencian que en el área urbana de Santa predominan suelos medianamente rígidos a blandos, cuyo espesor disminuye conforme se tiende hacia el extremo NE del área de estudio.

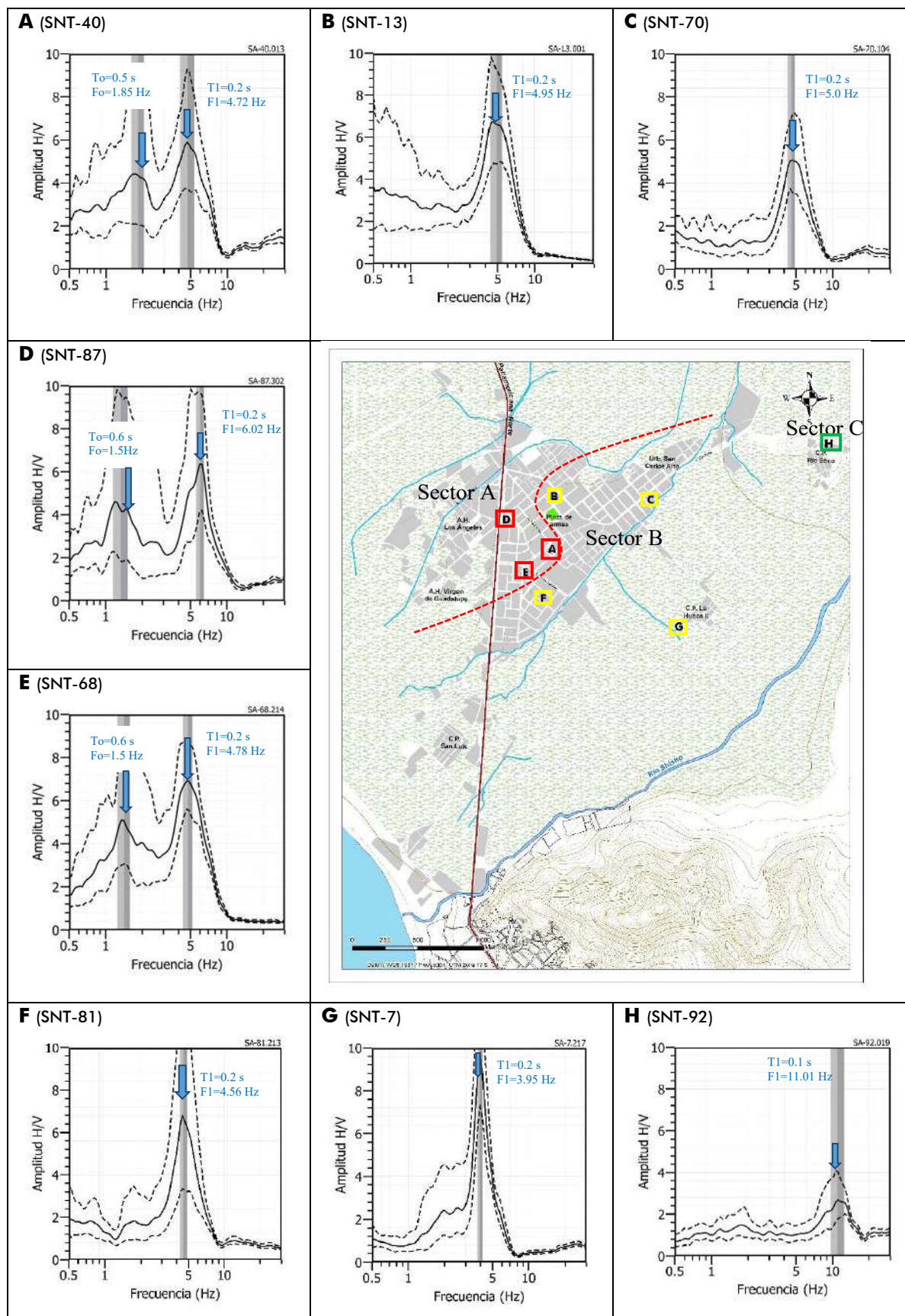


Figura 21. Razones espectrales obtenidas para los puntos de A hasta H, distribuidas en el área de estudio. Las flechas indican el periodo predominante de respuesta del suelo.

3.2. Métodos Sísmicos MASW-MAM

El ensayo de Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW) o sísmica activa (Park, 1999), permite determinar la estratigrafía del suelo bajo un punto; es decir, 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 generadas por una fuente de energía impulsiva y registrada por arreglos lineales de estaciones sísmicas.

El ensayo de Análisis Multicanal de Microtremores (MAM) o sísmica de Microtremores (Louie, 2001), es otro método para conocer la estructura del subsuelo a partir de la velocidad de ondas de corte, pero en este caso se hace uso de registros de ruido sísmico (vibración generada por la actividad humana), cuya contribución es principalmente en bajas frecuencias, lo que permite investigar a mayores profundidades. La combinación de los métodos MASW y MAM permite obtener información del subsuelo a niveles superficiales y en profundidad.

3.2.1. Adquisición de datos

Para la aplicación de los métodos sísmicos se ha utilizado un sismógrafo digital, modelo GEODE de Geometrics, 24 sensores o geófonos de baja frecuencia (4.5 Hz). Para el método MASW, se usó como fuente de impacto y/o energía para generar las ondas sísmicas, un martillo de 20 lbs (Figura 22) y para MAM el ruido ambiental. La geometría del tendido fue variable, estuvo en función de la geomorfología y accesibilidad a la zona de estudio.

En total se realizaron 08 líneas sísmicas de MASW-MAM, las coordenadas y características se observan en la Tabla 11 y su distribución en la Figura 23. La ubicación de los ensayos fue en función de las zonas de interés de acuerdo al reconocimiento hecho en campo, investigaciones o estudios previos.



Figura 22. Equipos utilizados en la adquisición de datos MASW – MAM, en la plaza de Armas de Santa.

3.2.2. Procesamiento y análisis

Para los ensayos MASW–MAM, los datos sísmicos recolectados 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 V_s en una dimensión (1D) para el punto central de la línea, ver Figura 24.

Tabla 11. Coordenadas y características de las líneas sísmicas MASW-MAM realizadas en el área urbana de Santa, codificadas como LS01-SNT, ..., LS08-SNT.

Línea Sísmica		Coordenadas UTM – WGS84		Cota (m .n.m.)	Espaciamiento entre geófonos (m)	Longitud total (m)
		Este (m)	Norte (m)			
1	LS01-SNT	763390	9006080	35	3	69
2	LS02-SNT	762372	9005718	27	3	69
3	LS03-SNT	761592	9005611	24	3	69
4	LS04-SNT	761564	9003805	26	3	69
5	LS05-SNT	763606	9004977	33	3	69
6	LS06-SNT	761378	9005092	20	3	69
7	LS07-SNT	762447	9005112	28	3	69
8	LS08-SNT	764428	9006043	43	3	69

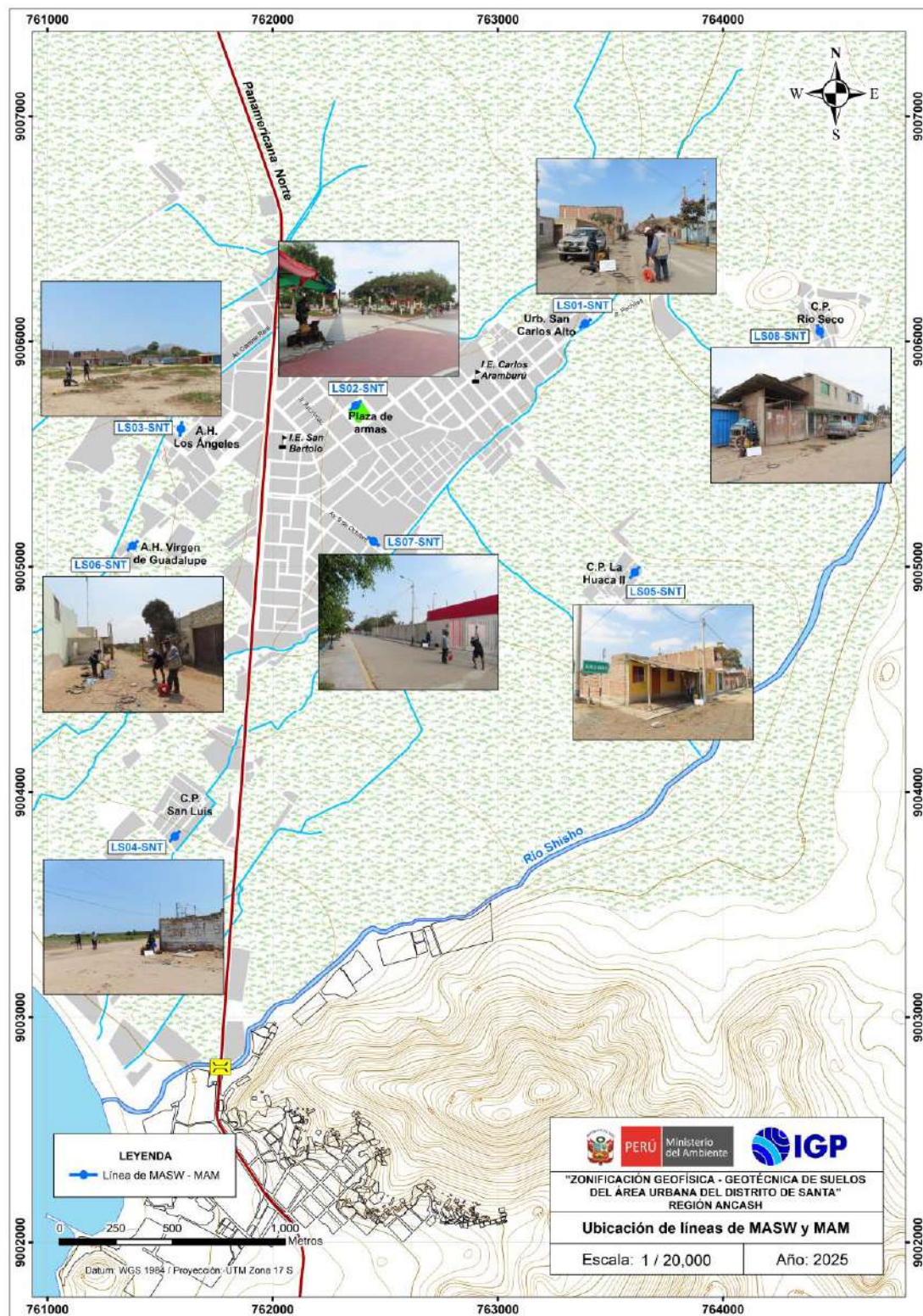


Figura 23. Distribución espacial de líneas de MASW - MAM, codificadas como LS01-SNT,..., LS08-SNT.

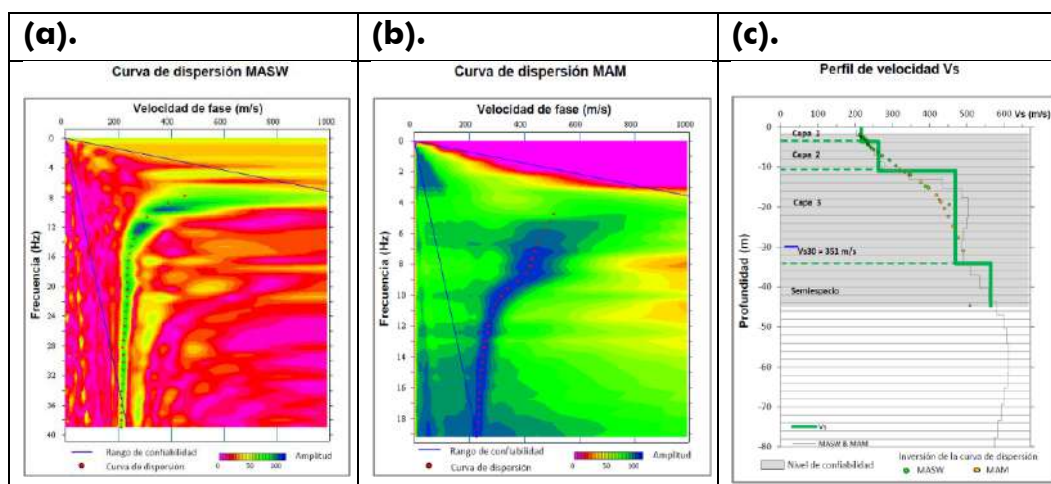


Figura 24. Curvas de dispersión obtenidas con los métodos de MASW (a) y MAM (b) y el perfil de velocidad obtenido a partir de la combinación de ambos métodos (c).

Para el análisis de los resultados obtenidos, se considera la clasificación de suelos adaptada a partir de la Norma de Diseño Sismorresistente (2018), tal como se muestra en la Tabla 12.

Tabla 12. Clasificación de los suelos en función de las velocidades de ondas de corte (V_s), según Norma E.030 (2018) adaptada para el área de estudio.

Clasificación de los perfiles de suelo			
N ^o	V_s (m/s)	Adaptación al área de estudio	
1	> 1500	Roca moderadamente dura a dura	
2	800 a 1500		
3	500 a 800	Suelos muy rígidos	
4	350 a 500	Suelos rígidos	
5	180 a 350	Suelos intermedios (medianamente rígido)	
6	< 180	Suelos blandos	

3.2.3. Resultados e interpretación

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 25, se presenta el perfil sísmico obtenido para la línea LS01-SNT y en el Anexo 3, para las líneas restantes.

Línea sísmica LS01-SNT: Ubicada en la Urb. San Carlos Alto, siendo la profundidad de resolución promedio del perfil de 46 metros. Este perfil

permite identificar la existencia de tres (3) capas sísmicas: La primera de 4 metros de espesor y velocidad V_s de 217 m/s correspondiente a suelos intermedios junto a la segunda capa de 7 metros de espesor y velocidad V_s de 263 m/s, ambos correspondiente a suelos medianamente rígidos; la tercera capa de 23 metros de espesor y velocidad V_s de 469 m/s corresponde a suelos rígidos; y el semiespacio, con velocidad $V_s > 564$ m/s, sugiere la presencia de suelos muy rígidos.

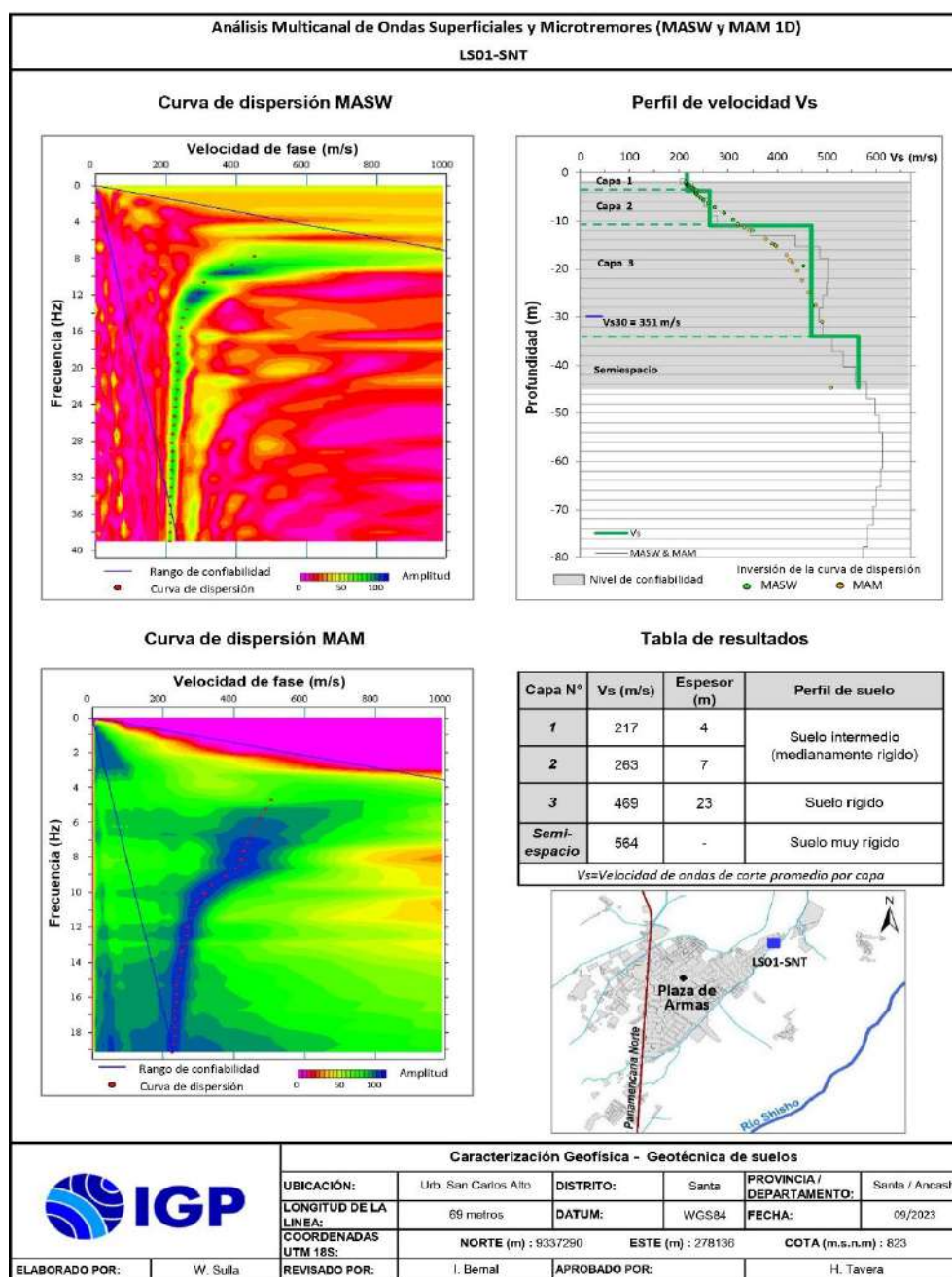


Figura 25. Resultados obtenidos con el ensayo MASW - MAM para la línea sísmica LS01-SNT.

En el Anexo 3, se describen los resultados obtenidos en el resto de líneas sísmicas realizadas en la zona de estudio.

En la Tabla 13, se resumen los valores de velocidad de ondas de corte (V_s) para cada uno de los perfiles de suelo obtenidos y teniendo en cuenta, lo indicado en la Tabla 12.

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

Superficie ▼		Profundidad							
Línea Sísmica	N° DE CAPA								VS30 (m/s)
	1		2		3		Semiespacio		
	Vs (m/s)	Esp. (m)	Vs (m/s)	Esp. (m)	Vs (m/s)	Esp. (m)	Vs (m/s)	Esp. (m)	
LS01-SNT	217	4	263	7	469	23	564	-	351
LS02-SNT	238	11	462	7	631	-	-	-	371
LS03-SNT	131	4	277	7	575	20	837	-	341
LS04-SNT	209	11	440	17	528	-	-	-	314
LS05-SNT	236	9	456	14	549	-	-	-	367
LS06-SNT	166	5	302	8	491	15	568	-	326
LS07-SNT	260	11	414	9	568	20	730	-	363
LS08-SNT	262	4	412	7	1095	-	-	-	620
<div><div></div><div>Suelo blando ($V_s < 180$ m/s)</div><div></div><div>Suelo intermedio - medianamente rígido (180 - 350 m/s)</div><div></div><div>Suelo rígido(350 - 500 m/s)</div><div></div><div>Suelo muy rígido (500 - 800 m/s)</div><div></div><div>Roca moderadamente dura a dura ($V_s > 800$ m/s)</div></div>									

En el área urbana del distrito de Santa, se ha identificado el predominio de suelos medianamente rígidos ($V_s=209$ a 260 m/s) de 4 metros de espesor por el centro poblado Río Seco y de hasta 11 metros por la plaza de Armas, la Urb. San Carlos Alto, centro poblado La Huaca II, la Av. 9 de Octubre y hacia el extremo SO del centro poblado San Luis; a diferencia de lo obtenido hacia el extremo oeste del área de estudio (por los Ángeles y A.H. Virgen de Guadalupe), donde los suelos medianamente rígidos se extiende por debajo de los suelos blandos ($V_s=131$ a 166 m/s y espesores de 4 a 5 metros) con espesores de 7 a 8 metros, tal como se observa en los ensayos realizados por la plaza de Armas (Figura 26). Por debajo se ha identificado una capa

de suelo con rangos de velocidad V_s entre 412 y 491 m/s que corresponde a materiales rígidos con espesores entre 7 y 23 metros.

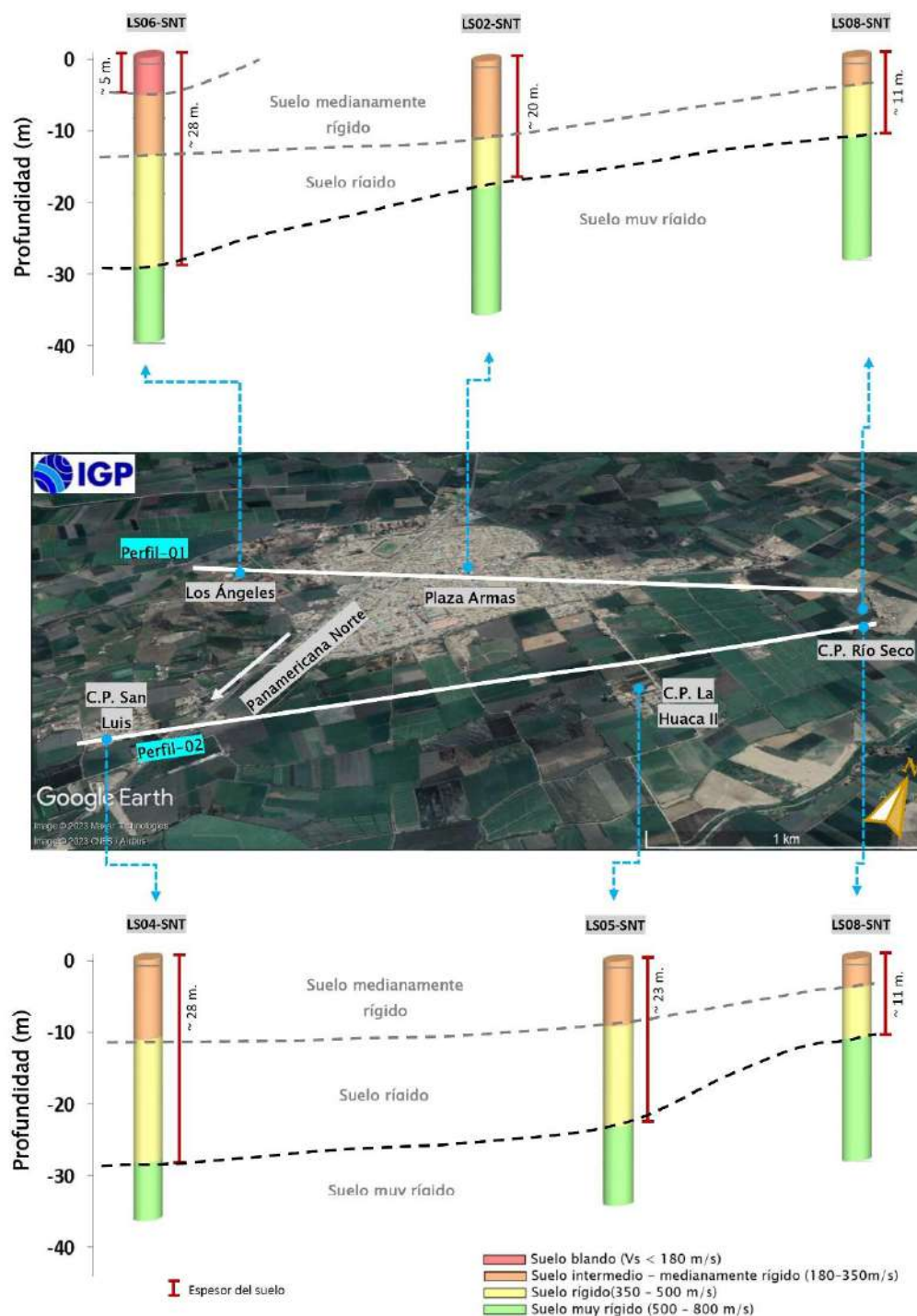


Figura 26. Resultados de MASW-MAM ubicados a lo largo de los perfiles 01 y 02, muestran la disposición de las capas de suelos identificados en el distrito de Santa.

La suma de los espesores de los suelos blandos, medianamente rígidos y rígidos varían de 11 a 34 metros para el área de estudio. Los menores espesores se identifican hacia el extremo NE del área de estudio, por el centro poblado Río Seco y donde geológicamente se observa un cerro formado por rocas andesíticas e intercaladas con calizas silicificadas. Estos suelos incrementan su espesor en dirección SO, con un total de 28 metros de espesor por el centro poblado San Luis y A.H. Virgen de Guadalupe. En conjunto, estos suelos cubren a suelos muy rígidos y a roca moderadamente dura ($V_s=528$ a 1095 m/s).

Para el área de estudio, la velocidad de las ondas sísmicas en promedio hasta los 30 metros de profundidad - V_{s30} calculado, que fluctúan entre 314 y 341 m/s corresponde a suelos Tipo S3 (suelos medianamente rígidos), identificados en el extremo oeste del área de estudio; entre 351 y 371 m/s corresponde a suelos Tipo S2 (suelos rígidos) identificados por la plaza de Armas y alrededores. Además, se obtuvieron velocidades de 620 m/s que corresponde a suelos Tipo S1 (suelos muy rígidos) identificados hacia el extremo noreste del área de estudio.

3.3. Método de Resistividad Eléctrica

El método de Resistividad Eléctrica - ERT (Orellana, 1982), permite determinar las variaciones de resistividad y conductividad eléctrica de las rocas y suelos para conocer su contenido de humedad o el nivel freático en su estructura. En general, los materiales que conforman el suelo muestran diversos rangos de valores de resistividad (ρ) que dependen principalmente de la porosidad del suelo, conductividad de las partículas y del contenido de agua o de sales disueltas en las fracturas de las rocas.

3.3.1. Adquisición de datos

Los datos recolectados en campo corresponden al registro de valores de

resistividad obtenidos en 06 líneas de ERT utilizando un equipo de Resistividad / IP Syscal Pro (Figura 27). Asimismo, en la Figura 28 se presenta su distribución espacial y en la Tabla 14 las características de las líneas ERT realizadas en el área urbana del distrito de Santa.



Figura 27. Equipos utilizados en la adquisición de datos ERT.

Tabla 14. Coordenadas y características del ensayo ERT realizados en Santa.

Línea Eléctrica	Coordenadas UTM – WGS84		Cota (m s.n.m.)	Espaciamiento entre electrodos (m)	Longitud total (m)
	Este (m)	Norte (m)			
LE01- SNT	763512	9006102	47	10	200
	763334	9006012	45		
LE02- SNT	762227	9005632	39	10	200
	762351	9005482	40		
LE03- SNT	761683	9005790	30	10	200
	761539	9005656	30		
LE04- SNT	761375	9003928	29	10	200
	761513	9003792	28		
LE05- SNT	763557	9005095	44	10	2002
	763683	9004951	43		
LE06- SNT	761433	9005133	27	10	180
	761304	9005022	30		

3.3.2. Procesamiento y análisis

Para el procesamiento de los datos recolectados en campo, fue necesario realizar la corrección por efectos de topografía usando algoritmos de inversión propios de métodos geoeléctricos y de procesamiento de imágenes.

Asimismo, para la interpretación de los resultados se debe tener en cuenta que son varios los factores que influyen en las propiedades físicas de los suelos (grado de saturación, porosidad y forma del poro, salinidad del fluido, tipo y composición de la roca, temperatura, procesos geológicos que afectan a los materiales); es decir, el incremento de fluidos en el terreno se verá reflejado por una disminución en los valores de resistividad. En la Tabla 15, se presentan algunos valores de resistividad relacionados con los diferentes tipos de suelos y rocas.

Tabla 15. Valores representativos de resistividad (modificado de UNC, 2000).

*MATERIAL	RESISTIVIDAD (ohm-m)
Arcillas saturadas	5-20
Arcillas no saturadas	20-40
Limos saturados	20-100
Limos no saturados	100-200
Arenas saturadas	100-200
Arenas no saturadas	400-700
Grava saturada	300-500
Grava no saturada	500-2000
Roca fracturada saturada	100-2000
Roca fracturada	1500-5000
Roca sana	>5000

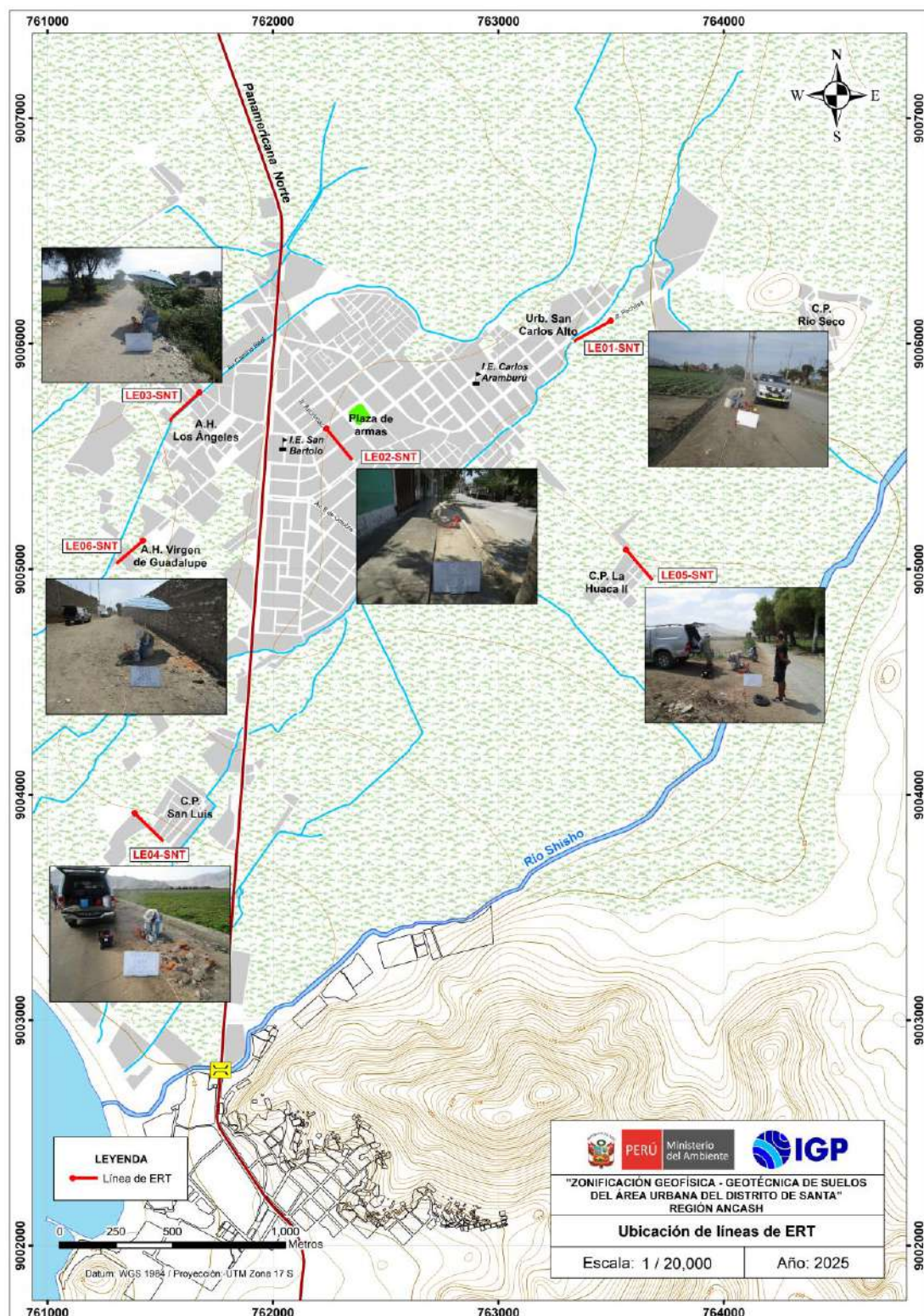


Figura 28. Distribución espacial de las líneas de ERT codificadas como LE01-SNT, ... LE06-SNT en el área urbana del distrito de Santa.

3.3.3. Resultados e interpretación

A continuación, se describen las características observadas en las secciones geoeléctricas con resolución de hasta los 40 metros de profundidad. En la Figura 29, se presenta la sección obtenida para la línea LE01-SA y en el Anexo 3, para las secciones restantes.

Sección geoeléctrica LE01-SNT: Realizada en la Urb. San Carlos Alto (Jr. Pachitea) sobre una longitud de 200 metros y en dirección NE-SO. En esta sección se ha identificado el predominio de materiales con alto contenido de humedad ($< 80 \text{ Ohm-m}$), con espesores de 40 metros. Además, en superficie se presenta una anomalía con mayor concentración de humedad y espesores de 2 a 10 metros a la altura del canal de regadío que cruza la sección geoeléctrica.

Sección geoeléctrica LE02-SNT: Realizada en el Jr. Apurímac sobre una longitud de 200 metros y en dirección NO-SE. En esta sección se ha identificado la presencia de dos horizontes geoeléctricos: El primer horizonte, presenta alto contenido de humedad ($< 80 \text{ Ohm-m}$), espesores de hasta 20 metros a la altura del Jr. Maraón. El segundo horizonte, presenta de moderado a bajo contenido de humedad ($80 \text{ a } 300 \text{ Ohm-m}$), espesores de 5 a 15 metros, presentando el mayor espesor al inicio de la sección (extremo NO).

En el Anexo 3, se describen los resultados obtenidos en el resto de secciones geoeléctricas.

De acuerdo a los resultados obtenidos en las secciones de tomografía eléctrica para el área urbana del distrito de Santa, se ha identificado la presencia de suelos húmedos y/o saturados con las siguientes características:

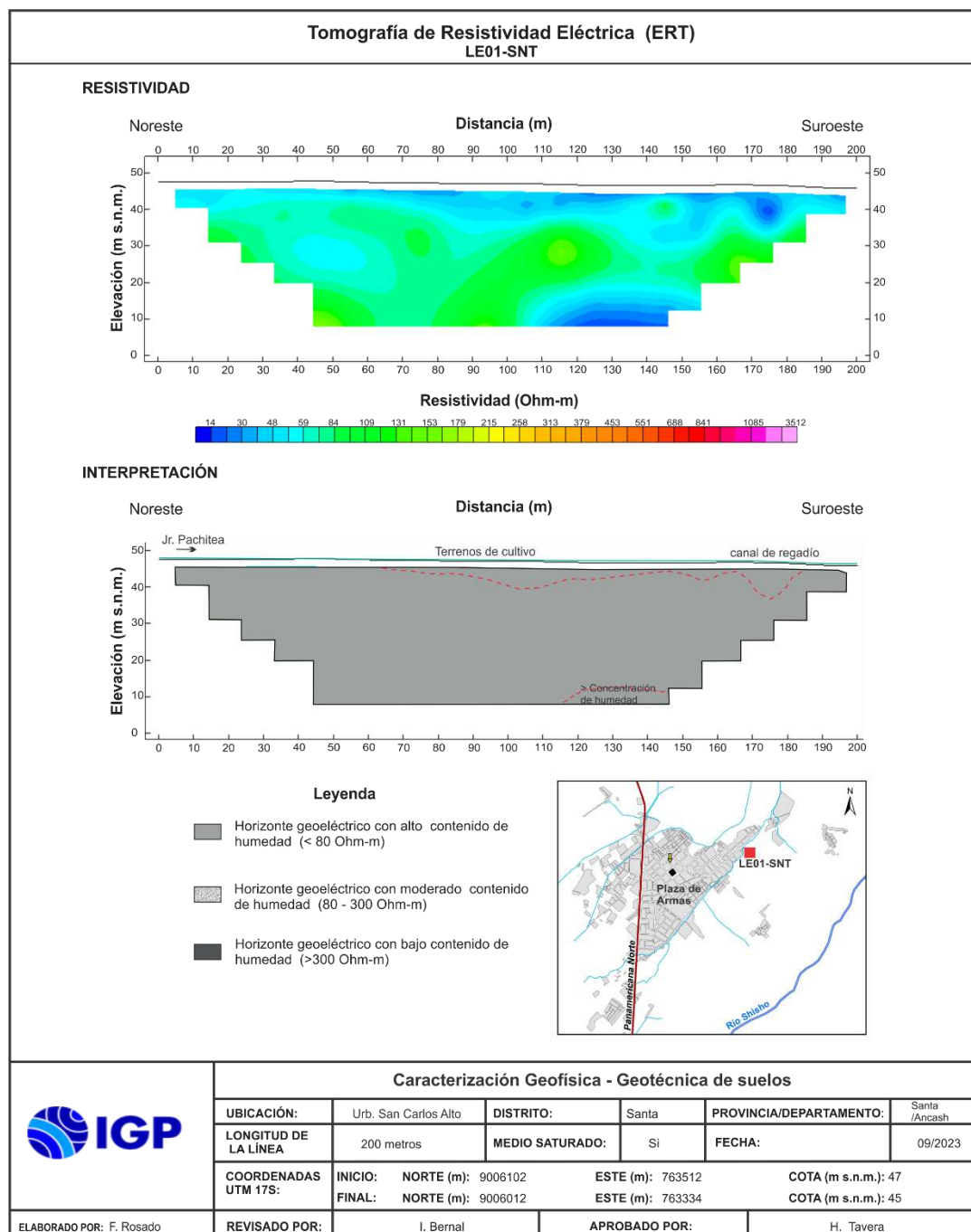


Figura 29. Resultado de tomografía de resistividad eléctrica para la línea LE01-SNT.

- Hacia el extremo este del área de estudio (Urb. San Carlos y el centro poblado La Huaca II), se ha identificado la presencia de un horizonte, con alto contenido de humedad con espesores de hasta 40 metros (Figura 30, LE01-SNT, LE05-SNT), lo cual se debería a la gran presencia de drenajes no revestidos y a la existencia de pozos de agua próximos al centro poblado La Huaca II y al río Shisho.

- En la zona central (plaza de Armas) se ha identificado la presencia de dos horizontes, el primero con alto contenido de humedad y espesores de 10 a 20 metros y el segundo horizonte con moderado a bajo contenido de humedad y espesores que alcanzan los 15 metros a mayor profundidad (Figura 30, LE02-SNT).

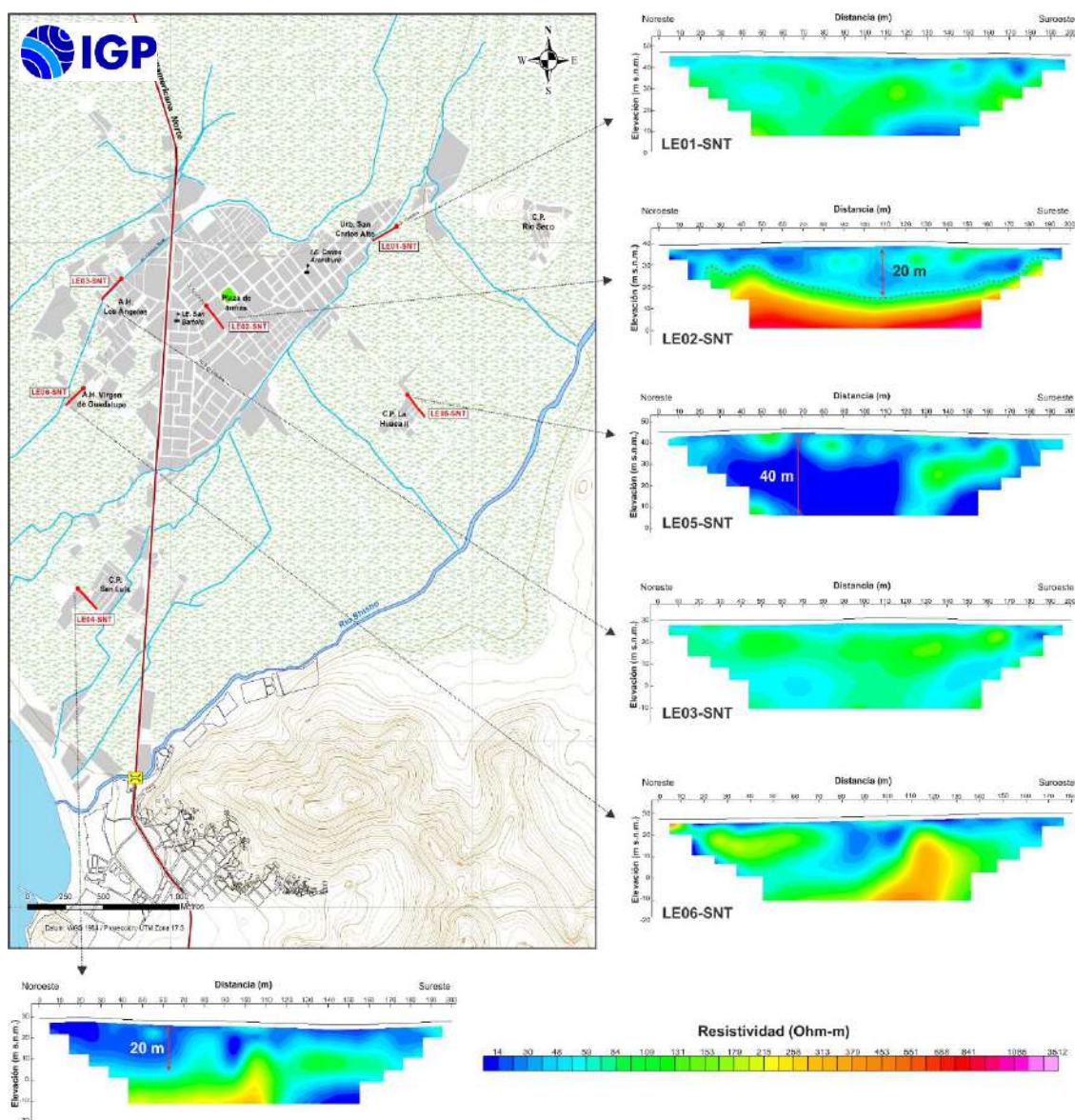


Figura 30. Ubicación de las líneas de tomografía eléctrica LE01-SNT, LE02 SNT, LE03- SNT, LE04- SNT, LE05- SNT y LE06- SNT. Las bajas resistividades (<80 Ohm.m), indican la presencia de mayor contenido de humedad.

- Hacia el extremo oeste del área de estudio (A.H. Los Ángeles, centro poblado San Luis, A.H. Virgen de Guadalupe), se ha identificado la presencia de dos horizontes. El primero con alto contenido de humedad y espesores de 20 a 40 metros. El segundo horizonte, presenta moderado contenido de humedad con espesores de hasta 30 metros (Figura 30, LE03-SNT, LE06- SNT y LE04- SNT), lo cual se debería a la gran presencia de drenajes no revestidos, como el que sigue por la Av. Camino Real.

4. ZONIFICACIÓN GEOFÍSICA - GEOTÉCNICA

La caracterización física y dinámica del suelo en el área urbana del distrito de Santa, fue realizada con la información obtenida con la aplicación de métodos geofísicos y su correlación con la información geológica y geotécnica

4.1. Caracterización física y dinámica de suelos

El área urbana de Santa se encuentra ubicada a una altura promedio de 6 m s.n.m., se emplaza sobre depósitos aluviales y fluviales que fueron arrastrados por los ríos Shisho y Santa, y presenta una topografía relativamente llana con ligeras elevaciones a una altura promedio de 60 a 90 m s.n.m. en las localidades de San Juanito, Santa Rosa y centro poblado Río Seco; mientras que, hacia San Luis y Huaca III, se encuentra a una elevación promedio de 30 a 40 m s.n.m.

Los suelos del área urbana de Santa responden predominantemente a periodos de 0.1 a 0.2 segundos que se distribuyen de manera uniforme sobre todo el área de estudio y hacia el extremo norte y noroeste del área de estudio, adicionalmente sobresale un segundo rango de periodos que varía entre 0.5 y 0.6 segundos. Y de manera local, en sectores del centro poblado Río Seco y extremo norte del centro poblado La Huaca II, los suelos responden a periodos de 0.1 segundos. La presencia de dos rangos de periodos con altas amplificaciones evidencia una dinámica compleja. Para una mejor descripción el área de estudio se divide en 4 sub áreas (Figura 31).

A continuación, se realiza un análisis por sectores de los resultados obtenidos:

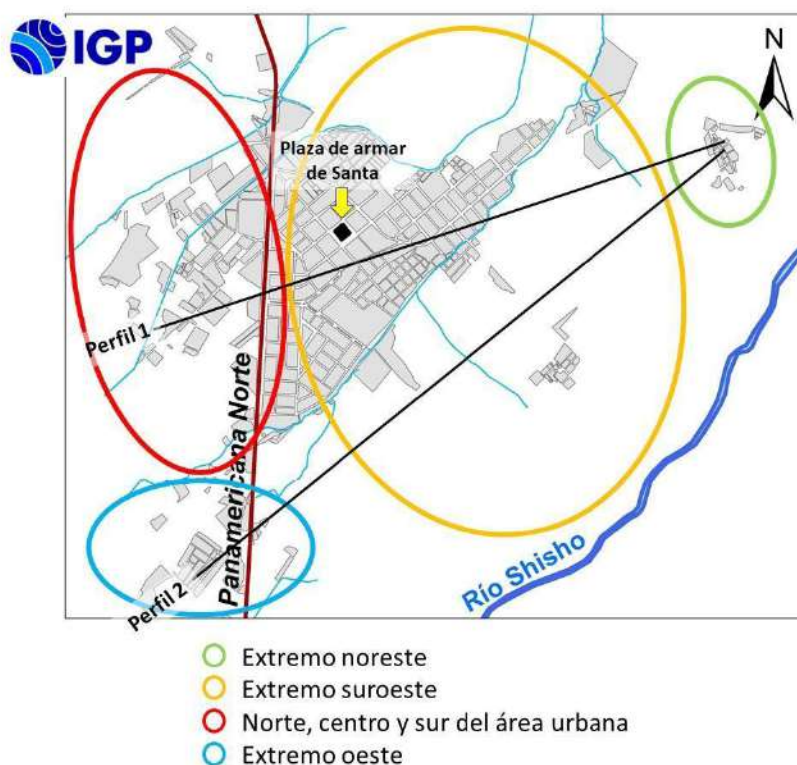


Figura 31. Delimitación de subáreas para una mejor descripción de la estructura del suelo, a partir de la correlación de los resultados obtenidos con los métodos de ERT y MASW-MAM.

El extremo noreste del distrito de Santa, comprende el centro poblado Río Seco y el área que continúa al este hacia el río Shisho. Los resultados permiten definir:

- Una capa de suelo **MEDIANAMENTE RÍGIDO A MUY RÍGIDO** de material volcánico sedimentario de la formación La Zorra.
- Velocidades $V_s=262-1095$ m/s y espesores mayores a 11 metros, ver Figura 32.
- Presentan **ALTO** contenido de humedad hacia la Urb. San Carlos Alto se observa el contenido de humedad a partir de los 30 metros de profundidad.
- Potencial a generarse niveles altos de amplificación.
- Estos suelos muestran sensibilidad a un rango de periodos entre 0.1 y 0.3 segundos.

- A mayor profundidad, la capa de suelo está caracterizada por material rígido y correspondería al material compacto.

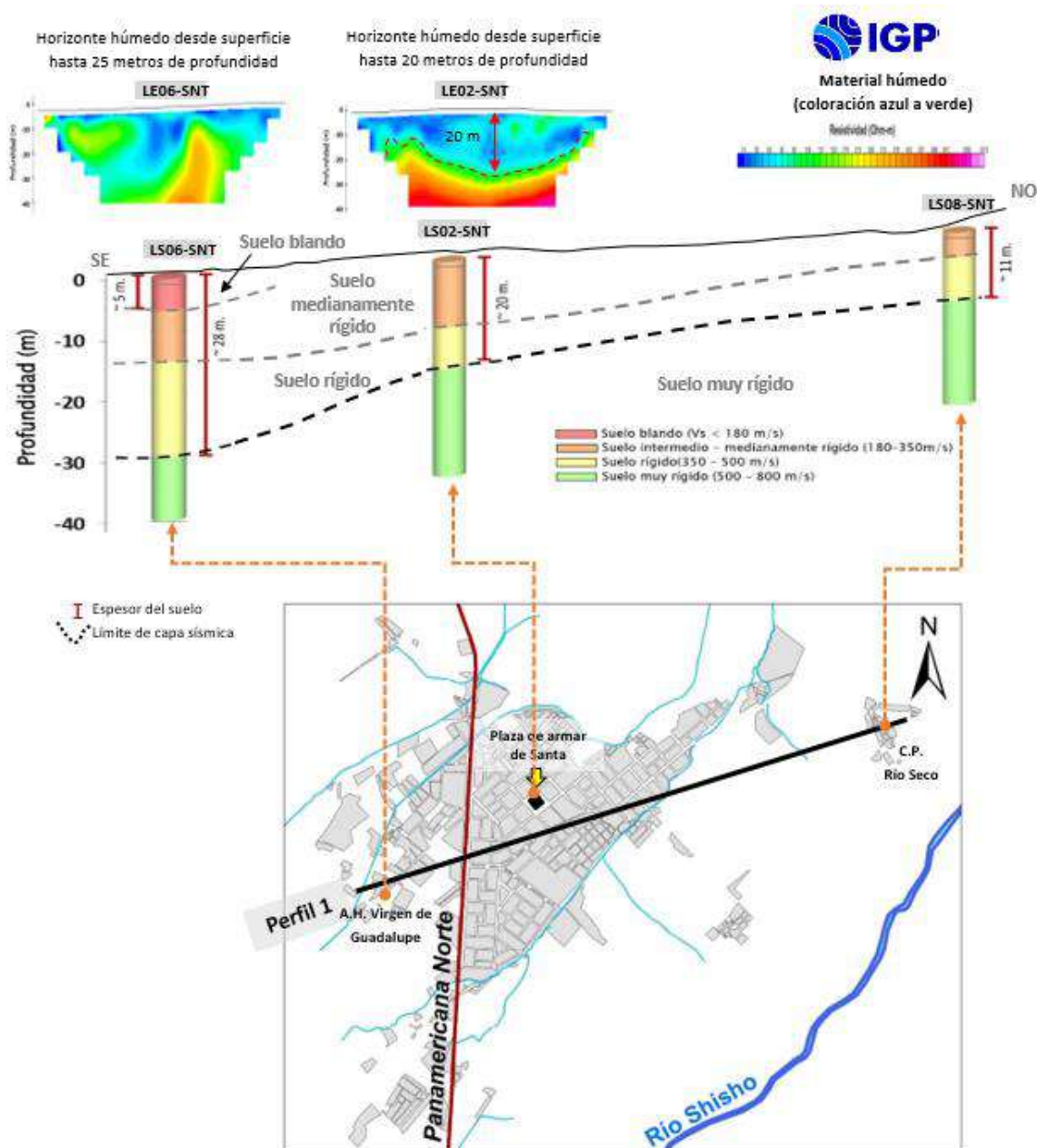


Figura 32. Estructura del suelo identificado al noroeste del área urbana del distrito de Santa, Perfil-01 realizado a partir de la correlación de los resultados obtenidos con los métodos de ERT y MASW-MAM.

El extremo suroeste del distrito de Santa, comprende los sectores de centro poblado San Luis, y el área ubicada próximas al río Shisho y Océano Pacífico. Los resultados permiten definir:

- Una capa de suelo medianamente rígido constituido de arenas.
- Velocidades $V_s=209-440$ m/s y espesor mayores a los 28 metros.
- Presentan alto contenido de humedad e incrementa en profundidad, ver extremo SO del Perfiles 2 (Figuras 33).
- Estos suelos muestran sensibilidad a un rango de periodos entre 0.2 y 0.3 segundos.

Extremo norte, centro y sur del área urbana del distrito de Santa, comprende la Urb. San Carlos Alto, el centro poblado La Huaca II, plaza de Armas y hacia el Sur de la plaza de Armas en dirección al río Shisho. Los resultados permiten definir:

- Una capa de suelo medianamente rígida a rígido constituido por arenas.
- Velocidades $V_s=217-469$ m/s y espesores de 41 metros, ver parte central de los Perfiles 1 y 2 (Figuras 32 y 33).
- Presentan alto contenido de humedad. En la zona céntrica hasta 20 metros de profundidad, se observa gran cantidad de drenajes no revestidos, mientras que hacia el este alcanza 40 metros de profundidad donde se observa pozos de agua próximos al centro poblado La Huaca II.
- Algunos puntos muestran sensibilidad a un segundo periodo entre 0.5 y 0.6 segundos.

Extremo Oeste del distrito de Santa, comprende los A.H. Los Ángeles y A.H. Virgen de Guadalupe. Los resultados permiten definir:

- Una capa de suelo blando a medianamente rígido constituido por material residual.

- Velocidades $V_s = 131\text{--}302\text{ m/s}$ y menores espesores de 11 a 12 metros a comparación del resto del área de estudio, ver extremo SO de los Perfiles 1 y 2 en las Figuras 32 y 33.
- Por debajo, la capa de suelo está caracterizado por material compactado.
- El contenido de humedad se presenta a partir de la superficie hasta los 20 metros de profundidad.
- Estos suelos muestran sensibilidad a un segundo periodo entre 0.4 y 0.7 segundos.

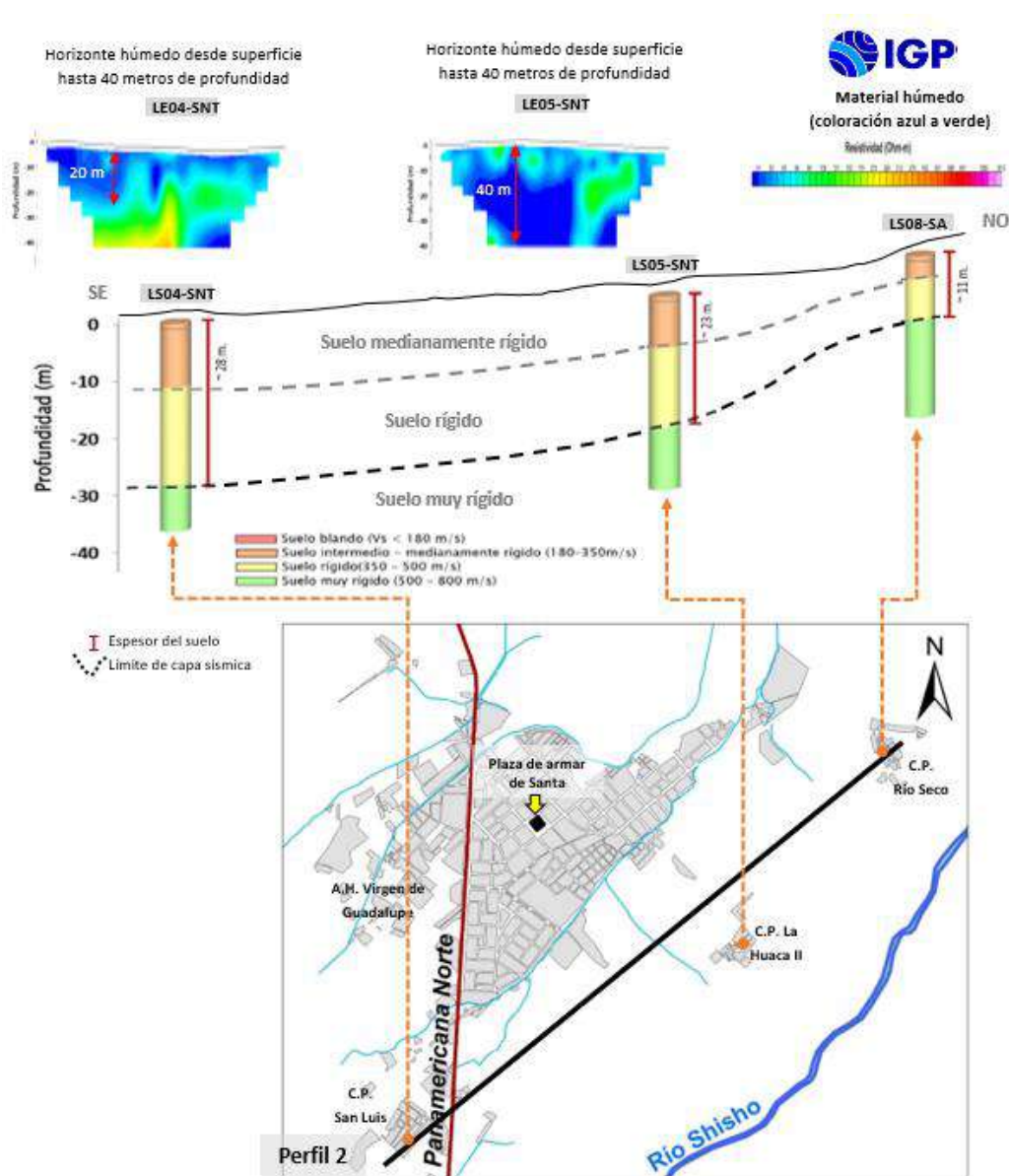


Figura 33. Estructura del suelo identificado al NO del área urbana del distrito de Santa, Perfil-02 realizado a partir de la correlación de los resultados obtenidos con los métodos de ERT y MASW-MAM.

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 160 m/s y 400 m/s para las ondas de corte (V_s) y periodos de 0.2 y 0.3 segundos, se estima una capa superficial con espesores de entre 8 a 30 metros. Estos resultados coinciden con los obtenidos con el método sísmico (MASW-MAM).

4.2. Zonificación Geofísica – Geotécnica

El mapa de Zonificación Geofísica-Geotécnica para el área urbana del distrito de Santa, se elabora en función de la integración de los resultados de los estudios geológicos, geotécnicos y geofísicos, delimitando zonas cuyos suelos presentan características físicas y dinámicas similares y que de acuerdo a las consideraciones indicadas en la Norma E.030, se ha identificado la existencia de suelos Tipo S1, S2, S3 y S4, que corresponde a suelos medianamente muy rígidos a blandos.

Para el área urbana del distrito de Santa, se propone la siguiente Zonificación Geofísica - Geotécnica (Figura 34).

-ZONA I: Considera suelos conformado por gravas con arena. Presenta velocidades de ondas de corte $V_{s30} \geq 620$ m/s, con periodos de vibración natural entre 0.1 – 0.2 segundos, parámetros que definen la existencia de suelos Tipo S1; es decir, suelos con comportamiento rígido a muy rígido. Esta zona se identifica de manera local en el centro poblado Río Seco.

-ZONA II: Considera suelos conformados por depósitos de arena limosa. Presenta velocidades de ondas de corte V_{s30} de 350 a 370 m/s. Los suelos presentan periodos de vibración natural entre 0.1 y 0.3 y definen la

existencia de suelos Tipo S2; es decir, suelos con comportamiento de rígido a medianamente rígido, con alto contenido de humedad y capacidad de carga portante muy baja ($< 1 \text{ kg/cm}^2$) a un metro de profundidad. Esta zona se identifica entre la plaza de Armas y el centro poblado La Huaca II.

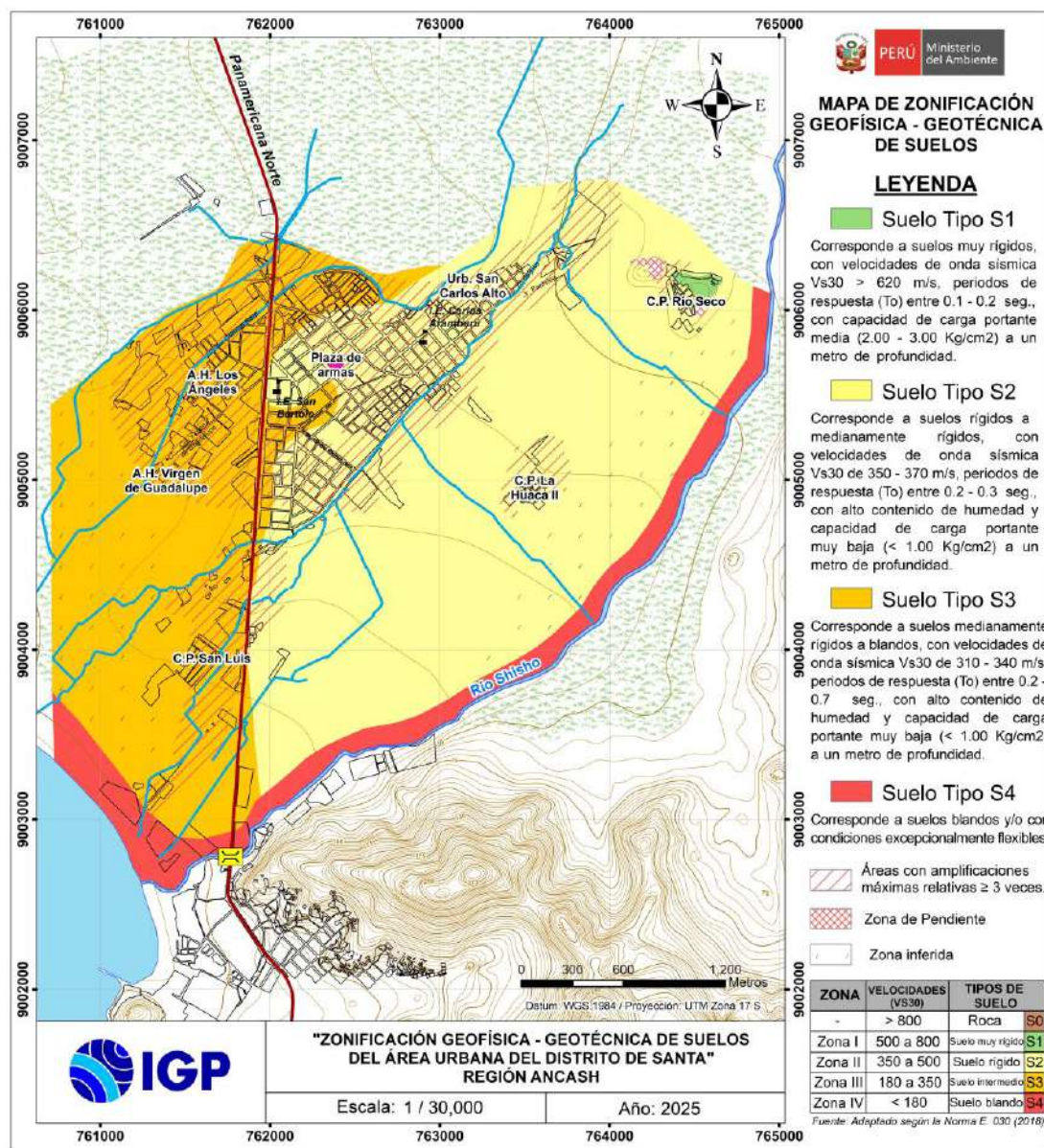


Figura 35. Mapa de Zonificación Geofísica - Geotécnica de los suelos del distrito de Santa.
Escala 1/30,000.

-ZONA III: Considera suelos conformados por depósitos de arena arcillosa y arcilla inorgánica. Presenta velocidades de ondas de corte V_{s30} de 310 a 340 m/s. Los suelos presentan períodos de vibración natural entre dos rangos de períodos de 0.1-0.3 y 0.5-0.7 segundos y definen la existencia

de suelos Tipo S3; es decir, suelos con comportamiento medianamente rígido a blandos, con alto contenido de humedad y capacidad de carga portante muy baja ($<1 \text{ kg/cm}^2$) a un metro de profundidad. Esta zona se identifica entre el A.H. Virgen de Guadalupe y centro poblado San Luis próximo al río Shisho.

-ZONA IV: Considera suelos Tipo S4; es decir, suelos blandos a excepcionalmente flexibles. Estos suelos se encuentran en zonas inundables, en sectores próximos al río Shisho, canales de agua y a la línea de costa del Océano Pacífico, ver Figura 35.

Asimismo, en el mapa de zonificación, con las líneas inclinadas en rojo se delimitan áreas donde los suelos presentan amplificaciones relativas mayores a 3 veces.

CONCLUSIONES

El estudio de Zonificación Geofísica - Geotécnica (Comportamiento Dinámico del Suelo) para el área urbana del distrito de Santa, ha permitido llegar a las siguientes conclusiones:

- Geomorfológicamente, el área urbana del distrito de Santa presenta dos unidades geomorfológicas que corresponden a lomas, lecho fluvial y terraza aluvial con inclinación inferior a los 5°, esta última está conformada por la acumulación de materiales heterogéneos (gravas, arenas y limos) sobre los cuales se emplaza la ciudad de Santa.

- Geológicamente, en el área de estudio se identificó la presencia de depósitos aluvial y eólicos de gran espesor, asentados sobre un substrato rocoso conformado por el Batolito de la costa que consiste en rocas de tipo granito y granodiorita.

- En base a los resultados de los ensayos geotécnicos y del laboratorio de suelos, se ha determinado que los tipos de suelos en Santa están conformados por: Arenas limosas (SM), arena pobremente graduada (SP) y arcillas inorgánicas (CL) los cuales presentan capacidad de carga portante muy baja ($< 1.00 \text{ kg/cm}^2$); sin embargo, de manera local hacia el centro poblado La Huaca III, se observaron arenas arcillosas (SC) con capacidad de carga portante media ($2.00\text{-}3.00 \text{ kg/cm}^2$).

- El análisis espectral de los registros de vibración ambiental, evidencian que los suelos del área urbana del distrito de Santa, responden a periodos entre 0.1 y 0.3 segundos. Adicionalmente, por sectores los suelos muestran sensibilidad a periodos largos (0.5 - 0.7 segundos), identificados principalmente hacia el centro poblado San Luis, los asentamientos poblados Los Ángeles, Virgen de Guadalupe, sectores próximos a los drenajes, litoral y terrenos de cultivo, evidenciando la presencia de suelos heterogéneos cuya

respuesta dinámica ante sismos es compleja.

- En el área urbana de Santa, predominan suelos medianamente rígidos a rígidos con espesores de hasta 34 metros, cubiertos por una capa delgada de suelos blandos. Los suelos medianamente rígidos ($V_{s30}=314$ a 341 m/s), se identifican por el centro poblado San Luis, A.H. Los Ángeles y A.H. Virgen de Guadalupe y los suelos rígidos a medianamente rígidos ($V_{s30}=350$ a 370 m/s), entre la plaza de Armas, Urb. San Carlos Alto, centro poblado La Huaca II. De manera local, por el centro poblado Río Seco y zonas aledañas, se ha identificado suelos muy rígidos ($V_{s30}=620$ m/s). En conjunto, los espesores de los suelos, medianamente rígidos a blandos, alcanzan espesores de hasta 13 metros, con tendencia a disminuir (4 metros) conforme se tiende al C.P. Río Seco.

- Los suelos en el área urbana del distrito de Santa, presentan de moderado a alto contenido de humedad. Próximo a la plaza de Armas, se presenta moderado contenido de humedad alcanzando los 10 a 20 metros de profundidad y hacia el extremo este del área de estudio, en sectores próximos al río Shisho, los suelos presentan alto contenido de humedad, alcanzando en profundidades los 20 a 40 metros, identificados en los centros poblados de San Luis y La Huaca II, respectivamente.

- Los resultados obtenidos para el área urbana del distrito de Santa han permitido identificar, de acuerdo a las consideraciones indicadas en la Norma de Construcción Sismorresistente E.030 adaptado al área de estudio, la existencia de suelos de Tipo S1, S2, S3 y S4 que corresponden a suelos muy rígidos, rígidos, medianamente rígidos y blandos.

BIBLIOGRAFÍA

- Barriga, D., De La Cruz, J. (2023). *Alternativa óptima de pavimentación para el tramo Panamericana Norte Km 443 hasta Puerto Santa*. Tesis de grado para ingeniero civil de la Universidad Nacional de Santa, Chimbote – Perú. 203p.
- Bernal, I., (2006), “Microzonificación sísmica de la ciudad de Tlaxcala, México”, Tesis de Maestría, Posgrado en Ciencias de la Tierra, UNAM.
- Cossio, A. & Jaén, H., (1967) - Geología de los cuadrángulos Puemape 16-d, Chocope 16-e, Otuzco 16-f, Trujillo 17-e, Salaverry 17-f y Santa 18-f. Serie A: Carta Geológica Nacional. Boletín N° 59. Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico- INGEMMET.
- INDECI, (2023). Reporte SINPAD 167180. Recuperado de <http://sinpad2.indeci.gob.pe/sinpad2/faces/public/portal.html>
- INEI, 2017. Instituto Nacional de Estadística e Informática del Perú.
- Lermo, J. y Chavez-Garcia, F.J. (1994a). “Are microtremors useful in site response evaluation”, *Bull. Seism. Soc. Am.* 84, 1350-1364 pp.
- Meyerhof, G., G., (1956). Penetración Test and Bearing Capacity of Cohesionless Soils. *Journal of the Soils Mechanics and Foundations División, ASCE*, Vol 82 N°SM1, Proc. Paper 886, Jan. 1956, pp-19.
- Nakamura, Y. (1989): A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremors on the ground surface, *Quarterly Report of Railway Technical Research Institute*, 30(1):25-33.
- Norma Técnica de edificaciones E.030. 2018. Aprobada por resolución ministerial N°355-2018- VIVIENDA.
- PNUD-CERE-INDUR, (2000) - Mapa de Peligros y Plan de Usos del Suelo de la Ciudad de Chimbote. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Centro Ejecutivo
- SESAME (2004). *Guidelines for the Implementation of the H/V Spectral Ratio Technique on Ambient Vibrations*, Research Report WP12, Available online at: <http://sesame-fp5.obs.ujf-grenoble.fr/index.htm>.2004.
- Tavera, H., Bernal, I., Condori, C., Ordaz, M., Zeballos, A. y Ishizawa, O. (2014). *Re-Evaluación del peligro sísmico probabilístico para el Perú*. Instituto Geofísico del Perú.
- Terzaghi, K. Peck, B., G. & Mesri, G. (1984). *Soil mechanics in engineering practice*, New York: Wiley.

ANEXO 1

Información Topográfica

Ortomosaico





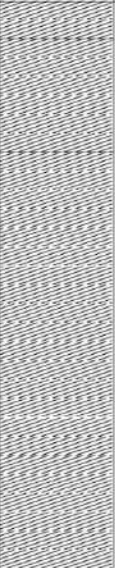



Curvas de nivel










ANEXO 2





Información Geológica – Geotécnica





Registro de Calicatas

 PERÚ Ministerio del Ambiente								
REGISTRO DE CALICATAS								
ZONIFICACIÓN GEOFÍSICA-GEOTÉCNICA DE SUELOS DEL ÁREA URBANA DEL DISTRITO DE SANTA		CALICATA: C-S 01						
		UBICACIÓN: Sector San Carlos						
		DISTRITO: Santa	PROVINCIA: Santa					
		PROFUNDIDAD (m): 3.00	NIVEL FREÁTICO (m): N.P.					
		COORDENADAS UTM						
NORTE (m): 9006015		ESTE (m): 763445	COTA (m s.n.m.): 42					
ELABORADO POR: Héctor Lavado		REVISADO POR: Juan Carlos Gómez A.	RESPONSABLE DEL PROYECTO: Hernando Tavera					
(m)	PROF.	MUESTRAS	HUMEDAD (%)	DENSIDAD (gr/cm³)	GRÁFICO	SUCS	REGISTRO FOTOGRÁFICO DE PERFIL	DESCRIPCIÓN
			Dh	Ds				
0.00						CL		Intercalaciones de arcilla y arena arcillosa. No presenta humedad. Compactación suelta a media.
0.10								Arcilla con intercalaciones de arena arcillosa. Moderadamente húmeda. Plasticidad media a alta. Compactación media. Presencia de material antrópico.
0.20								Arcilla. Moderadamente húmeda. Plasticidad media a alta. Compactación alta.
0.30								
0.40								
0.50								
0.60								
0.70								
0.80								
0.90								
1.00								
1.10								
1.20								
1.30								
1.40								
1.50								
1.60								
1.70								
1.80								
1.90								
2.00								
2.10								
2.20								
2.30								
2.40								
2.50								
2.60								
2.70								
2.80								
2.90								
3.00								
OBSERVACIONES:								
REGISTRO FOTOGRÁFICO CS - 1								
								
La calicata se realizó en las inmediaciones del nuevo hospital.			El ensayo de densidad se realizó a 1.50 m de profundidad.					



 PERÚ Ministerio del Ambiente								
REGISTRO DE CALICATAS								
ZONIFICACIÓN GEOFÍSICA-GEOTÉCNICA DE SUELOS DEL ÁREA URBANA DEL DISTRITO DE SANTA		CALICATA: C-5 02						
		UBICACIÓN: La Huaca III Etapa						
		DISTRITO: Santa	PROVINCIA: Santa					
		PROFUNDIDAD (m): 2.50	NIVEL FREÁTICO (m): 2.50					
		COORDENADAS UTM						
ELABORADO POR: Héctor Lavado		NORTE (m): 9004943	ESTE (m): 763621					
		REVISADO POR: Juan Carlos Gómez A.	RESPONSABLE DEL PROYECTO: Hernando Tavera					
(m)	PROF.	MUESTRAS	HUMEDAD (%)	DENSIDAD (gr/cm³)	GRÁFICO	SUCS	REGISTRO FOTOGRÁFICO DE PERFIL	DESCRIPCIÓN
0.00				Dh Da				
0.10								
0.20								
0.30								
0.40								
0.50								
0.60								
0.70								
0.80								
0.90								
1.00								
1.10								
1.20								
1.30								
1.40								
1.50								
1.60								
1.70								
1.80								
1.90								
2.00								
2.10								
2.20								
2.30								
2.40								
2.50								
2.60								
2.70								
2.80								
2.90								
3.00								
OBSERVACIONES:								
REGISTRO FOTOGRÁFICO CS - 2								
								
La calicata se realizó en las inmediaciones de la casona Gavatea.			El ensayo de densidad se realizó a 1.50 m de profundidad.					



 PERÚ Ministerio del Ambiente									
REGISTRO DE CALICATAS									
ZONIFICACIÓN GEOFÍSICA-GEOTÉCNICA DE SUELOS DEL ÁREA URBANA DEL DISTRITO DE SANTA		CALICATA:		C-5 03					
UBICACIÓN:		Maestranza Municipal		PROVINCIA:		Santa			
DISTRITO:		Santa		NIVEL FREÁTICO (m):		N. P.			
PROFUNDIDAD (m):		2.80		COORDENADAS UTM		FECHA:			
NORTE (m):		9005126		ESTE (m):		762539			
REVISADO POR:		Juan Carlos Gómez A.		RESPONSABLE DEL PROYECTO:		Hernando Tavera			
ELABORADO POR:		Héctor Lavado							
(m)	PROF.	MUESTRAS	HUMEDAD (%)	DENSIDAD (gr/cm ³)		GRÁFICO	SUCS	REGISTRO FOTOGRÁFICO DE PERFIL	DESCRIPCIÓN
0.00				Dh	Ds				
0.20									Arena de grano fino a medio. Presenta humedad media. Compactación media.
0.40									
0.60									
0.80									
1.00									Arena de grano medio, Presenta humedad media. Compactación media.
1.20									
1.40									
1.60									
1.80									
2.00									Arena de grano medio a fino. Medianamente húmeda. Compactación media a suelta.
2.20									
2.40									
2.60									
2.80	M-03								
3.00									
OBSERVACIONES:									
REGISTRO FOTOGRÁFICO C5 - 3									
									
La calicata en las inmediaciones del taller de maestranza.					El ensayo de densidad se realizó a 2.00 m de profundidad.				

 PERÚ Ministerio del Ambiente									
REGISTRO DE CALICATAS									
ZONIFICACIÓN GEOFÍSICA-GEOTÉCNICA DE SUELOS DEL ÁREA URBANA DEL DISTRITO DE SANTA		CALICATA: C/S 04							
		UBICACIÓN: Sector San Juan							
		DISTRITO: Santa	PROVINCIA: Santa						
		PROFUNDIDAD (m): 1.60	NIVEL FREÁTICO (m): 1.60						
		COORDENADAS UTM							
ELABORADO POR: Héctor Lavado		REVISADO POR: Juan Carlos Gómez A.	RESPONSABLE DEL PROYECTO: Hernando Tavera						
(m)	PROF.	MUESTRAS	HUMEDAD (%)	DENSIDAD (g/cm³)		GRÁFICO	SUCS	REGISTRO FOTOGRÁFICO DE PROF.	DESCRIPCIÓN
				Dh	Ds				
0.00									
0.20									
0.40									
0.60									
0.80									
1.00									
1.20									
1.40									
1.60									
1.80									
2.00									
2.20									
2.40									
2.60									
2.80									
3.00									
OBSERVACIONES:									
REGISTRO FOTOGRÁFICO CS - 4									
									
La calicata en las inmediaciones del sector San Juan.					El ensayo de densidad se realizó a 1.20 m de profundidad.				



 PERÚ Ministerio del Ambiente								
REGISTRO DE CALICATAS								
ZONIFICACIÓN GEOFÍSICA-GEOTÉCNICA DE SUELOS DEL ÁREA URBANA DEL DISTRITO DE SANTA		CALICATA: C-S 05						
		UBICACIÓN: Sector San Luis						
		DISTRITO: Santa	PROVINCIA: Santa					
		PROFUNDIDAD (m): 1.60	NIVEL FREÁTICO (m): 1.60					
		COORDENADAS UTM						
NORTE (m): 9003743		ESTE (m): 761354	COTA (m s.n.m.):					
ELABORADO POR: Héctor Lavado		REVISADO POR: Juan Carlos Gómez A.	RESPONSABLE DEL PROYECTO: Hernando Tavera					
(m)	PROF.	MUESTRAS	HUMEDAD (%)	DENSIDAD (g/cm³)	GRÁFICO	SUCS	REGISTRO FOTOGRÁFICO DE PERFIL	DESCRIPCIÓN
0.00				Dh	Ds			
0.20								
0.40								
0.60								
0.80								
1.00								
1.20								
1.40								
1.60								
1.80								
2.00								
2.20								
2.40								
2.60								
2.80								
3.00								
3.20								
3.40								
3.60								
3.80								
4.00								
4.20								
4.40								
4.60								
4.80								
5.00								
OBSERVACIONES:								
REGISTRO FOTOGRÁFICO CS - S								
								
La calicata en las inmediaciones de terrenos de cultivo del sector San Luis.			El ensayo de densidad se realizó a 1.10 m de profundidad.					

Registro de posteos





PERÚ		Ministerio del Ambiente		IGP					
REGISTRO DE POSTEOS									
ZONIFICACIÓN GEOFÍSICA-GEOTÉCNICA DE SUELOS DEL ÁREA URBANA DEL DISTRITO DE SANTA		POSTEO: POST - 01							
		UBICACIÓN: SAN DIONISIO							
		DISTRITO: Santa	PROVINCIA: Santa	REGIÓN: Ancash					
		PROFUNDIDAD (m): 2.00	NIVEL FREÁTICO (m):	FECHA: Agosto 2023					
		COORDENADAS UTM							
ELABORADO POR: Pilar Vivanco L.		NORTE (m): 9006290	ESTE (m): 763709	COTA (m s.n.m.): 47					
		REVISADO POR: Juan Carlos Gómez A.	RESPONSABLE DEL PROYECTO: Hernando Tavera						
(m)	PROF.	MUESTRAS	HUMEDAD (%)	DENSIDAD D (g/cm³)		GRÁFICO	SUS	REGISTRO FOTOGRÁFICO DE PERFIL	DESCRIPCIÓN
				Dh	Ds				
0.00									
0.20									
0.40									
0.60									
0.80									
1.00									
1.20									
1.40									
1.60									
1.80									
2.00									
2.20									
2.40									
2.60									
2.80									
3.00									
3.20									
3.40									
3.60									
3.80									
4.00									
4.20									
4.40									
4.60									
4.80									
5.00									
OBSERVACIONES:									
REGISTRO FOTOGRÁFICO POST - 01									
									
El ensayo se realizó en el sector San Dionisio					El tipo de suelo reconocido mediante el ensayo de posteo es arena limosa ligeramente húmeda.				





 PERÚ Ministerio del Ambiente								
REGISTRO DE POSTEOS								
ZONIFICACIÓN GEOFÍSICA-GEOTÉCNICA DE SUELOS DEL ÁREA URBANA DEL DISTRITO DE SANTA		POSTEO: POST - 02						
UBICACIÓN: NUEVO SANTA ROSA		PROVINCIA: Santa						
DISTRITO: Santa		REGIÓN: Ancash						
PROFUNDIDAD (m): 1.80		NIVEL FREÁTICO (m): 1.70						
NORTE (m): 9006034		ESTE (m): 762676						
REVISADO POR: Juan Carlos Gómez A.		RESPONSABLE DEL PROYECTO: Hernando Tavera						
ELABORADO POR: Pilar Vivanco L.		COTA (m s.n.m.): 23						
PROF. (m)	MUESTRAS	HUMEDAD (%)	DENSIDAD (gr/cm ³)		GRÁFICO	SUCS	REGISTRO FOTOGRÁFICO DEL POSTEO	DESCRIPCIÓN
			Dh	Ds				
0.00								
0.10						PT		Material de relleno. Suelos orgánicos
0.20								
0.30								
0.40								
0.50						CL		Arcilla inorgánica de baja plasticidad, ligeramente húmeda y medianamente compacta
0.60								
0.70								
0.80								
0.90								
1.00								
1.10								
1.20						SM		Arena limosa, medianamente húmeda y ligeramente compacta
1.30								
1.40								
1.50								
1.60								
1.70						CL		Arcilla inorgánica de baja plasticidad, altamente húmeda. Medianamente compacta
1.80								Nivel freático
1.90								
2.00								
2.10								
2.20								
2.30								
2.40								
2.50								
2.60								
2.70								
2.80								
2.90								
3.00								



OBSERVACIONES:



REGISTRO FOTOGRÁFICO POST - 02	
	
El ensayo se realizó en el sector Santa Rosa	El tipo de suelo reconocido mediante el ensayo de posteo es arcilla de baja plasticidad y de compactación media.

Instituto Geofísico del Perú

 PERÚ Ministerio del Ambiente								
REGISTRO DE POSTEOS								
ZONIFICACIÓN GEOFÍSICA-GEOTÉCNICA DE SUELOS DEL ÁREA URBANA DEL DISTRITO DE SANTA		POSTEO: CRUCE DE SANTA POST - 04						
		UBICACIÓN: Santa	PROVINCIA: Santa					
		DISTRITO: Santa	REGIÓN: Ancash					
		PROFUNDIDAD (m): 1.80	NIVEL FREÁTICO (m): 1.70					
		COORDENADAS UTM						
NORTE (m): 9006465		ESTE (m): 761948	COTA (m s.n.m.): 23					
ELABORADO POR: Pilar Vivanco L.		REVISADO POR: Juan Carlos Gómez A.	RESPONSABLE DEL PROYECTO: Hernando Tavera					
(m)	PROF.	MUESTRAS	HUMEDAD (%)	DENSIDAD (gr/cm³)	Gráfico	SUCS	REGISTRO FOTOGRÁFICO DE POST	DESCRIPCIÓN
0.00								
0.10						SC		Arena arcillosa ligeramente compacta
0.20						CH		Arcilla inorgánica de media a alta plasticidad. Ligeramente húmeda
0.30								
0.40								
0.50						SM		Arena limosa medianamente húmeda y ligeramente compacta
0.60								
0.70								
0.80								
0.90						CL		Arcilla inorgánica de baja a mediana plasticidad, medianamente húmeda.
1.00								
1.10						CH		Arcilla inorgánica de alta plasticidad, con alta humedad.
1.20								
1.30								
1.40								
1.50								
1.60								
1.70								
1.80								Nivel freático
1.90								
2.00								
2.10								
2.20								
2.30								
2.40								
2.50								
2.60								
2.70								
2.80								
2.90								
3.00								
OBSERVACIONES:								
REGISTRO FOTOGRÁFICO POST - 04								
								
El ensayo se realizó en el sector cruce de Santa			El tipo de suelo reconocido mediante el ensayo de posteo es arcilla de media a alta plasticidad					

 PERÚ Ministerio del Ambiente							
REGISTRO DE POSTEOS							
ZONIFICACIÓN GEOFÍSICA-GEOTÉCNICA DE SUELOS DEL ÁREA URBANA DEL DISTRITO DE SANTA		POSTEO:	POST - 05				
		UBICACIÓN:	CENTRO URBANO				
		DISTRITO:	Santa				
		PROFUNDIDAD (m):	1.50				
		PROVINCIA:	Santa				
		NIVEL FREÁTICO (m):					
		FECHA:	Agosto 2023				
		COORDENADAS UTM					
ELABORADO POR: Pilar Vivanco L.		NORTE (m): 9005722	ESTE (m): 762550				
REVISADO POR: Juan Carlos Gómez A.		COTA (m s.n.m): 28					
		RESPONSABLE DEL PROYECTO: Hernando Tavera					
PROF. (m)	MUESTRAS	HUMEDAD (%)	DENSIDAD D (g/cm³)	GRÁFICO	SUS	REGISTRO FOTOGRÁFICO DE P/B/F/L	DESCRIPCIÓN
0.00			Dh Ds				
0.10							
0.20							
0.30							
0.40							
0.50							
0.60							
0.70							
0.80							
0.90							
1.00							
1.10							
1.20							
1.30							
1.40							
1.50							
1.60							
1.70							
1.80							
1.90							
2.00							
2.10							
2.20							
2.30							
2.40							
2.50							
2.60							
2.70							
2.80							
2.90							
3.00							
3.10							
3.20							
3.30							
3.40							
3.50							
3.60							
3.70							
3.80							
3.90							
4.00							
OBSERVACIONES:							
REGISTRO FOTOGRÁFICO POST - 05							
							
El ensayo se realizó en el sector Centro Urbano				El tipo de suelo reconocido mediante el ensayo de posteo es arena limosa muy suelta			

PERÚ		Ministerio del Ambiente		IGP																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
REGISTRO DE POSTEOS																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
ZONIFICACIÓN GEOFÍSICA-GEOTÉCNICA DE SUELOS DEL ÁREA URBANA DEL DISTRITO DE SANTA ELABORADO POR: Pilar Vivanco L.		POSTEO: SANTA ROSA POST - 06																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
		UBICACIÓN: Santa ROSA		PROVINCIA: Santa																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
		DISTRITO: Santa		REGION: Ancash																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
		PROFUNDIDAD (m): 2.20		NIVEL FREÁTICO (m):																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
		NORTE (m): 9004514		ESTE (m): 761849																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
		REVISADO POR: Juan Carlos Gómez A.		RESPONSABLE DEL PROYECTO: Hernando Tavera																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">PROF. (m)</th> <th rowspan="2">MUESTRAS</th> <th rowspan="2">HUMEDAD (%)</th> <th colspan="2">DENSIDAD (g/cm³)</th> <th rowspan="2">GRÁFICO</th> <th rowspan="2">SUCS</th> <th rowspan="2">REGISTRO FOTOGRÁFICO DE PERIL</th> <th rowspan="2">DESCRIPCIÓN</th> </tr> <tr> <th>Dh</th> <th>Ds</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.00</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>0.10</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>PT</td> <td></td> <td>Suelos de cultivo (suelos orgánicos) conformado por arcilla y arena</td> </tr> <tr> <td>0.20</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>0.30</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>SC</td> <td></td> <td>Arena arcillosa ligeramente húmeda</td> </tr> <tr> <td>0.40</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>0.50</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>0.60</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>0.70</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>0.80</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>0.90</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>CL</td> <td></td> <td>Arcilla inorgánica de baja plasticidad. Humedad media.</td> </tr> <tr> <td>1.00</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>1.10</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>1.20</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>1.30</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>1.40</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>1.50</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>1.60</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>1.70</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>1.80</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>1.90</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>SM</td> <td></td> <td>Arena limosa ligeramente compacta. Humedad media a alta</td> </tr> <tr> <td>2.00</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2.10</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2.20</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2.30</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2.40</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2.50</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2.60</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2.70</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2.80</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2.90</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3.00</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>						PROF. (m)	MUESTRAS	HUMEDAD (%)	DENSIDAD (g/cm³)		GRÁFICO	SUCS	REGISTRO FOTOGRÁFICO DE PERIL	DESCRIPCIÓN	Dh	Ds	0.00									0.10						PT		Suelos de cultivo (suelos orgánicos) conformado por arcilla y arena	0.20									0.30						SC		Arena arcillosa ligeramente húmeda	0.40									0.50									0.60									0.70									0.80									0.90						CL		Arcilla inorgánica de baja plasticidad. Humedad media.	1.00									1.10									1.20									1.30									1.40									1.50									1.60									1.70									1.80									1.90						SM		Arena limosa ligeramente compacta. Humedad media a alta	2.00									2.10									2.20									2.30									2.40									2.50									2.60									2.70									2.80									2.90									3.00								
PROF. (m)	MUESTRAS	HUMEDAD (%)	DENSIDAD (g/cm³)		GRÁFICO				SUCS	REGISTRO FOTOGRÁFICO DE PERIL					DESCRIPCIÓN																																																																																																																																																																																																																																																																																								
			Dh	Ds																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0.00																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
0.10						PT		Suelos de cultivo (suelos orgánicos) conformado por arcilla y arena																																																																																																																																																																																																																																																																																															
0.20																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
0.30						SC		Arena arcillosa ligeramente húmeda																																																																																																																																																																																																																																																																																															
0.40																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
0.50																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
0.60																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
0.70																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
0.80																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
0.90						CL		Arcilla inorgánica de baja plasticidad. Humedad media.																																																																																																																																																																																																																																																																																															
1.00																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
1.10																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
1.20																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
1.30																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
1.40																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
1.50																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
1.60																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
1.70																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
1.80																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
1.90						SM		Arena limosa ligeramente compacta. Humedad media a alta																																																																																																																																																																																																																																																																																															
2.00																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
2.10																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
2.20																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
2.30																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
2.40																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
2.50																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
2.60																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
2.70																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
2.80																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
2.90																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
3.00																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
OBSERVACIONES:																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
REGISTRO FOTOGRÁFICO POST - 06																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
El ensayo se realizó en el sector Santa Rosa			El tipo de suelo reconocido mediante el ensayo de posteo es arena limosa																																																																																																																																																																																																																																																																																																				

PERÚ		Ministerio del Ambiente		IGP				
REGISTRO DE POSTEOS								
ZONIFICACIÓN GEOFÍSICA-GEOTÉCNICA DE SUELOS DEL ÁREA URBANA DEL DISTRITO DE SANTA		POSTEO: POST - 07						
		UBICACIÓN: LOS ALAMOS		PROVINCIA: Santa				
		DISTRITO: Santa		REGIÓN: Ancash				
		PROFUNDIDAD (m): 2.00		NIVEL FREÁTICO (m):				
		COORDENADAS UTM						
ELABORADO POR: Pilar Vivanco L.		NORTE (m): 9005113	ESTE (m): 763673	COTA (m s.n.m.): 20				
REVISADO POR: Juan Carlos Gómez A.		RESPONSABLE DEL PROYECTO: Hernando Tavera						
(m)	PROF.	MUESTRAS	HUMEDAD (%)	DENSIDAD D (gr/cm ³)	GRÁFICO	SUCS	REGISTRO FOTOGRÁFICO DE PIEL	DESCRIPCIÓN
0.00								
0.10						SC		Tierra de cultivo (arena arcillosa) sin humedad
0.20								
0.30								
0.40						CL		Arcilla inorgánica de baja plasticidad. Ligeramente húmeda
0.50								
0.60								
0.70								
0.80								
0.90								
1.00								
1.10								
1.20								
1.30								
1.40								
1.50								
1.60								
1.70								
1.80								
1.90								
2.00								
2.10								
2.20								
2.30								
2.40								
2.50								
2.60								
2.70								
2.80								
2.90								
3.00								
OBSERVACIONES:								
REGISTRO FOTOGRÁFICO POST - 07								
								
El ensayo se realizó en el sector Los Alamos					El tipo de suelo reconocido mediante el ensayo de posteo es arcilla de alta plasticidad			

Ensayos de penetración dinámica ligera



ENSAYO DE PENETRACIÓN DINÁMICA LIGERA
(NORMA DIN - 4094)

PROYECTO: ZONIFICACIÓN GEOFÍSICA-GEOTÉCNICA DE SUELOS DEL ÁREA URBANA DEL DISTRITO DE SANTA

UBICACIÓN: Sector Dionisio

PROFUNDIDAD (m): 3.30 m

COORDENADAS (m): 763709 E
9006290 N

FECHA: Setiembre, 2023

ELABORADO POR: Héctor Lavado

APROBADO POR: Juan Carlos Gómez A.

RESPONSABLE DEL PROYECTO: Hernando Tavera

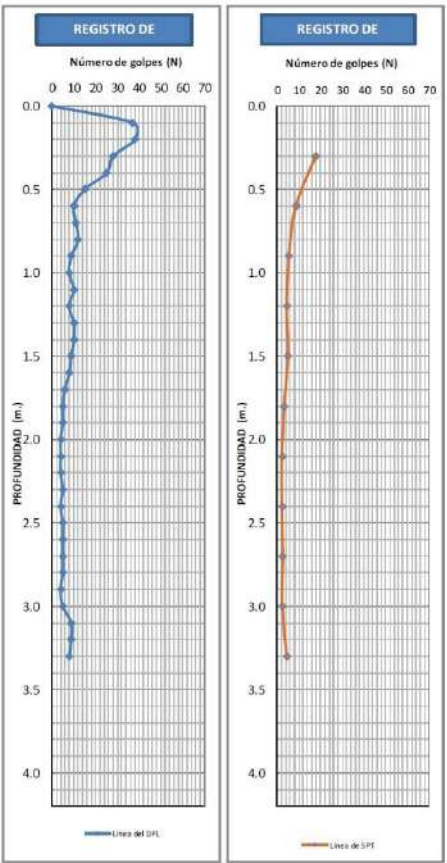
ENSAYO: DPL-1

HOJA: 1/7

N.F.: ☒ NO presenta nivel freático

Correlación entre DPL y SPT

PROF. (m.)	N _{dpl} (golpes)	N _{spt} (golpes)	C _{ut} (Tn/m ²)	φ _{ut} (°)	Compacidad Relativa
0.00	0				
0.10	37				
0.20	38	17.78	0.0	33.9	Media
0.30	28				
0.40	25				
0.50	15	8.63	0.0	28.1	Suelta
0.60	10				
0.70	11				
0.80	12	5.53	0.0	25.5	Suelta
0.90	9				
1.00	8				
1.10	10	4.49	0.0	24.5	Suelta
1.20	8				
1.30	10				
1.40	10	5.01	0.0	25.0	Suelta
1.50	9				
1.60	8				
1.70	6	3.28	0.0	23.1	Muy Suelta
1.80	5				
1.90	5				
2.00	4	2.24	0.0	21.7	Muy Suelta
2.10	4				
2.20	4				
2.30	5	2.24	0.0	21.7	Muy Suelta
2.40	4				
2.50	5				
2.60	5	2.59	0.0	22.2	Muy Suelta
2.70	5				
2.80	5				
2.90	4	2.42	0.0	22.0	Muy Suelta
3.00	5				
3.10	9				
3.20	9	4.49	0.0	24.5	Suelta
3.30	8				
3.40					
3.50					
3.60					
3.70					
3.80					
3.90					
4.00					
4.10					
4.20					



OBSERVACIONES: El ensayo concluyó a 3.30 m de profundidad, los suelos corresponden a capa de compactación suelta.



ENSAYO DE PENETRACIÓN DINÁMICA LIGERA
(NORMA DIN - 4094)

PROYECTO: ZONIFICACIÓN GEOFÍSICA GEOTÉCNICA DE SUELOS DEL ÁREA URBANA DEL DISTRITO DE SANTA

UBICACIÓN: Expansión Nueva Santa Rosa

PROFUNDIDAD (m): 3.30 m

COORDENADAS (m): 762676 E
9006034 N

FECHA: Setiembre, 2023

ELABORADO POR: Héctor Lavado

APROBADO POR: Juan Carlos Gómez A.

RESPONSABLE DEL PROYECTO: Hernando Tavera

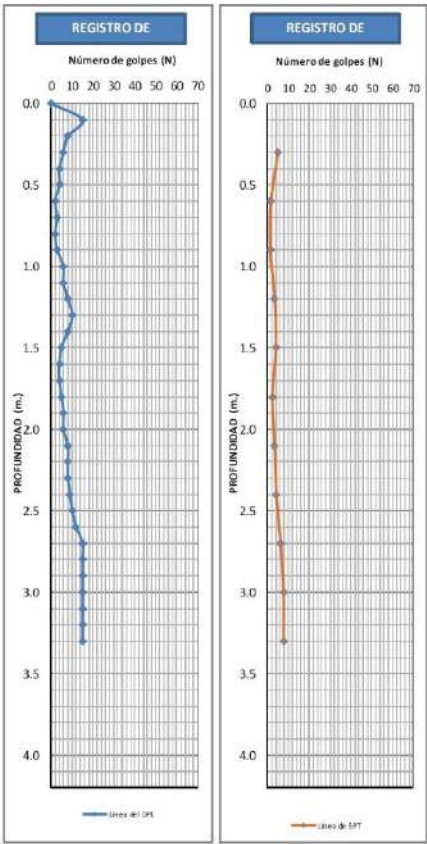
ENSAYO: **DPL-2**

HOJA: 2/7

N.F: ☐ NO presenta nivel freático

Correlación entre DPL y SPT

PROF. (m.)	N _{dpl} (golpes)	N _{spt} (golpes)	C' _{spt} (Tn/m ²)	Ø' _{spt} (°)	Compacidad Relativa
0.00	0				
0.10	15				
0.20	8	5.01	0.0	25.0	Suelta
0.30	6				
0.40	4				
0.50	4	1.73	0.0	20.9	Muy Suelta
0.60	2				
0.70	3				
0.80	2	1.38	0.0	20.3	Muy Suelta
0.90	3				
1.00	6				
1.10	6	3.45	0.0	23.3	Muy Suelta
1.20	8				
1.30	10				
1.40	8	3.97	0.0	23.9	Muy Suelta
1.50	5				
1.60	4				
1.70	4	2.24	0.0	21.7	Muy Suelta
1.80	5				
1.90	6				
2.00	6	3.45	0.0	23.3	Muy Suelta
2.10	8				
2.20	8				
2.30	8	4.32	0.0	24.3	Suelta
2.40	9				
2.50	10				
2.60	12	6.39	0.0	26.3	Suelta
2.70	15				
2.80	15				
2.90	15	7.77	0.0	27.5	Suelta
3.00	15				
3.10	15				
3.20	15	7.77	0.0	27.5	Suelta
3.30	15				
3.40					
3.50					
3.60					
3.70					
3.80					
3.90					
4.00					
4.10					
4.20					



OBSERVACIONES: El ensayo concluyó a 3.30 m. de profundidad, los suelos corresponden a capa de compactación suelta.



ENSAYO DE PENETRACIÓN DINÁMICA LIGERA
(NORMA DIN - 4094)

PROYECTO: ZONIFICACIÓN GEOFÍSICA-GEOTÉCNICA DE SUELOS DEL ÁREA URBANA DEL DISTRITO DE SANTA

UBICACIÓN: Sector Las Poncianas

PROFUNDIDAD (m): 3.00 m

COORDENADAS (m): 761662 E
9005906 N

FECHA: Setiembre, 2023

ELABORADO POR: Héctor Lavado

APROBADO POR: Juan Carlos Gómez A.

RESPONSABLE DEL PROYECTO: Hernando Tavera

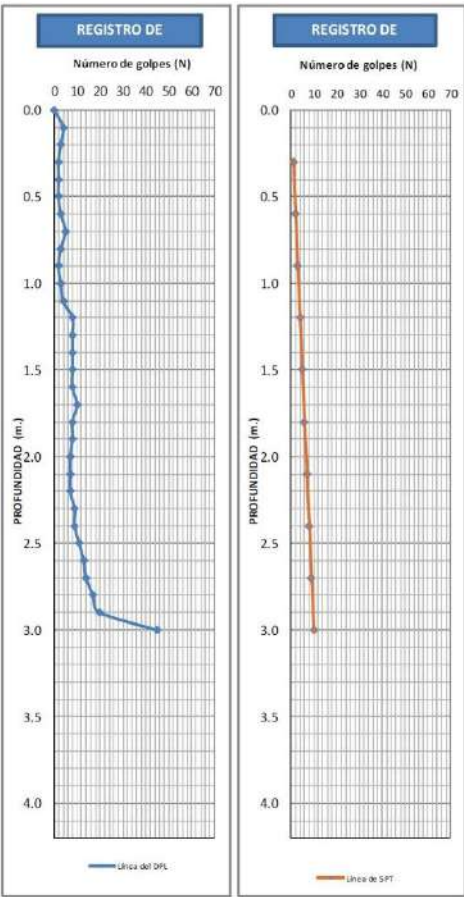
ENSAYO: DPL-3

HOJA: 3/7

N.F: ☐ NO presenta nivel freático

Correlación entre DPL y SPT

PROF. (m.)	N _{dpl} (golpes)	N _{spt} (golpes)	C _{spt} (Tn/m ²)	Ø _{spt} (°)	Compacidad Relativa
0.00	0				
0.10	4				
0.20	3	1.55	0.0	20.6	Muy Suelta
0.30	2				
0.40	2				
0.50	2	1.21	0.0	19.9	Muy Suelta
0.60	3				
0.70	5				
0.80	3	1.73	0.0	20.9	Muy Suelta
0.90	2				
1.00	3				
1.10	4	2.59	0.0	22.2	Muy Suelta
1.20	8				
1.30	8				
1.40	8	4.14	0.0	24.1	Suelta
1.50	8				
1.60	8				
1.70	10	4.49	0.0	24.5	Suelta
1.80	8				
1.90	8				
2.00	7	3.80	0.0	23.7	Muy Suelta
2.10	7				
2.20	7				
2.30	9	4.32	0.0	24.3	Suelta
2.40	9				
2.50	11				
2.60	13	6.56	0.0	26.5	Suelta
2.70	14				
2.80	17				
2.90	20	14.16	0.0	31.8	Media
3.00	45				
3.10					
3.20					
3.30					
3.40					
3.50					
3.60					
3.70					
3.80					
3.90					
4.00					
4.10					
4.20					



OBSERVACIONES: El ensayo concluyó a 3.00 m de profundidad debido a que se alcanza el número máximo de golpes.



ENSAYO DE PENETRACIÓN DINÁMICA LIGERA
(NORMA DIN - 4094)

PROYECTO: ZONIFICACIÓN GEOFÍSICA-GEOTÉCNICA DE SUELOS DEL ÁREA URBANA DEL DISTRITO DE SANTA

UBICACIÓN: Sector Cruce Santa Rosa

PROFUNDIDAD (m): 2.80 m

COORDENADAS (m): 761542 E
9006468 N

FECHA: Setiembre, 2023

ELABORADO POR: Héctor Lavado

APROBADO POR: Juan Carlos Gómez A.

RESPONSABLE DEL PROYECTO: Hernando Tavera

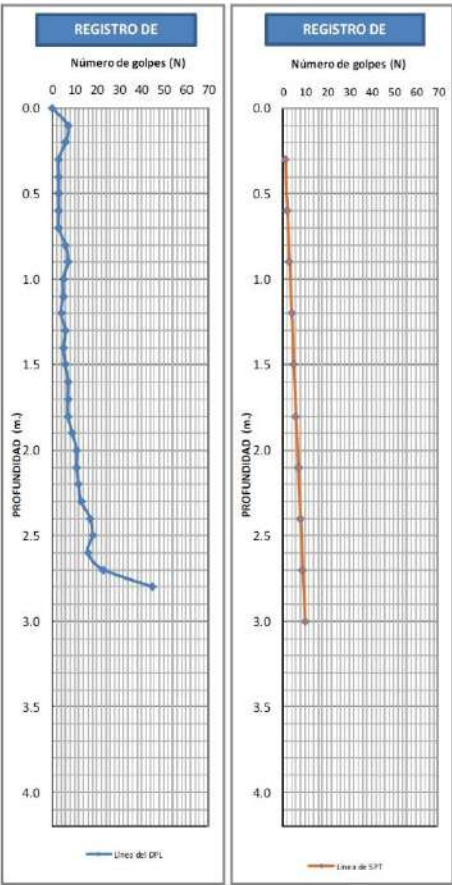
ENSAYO: **DPL-4**

HOJA: 4/7

N.F: ☒ NO presenta nivel freático.

Correlación entre DPL y SPT

PROF. (m.)	N _{dpl} (golpes)	N _{spt} (golpes)	C _u (Tn/m ²)	φ _{spt} (°)	Compacidad Relativa
0.00	0				
0.10	7				
0.20	6	2.76	0.0	22.4	Muy Suelta
0.30	3				
0.40	3				
0.50	3	1.55	0.0	20.6	Muy Suelta
0.60	3				
0.70	3				
0.80	6	2.76	0.0	22.4	Muy Suelta
0.90	7				
1.00	5				
1.10	5	2.42	0.0	22.0	Muy Suelta
1.20	4				
1.30	6				
1.40	5	2.94	0.0	22.7	Muy Suelta
1.50	6				
1.60	7				
1.70	7	3.63	0.0	23.5	Muy Suelta
1.80	7				
1.90	9				
2.00	11	5.35	0.0	25.3	Suelta
2.10	11				
2.20	12				
2.30	13	7.25	0.0	27.0	Suelta
2.40	17				
2.50	18				
2.60	16	9.84	0.0	29.0	Suelta
2.70	23				
2.80	45				
2.90					
3.00					
3.10					
3.20					
3.30					
3.40					
3.50					
3.60					
3.70					
3.80					
3.90					
4.00					
4.10					
4.20					



OBSERVACIONES: El ensayo concluyó a 2.80 m de profundidad debido a que se alcanza el número máximo de golpes.



ENSAYO DE PENETRACIÓN DINÁMICA LIGERA
(NORMA DIN - 4094)

PROYECTO: ZONIFICACION GEOFISICA-GEOTECNICA DE SUELOS DEL AREA URBANA DEL DISTRITO DE SANTA

UBICACIÓN: Cruce Jr. Pachitea-Jr. Marañón

PROFUNDIDAD (m): 3.30 m

COORDENADAS (m): 762550 E
9005722 N

FECHA: Setiembre, 2023

ELABORADO POR: Héctor Lavado

APROBADO POR: Juan Carlos Gómez A.

RESPONSABLE DEL PROYECTO: Hernando Tavera

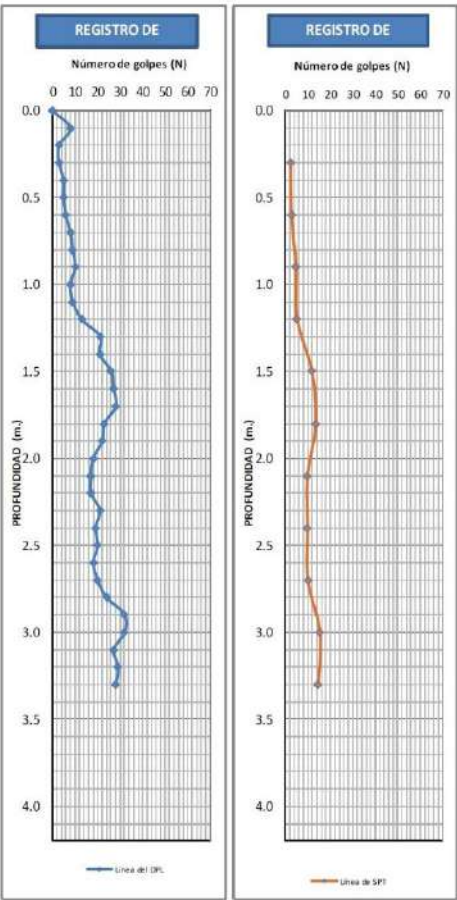
ENSAYO: DPL-5

HOJA: 5/7

N.F: ☐ NO presenta nivel freático

Correlación entre DPL y SPT

PROF. (m.)	N _{dpl} (golpes)	N _{spt} (golpes)	C _{spt} (Tn/m ²)	β ^s _{spt} (°)	Compacidad Relativa
0.00	0				
0.10	8				
0.20	3	2.42	0.0	22.0	Muy Suelta
0.30	3				
0.40	5				
0.50	5	2.76	0.0	22.4	Muy Suelta
0.60	6				
0.70	8				
0.80	9	4.66	0.0	24.7	Suelta
0.90	10				
1.00	8				
1.10	9	5.18	0.0	25.2	Suelta
1.20	13				
1.30	21				
1.40	21	11.74	0.0	30.3	Media
1.50	26				
1.60	27				
1.70	28	13.47	0.0	31.4	Media
1.80	23				
1.90	22				
2.00	18	9.84	0.0	29.0	Suelta
2.10	17				
2.20	17				
2.30	21	9.84	0.0	29.0	Suelta
2.40	19				
2.50	20				
2.60	18	10.01	0.0	29.2	Media
2.70	20				
2.80	24				
2.90	32	15.19	0.0	32.4	Media
3.00	32				
3.10	27				
3.20	29	14.50	0.0	32.0	Media
3.30	28				
3.40					
3.50					
3.60					
3.70					
3.80					
3.90					
4.00					
4.10					
4.20					



OBSERVACIONES: El ensayo concluyó a 3.30 m de profundidad, los suelos corresponden a capa de compactación media.



**ENSAYO DE PENETRACIÓN DINÁMICA LIGERA
(NORMA DIN - 4094)**

PROYECTO:

ZONIFICACION GEOFISICA-GEOTECNICA DE SUELOS DEL AREA URBANA DEL DISTRITO DE SANTA

UBICACIÓN:

PROFUNDIDAD (m): 3.30 m
COORDENADAS (m): 761945 E

ENSAYO: **DPL-6**

HOJA: 6/7

FECHA: Setiembre, 2023

ELABORADO POR: Héctor Lavado

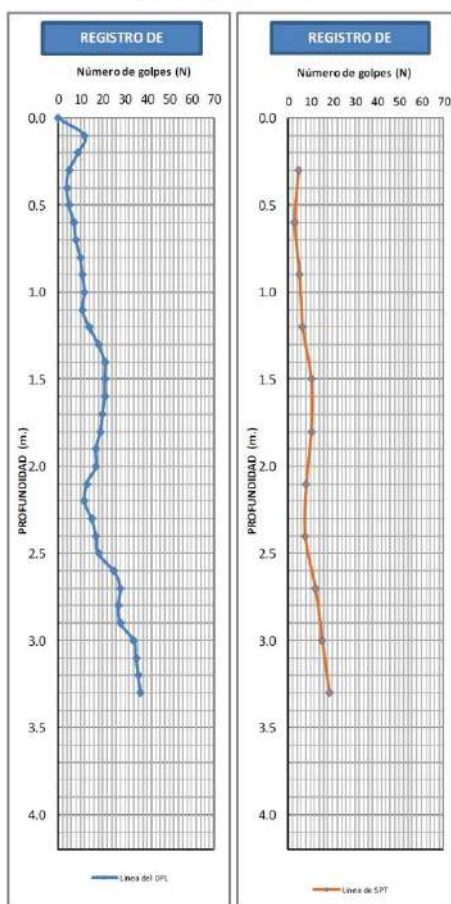
N.F: ☐ NO presenta nivel freático

APROBADO POR: Juan Carlos Gómez A.

RESPONSABLE DEL PROYECTO: Hernando Tavera

Correlación entre DPL y SPT

PROF. (m.)	N _{dpl} (golpes)	N _{spt} (golpes)	C' _{spt} (Tn/m ²)	Ø' _{spt} (°)	Compacidad Relativa
0.00	0				
0.10	12				
0.20	9	4.49	0.0	24.5	Suelta
0.30	5				
0.40	4				
0.50	5	2.76	0.0	22.4	Muy Suelta
0.60	7				
0.70	8				
0.80	10	5.01	0.0	25.0	Suelta
0.90	11				
1.00	12				
1.10	11	6.39	0.0	26.3	Suelta
1.20	14				
1.30	18				
1.40	21	10.36	0.0	29.4	Media
1.50	21				
1.60	21	10.36	0.0	29.4	Media
1.70	20				
1.80	19				
1.90	17	8.12	0.0	27.7	Suelta
2.00	17				
2.10	13				
2.20	12				
2.30	15	7.60	0.0	27.3	Suelta
2.40	17				
2.50	18				
2.60	25	12.26	0.0	30.7	Media
2.70	28				
2.80	27				
2.90	28	15.37	0.0	32.5	Media
3.00	34				
3.10	35	18.65	0.0	34.3	Media
3.20	36				
3.30	37				
3.40					
3.50					
3.60					
3.70					
3.80					
3.90					
4.00					
4.10					
4.20					



OBSERVACIONES: El ensayo concluyó a 3.30 m de profundidad, los suelos corresponden a capa de compactación media.



ENSAYO DE PENETRACIÓN DINÁMICA LIGERA
(NORMA DIN - 4094)

PROYECTO: ZONIFICACIÓN GEOFÍSICA-GEOTÉCNICA DE SUELOS DEL ÁREA URBANA DEL DISTRITO DE SANTA

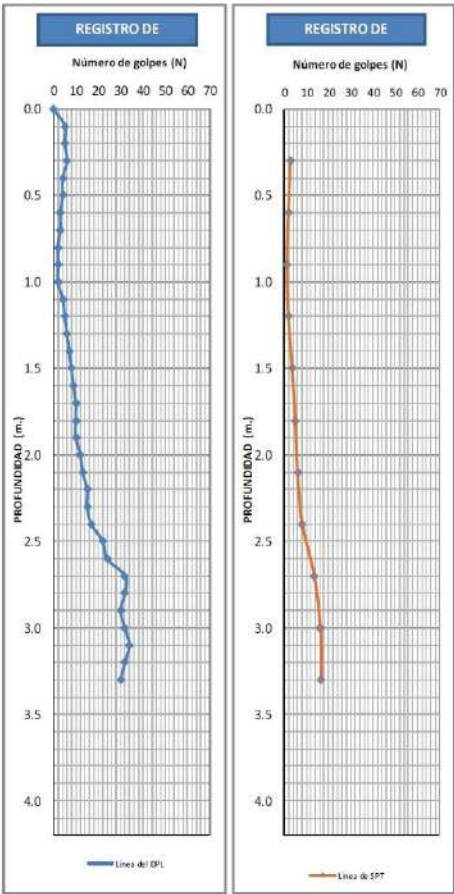
UBICACIÓN:

PROFUNDIDAD (m): 3.30 m
COORDENADAS (m): 761673 E
9005113 N
FECHA: Setiembre, 2023
ELABORADO POR: Héctor Lavado
APROBADO POR: Juan Carlos Gómez A.
RESPONSABLE DEL PROYECTO: Hernando Tavera


ENSAYO: DPL-7
HOJA: 7/7
N.F: ☐ NO presenta nivel freático

Correlación entre DPL y SPT


PROF. (m.)	N _{dpl} (golpes)	N _{spt} (golpes)	C _{spt} (Tn/m ²)	φ _{spt} (°)	Compacidad Relativa
0.00	0				
0.10	5				
0.20	5	2.76	0.0	22.4	Muy Suelta
0.30	6				
0.40	4				
0.50	4	1.90	0.0	21.2	Muy Suelta
0.60	3				
0.70	3				
0.80	2	1.21	0.0	19.9	Muy Suelta
0.90	2				
1.00	2				
1.10	4	1.90	0.0	21.2	Muy Suelta
1.20	5				
1.30	6				
1.40	7	3.63	0.0	23.5	Muy Suelta
1.50	8				
1.60	9				
1.70	10	5.01	0.0	25.0	Suelta
1.80	10				
1.90	10				
2.00	12	6.04	0.0	26.0	Suelta
2.10	13				
2.20	15				
2.30	15	8.12	0.0	27.7	Suelta
2.40	17				
2.50	22				
2.60	24	13.47	0.0	31.4	Media
2.70	32				
2.80	32				
2.90	30	16.23	0.0	33.0	Media
3.00	32				
3.10	34				
3.20	32	16.58	0.0	33.2	Media
3.30	30				
3.40					
3.50					
3.60					
3.70					
3.80					
3.90					
4.00					
4.10					
4.20					



OBSERVACIONES: El ensayo concluyó a 3.30 m de profundidad, los suelos corresponden a capa de compactación media.



PERÚ
Ministerio
del Ambiente



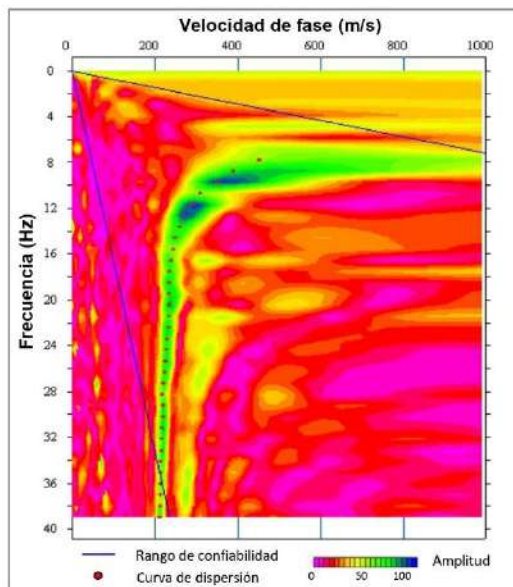
ANEXO 3

Información Geofísica: Perfiles Sísmicos MASW y MAM

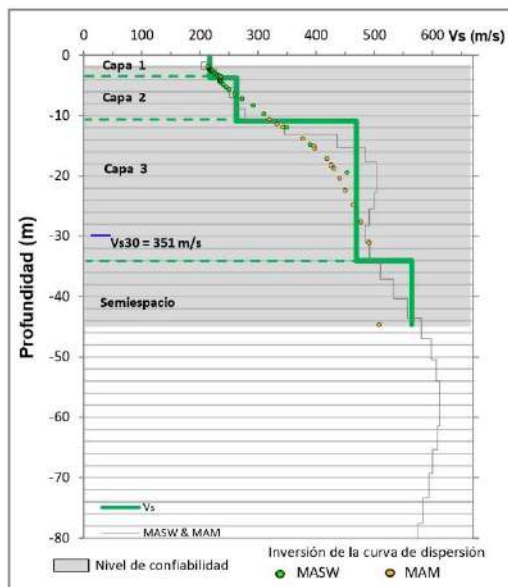
Análisis Multicanal de Ondas Superficiales y Microtremores (MASW y MAM 1D)

LS01-SNT

Curva de dispersión MASW



Perfil de velocidad Vs



Curva de dispersión MAM

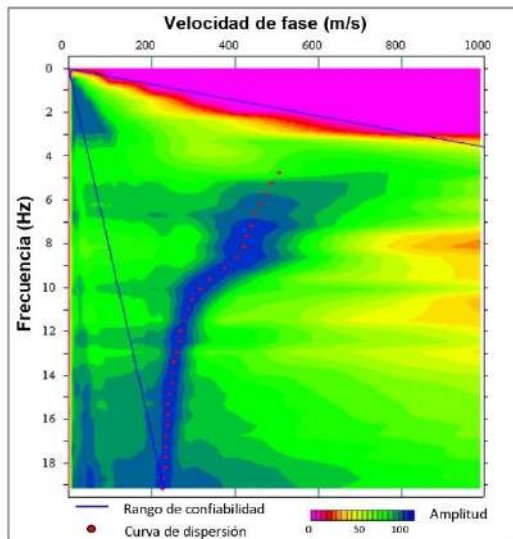
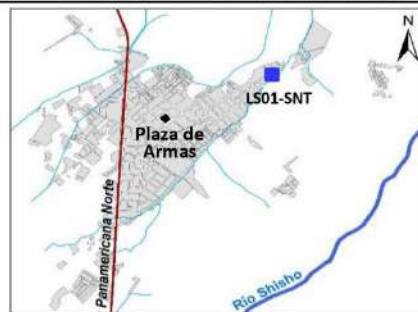


Tabla de resultados

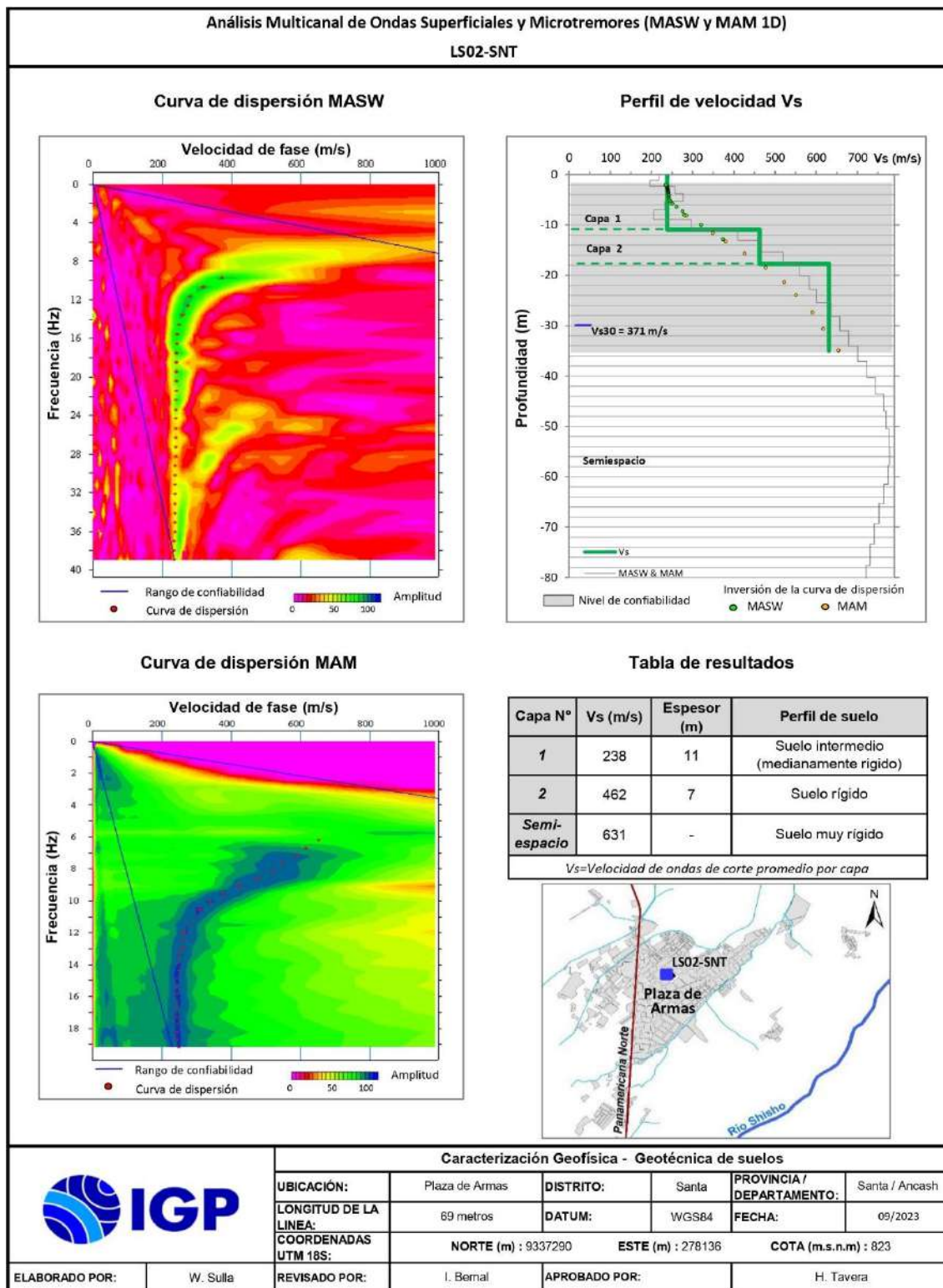
Capa N°	Vs (m/s)	Espesor (m)	Perfil de suelo
1	217	4	Suelo intermedio (medianamente rígido)
2	263	7	
3	469	23	Suelo rígido
Semi-espacio	564	-	Suelo muy rígido

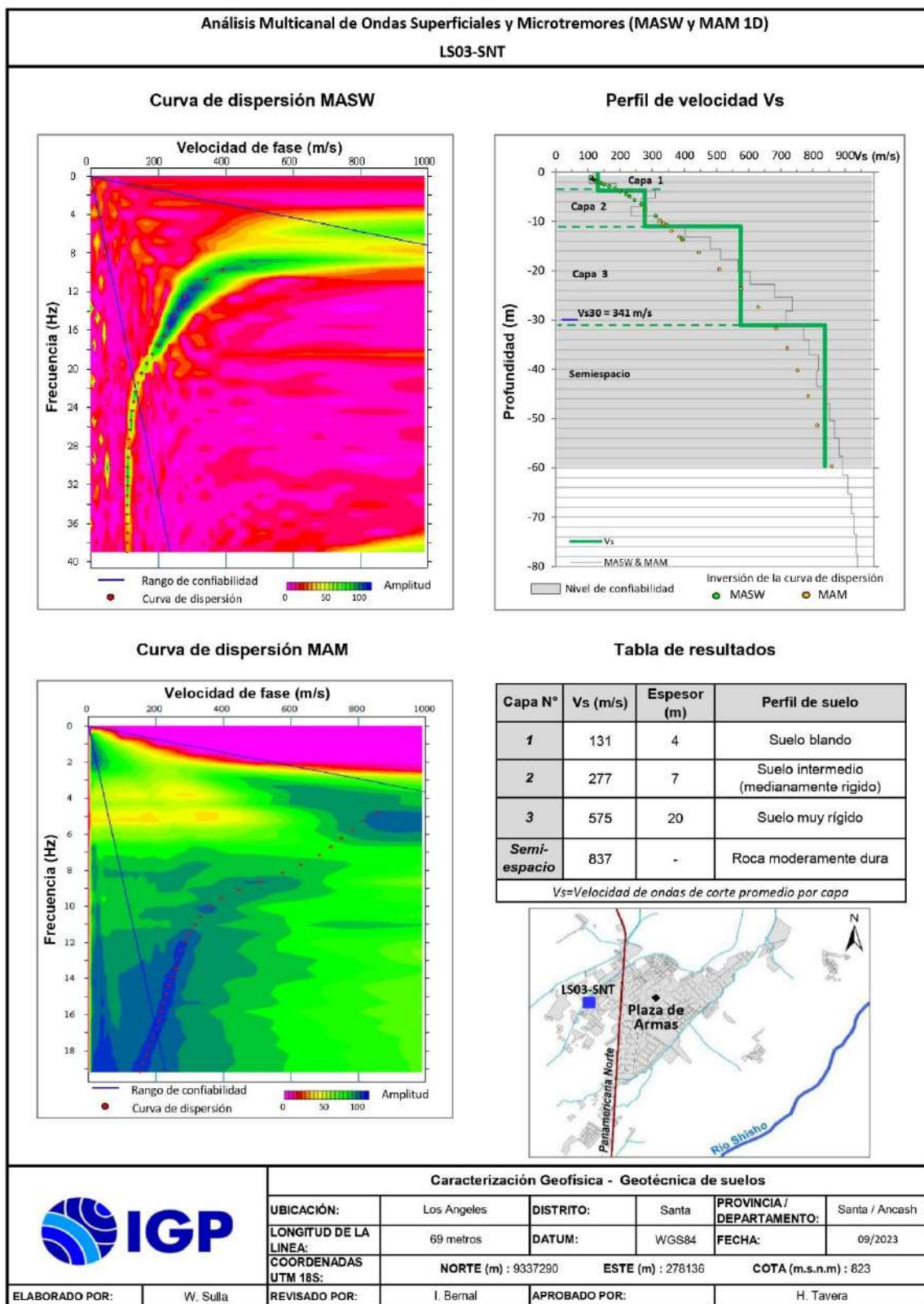
Vs=Velocidad de ondas de corte promedio por capa

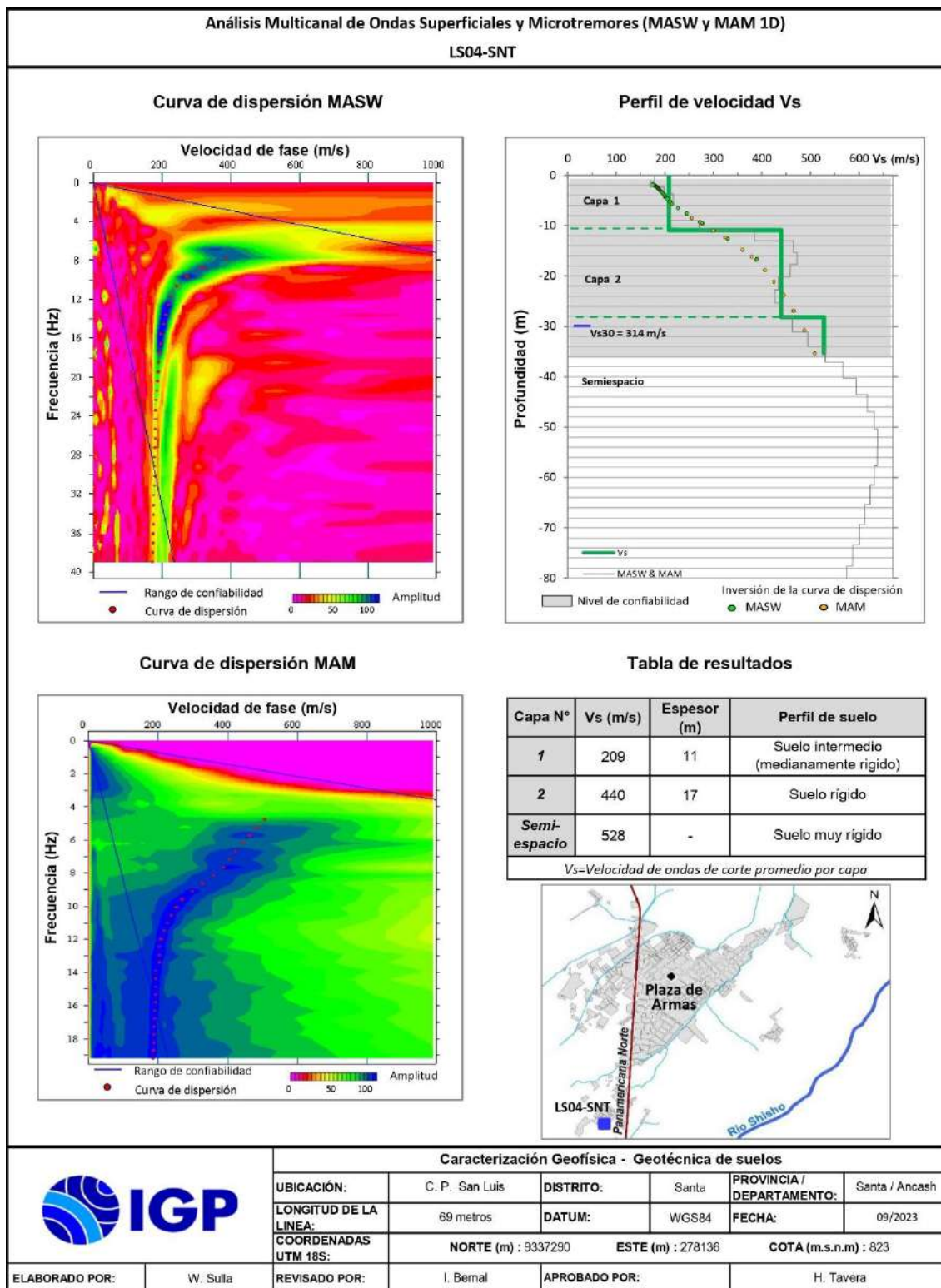


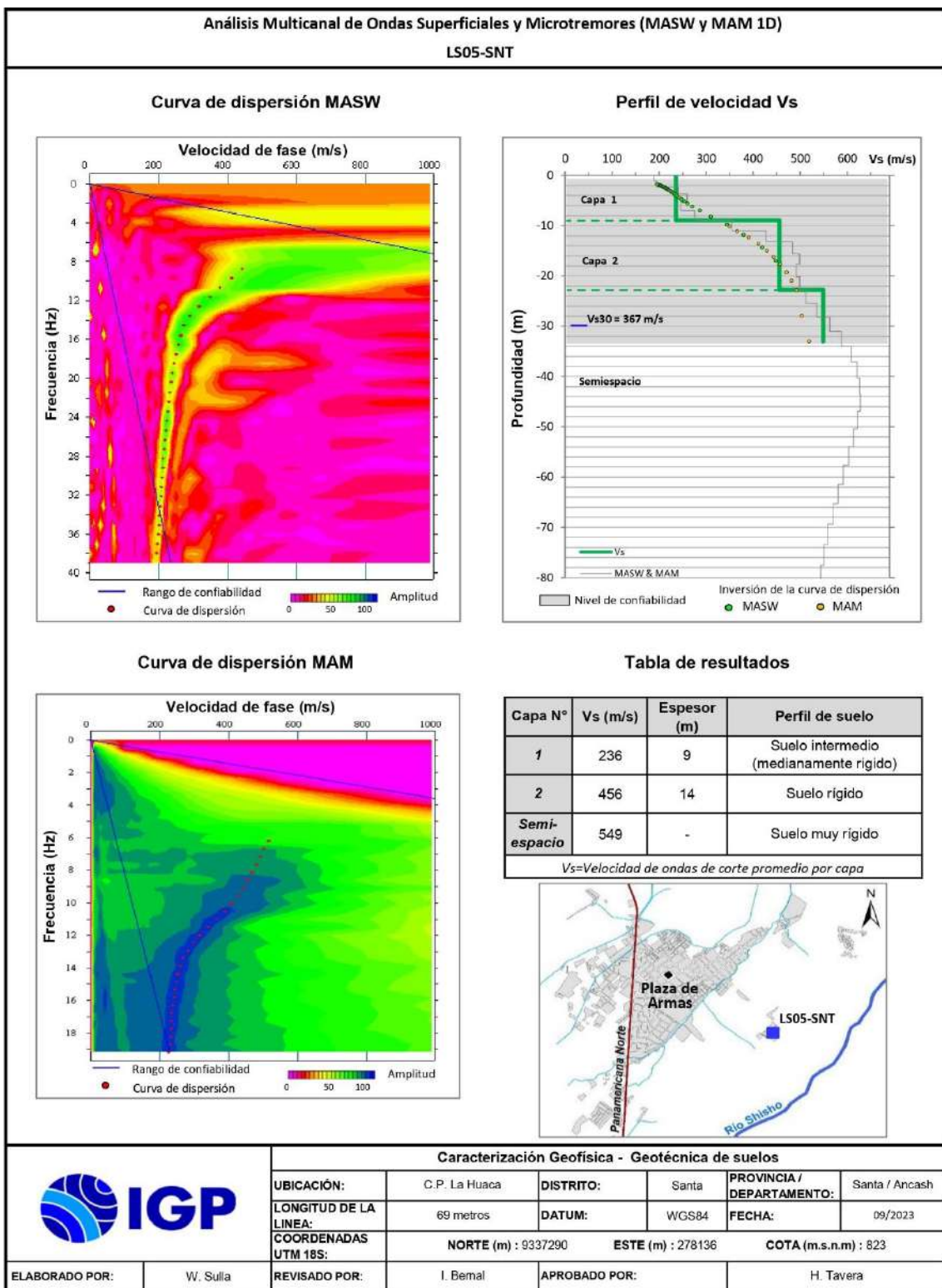
Caracterización Geofísica - Geotécnica de suelos

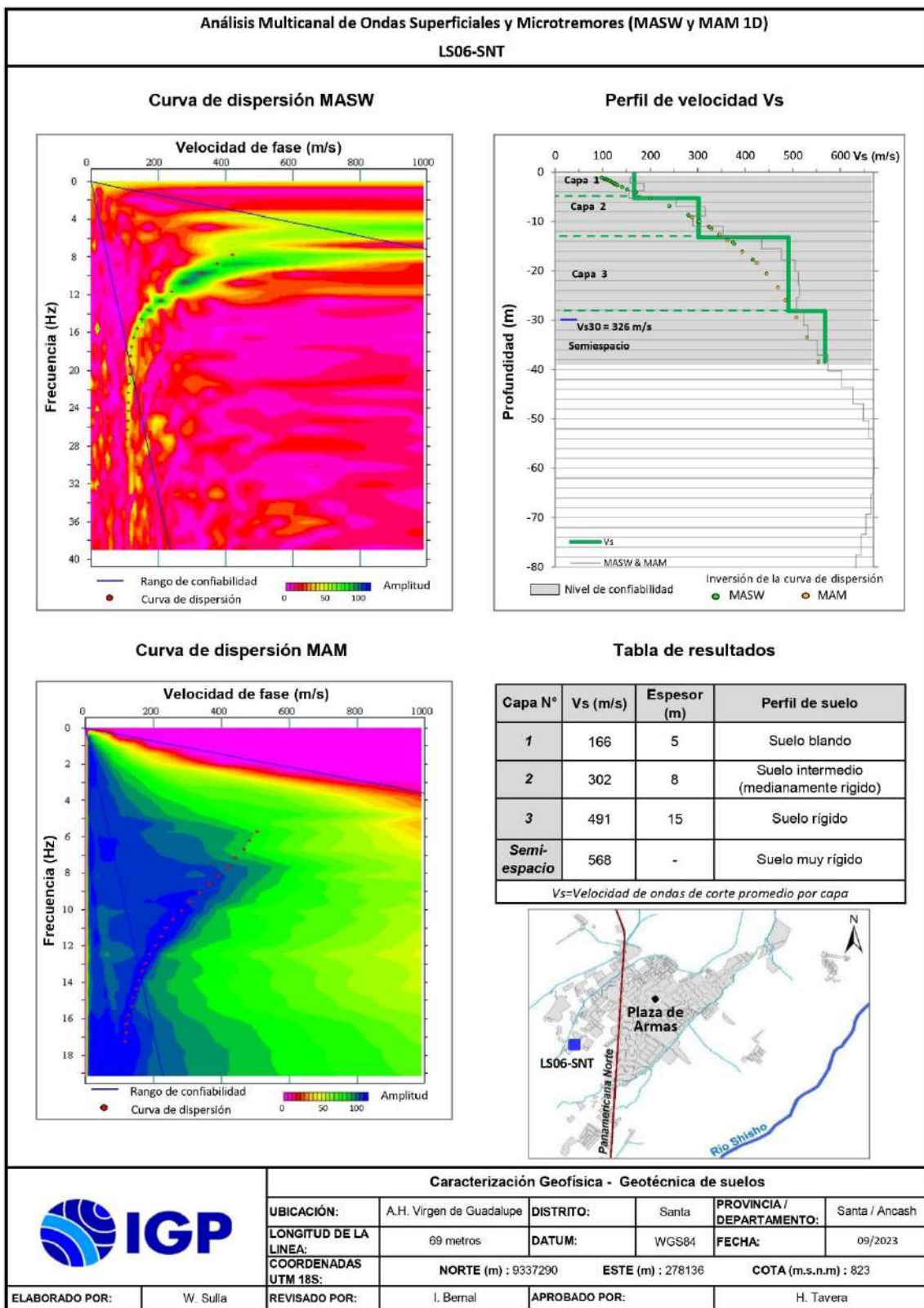
UBICACIÓN:	Urb. San Carlos Alto	DISTRITO:	Santa	PROVINCIA / DEPARTAMENTO:	Santa / Ancash
LONGITUD DE LA LINEA:	69 metros	DATUM:	WGS84	FECHA:	09/2023
COORDENADAS UTM 18S:	NORTE (m) : 9337290	ESTE (m) : 278136	COTA (m.s.n.m) : 823		
ELABORADO POR:	W. Sullá	REVISADO POR:	I. Bernal	APROBADO POR:	H. Tavera

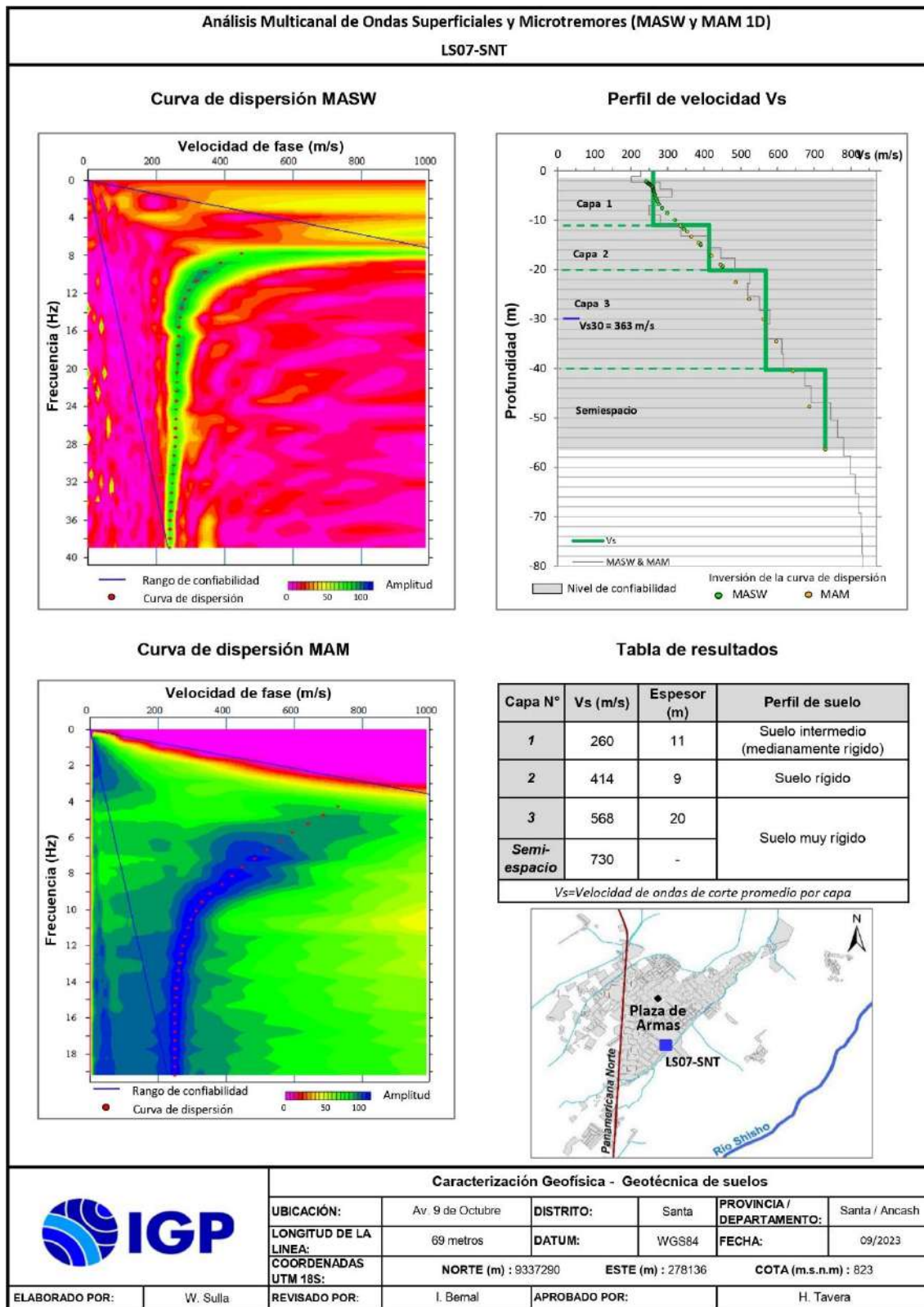


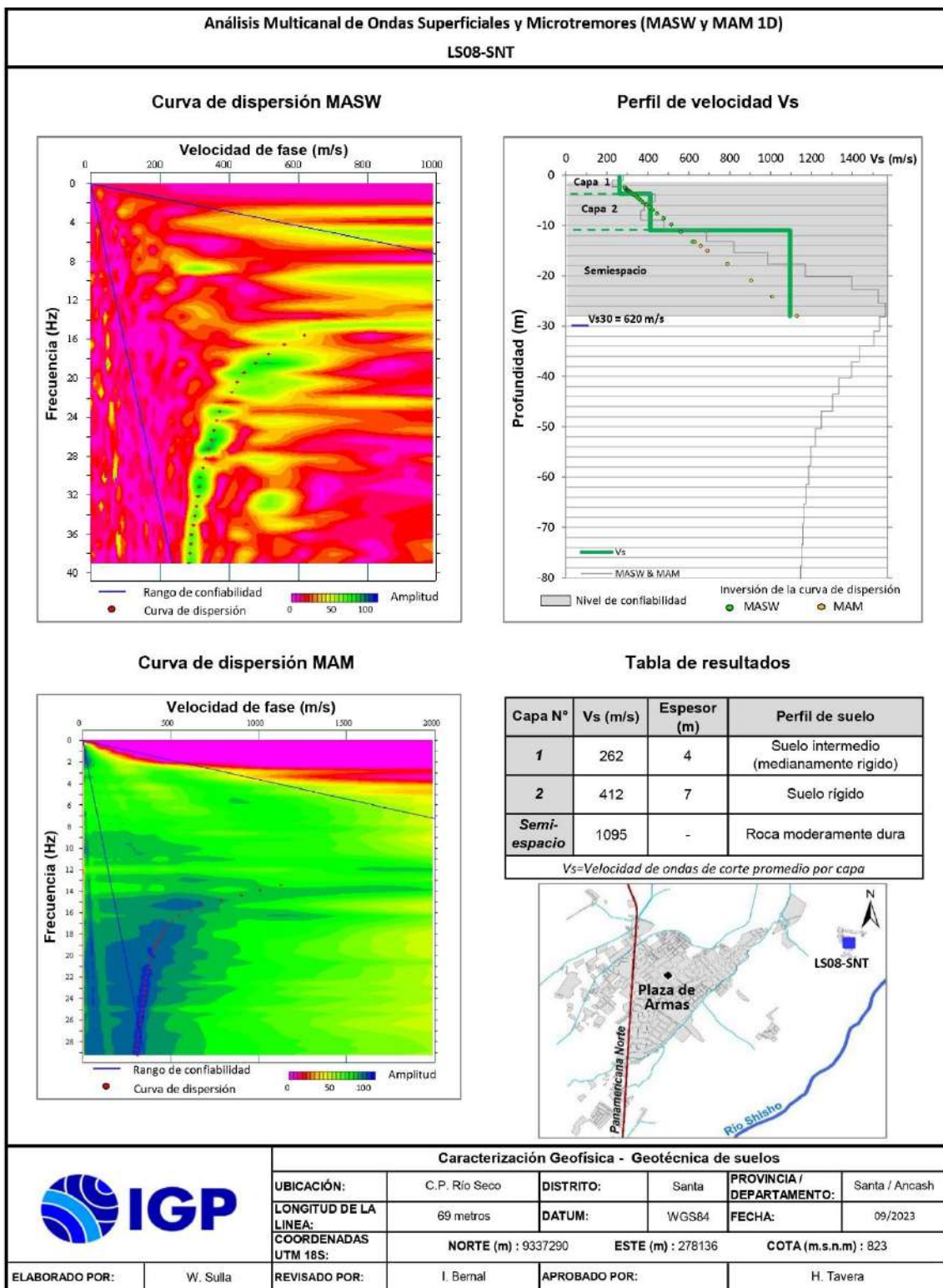




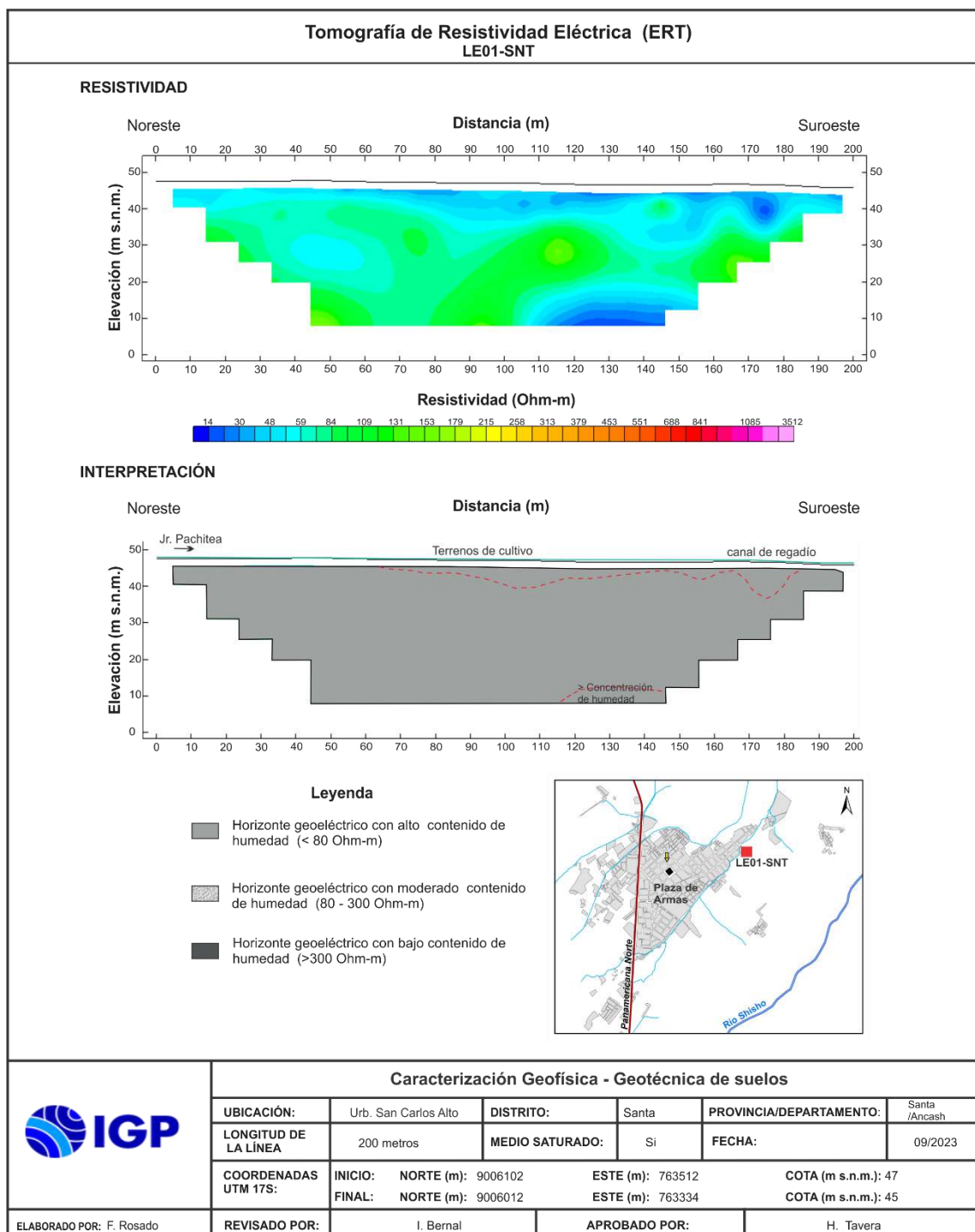


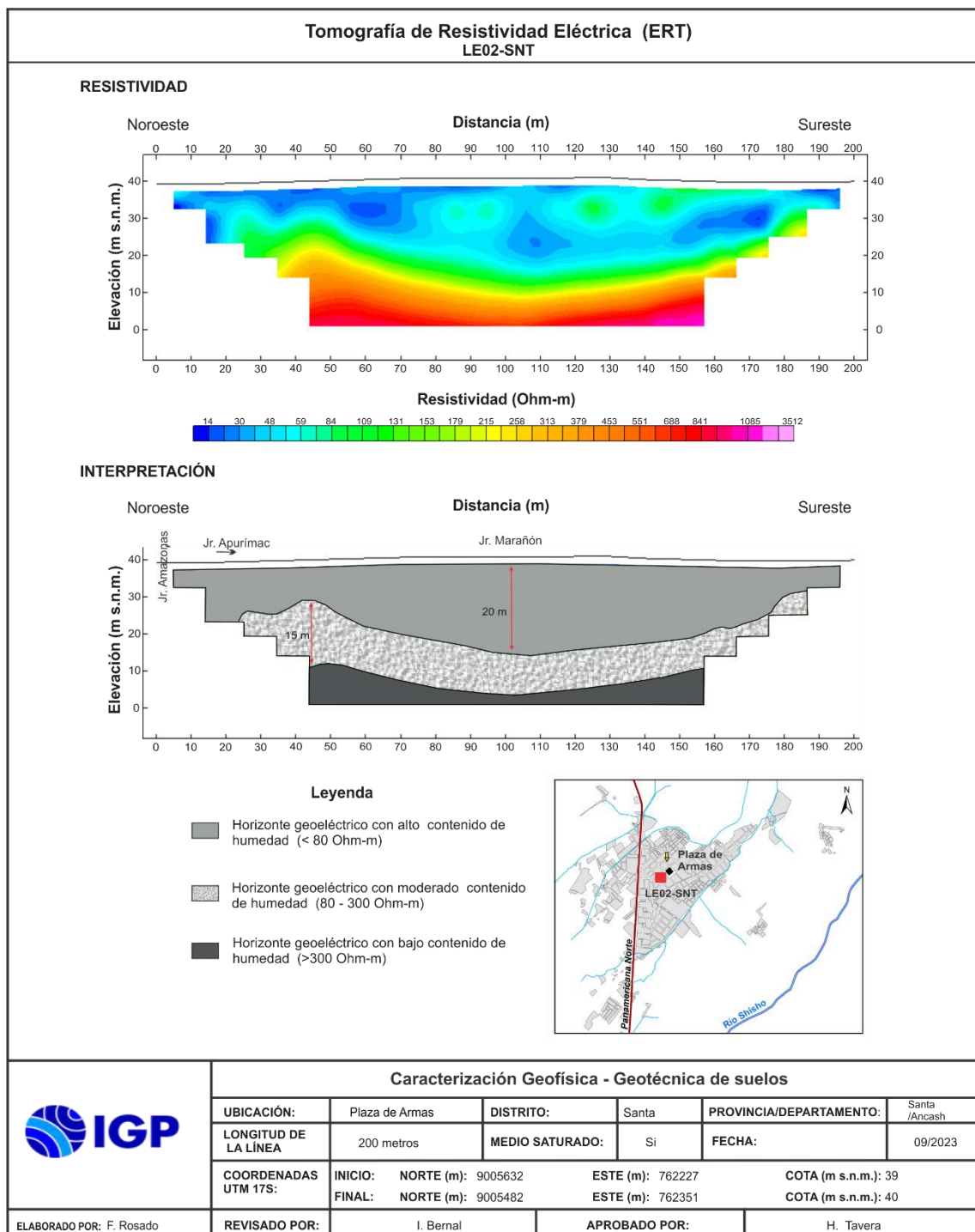


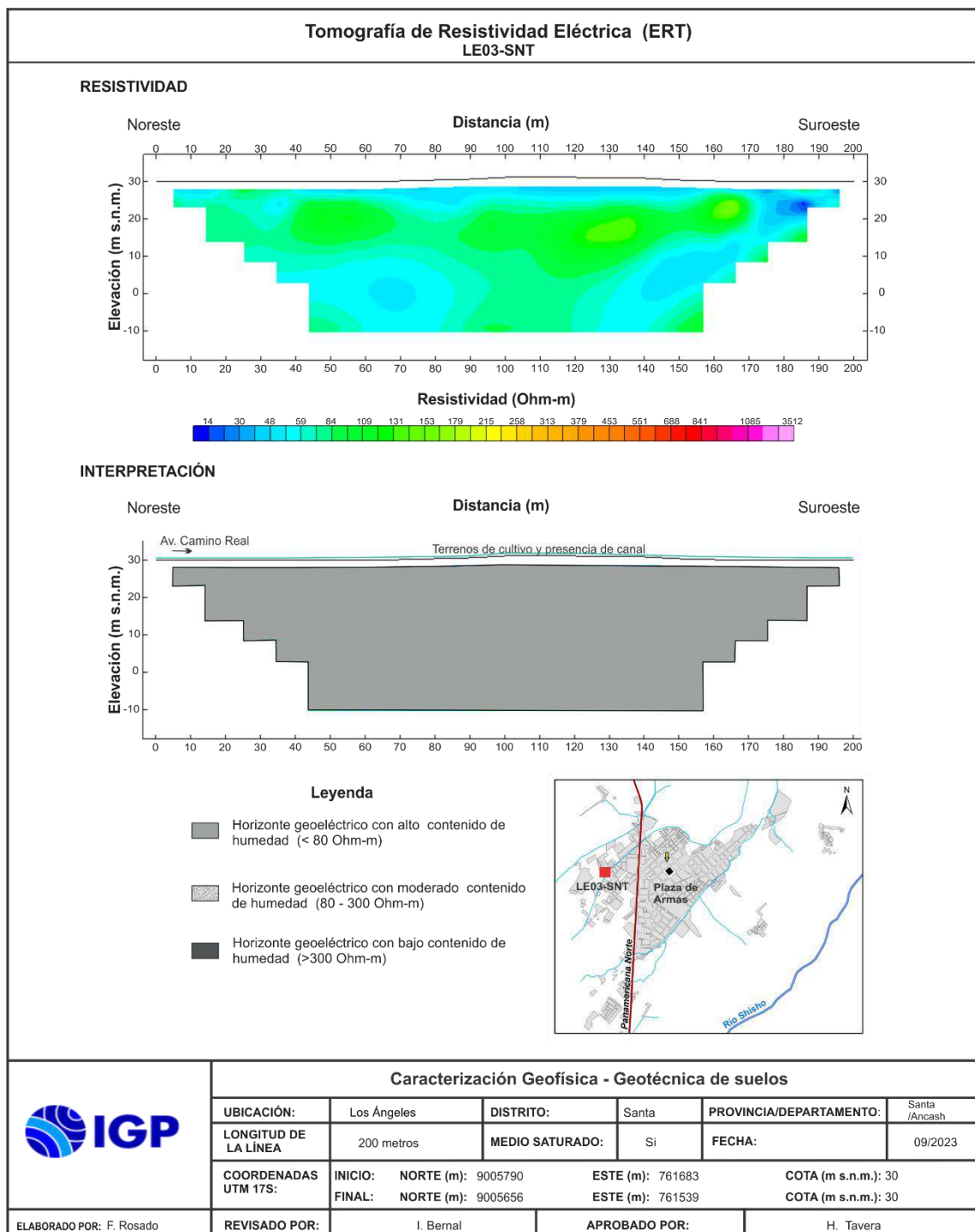




**Información Geofísica:
Secciones de Tomografía Eléctrica**








RESISTIVIDAD



-

	Caracterización Geofísica - Geotécnica de suelos					
	UBICACIÓN:	C.P. San Luis	DISTRITO:	Santa	PROVINCIA/DEPARTAMENTO:	Santa /Ancash
	LONGITUD DE LA LÍNEA	200 metros	MEDIO SATURADO:	Si	FECHA:	09/2023
	COORDENADAS UTM 17S:	INICIO:	NORTE (m): 9003928	ESTE (m): 761375	COTA (m s.n.m.): 29	
		FINAL:	NORTE (m): 9003792	ESTE (m): 761513	COTA (m s.n.m.): 28	
ELABORADO POR: F. Rosado	REVISADO POR:	I. Bernal	APROBADO POR:		H. Tavera	

