



PERÚ

Ministerio
del Ambiente



ESTUDIO GEOFÍSICO – GEOTÉCNICO DE LOS SUELOS EN CENTROS POBLADOS DE LA REGIÓN PIURA Y SU APORTE A LA GRD C. P. JÍBITO

Informe Técnico N°009-2024/IGP CIENCIAS DE LA TIERRA SÓLIDA



Lima – Perú
Enero, 2024

Instituto Geofísico del Perú

Presidente Ejecutivo: Hernando Tavera

Director Científico: Edmundo Norabuena

Director Ciencias de la Tierra Sólida: Juan Carlos Gómez

Informe Técnico

Estudio geofísico – geotécnico de los suelos en centros poblados de la Región Piura y su aporte a la gestión del riesgo de desastres – C.P. Jíbito.

Autores

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

Participantes:

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

Cartografía: Javier Oyola.

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

Apoyo técnico: Jesús Huarachi.

Apoyo logístico: Robert Yupanqui / Augusto Cárdenas.

Apoyo administrativo: Marisol Enríquez / Susana Huaccachi

Este informe ha sido producido por el Instituto Geofísico del Perú
Calle Badajoz 169 Mayorazgo
Teléfono: 51-1-3172300

**ESTUDIO GEOFÍSICO – GEOTÉCNICO DE LOS SUELOS EN CENTROS
POBLADOS DE LA REGIÓN PIURA Y SU APOORTE A LA GESTIÓN DEL
RIESGO DE DESASTRES**

– C. P. JÍBITO –

Lima – Perú
Enero, 2024

CONTENIDO

RESUMEN

1.- INTRODUCCIÓN

1.1. OBJETIVOS

1.2. ÁREA DE ESTUDIO

1.3. MARCO TEÓRICO

2.- GEOLOGÍA, GEOMORFOLOGÍA Y GEOTÉCNIA

2.1. GEOLOGÍA LOCAL

2.2. GEOMORFOLOGÍA

2.2.1. Levantamiento topográfico - fotogrametría

2.2.2. Unidades geomorfológicas

2.3. GEODINÁMICA

2.4. GEOTÉCNIA

3.- EVALUACIÓN GEOFÍSICA

3.1. METODOLOGÍA

3.1.1. Razones espectrales (H/V)

3.1.2. Ondas superficiales y microtemores

3.1.3. Tomografía de resistividad eléctrica

3.2. ADQUISICIÓN DE DATOS

3.3. RESULTADOS

3.3.1. Frecuencias predominantes

3.3.2. Perfiles sísmicos

3.3.3. Secciones geoeléctricas

3.4. INTEGRACIÓN DE RESULTADOS

4.- ZONIFICACIÓN GEOFÍSICA-GEOTÉCNICA

CONCLUSIONES

REFERENCIAS

ANEXOS

ANEXO 1: Información topográfica

Ortomosaico

Curvas de nivel

ANEXO 2: Información geofísica

Perfiles sísmicos

Secciones geoeléctricas

RESUMEN

En este estudio se analiza y evalúa las características físicas y dinámicas de los suelos del Centro Poblado Jíbito – Región Piura, a partir de la aplicación de técnicas geofísicas y geotécnicas. Los resultados obtenidos evidencian la presencia de suelos medianamente rígidos a rígidos (suelos aluviales con velocidades V_{s30} : 314 - 373 m/s) formando capas de 47 metros en dirección suroeste (barrio San Martín) y de 54 metros en dirección noreste (barrio Hipólito Unanue). Los suelos responden principalmente a periodos de 0.1 segundos y de manera sectorizada presenta sensibilidad a un segundo rango a periodos largos (≥ 0.9 segundos) y presentan capacidad de carga admisible Muy Baja ($< 1.0 \text{ Kg/cm}^2$), a profundidades de 1.0 y 1.5 metros. De acuerdo con estas características en el C.P. Jíbito predominan Suelos Tipo S2 (Norma E.030 – adaptación para el área de estudio) que corresponden a suelos medianamente rígidos con la presencia de una capa delgada de suelos blandos a nivel superficial (Norma E.030– adaptada para el área de estudio). Los suelos, en dirección Oeste de la plaza de Jíbito (Barrio 26 de Febrero) presentan alto contenido de humedad que fluctúa entre 2 y 40 metros de profundidad y en dirección Este, el contenido de humedad a nivel superficial es bajo hasta los 30 metros de profundidad. A la ocurrencia de un sismo de modera a mayor magnitud, estos suelos pueden experimentar niveles altos de sacudimiento.

1. INTRODUCCIÓN

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

Después de ocurrido el sismo de Sullana, la evaluación de los daños fue mayor en las ciudades y localidades de Piura, Sullana, Paita, Chulucanas y Colán, debido principalmente a la presencia de suelos blandos y/o con efectos de sitio, llegando a corroborar que las características físicas del subsuelo influyen directamente en el comportamiento dinámico del suelo sobre el cual se levantan las ciudades y/o futuras áreas de expansión. En este sentido, resulta de vital importancia conocer la composición geológica de los suelos y su comportamiento dinámico a la ocurrencia de sismos y ello, es posible con la aplicación de métodos geofísicos. Estos métodos permiten conocer, por ejemplo, el contenido de humedad, espesores y velocidades de las ondas de corte (V_s) en las capas que conforman su subsuelo y a su vez, los resultados obtenidos pueden ser correlacionados con los aspectos geo-ambientales de la zona de estudio. El suelo acondiciona el diseño y la construcción de viviendas y estructuras apropiadas para cada tipo de suelo.

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

1.1. Objetivos

El presente estudio tiene como objetivo conocer los parámetros físicos de la estructura del suelo y su comportamiento dinámico ante la ocurrencia de sismos, a fin de generar el Mapa de Zonificación Geofísica – Geotécnica para el C.P. Jíbito, ubicado en el distrito de Miguel Checa, provincia de Sullana en la región Piura. Mediante el uso de diferentes métodos geofísicos, geológicos y geotécnicos que, en conjunto, permitirán determinar los diferentes parámetros físicos y dinámicos del suelo (velocidades, espesores, resistividad, periodos de respuesta, amplificaciones, capacidad portante y otros). Los resultados de este estudio deben ser considerados por las autoridades locales como un instrumento de gestión del riesgo de desastres, a fin de realizar una adecuada planificación territorial y expansión urbana.

1.2. ÁREA DE ESTUDIO

El centro poblado Jíbito se ubica en la región norte del Perú, en el distrito de Miguel Checa, provincia de Sullana en el departamento de Piura (Figura 1), entre las coordenadas geográficas latitud 4.90°S y longitud 80.74°O, a una elevación media de 66 m.s.n.m. Asimismo, tiene una población de 4423 habitantes (INEI, 2017) y su superficie se caracteriza por presentar un relieve llano ubicado a una distancia promedio de 550 metros al sur del cauce del río Chira (presenta un desnivel). Los fenómenos naturales que afectan directamente a esta población son los sismos y las intensas precipitaciones que pueden generar altos niveles de sacudimiento del suelo e inundaciones, que causarían daños a la población.

1.3. MARCO TEÓRICO

• Zonificación, Norma Técnica E.030

En el Perú, la construcción de obras civiles de cualquier envergadura debe considerar lo establecido por la Norma Técnica E.030 “Diseño Sismorresistente” del Reglamento Nacional de Edificaciones, modificada según Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda y actualizada según Resolución Ministerial N° 355-2018-Vivienda. Básicamente, esta norma considera los perfiles de suelos en función de sus propiedades

físicas, tomando en cuenta la velocidad promedio de propagación de las ondas de corte, o alternativamente estudios de mecánica de suelos (EMS). A continuación, se describen los parámetros para clasificar los perfiles de suelos en la Tabla 1:

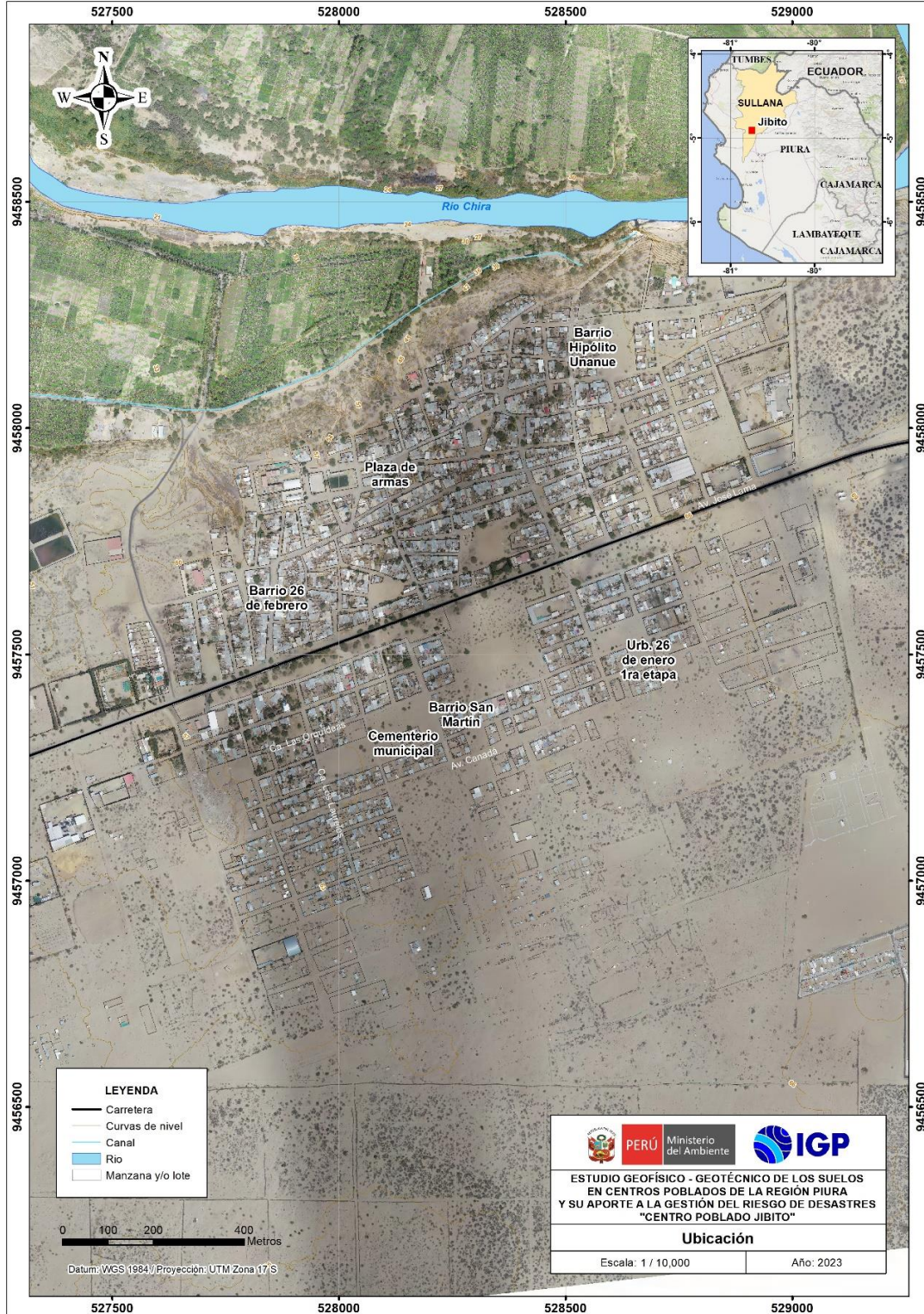


Figura 1. Centro Poblado de Jíbito.

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

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

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:

di = espesor de cada uno de los estratos n.

Vsi = velocidad de ondas de corte (m/s).

Para este estudio, la Zonificación Geofísica - Geotécnica de las ciudades se realiza en función de las características mecánicas, físicas y dinámicas de los suelos que conforman el terreno de cimentación del área de estudio y de las consideraciones dadas por la Norma E.030. De acuerdo a los estudios realizados por el Instituto Geofísico del Perú (IGP), el rango de velocidad de los perfiles de suelo S1 y S2 se subdividen, a fin de

analizar con mayor detalle las velocidades de ondas de corte que caracterizan a los suelos identificados en la zona de estudio, en ese sentido se establece la existencia de 5 zonas cuyas características se muestran en la Tabla 1.

● **Antecedentes:**

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

Alfaro et al. (2014): Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). El estudio detalla el cálculo de umbrales de precipitación usando datos de la red de estaciones meteorológicas del SENAMHI para el periodo 1964 – 2014 y de la estación meteorológica Mallares que se ubica a 6.60 km al noreste del área de estudio. De acuerdo con los datos meteorológicos de dicha estación, las precipitaciones en el área de estudio se presentan entre el periodo diciembre – abril, siendo el umbral máximo calculado en la estación Mallares el valor de 80.70 mm para un día extremadamente lluvioso.

Laboratorio de mecánica de suelos del Gobierno Regional de Piura (2022): El estudio de mecánica de suelos se realizó con fines de cimentación para el proyecto: "Elaboración de los estudios de evaluación de riesgo de desastres - EVAR para la formulación del plan regional integral de reconstrucción ante el sismo de 30 de julio del 2021". Según el estudio, se han realizado cuatro (4) calicatas en el área urbana del C.P. Jíbito con profundidades máximas de 3.0 metros; posteriormente se realizaron ensayos de mecánica de suelos (contenido de humedad del suelo, análisis granulométrico, límites líquido y plástico, proctor modificado, corte directo y sales solubles totales) y cuyos resultados han permitido identificar, según la clasificación SUCS, que en el área urbana de Jíbito, los suelos están compuestos por arena mal gradada, arenas limosas, arcillosas y arcillas inorgánicas. Asimismo, los parámetros geotécnicos obtenidos mediante el ensayo de corte directo, indican que el ángulo de fricción de los suelos presenta valores entre 27° y 30 °, así como cohesión de 0.01. Según el estudio geotécnico, la capacidad portante en Jíbito presenta capacidad de carga admisible muy baja (< a 1.00 kg/cm²).

2. GEOLÓGIA, GEOMORFOLÓGIA Y GEOTÉCNIA

2.1. GEOLOGÍA LOCAL

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

Depósitos aluviales antiguos (Qh-al1): Unidad geológica que se encuentra conformada por materiales heterogéneos como gravas, arenas y limos que fueron transportados por flujos de agua a través de antiguos cauces de quebradas hasta ser depositados en zonas de baja pendiente. Sobre esta unidad se asienta el área urbana del C.P. Jíbito (Figura 2).



Figura 2.- Depósito aluvial antiguo donde se encuentra asentada el área urbana del C.P. Jíbito

Depósitos fluvio – aluvial (Qh-fal): Están conformados por materiales heterogéneos como clastos, arenas y capas de limos, e encuentran a ambas márgenes del río Se ha identificado en el valle del Chira y se desarrolla la actividad agrícola. Esta unidad se ha identificado a 345 m al norte de la plaza principal del C.P. Jíbito, (Figura 3).



Figura 3.- Depósito fluvio aluvial (quebradas aledañas) se encuentra ubicada al extremo norte del C.P. Jíbito

Depósito aluvial reciente (Qh-al2): Unidad geológica que se encuentra conformada por materiales heterogéneos poco consolidados como gravas en menor proporción, arenas y limos, que fueron transportados por flujos de agua a través de quebradas. Se ha identificado al extremo norte del área de estudio (quebrada Ramón Castilla, entre otros) (Figura 4).

Depósito fluvial (Qh-fl): Están conformados por materiales resultantes de la meteorización y/o erosión, traslado y depositación de rocas preexistentes, transportados por una corriente fluvial permanente, encontrándose depositados en el cauce de los lechos de los ríos y canales, son arenas de grano medio a grueso. Se ha identificado a lo largo del cauce del río Chira (Figura 5).

Depósito antrópico (Qh-an): Conformado por materiales resultantes por actividades inducidas por acción humana que han sido dispuestos en las inmediaciones de las

quebradas situadas hacia el norte del poblado de Jíbito. Consisten en desmonte, desechos y diversos residuos generados por los pobladores (Figura 6).

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



Figura 4.- Depósito aluvial reciente dispuesto en la quebrada situada a 195 m al norte de la plaza principal del C.P. Jíbito



Figura 5.- Depósito fluvial que aflora en el extremo norte del poblado de Jíbito que se encuentra conformado por arenas



Figura 6.- Depósito antrópico dispuesto en el extremo norte del C.P. Jíbito, consiste en materiales generados por actividades inducidas por acción humana

2.2. GEOMORFOLOGÍA

La geomorfología estudia las diferentes formas del relieve de la superficie terrestre (geoformas) y los procesos que las generan. A continuación, se presenta el levantamiento topográfico del área de estudio identificando las elevaciones y pendiente del terreno y se describe las unidades geomorfológicas identificadas en el área urbana del C.P. Jíbito en base a sus características físicas y los procesos que las han originado.

2.2.1. Levantamiento topográfico - fotogrametría

Se realizó el levantamiento topográfico en alta resolución del centro poblado de Jíbito, mediante fotogrametría aérea con un dron modelo Phantom 4 Pro V2.0 y mediciones GNSS (sistema global de navegación por satélites), lo cual ha permitido generar lo siguiente:

- Modelo digital de superficie (MDS y de terreno (MDT): Ambos con una resolución espacial de 35 cm/pixel, los cuales indican que el área de mayor elevación (52 a 78 m.s.n.m.) se encuentra en la zona centro y sur comprendiendo el casco urbano de Jíbito y áreas de cultivo, mientras que la zona de menor elevación (32 a 46 m.s.n.m.) se distribuye al centro y norte abarcando áreas de cultivo y cauce del río Chira (Figura 8).

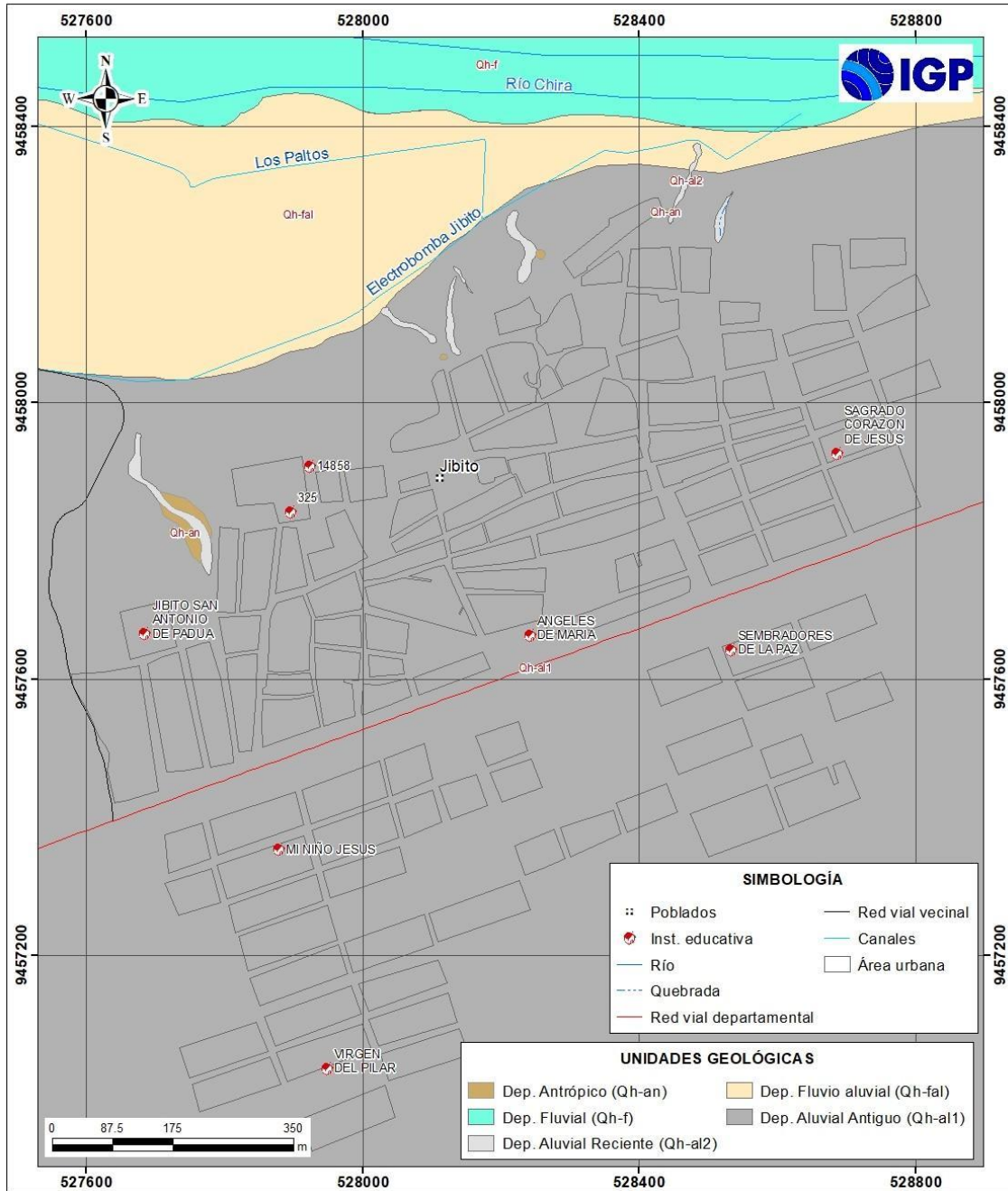


Figura 7. Mapa geológico del área urbana del C.P. Jíbito.

- Ortomosaico: se ha generado a partir de la unión de 1,399 mosaicos que han sido corregidos por distorsiones ocasionados por el relieve y los objetos presentes en Jíbito. La imagen permite identificar las áreas de cultivo identificadas abarcan un área aproximada de 111 ha, el casco urbano 306 ha y el cauce del río Chira 22 has, estas zonas representan el 10%, 30% y 2% del área total respectivamente.

- Mapa de curvas de nivel: A partir del Modelo Digital del Terreno, se ha generado un mapa de curvas de nivel para el C.P. Jíbito con un intervalo de 4 metros a escala 1: 5000. Los resultados muestran elevaciones máximas en la zona centro comprendiendo el casco urbano del Centro Poblado Jíbito y la zona sur.

En el Anexo 1, se presenta el mapa de ortomosaico y de curvas de nivel con intervalos de 4 metros, para el C.P. Jíbito.

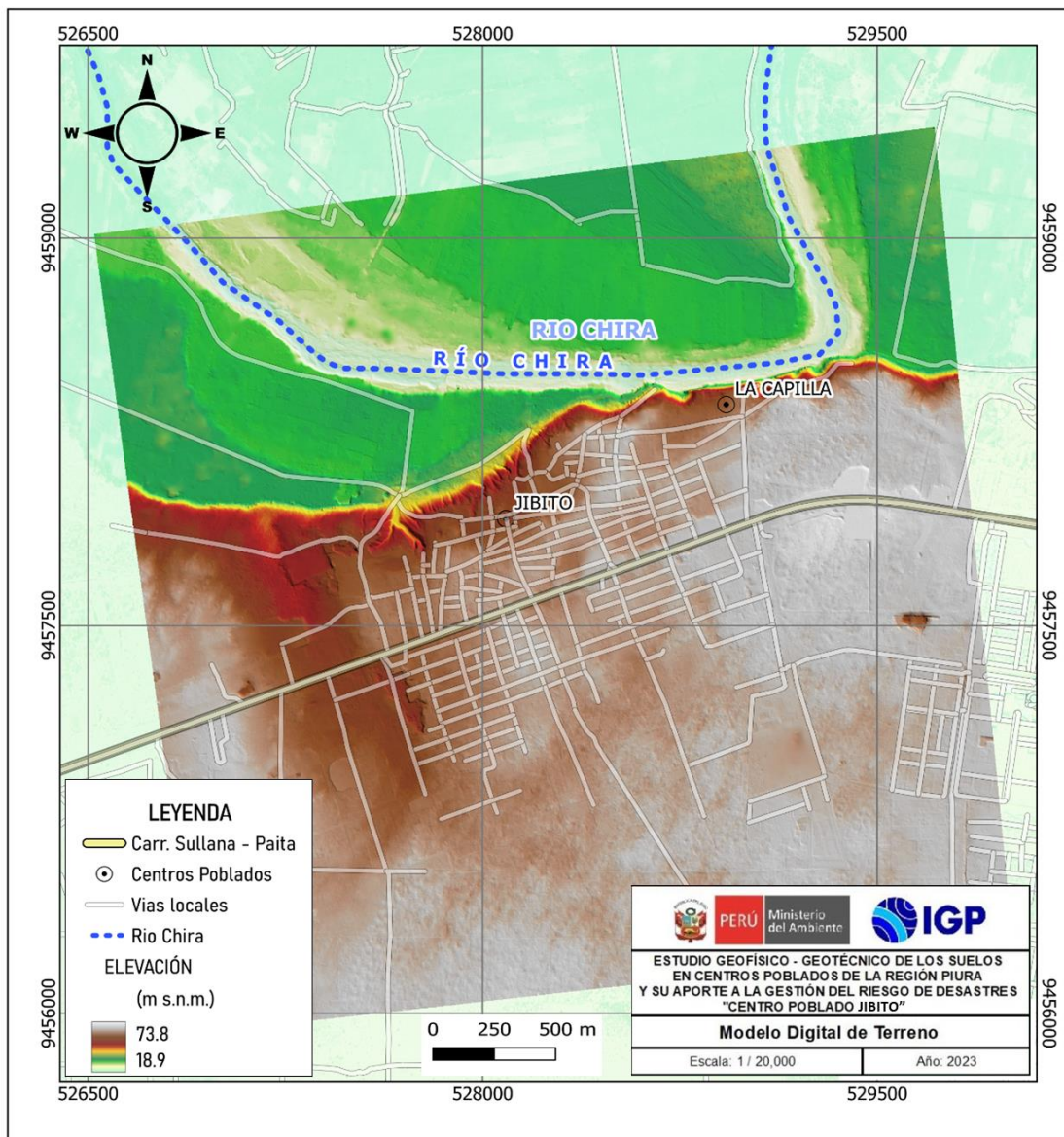


Figura 8. Modelo digital de terreno del C.P. Jíbito.

2.2.2. Unidades geomorfológicas

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

Lecho fluvial: Consiste en un canal excavado por el flujo de agua de un río y los sedimentos que se transportan durante todo su desarrollo y evolución. Esta unidad se encuentra representada por el lecho fluvial del río Chira que discurre en dirección predominante este – oeste del C.P. Jíbito (Figura 9).



Figura 9.- Lecho fluvial del río Chira (flechas amarillas) que drena sus aguas en sentido predominante este – oeste, se ubica a 850 m al noreste de la plaza de Jíbito

Llanura de inundación: Consiste en una superficie llana o planicie de baja pendiente ($< 5^\circ$) que se ubica a ambas márgenes del río Chira y es la zona que comúnmente es inundada durante los periodos de lluvia (diciembre - abril). Unidad formada por acción fluvial del río Chira, está conformada por material fluvial (arenas) y ha sido identificada a 520 m al norte de la plaza principal del C.P. Jíbito (Figura 10).

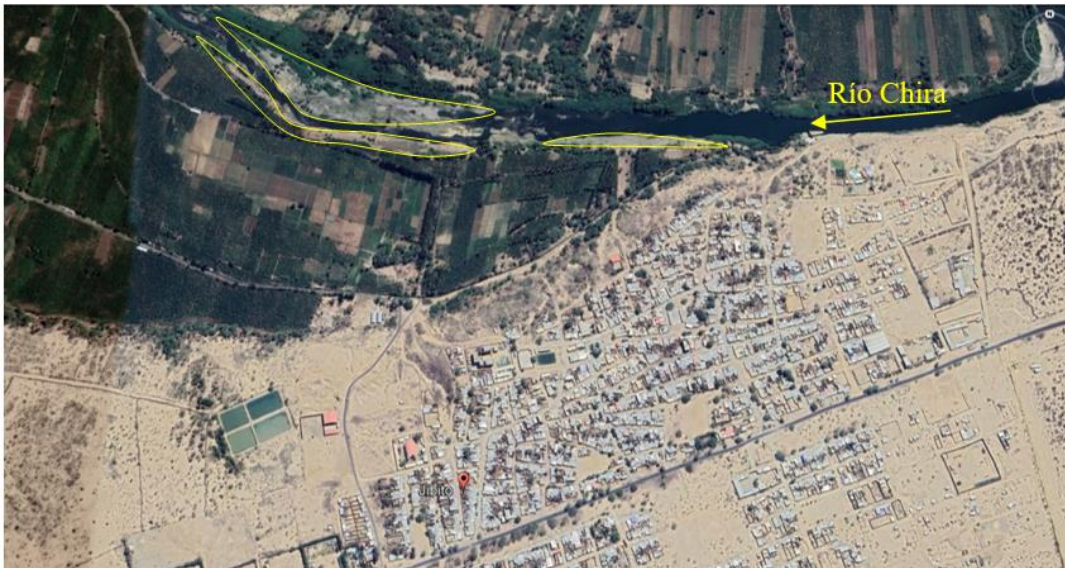


Figura 10.- Llanura de inundación (polígonos amarillos) situados en ambos márgenes del río Chira

Cauce aluvial: Consiste en el cauce de las quebradas, específicamente ocupa el lugar donde se desplaza el flujo de agua, y ha sido identificado en el extremo norte del C.P. Jíbito (margen izquierdo del río Chira), tales como la quebrada Ramón Castilla. Las quebradas situadas en las inmediaciones del C.P. Jíbito son de cauce temporal (se activan durante los meses de diciembre a abril) y evacuan las aguas pluviales hacia el río Chira (Figura 11).



Figura 11.- Cauce aluvial, corresponde a la quebrada ubicada a 300 m hacia el extremo noreste de la plaza de armas del C.P. Jíbito (líneas amarillas señalan la dirección del cauce).

Terraza fluvio - aluvial: Consiste en una superficie llana, cuyo relieve presenta pendientes menores a 12° . Material heterogéneo de origen fluvio -aluvial, presenta desnivel topográfico inferior de aproximadamente de 6 metros respecto al área urbana. Y ha sido identificada en las inmediaciones de las zonas agrícolas del C.P. Jíbito (Figura 12).

Depresión: La depresión aluvial son superficies de baja pendiente (inferior a los 1° de inclinación) respecto a sus áreas circundantes, que tiene un desnivel topográfico de hasta 2 metros inferior con respecto a la terraza aluvial. Esta unidad geomorfológica constituye zonas en las cuales se acumula agua y por tanto son susceptibles a inundaciones pluviales durante el periodo de lluvias intensas (Figura 13).



Figura 12.- Terraza fluvio aluvial (polígono amarillo) situada en el extremo norte del C.P. Jíbito, presenta desnivel topográfico inferior de 6 m respecto a las viviendas del área de estudio

Terraza aluvial: Se refiere a superficies horizontales o ligeramente inclinadas de material heterogéneo (clastos subangulosos a subangulosos envueltos en matriz arenolimoso). Esta unidad geomorfológica es de origen depositacional, presenta una pendiente $< 15^\circ$, sobre esta unidad se asienta la mayor parte del área urbana del C.P. Jíbito (Figura 14).



Figura 13.- Depresión (polígono amarillo) ubicada a 220 m al sureste de la plaza del C.P. Jíbito (contigua a la I.E. Ángeles de María) que presenta desnivel topográfico inferior de 2 m respecto a las viviendas del área de estudio



Figura 14.- Terraza aluvial sobre la cual se asientan la mayor parte de viviendas del C.P. Jíbito

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

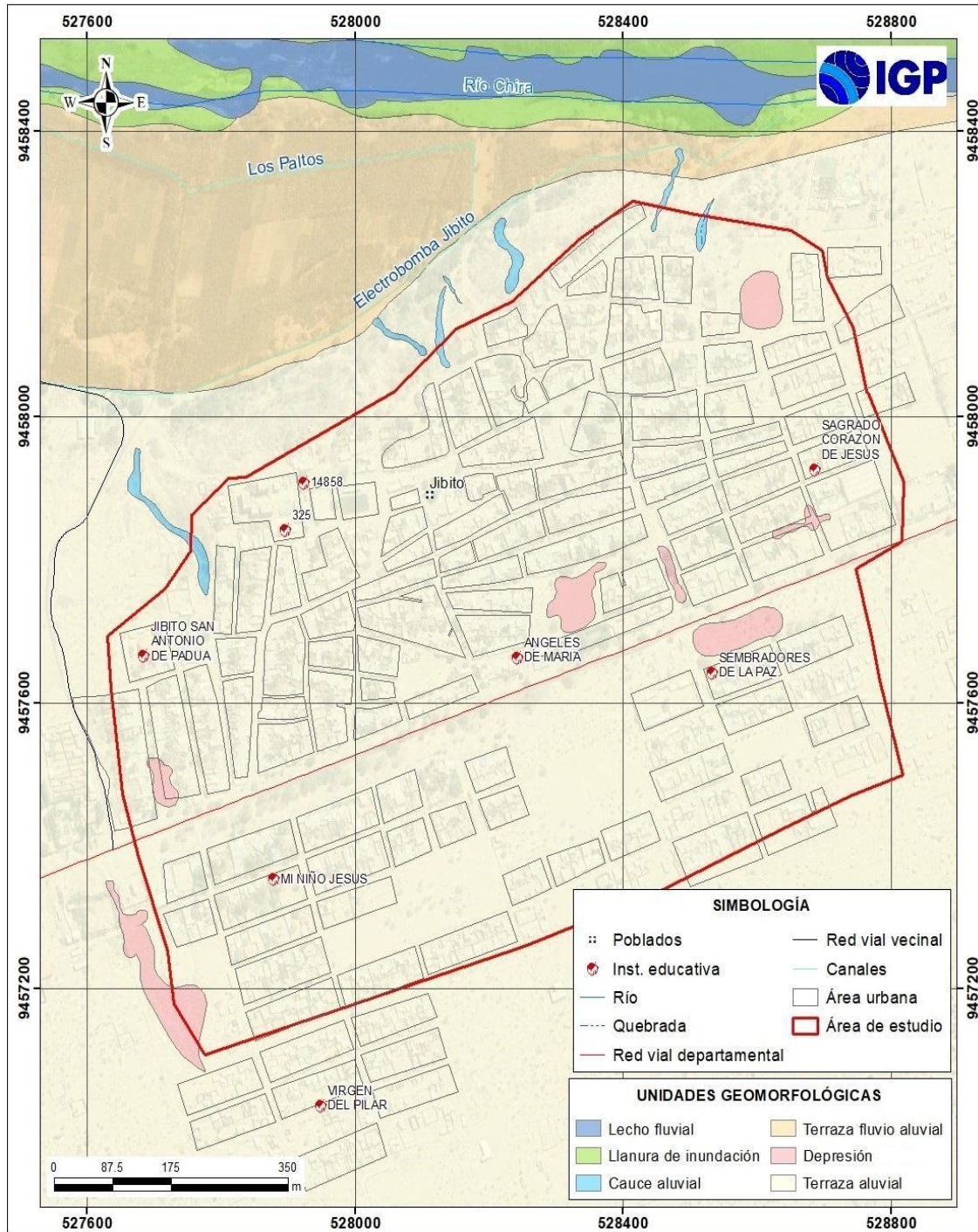


Figura 15. Mapa geomorfológico del área urbana del C.P. Jibito, donde la población se asienta principalmente sobre una terraza aluvial.

2.3. GEODINÁMICA

La Geodinámica estudia los fenómenos geológicos que provocan modificaciones en la superficie terrestre producto de la interacción de procesos geológicos (internos y externos) que originan cambios físicos, químicos y/o morfológicos que alteran y modifican el relieve actual. Durante los trabajos de campo, en el área urbana del C.P. Jíbito, se identificaron los siguientes eventos geodinámicos:

Inundación pluvial: Evento geodinámico que resulta de la acumulación de las aguas provenientes de las precipitaciones pluviales en las partes bajas o de menor pendiente (depresiones). En general, se presentan cuando el terreno se ha saturado y el agua de lluvia excedente comienza a acumularse, pudiendo permanecer horas o días.

Las zonas fueron identificadas y delimitadas con ayuda de pobladores de la zona, los mismos que fueron reconocidos en las inmediaciones de la cancha deportiva ubicada en la Av. Santo Tomas, 30 m al norte de la institución educativa Sembradores de la Paz, 50 m al suroeste de la institución educativa Sagrado Corazón de Jesús, debido a la acumulación y evacuación de las aguas en la parte baja de los techos de las viviendas, ya que no cuentan con un sistema de drenaje perimetral y evacua las aguas hacía la calle, pudiendo afectar a las viviendas aledañas (Figuras 16 y 17).

Inundación fluvial: Evento geodinámico que resulta del desborde de agua, desde el cauce de los ríos y quebradas debido al incremento del caudal durante los periodos (diciembre - mayo) de lluvias intensas generando daños a los elementos expuestos (viviendas, infraestructura pública y zonas de actividad económica).

En el C.P. Jíbito, este tipo de eventos podría generarse durante el incremento del caudal del río Chira, con un posterior desborde de sus aguas y afectaciones en zonas agrícolas situadas a ambas márgenes del río (Figuras 18).

Hacia el extremo norte del C.P. Jíbito ha sido identificado que, durante la ocurrencia de precipitaciones pluviales intensas, las aguas de escorrentía superficial que provienen de la terraza aluvial sobre la que se asientan las viviendas del poblado,

drenan en dirección hacia el río Chira (sur – norte), generando la erosión de los suelos de origen aluvial (limos y arcillas). Se ha identificado en la prolongación de la calle Ramón Castilla y San Luis, (Figura 19)



Figura 16.- Zona de depresión (polígono amarillo) ubicada a 30 m al norte de la institución educativa Sembradores de la Paz donde se producen inundaciones pluviales en épocas de lluvias intensas



Figura 17.- Zona susceptible a inundaciones pluviales (polígono amarillo) ha sido identificada en la vía asfaltada que se sitúa a 30 m al norte del parque El Caballito, cabe señalar que, ocupa una depresión aluvial que presenta desnivel topográfico inferior de 1.0 m respecto a la vía de acceso.

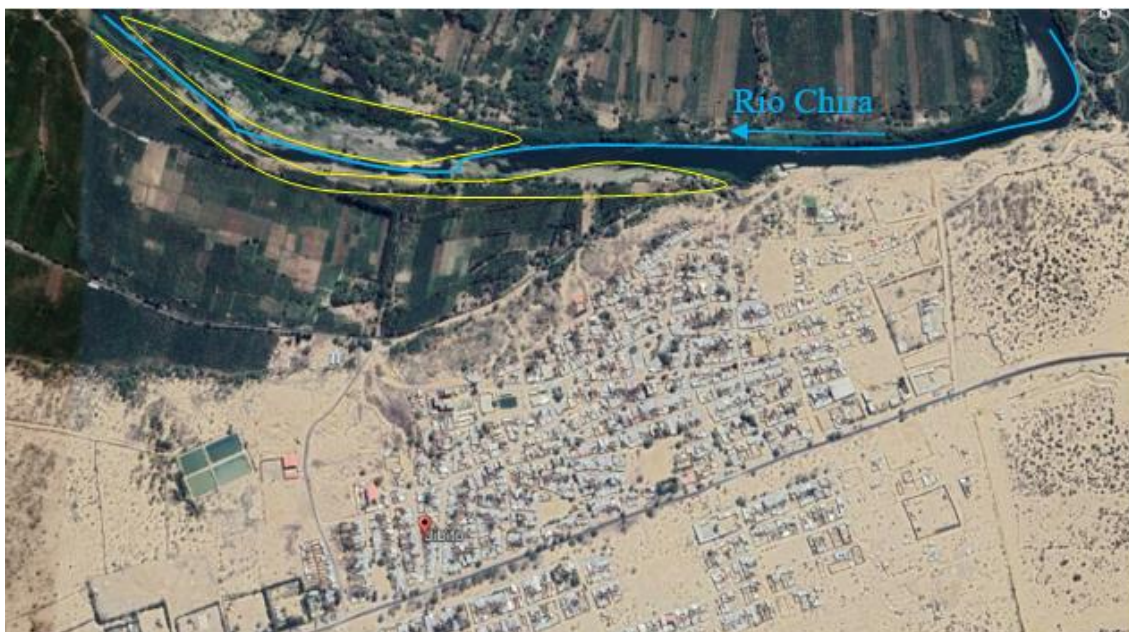


Figura 18.- Zonas susceptibles a inundaciones fluviales (polígono amarillo) identificadas en el extremo norte del C.P. Jíbito y ambas márgenes del río Chira



Figura 19.- Erosión de laderas en el extremo norte del poblado del C.P. Jíbito, generado por la presencia de escorrentías superficiales durante el periodo de lluvias intensas

Finalmente, se cartografía y genera el mapa geodinámico para el área urbana del centro poblado Jíbito (Figura 20).

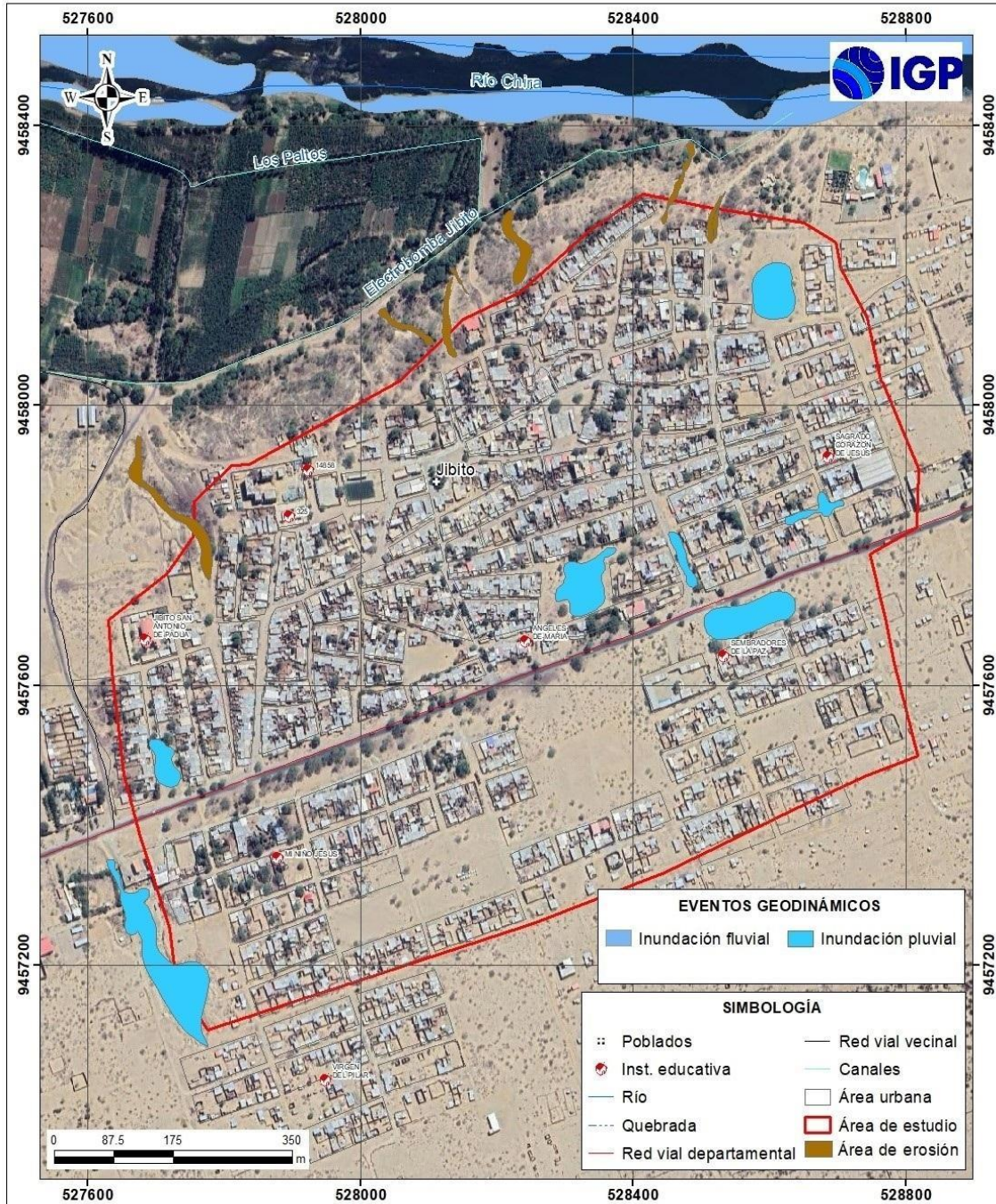


Figura 20. Con la información recopilada en campo, se generó el mapa geodinámico de Jíbito, delimitando las áreas susceptibles a inundaciones pluviales y fluviales.

2.4. GEOTECNIA

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

Exploraciones a cielo abierto (calicatas, norma ASTM 420): Es un método de exploración directa que consiste en realizar una excavación en el terreno para la observación directa del suelo. En el área de estudio se realizaron cuatro calicatas con profundidades de exploración de 3.0 metros, para describir los estratos que la conforman, así como extraer muestras en bolsas herméticas con capacidad de 5 kg. La ubicación de las calicatas se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Ubicación de calicatas.

CALICATA	UTM ESTE (m)	UTM NORTE (m)	PROFUNDIDAD (m)	NIVEL FREÁTICO A (m)
CJ - 01	528611	9458147	3.00	NP
CJ - 02	528591	9457534	1.50	NP
CJ - 03	528314	9457747	2.50	NP
CJ - 04	527973	9457240	3.00	NP

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

Clasificación de suelos SUCS en el área urbana de Jíbito: En base a la información recolectada de las calicatas y los resultados obtenidos de los ensayos granulométricos y de plasticidad realizados por el Gobierno Regional de Piura, se han identificado 05 tipos de suelos, los mismos que han sido agrupados haciendo uso del Sistema de Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y cuyos resultados son (Tabla 3 y Figura 21):

- Suelos tipo SP: Arena mal gradada, con contenido de humedad de 1.60 %, constituyen suelos de compacidad muy suelta a suelta, no presentan plasticidad (debido a la escasa presencia de material fino). Presentan densidades naturales de 1.536 gr/cm³. Abarcan el 57% del área urbana del C.P, de Jíbito y ha sido identificado en la calicata 2, situada a 596 m al sureste de la plaza principal del C.P. Jíbito.
- Suelos tipo SM: Están conformados por arenas limosas, de humedad baja (5.1%), constituyen suelos de compacidad media a baja, presenta baja plasticidad (3%) y densidad natural de 1.608 gr/cm³. Este tipo de suelos abarca el 26% del área urbana del C.P. de Jíbito y ha sido identificado en la calicata 3, situada a 247 m al sureste de la plaza principal del C.P. Jíbito.

- Suelos Tipo SP – SM: Están conformados por arenas mal gradadas con presencia de limos, de humedad baja (1.40%), constituyen suelos de compacidad suelta, no presentan plasticidad (debido a la escasa presencia de material fino). Presenta densidad natural de 1.71 gr/cm³. Abarcan el 9% del área de estudio y ha sido identificado en la calicata 1, situada a 562 m al noreste de la plaza principal del C.P. Jíbito.
- Suelos tipo SC: Están conformados por arenas arcillosas, de humedad baja (8.0%), constituyen suelos de compacidad media, presenta baja plasticidad (10%) y densidad natural de 1.894 gr/cm³. Este tipo de suelos abarca el 8% del área urbana del C.P. de Jíbito y ha sido identificado en la calicata 4, situada a 670 m al suroeste de la plaza principal del C.P. Jíbito.
- Suelos de origen antrópico: Están conformados por materiales heterogéneos (desmorte, rellenos, residuos y basura), constituyen suelos de compacidad suelta a muy suelta. Abarcan menos del 1% del área de estudio y ha sido identificado a 164 m al sureste de la plaza principal del C.P. Jíbito.

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

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

CALICATA	PROFUNDIDAD (m)	NIVEL FREÁTICO (m)	GRAVAS % (>4.76 mm)	ARENAS % (>0.074 mm, <4.76 mm)	FINOS % (<0.074 mm)	LÍMITE LÍQUIDO (%)	LÍMITE PLÁSTICO (%)	ÍNDICE PLÁSTICO	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	CLASIFICACIÓN SUCS	DENOMINACIÓN
CJ - 01	3.00	N.P.	0.00	93.60	6.40	–	–	–	1.40	SP - SM	Arena mal gradada con limo
CJ - 02	3.00	N.P.	0.00	99.00	1.00	–	–	–	1.60	SP	Arena mal gradada
CJ - 03	2.50	N.P.	0.00	98.00	2.00	22	–	3	5.10	SP SM	Arena mal gradada Arenas limosas
CJ - 04	2.50	N.P.	0.00	73.50	26.50	29	–	10	8.00	SP SC	Arena mal gradada Arena arcillosa

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

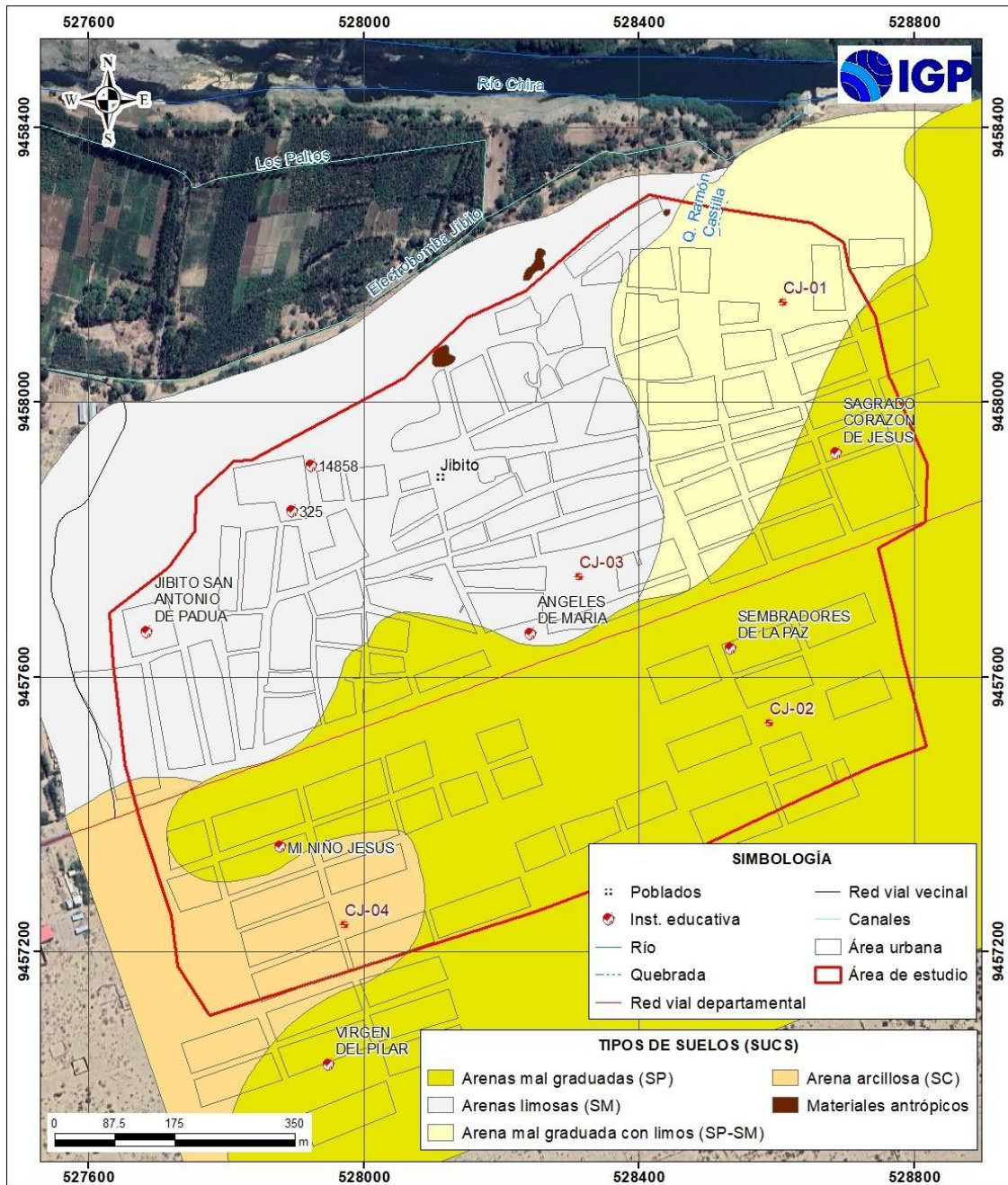


Figura 21. Mapa de clasificación SUCS de suelos en el área urbana del C.P. Jíbito.

Análisis químico de suelos: Con el fin de determinar el contenido de sales solubles en suelos, el Gobierno Regional de Piura realizó ensayos de análisis químico a las 4 muestras extraídas de las cuatro calicatas. Los resultados obtenidos indican lo siguiente:

- Calicata CJ 01, muestra 0.030%,
- Calicata CJ 02, muestra 0.020%,
- Calicata CJ 03, muestra 0,021% y

- Calicata CJ 04, muestra 0.021%.

Considerando estos resultados y haciendo la comparativa con los límites permisibles de agresividad del suelo al concreto (Tabla 4), se determina que los suelos no generarían problemas de resistencia en las viviendas debido a que se encuentran dentro de límite permisible (menores a 5000 PPM).

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

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

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

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

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

horizontal (ϕ) creciente que origina el desplazamiento de la mitad móvil de la caja originando el corte de la muestra.

Los parámetros geotécnicos obtenidos de los ensayos de corte directo que fueron realizados en el laboratorio de mecánica de suelos del Gobierno Regional de Piura a las muestras de suelos extraídas en el C.P. de Jíbito se presentan en el Tabla 5.

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

CALICATA	LH-1	LH-2	LH-3	LH-4
ÁNGULO DE FRICCIÓN ($^{\circ}$)	29	30	29	27
COHESIÓN	0.00	0.00	0.00	0.01

Fuente: Gobierno Regional de Piura.

La Tabla 4 indica que, los suelos del C.P. Jíbito presentan ángulos de fricción entre 27 y 31°, así mismo, presentan cohesión de 0.01 kg/cm².

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

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

Fórmula para falla por corte general

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

Fórmula para falla por corte local

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

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

Luego, en base a los resultados de la carga última (Qult.) se calculó la capacidad de carga admisible de los suelos para una profundidad de cimentación de 1.0 metro y ancho de zapata de 1.0 metro, así como también para profundidad de cimentación de 1.50 metros y ancho de zapata de 1.00 metro. Los resultados de capacidad de carga admisible de suelos analizados se presentan en los Tabla 7.

De los resultados citados anteriormente y tomando en cuenta la Tabla 8, se ha determinado que para la profundidad de 1 y 1.5 metros, los suelos de cimentación del área urbana de La Jíbito presentan capacidad de carga admisible muy baja (menor a 1.00 kg/cm²), (Figura 22).

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

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

Fuente: Braja Das, 2011.

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

MUESTRA	Capacidad de carga última (Kg/cm ²)	Capacidad de carga admisible (Kg/cm ²)	Tipo de Corte	Capacidad de carga última (Kg/cm ²)	Capacidad de carga admisible (Kg/cm ²)	Tipo de Corte
CJ-01	1.34	0.45	F.L.	1.85	0.62	F.L
CJ-02	1.76	0.59	F.L.	2.41	0.80	F.L
CJ-03	1.35	0.45	F.L.	1.86	0.62	F.L
CJ-04	-	-	-	1.86	0.62	F.L
DIMENSIONES DE CIMENTACIÓN	Profundidad: 1.00 m ancho:1.00m (Zapata Cuadrada)			Profundidad: 1.50 m y ancho:1.00m (Zapata cuadrada)		

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

Tabla 8. Rango de capacidad de carga admisible.

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

Fuente: IGP, 2018.

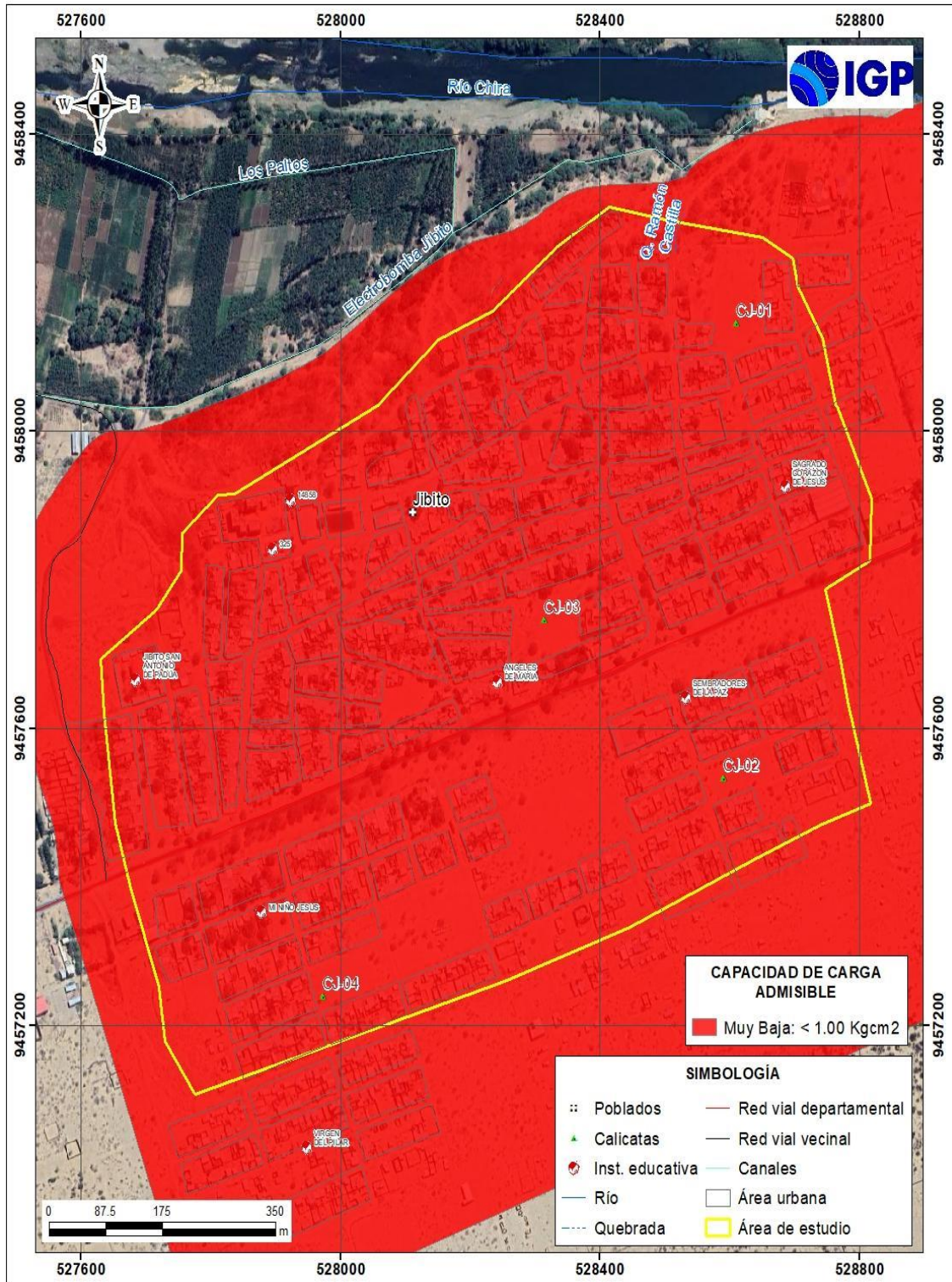


Figura 22. Mapa de capacidad de carga admisible de los suelos de cimentación del C.P. Jíbito, para una profundidad de cimentación de 1.5 metros y ancho de zapata de 1.0 metro.

3. EVALUACIÓN GEOFÍSICA

A fin de conocer los diferentes parámetros físicos que controlan el comportamiento dinámico de la estructura del suelo en el área urbana de Jíbito, se procede a aplicar diferentes métodos geofísicos, cuyos resultados se correlacionan entre sí y con los aspectos geo-ambientales de la zona de estudio.

3.1. METODOLOGÍA

La metodología seguida consiste en la aplicación de tres métodos geofísicos: razones espectrales (H/V) a partir de registros de vibración, tomografía eléctrica, perfiles sísmicos obtenidos mediante el análisis multicanal de ondas superficiales y microtremores (MASW y MAM). A continuación se describe cada método.

3.1.1. Razones espectrales (h/v)

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

En la Figura 23, se muestra un ejemplo del proceso de análisis seguido usando como dato de entrada el registro de vibración ambiental (JB-16) obtenido en campo. El primer recuadro presenta la selección de las ventanas de procesamiento para las tres componentes de la señal registrada (Vertical, N-S y E-O), seguidamente la curva H/V, en la cual la curva continua negra es el promedio del cociente H/V; mientras que, las curvas discontinuas son la desviación estándar, las bandas grises identifican las frecuencias principales. Finalmente, para la presentación de los resultados, las frecuencias son expresadas en periodos dominantes.

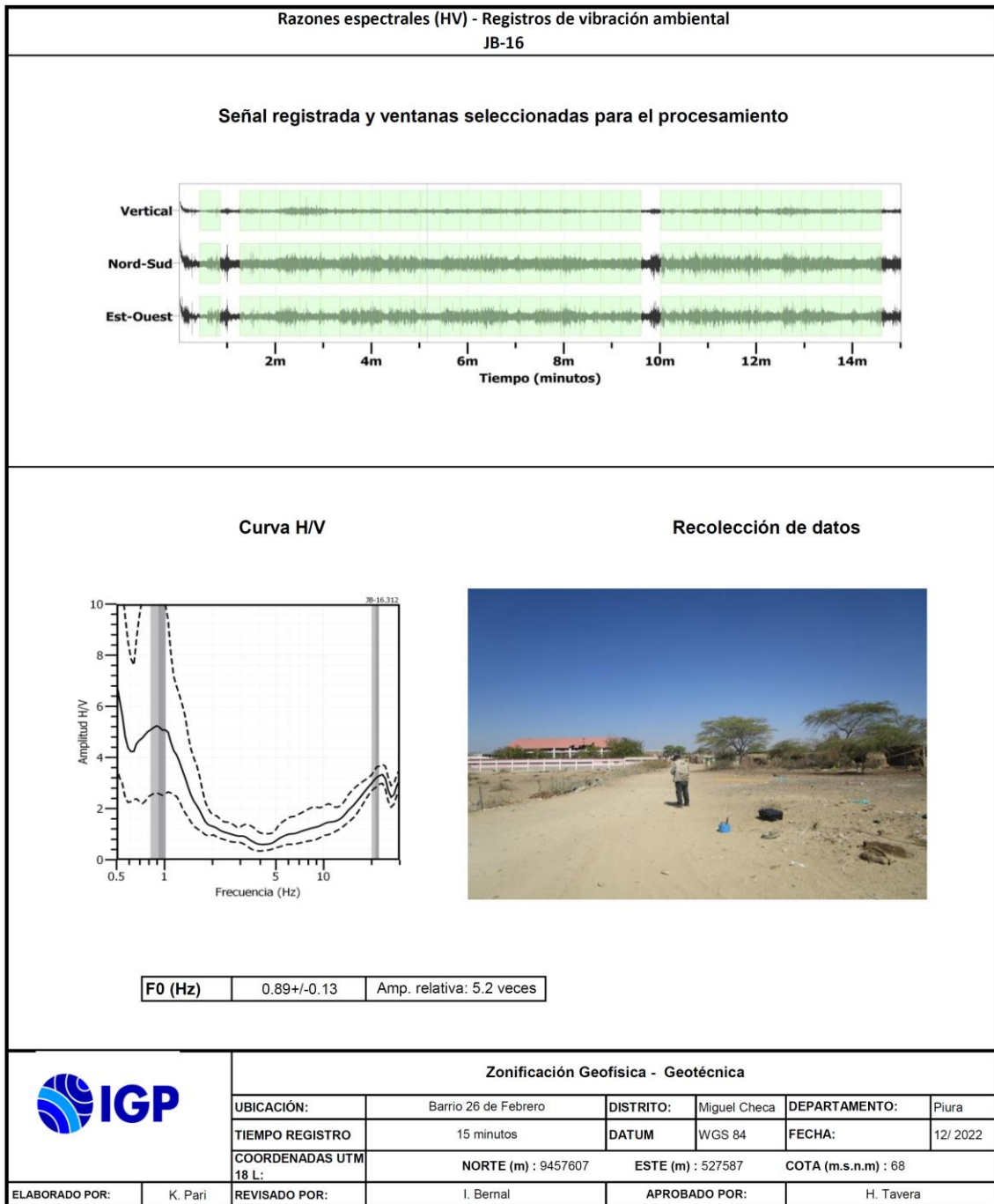


Figura 23. Resultados obtenidos con el método de razones espectrales (H/V) para el punto JB-16. Arriba, la señal registrada y abajo la curva promedio de las razones espectrales (H/V) en línea gruesa y su desviación estándar en líneas discontinuas. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

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

3.1.2. Ondas superficiales y microtremores

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

El ensayo de Análisis Multicanal de Microtremores (MAM) o sísmica de Microtremores (Louie, 2001), es método complementario al MASW, que al utilizar registros de microtremores permite investigar a mayores profundidades. En este caso no existe fuente sísmica y solo consiste en el registro de la vibración del suelo generada por la actividad humana. La combinación con el método de MASW permite obtener información a niveles superficiales y en profundidad.

Los datos sísmicos recolectados en campo fueron procesados con el programa de computación 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.

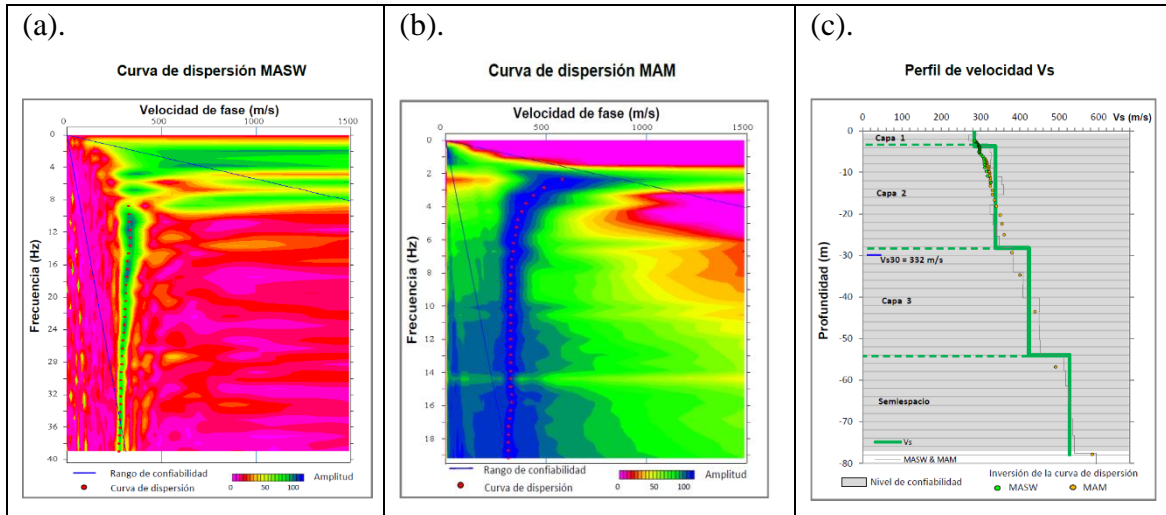


Figura 24. Curvas de dispersión obtenidos a partir de las técnicas MASW (a) y MAM (b) y perfil de velocidad obtenido a partir de la combinación de ambos ensayos (c).

Para el análisis de los resultados obtenidos, se considera la clasificación de suelos propuesta por la Norma E.030 Diseño Sismorresistente (2018). En este caso, el rango de velocidad de los perfiles de suelo S1 y S2 se subdividen a fin de considerar dos clasificaciones adicionales, tal como se describe en la Tabla 9.

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

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

3.1.3. Tomografía de resistividad eléctrica

Es una técnica geofísica, que mediante la inyección de corriente eléctrica al terreno, permite determinar las variaciones de resistividad y conductividad eléctrica de las rocas y suelos. En general, los materiales que conforman el subsuelo muestran ciertos rangos de valores de resistividad (Tabla 10) que dependen de su composición y su contenido de

agua o de sales disueltas y presentes en las fracturas de las rocas o en la porosidad del suelo, ellas responderían de manera anómala al paso de la corriente eléctrica. El método de Tomografía Eléctrica es una técnica multielectrónica, y su base teórica de su funcionamiento es análoga al de los métodos convencionales de resistividad (tetraelectrónica). Actualmente, existen diferentes dispositivos eléctricos para la toma de datos en campo y en el presente estudio, se usó el dispositivo Polo-Dipolo.

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

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

3.2. ADQUISICIÓN DE DATOS

En el área urbana del centro poblado Jíbito, se ha recolectado en campo un total de 35 registros de vibración ambiental en puntos distribuidas de manera equidistante, tal como se observa en la Figura 25. Asimismo, se ha considerado datos obtenidos sobre cuatro líneas de arreglos sísmicos y tres líneas de tomografía eléctrica.

Registros de vibración ambiental: Para la adquisición de estos registros, se utilizaron sensores Lennartz y registradores CityShark II (Figura 26). Cada registro presenta una duración de 15 minutos, lo cual permite disponer de buena cantidad de datos para su posterior análisis. En la Figura 27, se muestra ejemplos de registros de vibración

ambiental obtenidos en el punto JB-34, ubicado cerca de la Plaza de Armas. Aquí se observa que la señal es estable; es decir, no está muy perturbada en comparación con la señal de JB-05 que presenta algunos saltos y/o picos de señal debido a que dicho punto, está ubicado cerca de la carretera Sullana-Paita.

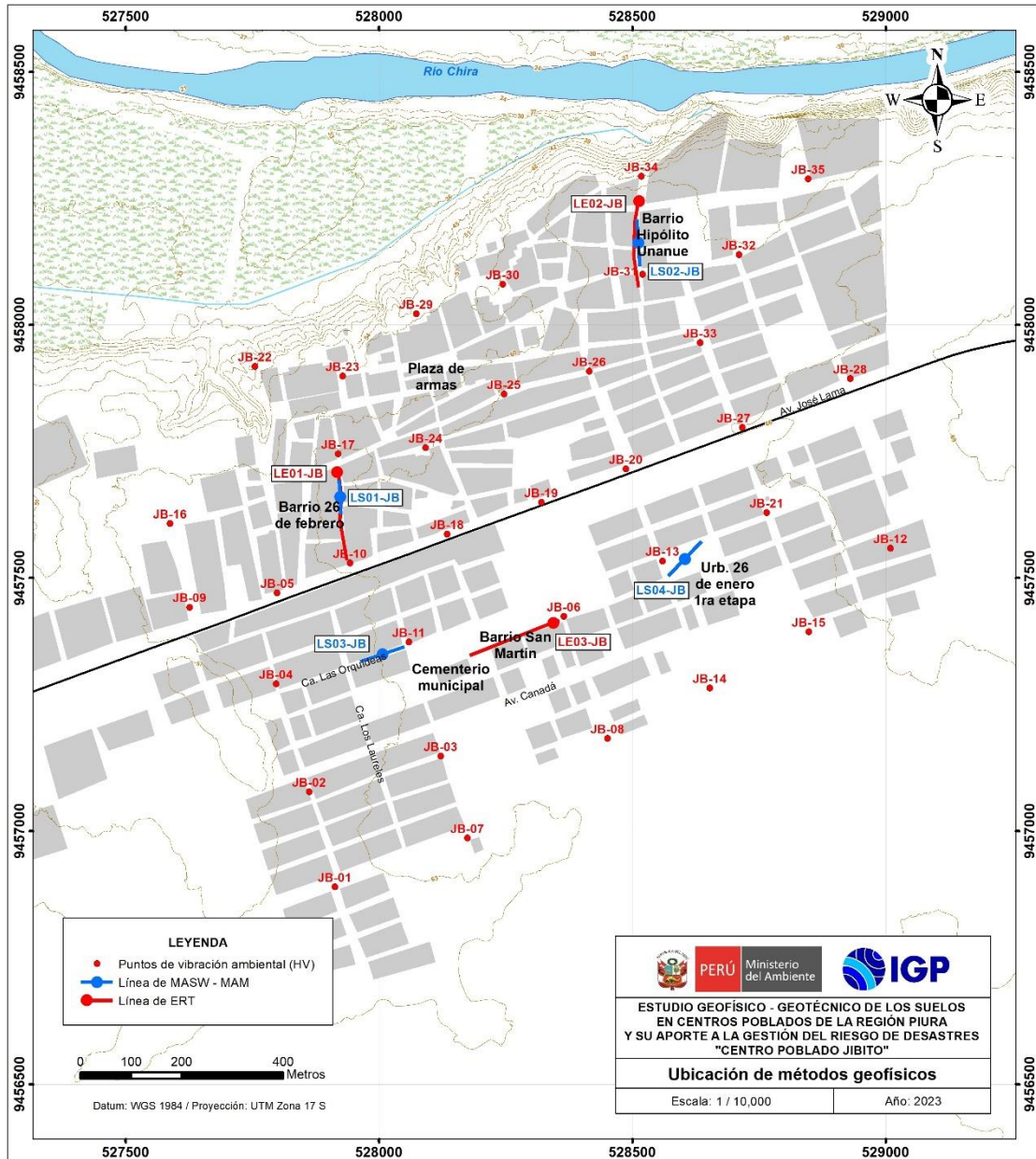


Figura 25. Distribución espacial de los puntos y líneas de adquisición de datos geofísicos en el C.P. Jíbito.



Figura 26. Equipo sísmico utilizado para el registro de vibraciones ambientales: sensor Lennartz (2N) y registradores CityShark II.

Líneas sísmicas: Para la adquisición de los registros sísmicos se utilizó un equipo sísmico multipropósito, modelo GEODE (Geometrics) de 24 sensores o geófonos de baja frecuencia (4.5 Hz) y un muestreo de 4000Hz (0.25 ms). Como fuente para generar las ondas sísmicas, se utilizó un martillo de 20 lbs (Figura 28).

La distribución de las 4 líneas se presenta en la Figura 25 y los parámetros utilizados para el registro de los datos se detallan en la Tabla 11.

Tomografía eléctrica: Para la adquisición de los datos de resistividad se utilizó el equipo de Resistividad/IP Syscal Pro de marca Iris Instruments (Figura 29) y accesorios (cables multipolar, electrodos, combas, etc.). La distribución de las 3 líneas se presenta en la Figura 25 y los parámetros utilizados para el registro de los datos de resistividad se detallan en la Tabla 12.

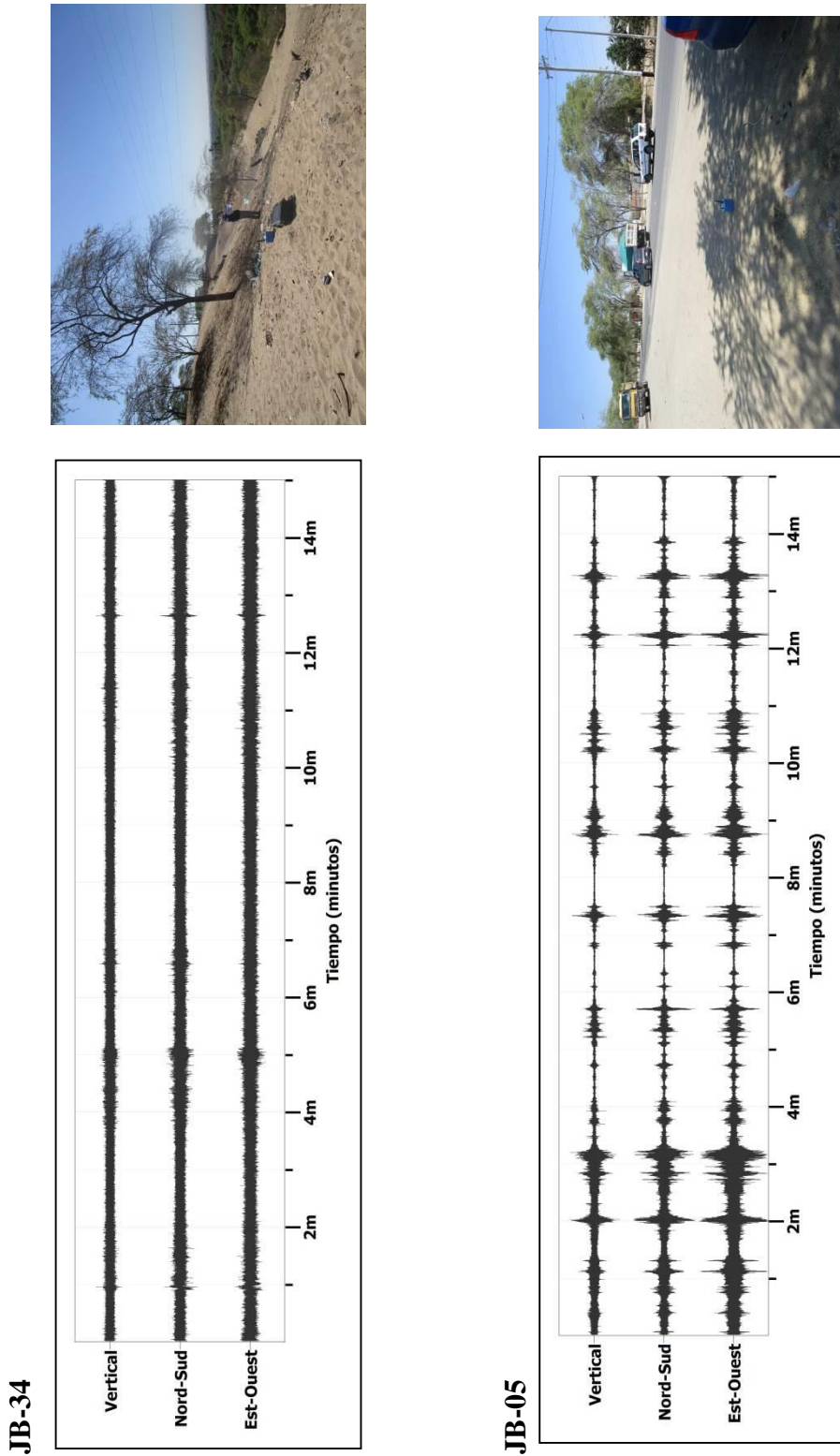


Figura 27. Ejemplos de registros de vibración ambiental obtenidos en los puntos JB-34 Y JB-05, ubicados sobre diferentes tipos de suelos. Obsérvese las diferentes amplitudes de la señal registrada en cada punto.

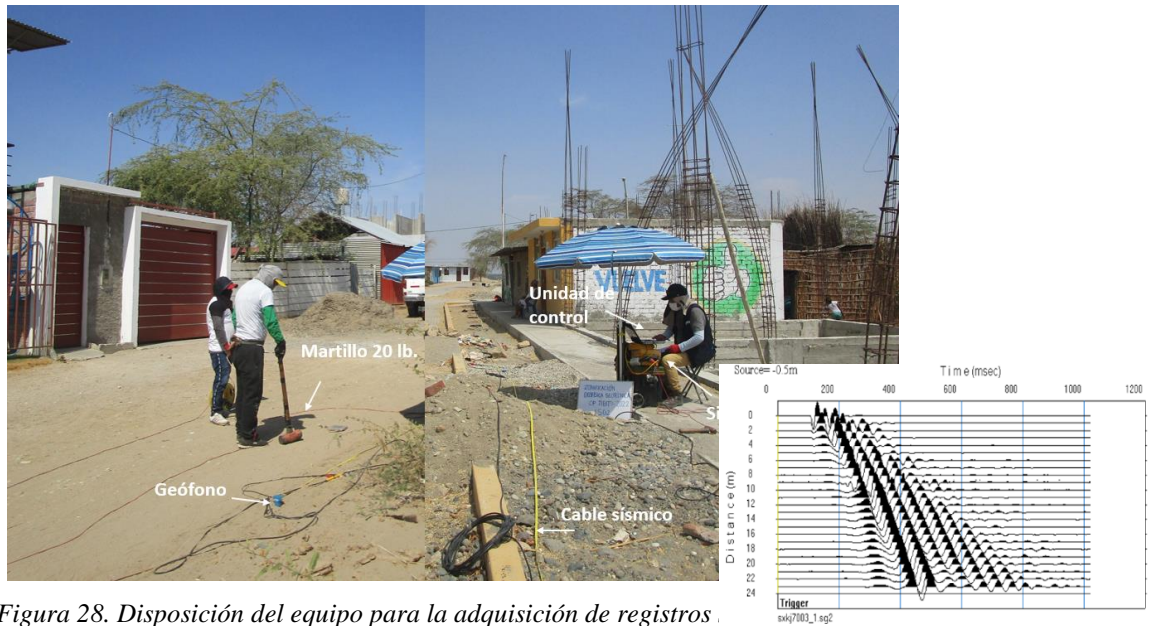


Figura 28. Disposición del equipo para la adquisición de registros.

Tabla 11. Coordenadas y características de las líneas sísmicas

Línea Sísmica	Coordenadas UTM – WGS84		Cota (m.s.n.m.)	Espaciamiento entre geófonos (m)	Longitud total (m)	
	Este (m)	Norte (m)				
JIBITO						
1	LS01-JB	527925	9457660	73	3	69
2	LS02-JB	528509	9458160	72	4	92
3	LS03-JB	528007	9457348	70	4	92
4	LS04-JB	528608	9457537	69	4	92

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

Línea Eléctrica	Coordenadas UTM – WGS84		Cota (m.s.n.m.)	Espaciamiento entre electrodos (m)	Longitud total (m)
	Este (m)	Norte (m)			
JÍBITO					
1	LE01-JB	527913	9457720	10	180
		527936	9457534		
2	LE02-JB	528510	9458245	10	190
		528412	9458074		
3	LE03-JB	528345	9457414	10	190
		528178	9457347		



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

3.3. RESULTADOS

3.3.1. Frecuencias predominantes

Los suelos del C.P. Jíbito, responden a bajas frecuencias $F \leq 2.0$ Hz con amplificaciones mayores a 3 veces en la zona céntrica del área de estudio, situación que sugiere la presencia de suelos homogéneos de gran espesor y menor consistencia a nivel superficial. A fin de evaluar el comportamiento dinámico del suelo en el área, se analiza de manera conjunta la información obtenida en cada gráfico de razones espectrales (H/V).

- **Frecuencias predominantes, F_0 :** En la Figura 30 se muestra el mapa con la distribución espacial de los valores de frecuencias F_0 y de acuerdo a los resultados, se tiene el predominio de valores entre 0.8 a 1.2 Hz (0.9-1.3 segundos). Estos valores se presentan de manera uniforme en el área de estudio y las mayores amplificaciones del suelo se presentarían principalmente en la zona oeste del centro poblado, por los barrios San Martín y 26 de Febrero y al norte por el barrio Hipólito Unanue. Asimismo, se identifica la presencia de un pico de frecuencia bien definido entre 0.8 a 1.0 Hz y

amplificaciones de hasta 6 veces. Estos valores bajos de frecuencia estarían asociados a la presencia de una capa sedimentaria de gran espesor. Sin embargo, se presenta un segundo pico con valores de frecuencias entre 18.1 a 21.3 Hz (0.1 segundos) presente de manera aleatoria en el área de estudio.

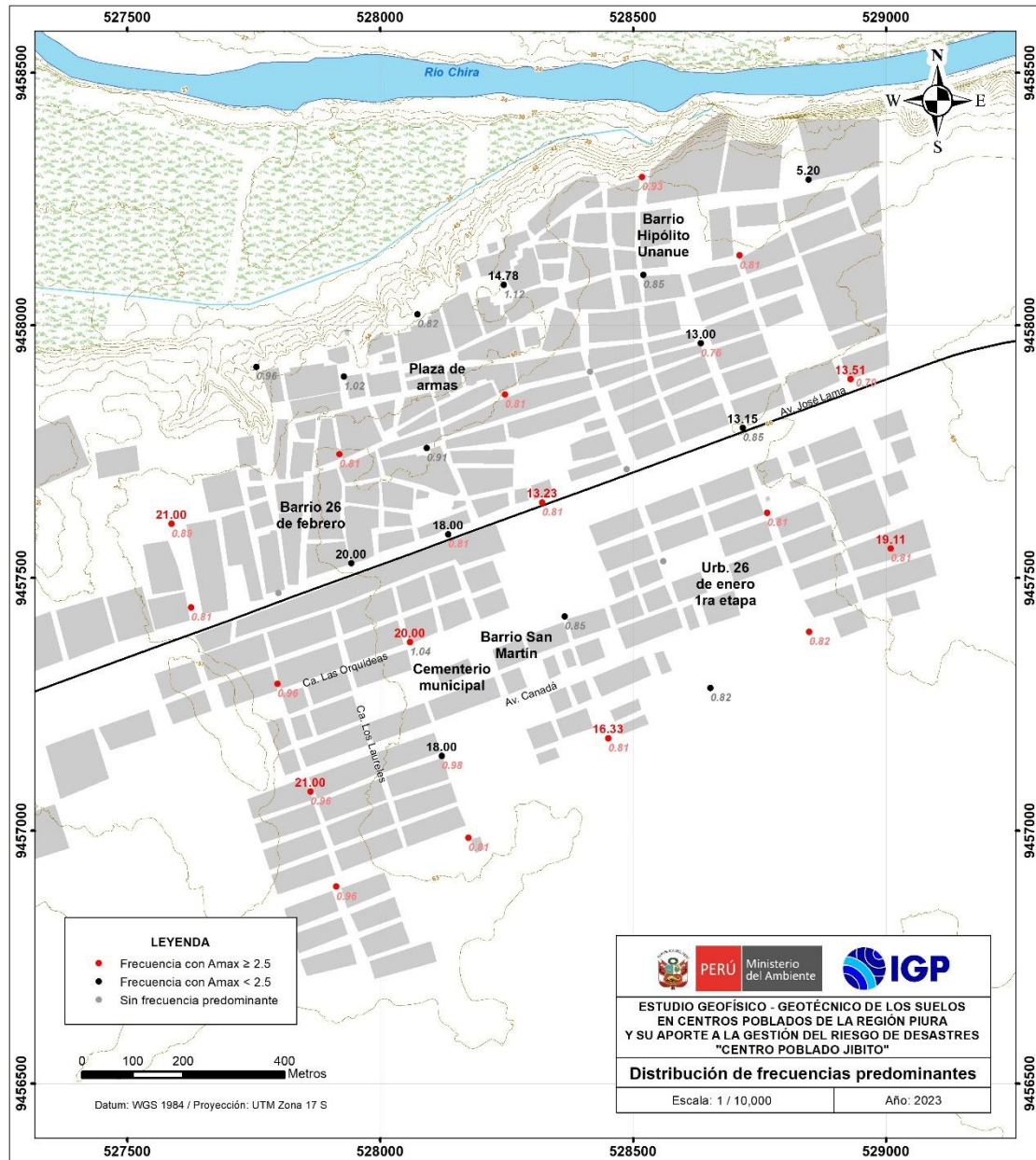


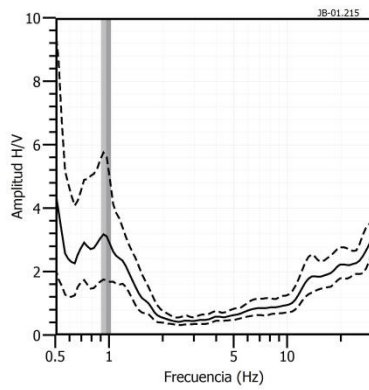
Figura 30. Distribución espacial de las frecuencias F_0 ($F < 2.0\text{Hz}$). Los valores en rojo, corresponden a puntos con amplificaciones mayores a 2.5 veces.

En la Figura 31 se muestra ejemplos de razones espectrales (H/V) característicos para el área de estudio y corresponden a los puntos JB-16, JB-02 y JB-04, ubicados al oeste del cementerio Municipal del centro poblado. En todos se observa la existencia de un pico bien definido con frecuencias de 0.96 Hz; y amplificaciones de 3.1, 4.1 y 2.7 veces respectivamente. Asimismo, en los puntos JB-16, JB-17 y JB-25, ubicados en los dos primeros en el barrio 26 de Febrero y el tercero cerca de la plaza de armas el centro del centro poblado, responden a frecuencias de 0.89, 0.81 y 0.81 Hz con amplificaciones de 5.2, 2.8 y 3.9 veces. Finalmente, los puntos JB-19, JB-27 y JB-28, ubicados en la avenida José de Lama, responden a dos picos bien definidos con frecuencias de 0.81, 0.85 y 0.79 Hz con amplificaciones de 3.3, 2.4 y 5.1 veces y el segundo pico con frecuencias de 13.23, 13.15 y 13.51 Hz con amplificaciones de 2.6, 1.8 y 2.9 veces respectivamente. En general, estos resultados evidencian que los suelos en el C.P. Jíbito, son homogéneos y de gran espesor.

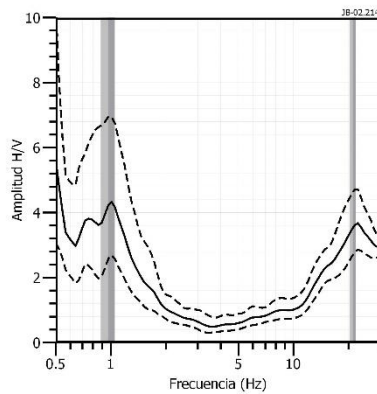
Interpretación

El análisis de las razones espectrales H/V en el área de estudio ha permitido observar que los suelos del área urbana de Jíbito responden a un pico de frecuencia que fluctúa entre 0.8 a 1.1 Hz, evidenciando la existencia de suelos cuya respuesta dinámica ante la ocurrencia de un sismo, es similar en toda el área de estudio con diferentes amplificaciones relativas, sugiriendo la presencia de suelos homogéneos. Sin embargo, de manera aleatoria en el área de estudio (inmediaciones de la Plaza de armas, Cementerio municipal, Barrio 26 de febrero, Barrio San Martín y hacia el extremo este del casco urbano), se puede observar que los suelos muestran sensibilidad a frecuencias de entre 13 a 21 Hz con bajas amplificaciones evidenciando la presencia de material heterogéneo a nivel superficial.

JB-01



JB-02



JB-04

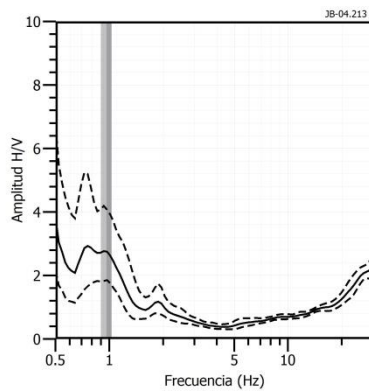
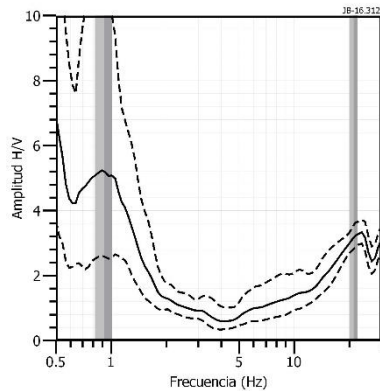
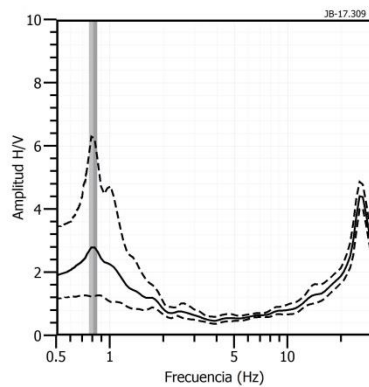


Figura 31. Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F_0 ($F < 2.0\text{Hz}$): Para los puntos JB-01, JB-02 y JB-04, ubicados al oeste del cementerio Municipal. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

JB-16



JB-17



JB-25

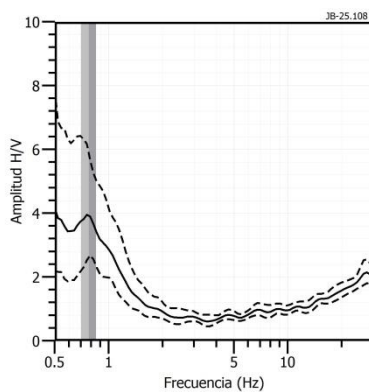


Figura 31. Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F0 ($F < 2.0\text{Hz}$): Para los puntos JB-16, JB-17 y JB-25, ubicados los primeros en el barrio 26 de Febrero y el tercero cerca de la plaza de armas. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

- **Periodos dominantes:** A partir de las frecuencias predominantes, se obtiene los periodos de respuesta del suelo y su distribución se muestra en la Figura 32. En este caso, en el área de estudio los suelos responden a un rango de periodos bien definido con valores de 1.0 a 1.2 segundos, con amplificaciones máximas relativas de hasta 4.0 veces. Asimismo, con mínimas amplificaciones, en todo el centro poblado, se muestra que los suelos responden a periodos de 0.1 a 0.2 segundos con muy bajas amplificaciones. Estos resultados evidencian la presencia de suelos conformados por depósitos de material de gran espesor, con un similar comportamiento dinámico en el área de estudio.

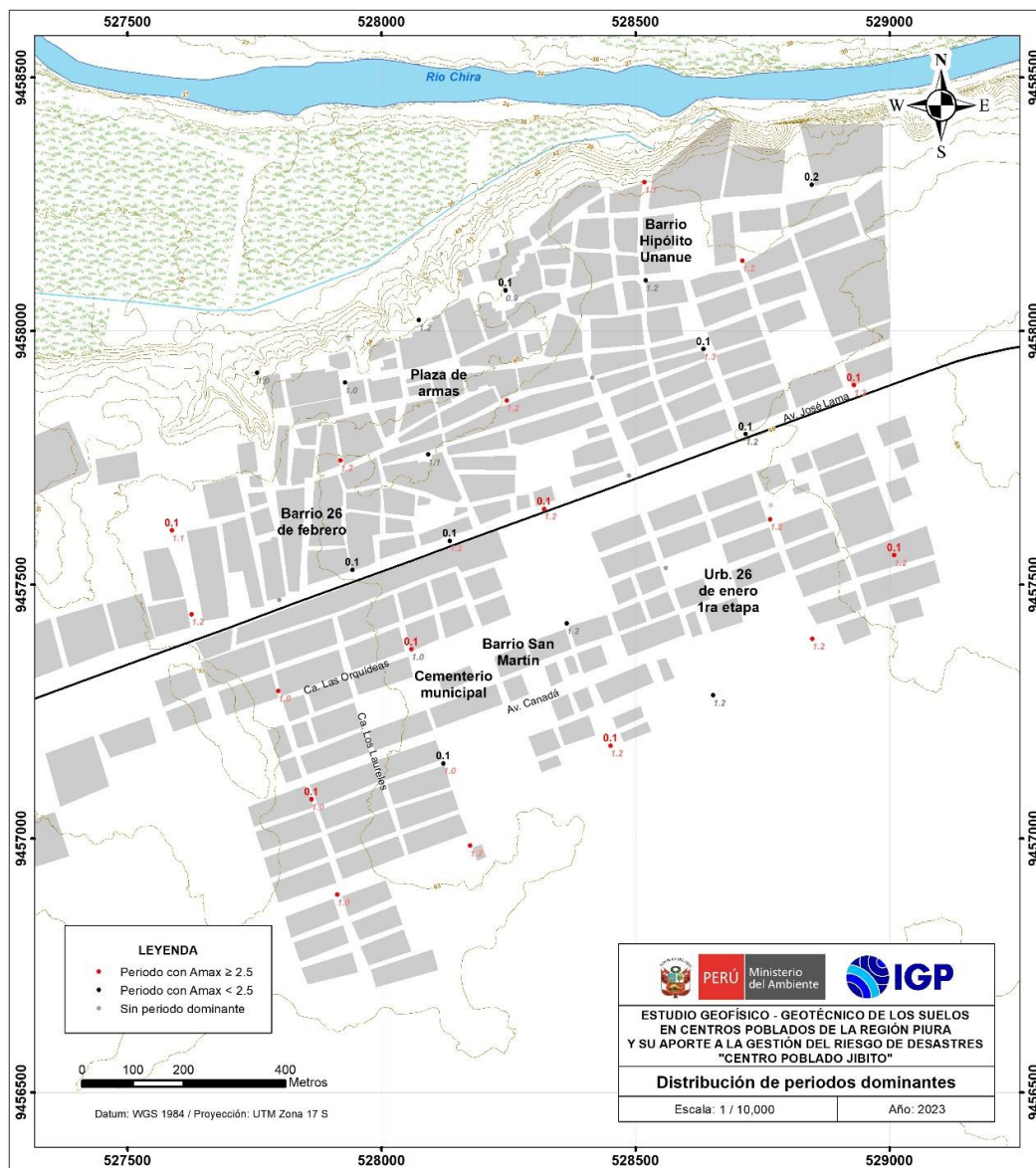


Figura 32. Distribución espacial de periodos dominantes del suelo para el centro poblado de Jíbito. Los valores en rojo corresponden a puntos con amplificaciones mayores a 2.5 veces.

3.3.2. Perfiles sísmicos

A continuación, se describen las características observadas en los perfiles de velocidad de ondas de corte (V_s) obtenidos con los métodos sísmicos MASW – MAM. En la Figura 33, se presenta el perfil sísmico obtenido para la línea LS01-JB y en el Anexo 2, para las líneas restantes.

Línea sísmica LS01-JB: Realizada en el barrio 26 de Febrero, siendo la profundidad de resolución promedio del perfil de 77 metros. Este perfil permite identificar la existencia de cuatro (4) capas sísmicas: La primera de 4 metros de espesor y velocidad V_s de 307 m/s corresponde a suelo intermedio (medianamente rígido). La segunda capa de 7 metros de espesor y velocidad V_s de 413 m/s junto a la tercera capa de 20 metros de espesor y velocidad V_s que decrece a 353 m/s y a la cuarta capa, con espesor de 19 metros y velocidad de 497 m/s, corresponden a suelo rígido. El semiespacio, con velocidad $V_s > 585$ m/s, sugiere suelo muy rígido.

Línea sísmica LS02-JB: Realizada en el barrio Hipólito Unanue, siendo la profundidad de resolución promedio del perfil de 78 metros. Este perfil permite identificar la existencia de tres (3) capas sísmicas: La primera de 4 metros de espesor y velocidad V_s de 284 m/s junto a la segunda capa de 24 metros de espesor y velocidad de 338 m/s corresponden a suelo intermedio (medianamente rígido). La tercera capa de 26 metros de espesor y velocidad V_s de 423 m/s corresponde a suelo rígido. El semiespacio, con velocidad $V_s > 527$ m/s, sugiere suelo muy rígido.

Línea sísmica LS03-JB: Realizada en el barrio San Martín, siendo la profundidad de resolución promedio del perfil de 74 metros. Este perfil permite identificar la existencia de cuatro (4) capas sísmicas: La primera de 4 metros de espesor y velocidad V_s de 307 m/s corresponde a suelo intermedio (medianamente rígido). La segunda capa de 5 metros de espesor y velocidad V_s de 430 m/s junto a la tercera capa de 25 metros de espesor y velocidad V_s que decrece a 376 m/s y a la cuarta capa, con espesor de 13 metros y velocidad de 465 m/s, corresponden a suelo rígido. El semiespacio, con velocidad $V_s > 571$ m/s, sugiere suelo muy rígido.

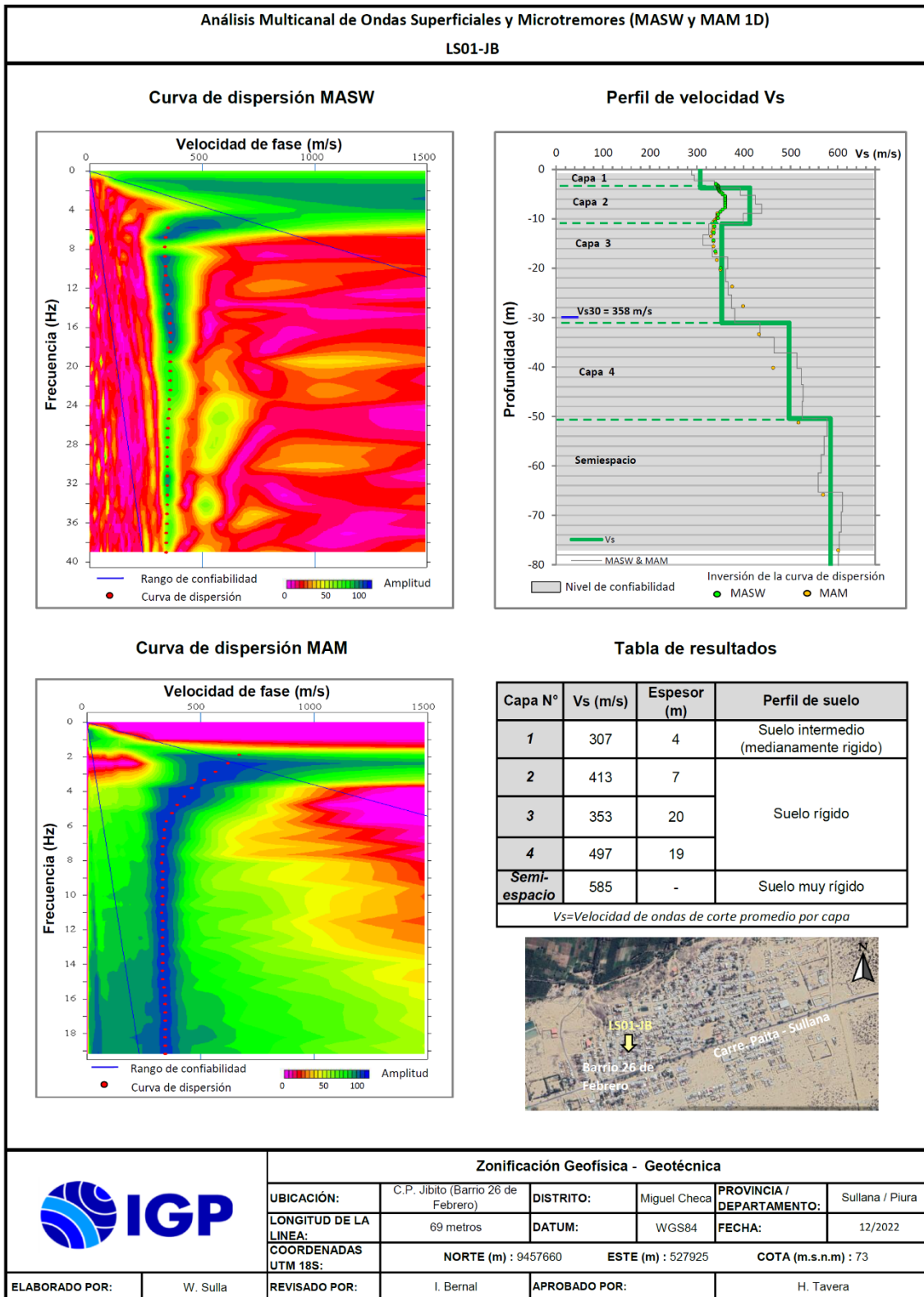


Figura 33. Resultados obtenidos con el ensayo MASW y MAM para la línea sísmica LS01-LH.

Línea sísmica LS04-LH: Ubicada en la Urb. 26 de Enero, siendo la profundidad de resolución promedio del perfil de 77 metros. Este perfil permite identificar la existencia de cuatro (4) capas sísmicas: La primera de 4 metros de espesor y velocidad V_s de 219 m/s junto a la segunda capa de 14 metros de espesor y velocidad de 300 m/s, ambas corresponden a suelo intermedio (medianamente rígido). La tercera capa de 16 metros de espesor y velocidad V_s de 402 m/s junto a la cuarta capa con 16 metros de espesor y velocidad V_s de 498 m/s ambas capas sugieren suelo rígido. El semiespacio, con velocidad $V_s > 543$ m/s, sugiere suelo muy rígido.

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

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

Superficie		→										Profundidad	
Línea Sísmica	N° DE CAPA											VS30 (m/s)	
	1		2		3		4		Semiespacio				
	V_s (m/s)	Esp. (m)	V_s (m/s)	Esp. (m)	V_s (m/s)	Esp. (m)	V_s (m/s)	Esp. (m)	V_s (m/s)	Esp. (m)			
LS01-JB	307	4	413	7	353	20	497	19	585	-	358		
LS02-JB	284	4	338	24	423	26	527	-	-	-	332		
LS03-JB	307	4	430	5	376	25	465	13	571	-	373		
LS04-JB	219	4	300	14	402	16	498	16	543	-	314		
<div style="display: flex; flex-direction: column; gap: 5px;"> <div> Suelo blando ($V_s < 180$ m/s)</div> <div> Suelo intermedio - medianamente rígido (180 – 350 m/s)</div> <div> Suelo rígido (350 – 500 m/s)</div> <div> Suelo muy rígido (500 – 800 m/s)</div> <div> Roca moderadamente dura a dura (>800 m/s)</div> </div>													

Interpretación

En el área urbana de Jíbito, se ha identificado una capa superficial de suelo medianamente rígido ($V_s = 219$ a 307 m/s) de 4 metros de espesor, que cubre al suelo

medianamente rígido a rígido ($V_s=300$ a 498 m/s), correspondiente a una capa intermedia de 41 a 50 metros de espesor.

En conjunto, los espesores de los suelos medianamente rígidos y rígidos van de 47 metros en dirección suroeste, por el barrio San Martín, y de 54 metros en dirección noreste, por el barrio Hipólito Unanue, ver Figura 34. Los resultados evidencian que hasta la profundidad investigada de 50 metros no hay presencia de material muy rígido, sugiriendo que el suelo corresponde a depósitos aluviales de gran espesor.

En este contexto, el suelo medianamente rígido es debido a la presencia de material correspondiente a los depósitos aluviales; por lo tanto, corresponde a material con presencia de humedad, influyendo en la pérdida de rigidez del suelo.

Para el área de estudio, el V_{s30} calculado varía entre 314 y 373 m/s, que corresponde a suelos Tipo S2, es decir, medianamente rígidos (hacia el noreste) a rígidos hacia el suroeste (Adaptación de la clasificación de suelos, indicada en la Norma sismorresistente E.030).

3.3.3. Secciones geoelectricas

A continuación, se describen las características observadas en las secciones geoelectricas con resolución de hasta los 40 metros de profundidad. En la Figura 35, se presenta la sección obtenida para la línea LE01-JB y en el Anexo 2, para las secciones restantes.

- **Sección geoelectrica LE01-JB:** Realizada en el Barrio 26 de Febrero sobre una longitud de 180 metros y en dirección N-S. En esta sección predominan los depósitos con baja resistividad (< 80 Ohm-m), debido a la presencia de depósitos aluviales con alto contenido de humedad, espesores mayores a 40 metros. Además, a nivel superficial se presentan tres zonas anómalas con moderado contenido de humedad (80 a 300 Ohm-m), el mayor espesor es de 10 metros que se presenta al inicio de la sección (extremo norte).

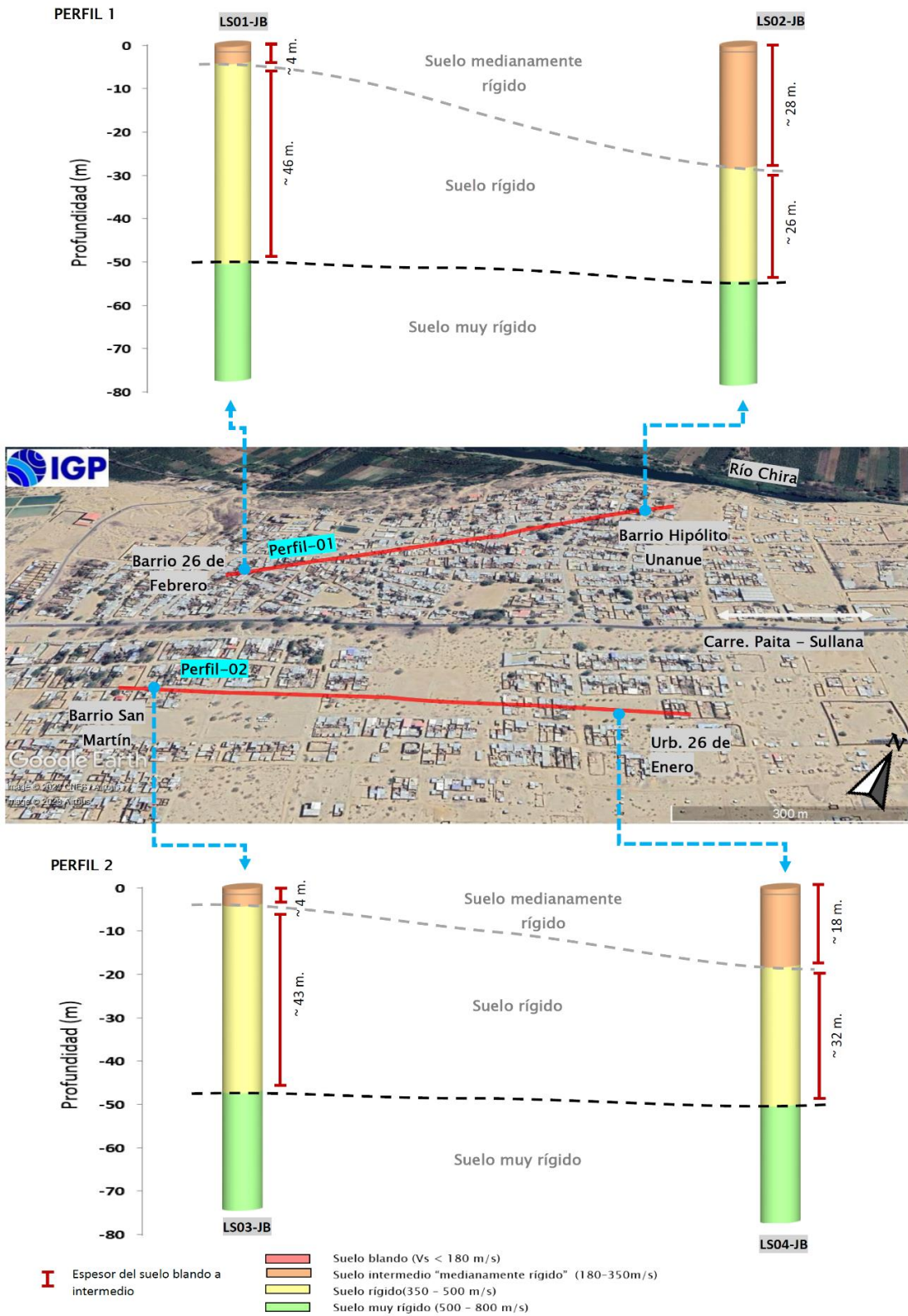


Figura 34. Resultados de MASW y MAM ubicados a lo largo del perfil 1 (LS01-JB y LS02-JB) y perfil 2 (LS03-JB y LS04-JB) sobre la imagen satelital.

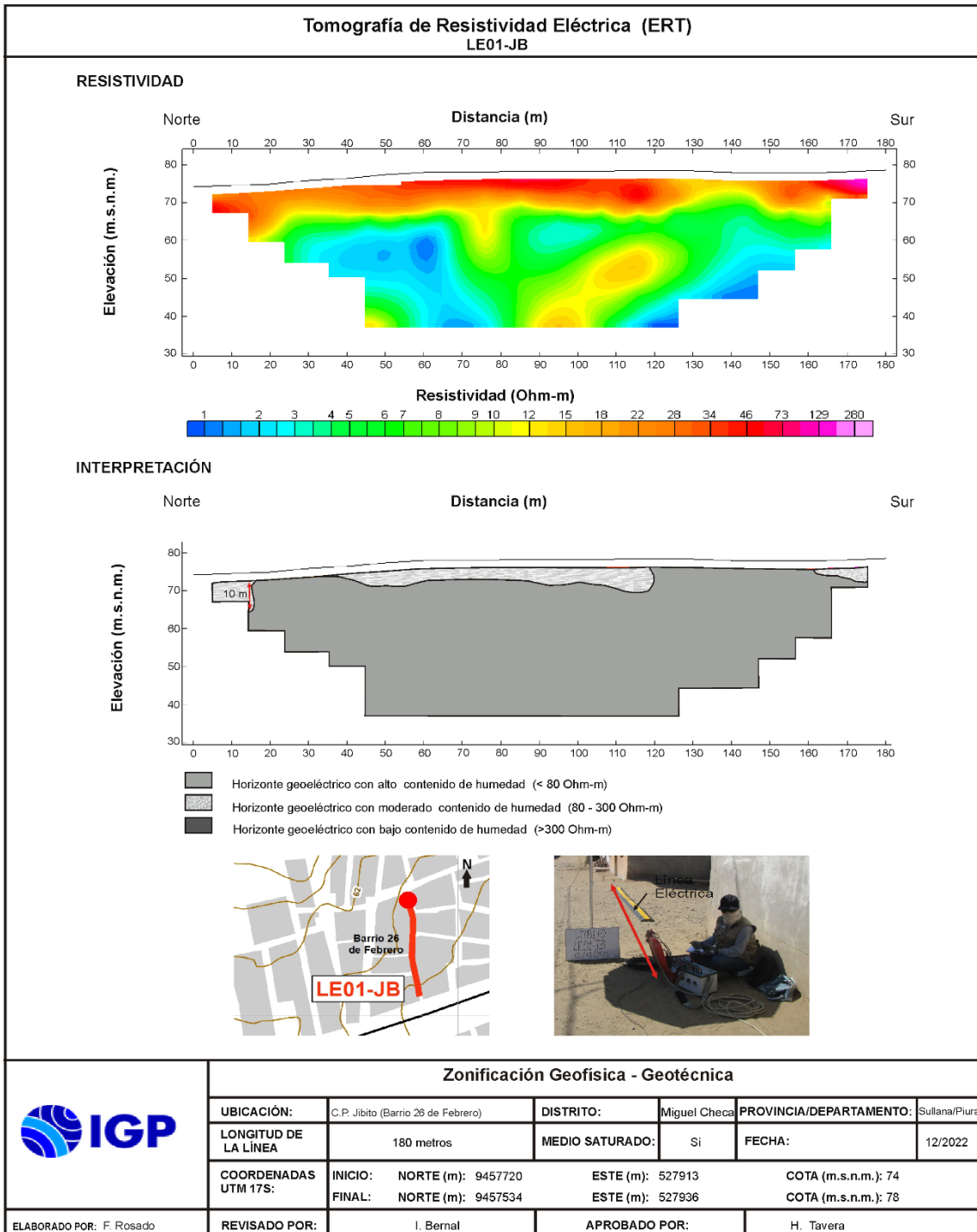


Figura 35. Resultado de tomografía eléctrica para la línea LE01-JB.

- **Sección geoelectrica LE02-JB:** Realizada en el Barrio Hipólito Unanue sobre una longitud de 190 metros y en dirección N-S. En esta sección predominan los depósitos con alta resistividad ($> 300 \text{ Ohm-m}$), debido a la presencia de depósitos aluviales con bajo contenido de humedad, espesores de hasta 40 metros. Además, en profundidad se presentan dos zonas anómalas con moderado contenido de humedad (80 a 300 Ohm-m).
- **Sección geoelectrica LE03-JB:** Realizada en el Barrio San Martín sobre una longitud de 190 metros y en dirección NE-SO. En esta sección se ha identificado la presencia de cuatro horizontes geoelectricos: El primer horizonte, a lo largo de toda la sección presenta moderado contenido de humedad (80 a 300 Ohm-m), espesores de 5 a 10 metros. El segundo horizonte, a lo largo de toda la sección presenta alto contenido de humedad ($< 80 \text{ Ohm-m}$), el espesor mayor se encuentra al inicio de la sección (extremo noreste). El tercer horizonte, presenta moderado contenido de humedad (80 a 300 Ohm-m). El cuarto horizonte, presenta bajo contenido de humedad ($>80 \text{ Ohm-m}$). Además, a nivel superficial se presentan dos anomalías con bajo contenido de humedad.

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

- Hacia el este de la plaza de Jíbito (barrio Hipólito Unanue), no se ha identificado la presencia de contenido de humedad posiblemente esos suelos se encuentran por debajo del nivel de exploración.
- Hacia el oeste de la plaza de Jíbito, se ha identificado la presencia de alto contenido de humedad con espesores mayores a 40 metros ($< 80 \text{ Ohm-m}$). Además, a nivel superficial se presenta una anomalía con menor concentración de humedad (Figura 36).

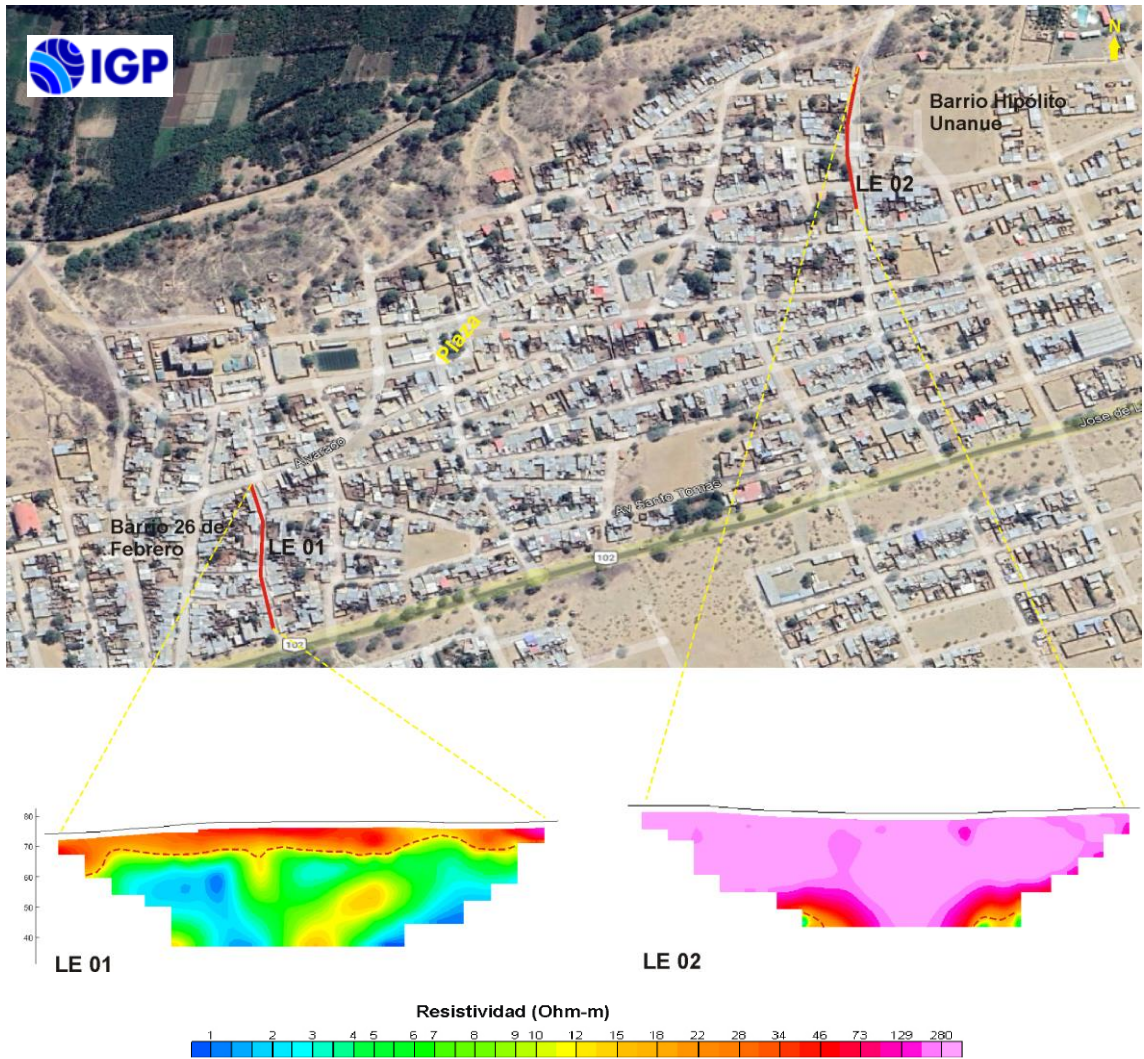


Figura 36: Ubicación y orientación de las líneas de tomografía eléctrica, realizadas al este (LE02-JB) y al oeste (LE01-JB) del área de estudio. Las líneas interlineadas amarillas indican la orientación de las secciones y las líneas interlineadas rojas indican la presencia del acuífero.

3.4. INTEGRACIÓN DE RESULTADOS

El área urbana de Jíbito se emplaza sobre una terraza aluvial antigua plana con ligeras ondulaciones y zonas de baja pendiente que se consideran como áreas de inundación pluvial. Los parámetros físicos del suelo muestran las siguientes características:

Los suelos del área urbana de Jíbito responden predominantemente a periodos largos que fluctúan entre 1.0 a 1.2 segundos, además muestran una baja sensibilidad a periodos de 0.1 segundos de manera aleatoria en toda el área de estudio.

Los resultados obtenidos con los métodos geofísicos permiten evidenciar que los suelos están conformados por capas superficiales de suelos medianamente rígidos a rígidos con espesores que varían de 47 metros en dirección suroeste, por el barrio San Martín, y de 54 metros en dirección noreste, por el barrio Hipólito Unanue y velocidades de ondas de corte V_{s30} varía entre 314 y 373 m/s, que corresponde a suelos Tipo S2, es decir, medianamente rígidos hacia el extremo el noreste a rígidos hacia el extremo suroeste.

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 314 m/s y 370 m/s para las ondas de corte (V_s) y periodos de 0.8 segundos, se estima la existencia de una capa sedimentaria con espesores de entre 60 y 70 metros. Estos espesores se correlacionan con los modelos de velocidad obtenidos con los arreglos sísmicos, ya que hasta los 60 metros de exploración no hay presencia de roca moderadamente dura a dura. Asimismo, estos suelos presentan alto contenidos de humedad en dirección suroeste (el cual se encuentra desde los 2 metros de profundidad), incrementando la complejidad del comportamiento dinámico de los suelos ante sismos.

Estas condiciones, evidencian que el C.P. Jíbito se encuentra ubicado en una zona que presenta de moderado a alto peligro por sismo, debido a que sus suelos experimentarían altos niveles de sacudimiento (a periodos largos) ante la ocurrencia de sismos, que afectarían directamente a los elementos expuestos en su superficie.

4. ZONIFICACIÓN GEOFÍSICA – GEOTÉCNICA

El mapa de Zonificación geofísica-geotécnica para el C.P. Jíbito, se elabora en función de la integración de los resultados de los estudios geológicos, geotécnicos y geofísicos, delimitando zonas cuyos suelos presentan características de respuesta similares ante la ocurrencia de sismos.

Asimismo, las características dinámicas del suelo y sus propiedades mecánicas han permitido identificar en el área de estudio, de acuerdo con la adaptación de la clasificación de los perfiles del suelo indicados en la Norma de Construcción Sismorresistente E.030, la existencia de suelos Tipo S2; es decir, suelos rígidos que responden a periodos de 1.0 a 1.2 segundos con amplificaciones moderadas.

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

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

- ZONA II: Suelos rígidos, conformado por capas de gran espesor de suelos granulares finos arenas, arcillas y limos con espesores de 50 a 54 metros con velocidades de ondas de corte Vs de 219 y 307 m/s para la capa superficial y de hasta 376 m/s a la profundidad de 30 metros. El periodo de vibración natural del suelo varía entre 1.0 a 1.2 segundos con amplificaciones relativas de hasta 6.8 veces, se presenta un segundo rango de periodos de 0.1 segundos. Los suelos presentan alto contenido de humedad, entre 2 y 40 metros de profundidad, en dirección Oeste de la plaza de Jíbito. A profundidades de 1.5 metros los suelos presentan capacidad de carga admisible Muy Baja ($<1.0 \text{ Kg/cm}^2$). Estas características corresponden a Suelos Tipo S2, que corresponde a suelos intermedios y/o medianamente rígidos a rígidos.

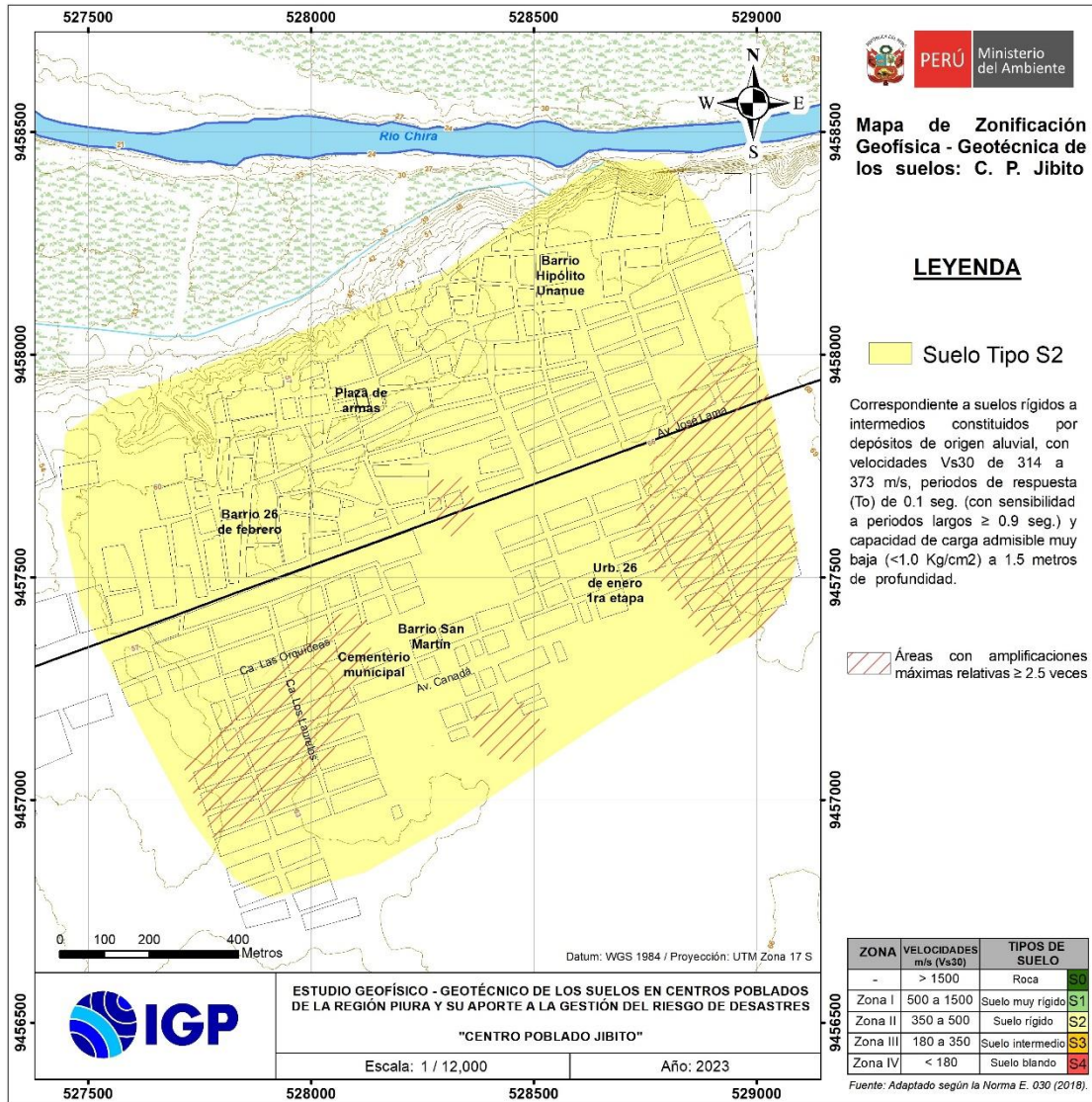


Figura 37. Mapa de zonificación geofísica-geotécnica de los suelos del C.P. Jíbito. Las líneas inclinadas en rojo delimitan zonas con mayor amplificación.

CONCLUSIONES

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

- Los eventos geodinámicos identificados en el área urbana de Jíbito, son las inundaciones pluviales que afectan las inmediaciones de la cancha deportiva ubicada en la Av. Santo Tomas, 30 metros al norte de la I.E. Sembradores de la Paz, 50 metros al suroeste de la I.E. Sagrado Corazón de Jesús. En estas zonas se observa la acumulación de aguas en zonas de depresiones debido a la ausencia de drenaje pluvial.
- En el área urbana de Jíbito se identifica cinco tipos de suelos: arena mal gradada (SP) que ocupan el 57%; arenas limosas (SM) que ocupa el 26%; arenas mal gradadas con limos (SP - SM) que ocupa el 9%; arenas arcillosas (SC) que ocupa el 8% y materiales antrópicos ocupan menos del 1%.
- Se ha determinado que para la profundidad de 1.0 y 1.5 metros, los suelos de cimentación de Jíbito presentan capacidad de carga admisible muy baja (menor a 1.00 kg/cm^2).
- Según su comportamiento dinámico, los suelos del C.P. Jíbito responden predominantemente a periodos de 0.1 segundos con amplificaciones máximas relativas de hasta 4.8 veces y de manera sectorizada presenta sensibilidad a un segundo rango a periodos largos (≥ 0.9 segundos) con bajas amplificaciones a 0.1 segundos. Parámetros que sugieren la presencia de suelos conformados por depósitos aluviales de gran espesor que a nivel superficial presentan baja consistencia. Estos resultados evidencian un mayor riesgo para edificaciones y/o infraestructuras que responden en este rango de periodos, por la posibilidad de que experimenten un fenómeno de resonancia suelos-estructura.

- Los resultados permiten identificar que los suelos en el área urbana de Jíbito están diferenciados en 4 capas sísmicas y un semi-espacio. Predominan suelos medianamente rígidos a rígidos correspondientes a la primera, segunda, tercera y hasta la cuarta capa sísmica ($V_s = 219$ a 498 m/s), y con espesores entre 47 y 54 metros. En el área de estudio, se obtuvo velocidades de ondas de corte V_{s30} fluctúa entre 314 y 373 m/s a que corresponde a suelos Tipo S2, es decir, medianamente rígidos hacia el extremo el noreste a rígidos hacia el extremo suroeste.
- Los suelos del área de estudio, en dirección Oeste, presentan alto contenido de humedad a profundidades que fluctúan entre 2 y 20 metros, que conforme se tiende en dirección suroeste del área de estudio, esta profundidad se incrementa.
- Los suelos del área de estudio, en dirección Oeste de la plaza de Jíbito, se ha identificado la presencia de alto contenido de humedad a profundidades que fluctúan entre 2 y 40 metros y hacia el extremo Este de la plaza de Jíbito (barrio Hipólito Unanue), este contenido de humedad está por debajo del nivel de exploración.
- Los resultados obtenidos para el área urbana de Jíbito a partir de sus características físicas y dinámicas del suelo, han permitido identificar, de acuerdo con las consideraciones indicadas en la Norma de Construcción Sismorresistente E.030, adaptadas para el área de estudio, la existencia de suelos Tipo S2; es decir, suelos intermedios y/o medianamente rígidos a rígidos.
- A la ocurrencia de un sismo de moderada a mayor magnitud, los suelos del C.P. Jíbito pueden experimentar niveles altos de sacudimiento, por la presencia de suelos blandos con altos niveles de humedad a nivel superficial.

REFERENCIAS

- Alfaro et al. (2014). Estimación de umbrales de precipitaciones extremas para la emisión de avisos meteorológicos, Boletín Técnico SENAMHI, pp135.
- Amézquita-Jiménez, J., Jalixto-Cuyo, R., Pampas-Quiroga, J., (2012), Teorías de capacidad de carga y sus limitaciones en suelos compresibles.
- Bernal, I., (2006), “Microzonificación sísmica de la ciudad de Tlaxcala, México”, Tesis de Maestría, Posgrado en Ciencias de la Tierra, UNAM.
- Braja Das, (2011) - Principles of Foundation Engineering, Seven Edition, pág. 139-140.
- Gobierno Regional de Piura - Laboratorio de mecánica de suelos (2022). Estudio de mecánica de suelos con fines de cimentación para el proyecto: "Elaboración de los estudios de evaluación de riesgo de desastres - EVAR para la formulación del plan regional integral de reconstrucción ante el sismo de 30 de julio del 2021.
- Instituto Geofísico del Perú, (2021): Sismo de Sullana del 30 de julio del 2021 (M6.1) – Aspectos sismo tectónicos.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (2017): Directorio nacional de centros poblados. Censos nacionales 2017 XII de población, VII de vivienda y III de comunidades indígenas.
- INGEMMET, (1999), Cuadrángulo geológico de Sullana hoja 10-b.
- Louie, J. (2001). Faster, Better: Shear-Wave Velocity to 100 Meters Depth from Refraction Microtremor Arrays. Bulletin of the Seismological Society of America. Pg. 20. DOI: 10.1785/0120000098
- Loke, M. (2004). Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys.
- Nakamura Y., (1989): A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtrem or on the ground surface, Quaterly Report of the Railway Technology Research Institute, 30, 25–30.
- Norabuena, E, Dixon, T., Stein, S. (1999). Decelerating Nazca–South America and Nazca–Pacific Plate Motions

Norma Técnica de edificaciones E.030. 2018. Aprobada por resolución ministerial N°355-2018-VIVIENDA.

Norma Técnica de suelos y cimentaciones E.050. 2018. Aprobada por decreto supremo N° 011-2006-VIVIENDA.

Norma Técnica de edificaciones E.060 concreto armado 2009. Aprobada por decreto supremo N°015-2004-VIVIENDA.

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

SESAME, (2004): Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations. Measurements, processing and interpretation, European Commission – Research General Directorate Project No.EVG1-CT-2000–00026 SESAME, report D23.12.

Silgado, E. (1978): Historia de los sismos más notables ocurridos en el Perú (1513-1974). INGEMMET. Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 3, 130 p.

Tavera, H., Agüero, C y Fernández, E. (2016). Catálogo general de isosistas para sismos peruano. Instituto Geofísico del Perú.

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

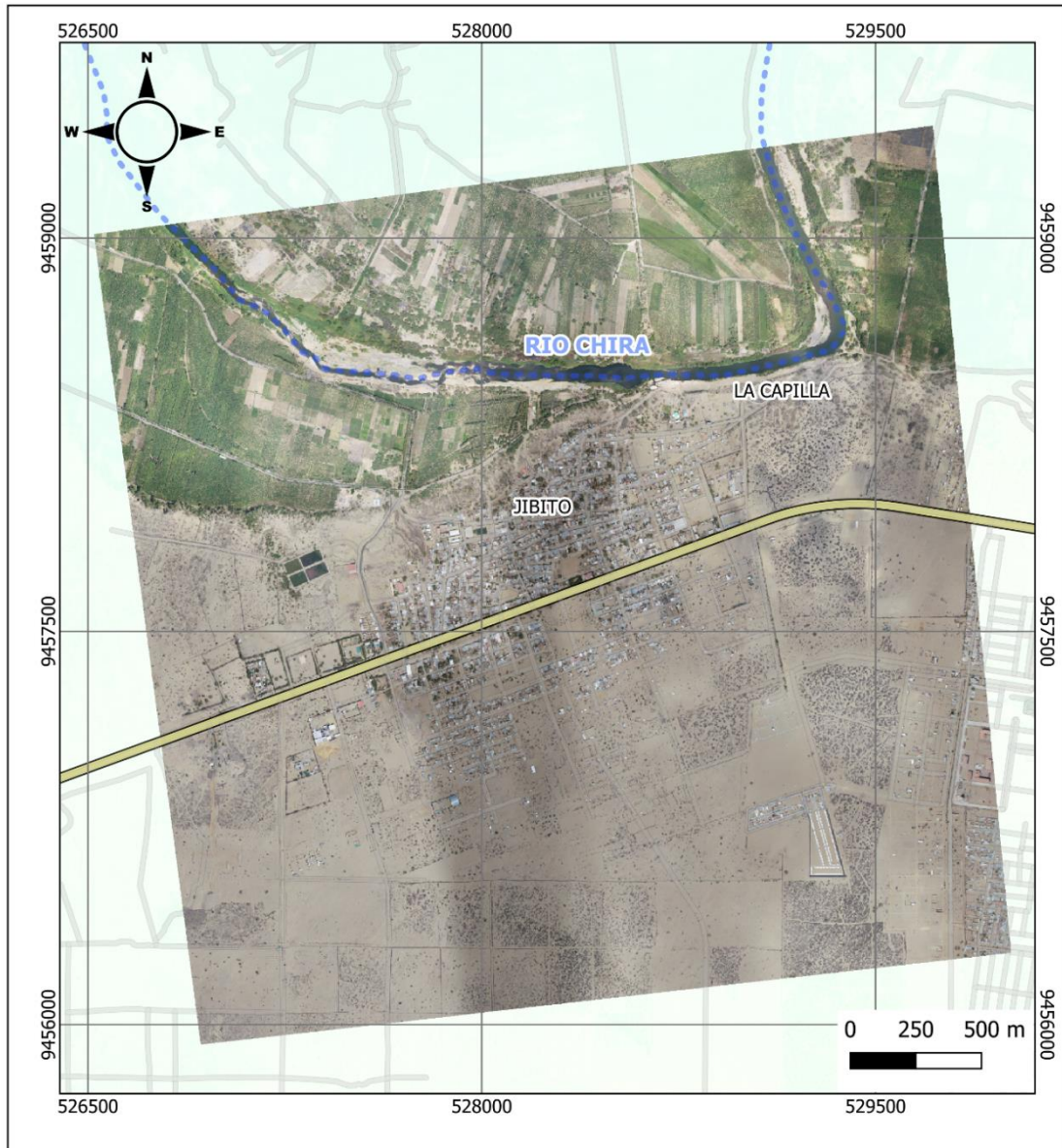
Villegas-Lanza, JC., Chlieh, M., Cavalié, O., Tavera, H., Baby, P., Chire-Chira, J., Nocquet, J-M. (2016). Active tectonics of Peru: Heterogeneous interseismic coupling along the Nazca megathrust, rigid motion of the Peruvian Sliver, and Subandean shortening accommodation. *JGR*, 10.1002/2016JB013080

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

ANEXOS 1

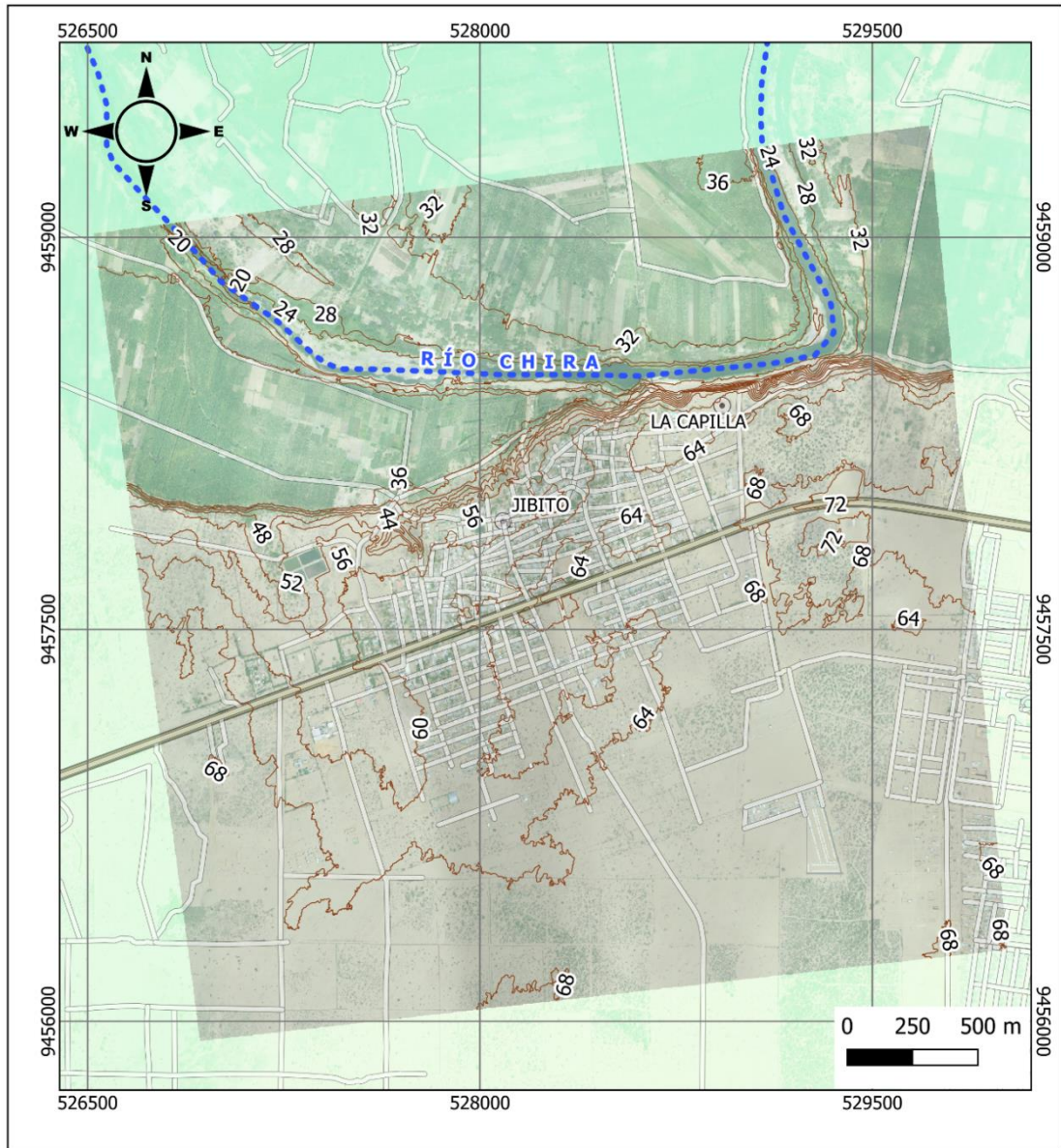
Información topográfica

Ortomosaico



	<p>LEYENDA</p> <ul style="list-style-type: none"> Carr. Sullana - Paita Centros Poblados Vias locales Rio Chira 	<p>PROYECTO ZONIFICACIÓN Y EVALUACIÓN SÍSMICA - GEOFÍSICA DE LAS ÁREAS URBANAS DE LAS CIUDADES UBICADAS EN ZONAS COSTERAS</p>	
		<p>ORTOMOSAICO DE LA LOCALIDAD DE JIBITO</p>	
		<p>Elaborado por: K. MOROCCOIRE, O. BALLADARES, J.C. VILLEGAS</p>	<p>Responsable del proyecto: JUAN C. GÓMEZ ÁVALOS</p>
		<p>Datum : WGS 1984 Proyección : UTM - Zona 17 S</p>	<p>Fecha: ABRIL 2023</p>
<p>Formato: A4</p>	<p>Escala: 1:20,000</p>	<p>MAPA: A-4</p>	

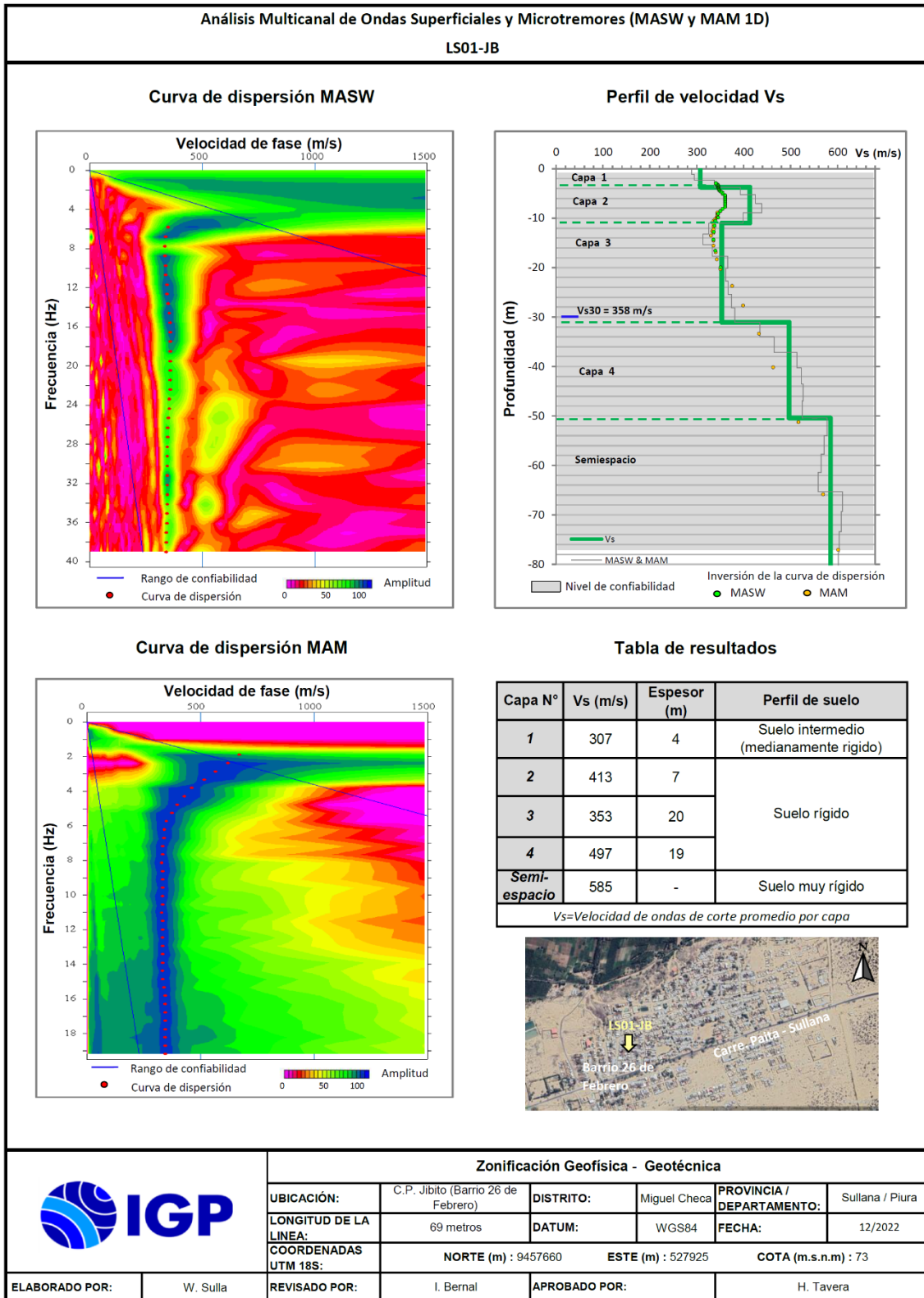
Curvas de nivel

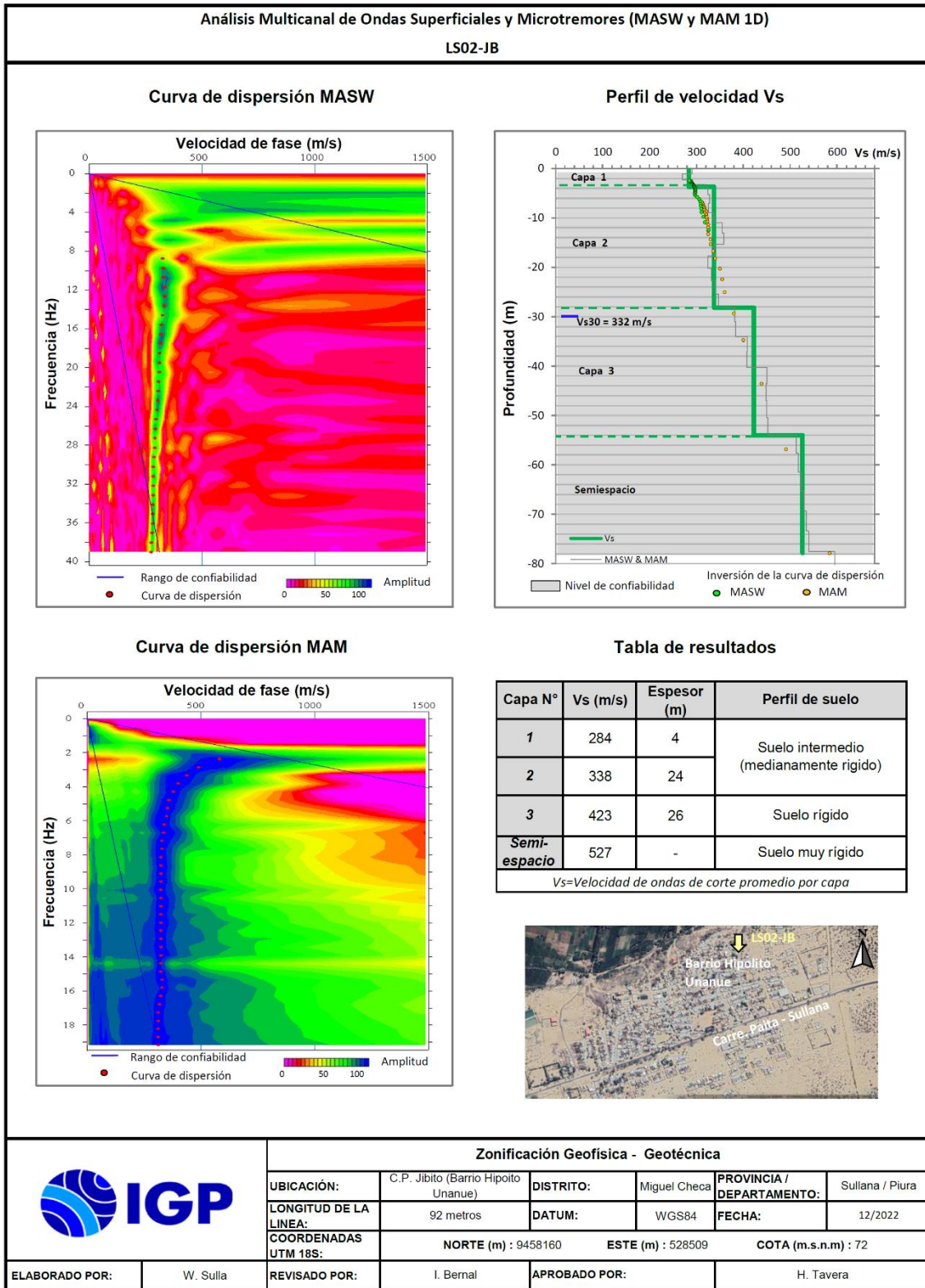


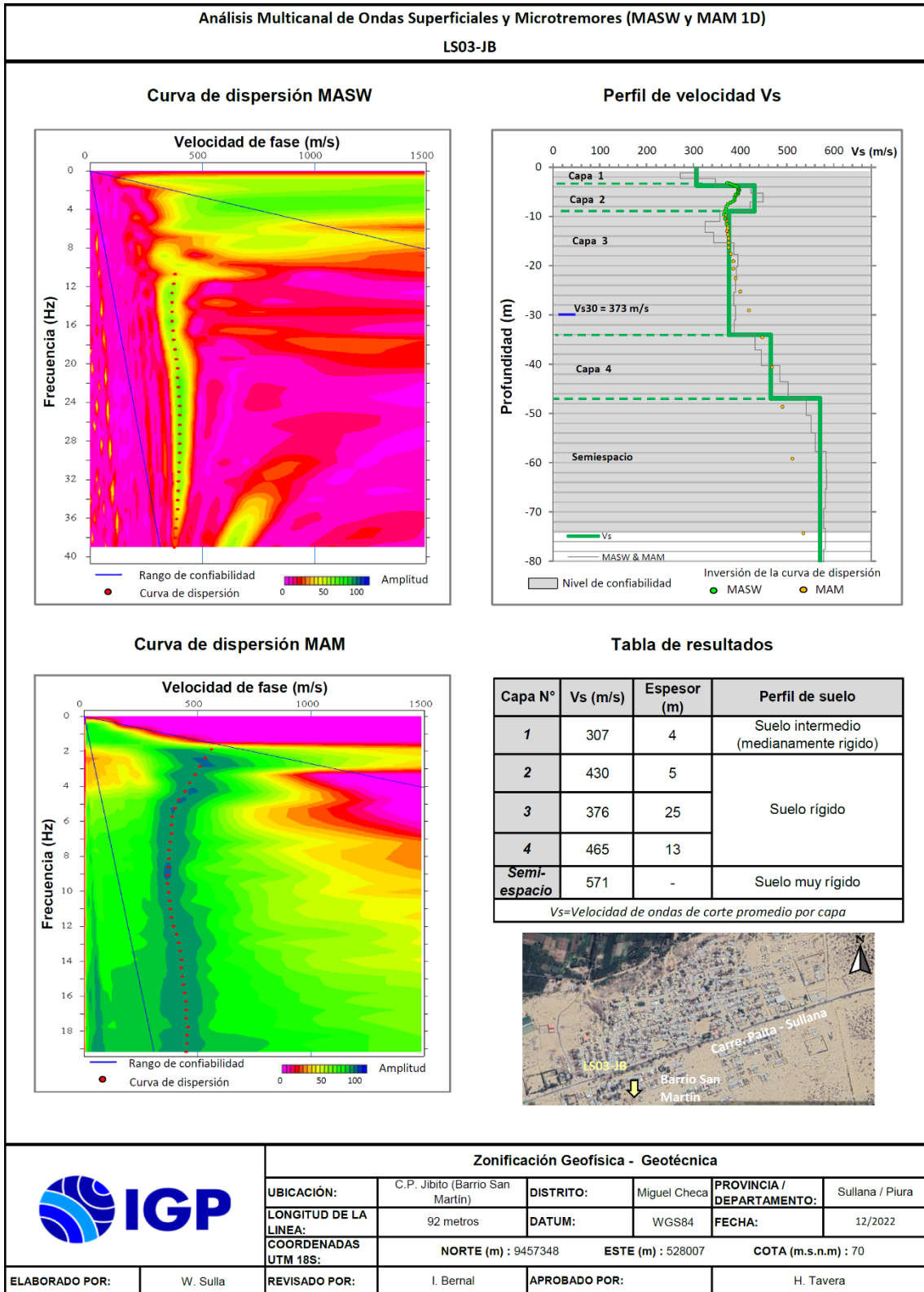
<p>0° 5°S 10°S 15°S</p> <p>OCEANO PACÍFICO</p> <p>80°O 75°O 70°O</p>	<p>LEYENDA</p> <ul style="list-style-type: none"> — Curvas de nivel — Carr. Sullana - Paita ⊙ Centros Poblados — Vias locales --- Río Chira 	<p>PROYECTO ZONIFICACIÓN Y EVALUACIÓN SÍSMICA - GEOFÍSICA DE LAS ÁREAS URBANAS DE LAS CIUDADES UBICADAS EN ZONAS COSTERAS</p>	
		<p>CURVAS DE NIVEL A UN INTERVALO DE 4 METROS PARA LA LOCALIDAD DE JIBITO</p>	
		<p>Elaborado por: K. MOROCCOIRE, O. BALLADARES, J.C. VILLEGAS</p>	<p>Responsable del proyecto: JUAN C. GÓMEZ ÁVALOS</p>
		<p>Datum : WGS 1984 Proyección : UTM - Zona 17 S</p>	<p>Fecha: ABRIL 2023</p>
<p>Formato: A4</p>		<p>Escala: 1:20,000</p>	<p>MAPA: A-5</p>

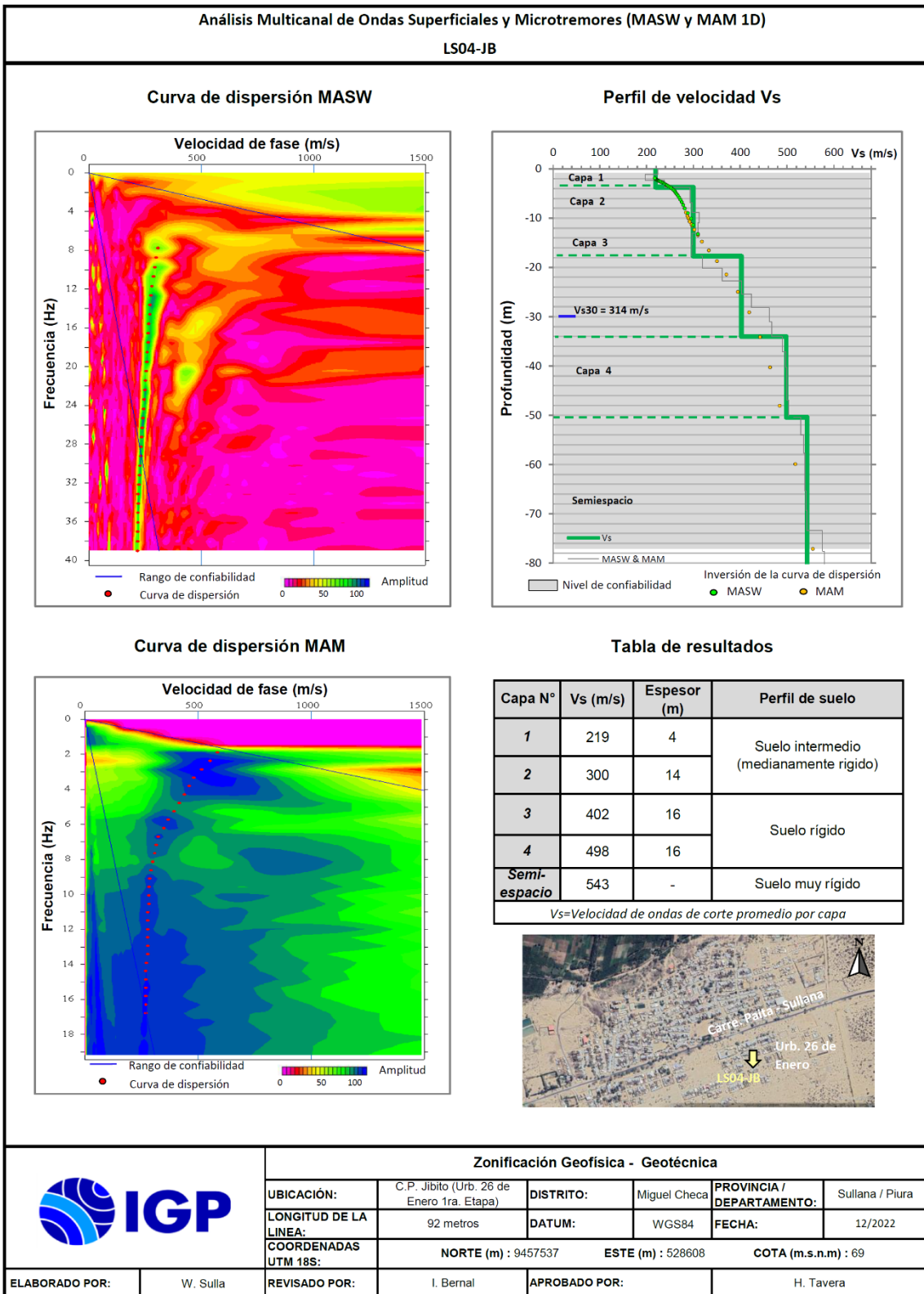
ANEXOS 2
Información Geofísica

Perfiles sísmicos MASW – MAM









Secciones de Tomografía Eléctrica

