



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. LAS GOLONDRINAS

Informe Técnico N°007-2024/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. La Golondrina.

Autores

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

Participantes:

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

Cartografía: Javier Oyola.

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

Apoyo técnico: Jesús Huarachi.

Apoyo logístico: Robert Yupanqui / Augusto Cárdenas.

Apoyo administrativo: Marisol Enríquez / Susana Huaccachi

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

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

– C. P. LA GOLONDRINA –

Lima – Perú
Enero - 2024

CONTENIDO

RESUMEN

INTRODUCCIÓN

1.1. OBJETIVOS

1.2. ÁREA DE ESTUDIO

1.3. MARCO TEÓRICO

2. GEOLOGÍA, GEOMORFOLOGÍA Y GEOTÉCNIA

2.1. GEOLOGÍA LOCAL

2.2. GEOMORFOLOGÍA

2.2.1. Levantamiento topográfico - fotogrametría

2.2.2. Unidades geomorfológicas

2.3. GEODINÁMICA

2.4. GEOTECNIA

3. EVALUACIÓN GEOFÍSICA

3.1. METODOLOGÍA

3.1.1. Razones espectrales (H/V)

3.1.2. Ondas superficiales y microtremores

3.1.3. Tomografía de resistividad eléctrica

3.2. ADQUISICIÓN DE DATOS

3.3. RESULTADOS

3.3.1. Frecuencias predominantes

3.3.2. Perfiles sísmicos

3.3.3. Secciones geoeléctricas

3.4. INTEGRACIÓN DE RESULTADOS

4. ZONIFICACIÓN GEOFÍSICA-GEOTÉCNICA DE LOS SUELOS

CONCLUSIONES

REFERENCIAS

ANEXOS

ANEXO 1: Información topográfica

Ortomosaico

Curvas de nivel

ANEXO 2: Información geofísica

Perfiles sísmicos

Secciones geoelectricas

RESUMEN

En este estudio se analiza y evalúa las características físicas y dinámicas de los suelos del Centro Poblado La Golondrina – 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} : 290-600 m/s) formando capas de 15 a 45 metros de espesor en dirección del barrio Sr. Cautivo, y decrece en dirección sureste, con alto contenidos de humedad. Los suelos responden a periodos bajos de vibración (0.1-0.3 segundos) y a profundidades de 1.0 a 1.5 metros presentan capacidad de carga admisible Muy Baja (<1.0 Kg/cm²). De acuerdo a estas características, en el C.P. La Golondrina predominan Suelos Tipo S1 que corresponden a suelos rígidos con la presencia de una capa delgada de suelos intermedios a nivel superficial. A la ocurrencia de un sismo de moderada a mayor magnitud, estos suelos pueden experimentar niveles altos de sacudimiento debido a la presencia de suelos blandos con alto contenido de humedad a nivel superficial.

1. INTRODUCCIÓN

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

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

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

En este contexto, el Instituto Geofísico del Perú (IGP) y la Región Piura, mediante la firma de un convenio acuerdan realizar el estudio Geofísico-Geotécnico de los suelos en el C.P. La Golondrina (distrito Marcavelica, 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. La Golondrina, ubicado en el distrito Marcavelica, provincia de Sullana y departamento de Piura. Para este objetivo se hace uso de diferentes métodos geofísicos, geológicos y geotécnicos que, en conjunto, permitirán determinar los diferentes parámetros físicos y dinámicos del suelo (velocidades, espesores, resistividad, periodos de respuesta, amplificaciones, capacidad portante y otros). Los resultados de este estudio deben ser considerados por las autoridades locales como insumo para la gestión del riesgo de desastres, a fin de realizar una adecuada planificación y expansión urbana.

1.2. Área de estudio

El centro poblado La Golondrina se ubica en la región norte del Perú, en el distrito de Marcavelica, provincia de Sullana en la región



Figura 1. Centro Poblado La Golondrina.

Piura (Figura 1), en las coordenadas geográficas latitud 4.84°S y longitud 80.78°O, a una elevación media de 59 m.s.n.m. Asimismo, tiene una población de 2486 habitantes (INEI, 2017) y su superficie se caracteriza por presentar un relieve con distintos desniveles en toda su extensión. Los fenómenos naturales que afectan directamente a esta población, son los sismos y las intensas precipitaciones que pueden generar altos niveles de sacudimiento del suelo e inundaciones, que causarían daños a la población.

1.3. MARCO TEÓRICO

- **Zonificación, Norma Técnica E.030**

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

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

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

Dónde:

d_i = espesor de cada uno de los estratos n .

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

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

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

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

● **Antecedentes:**

La información más relevante para conocer los fenómenos naturales de mayor recurrencia y sus efectos asociados en la región Piura y en el centro poblado de La Golondrina, 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 La Esperanza que se ubica a 5.60 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 de precipitación más alto de 80.7 mm para precipitaciones extremadamente lluviosas.

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

Según el estudio, se han realizado cinco (5) calicatas en el área urbana del C.P. La Golondrina 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, corte directo y sales solubles totales) y cuyos resultados han permitido identificar, según la clasificación SUCS, que en el área urbana del C.P. La Golondrina, los suelos están compuestos

arcillas inorgánicas, arenas arcillosas y limos inorgánicos. Asimismo, los parámetros geotécnicos obtenidos mediante el ensayo de corte directo, indican que el ángulo de fricción de los suelos presenta valores entre 20° y 27°, así como cohesión de 0.01 a 0.06. Según el estudio geotécnico, la capacidad portante en el C.P. La Golondrina presenta capacidad de carga admisible muy baja > a 1.0 kg/cm².

2. GEOLOGÍA, GEOMORFOLOGÍA Y GEOTÉCNIA

2.1. Geología local

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

Formación Chira (Pe-chi): Unidad geológica que se encuentra conformada por rocas lutitas bentónicas, areniscas y horizontes de conglomerados, de colores oscuros a rojizos, debido al proceso de intemperización. Esta unidad constituye el substrato rocoso del área de estudio, aflora en las distintas lomas del centro poblado La Golondrina, específicamente en la carretera Panamericana, así como en los extremos norte y sur del centro poblado, (Figura 2).



Figura 2. Areniscas intercaladas con conglomerados sobre lomas situadas en las inmediaciones de la vía Sullana-Talara.

Depósito aluvial antiguo (Q-al1): Esta unidad geológica está conformada por materiales heterogéneos (gravas subredondeadas, arenas y limos) que han sido transportados y depositados por antiguos cauces de quebradas. Sobre esta unidad geológica se ubican en mayor proporción las viviendas del C.P. La Golondrina (Figura 3).



Figura 3. Suelos heterogéneos dispuestos en la zona urbana del C.P. La Golondrina que conforma la unidad geológica depósito aluvial antiguo.

Depósito fluvio aluvial (Qh-fal): Están constituidos por materiales heterogéneos, tales como arenas con presencia de clastos subredondeados y capas de limos que se encuentran en ambos márgenes de los ríos y en la parte baja de quebradas.

Cabe mencionar que, sobre estos tipos de depósitos se asienta el valle Chira y se desarrollan actividades agrícolas, esta unidad geológica ha sido reconocida a 360 metros al noroeste del C.P. La Golondrina, (Figura 4).

Depósito aluvial reciente (Qh-al2): Unidad geológica que se encuentra conformada por materiales heterogéneos (arenas, limos y gravas en menor proporción) dispuestos sobre depresiones aluviales por tanto se presentan inconsolidados y se encuentran principalmente a 145 metros al noroeste del sector Compuerta Negra, así como en las inmediaciones del barrio Señor Cautivo, (Figura 5).



Figura 4. Depósitos fluvio-aluviales dispuestos hacia el extremo occidental del C.P. La Golondrina.



Figura 5. Materiales heterogéneos (flechas amarillas) que han sido transportados por escorrentías superficiales y depósitos en zonas de depresión que conforman depósitos aluviales recientes.

Depósito fluvial (Qh-fl): Está conformado 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 existentes en el área de estudio. Esta unidad geológica está conformada por arenas de grano medio a grueso, presentan plasticidad baja y se encuentran a lo largo del canal Miguel Checa y quebradas circundantes, Figura 6.

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



Figura 6.- Depósito fluvial a lo largo del canal Miguel Checa en cuyo fondo del cauce se sitúa materiales heterogéneos, principalmente arenas y limos.

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 pendientes del terreno y se describe las unidades geomorfológicas identificadas en el área urbana del C.P. La Golondrina en base a sus características físicas y los procesos que las han originado.

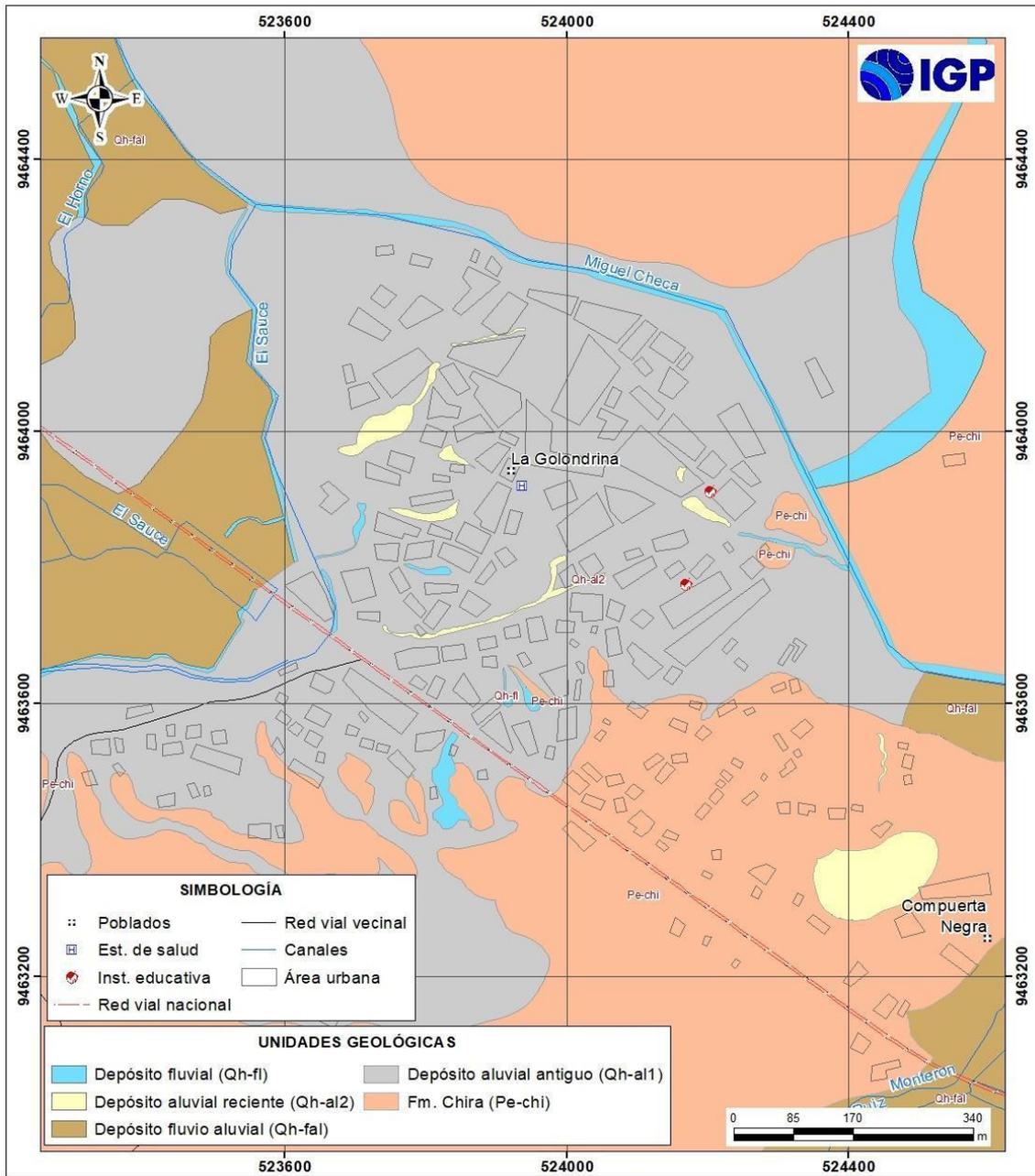


Figura 7. Mapa geológico del área urbana del centro poblado La Golondrina.

2.2.1. Levantamiento topográfico - fotogrametría

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

- Modelo digital de superficie (MDS y de terreno (MDT): Ambos con una resolución espacial de 17 cm/pixel, los cuales indican que el área de mayor elevación (55 a 87 m.s.n.m.) se encuentran en la zona norte, noreste, suroeste y parte del casco urbano de La Golondrina, mientras que la zona de menor elevación (37 a 50 m.s.n.m.) se distribuye al noroeste y sureste abarcando principalmente áreas de cultivo (Figura 8).
- Ortomosaico: Se ha generado a partir de la unión de 1,314 mosaicos que han sido corregidos por distorsiones ocasionados por el relieve y los objetos presentes en La Golondrina. La imagen permite identificar las áreas de cultivo que abarcan un área aproximada de 125 has, el casco urbano 100 ha y zona semi montañosa 251 has, estas zonas representan el 15%, 12% y 30% 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. La Golondrina con un intervalo de 5 metros a escala 1:25000. De manera general los resultados indican que el área de estudio tiene un relieve poco accidentado ya que presenta un cambio de elevación de hasta 10 m en un perfil de 1.3 km dentro del casco urbano en dirección noroeste a sureste; así también, se observa un cambio de elevación inferior a 1 m en un perfil de 0.5

km en las zonas de cultivo ubicadas sureste y noroeste del área urbana. Podemos apreciar zona de colinas hacia el suroeste, esto se observa por la proximidad entre curvas de nivel.

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

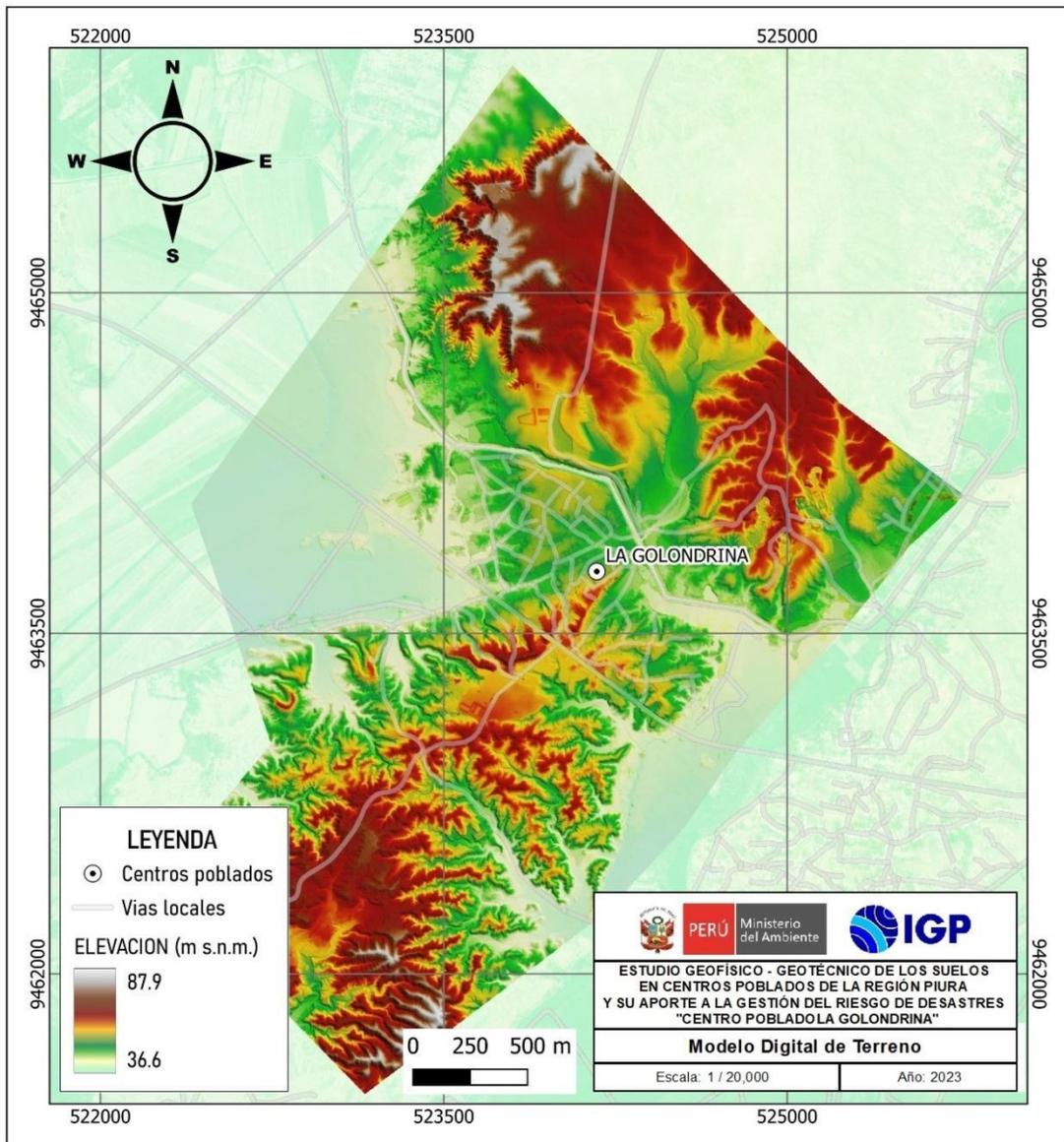


Figura 8. Modelo digital de terreno del C.P. La Golondrina.

2.2.2. Unidades geomorfológicas

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

Cauce aluvial: Comprende el cauce de las quebradas y canales de regadío, específicamente ocupa el lugar donde se desplaza el agua. Esta unidad geomorfológica ha sido identificada en las inmediaciones de una quebrada ubicada en el extremo noreste del C.P. La Golondrina (margen izquierdo del canal Miguel Checa), así como los canales de regadío situados en las inmediaciones de las viviendas, tales como Miguel Checa, Sauce y El Horno.

Cabe señalar que, la quebrada ubicada en el margen izquierdo del canal Miguel Checa tiene cauce temporal, se activa durante el periodo de lluvias, mientras que, los canales de regadío se mantienen en funcionamiento (Figuras 9 y 10).

Depresión aluvial: Consiste en una superficie de baja pendiente (inferior a los 5° de inclinación) situada por debajo del nivel de sus áreas circundantes. Esta unidad geomorfológica en el C.P. La Golondrina presenta desniveles topográficos de hasta 1.0 metro inferior a la terraza aluvial inferior a la terraza aluvial donde se ubican las viviendas del poblado, constituyen zonas donde se acumula agua y por tanto son susceptibles a inundaciones (Figura 11).

Terraza fluvio - aluvial: Superficie llana, cuyo relieve presenta pendientes menores a 5°. Generalmente se encuentra conformada por materiales heterogéneos de origen fluvio – aluvial (clastos subangulosos a subredondeados envueltos en una matriz limo-arcillosa).



Figura 9. Unidad geomorfológica cauce aluvial que corresponde al canal denominado Miguel Checa que se ubica al extremo noreste de la zona de viviendas del C.P. La Golondrina.

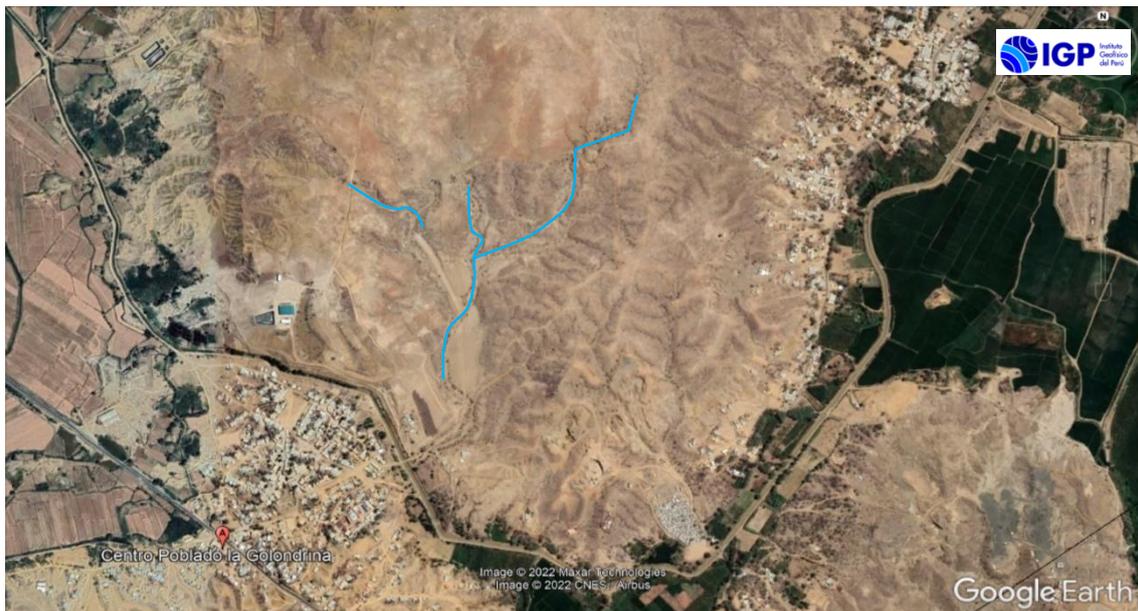


Figura 10. Unidad geomorfológica cauce aluvial (líneas celestes) que corresponden al cauce de una quebrada situada en el extremo nororiental del C.P. La Golondrina.



Figura 11. Unidad geomorfológica depresión aluvial (polígono amarillo) situada en las inmediaciones de las viviendas del C.P. La Golondrina, en estas geoformas se acumula agua durante los periodos de lluvias intensas debido a la inclinación del terreno.

Esta unidad ha sido identificada en las inmediaciones de la zona agrícola del C.P. La Golondrina aproximadamente en un desnivel topográfico inferior a 2 metros respecto a la plaza principal del C.P. (Figura 12).

Terraza aluvial: Superficies horizontales o ligeramente inclinadas, cuyo relieve presenta pendientes menores a 15° . Generalmente se encuentra conformada por materiales heterogéneos (clastos subangulosos a subredondeados envueltos en una matriz arenolimososa) y capas delgadas de limos. Sobre esta unidad geomorfológica se ubica la mayor parte de las viviendas del C.P. La Golondrina (Figura 13).



Figura 12. Terraza fluvio-aluvial ubicada a 340 metros hacia el extremo suroccidental de la plaza del C.P. La Golondrina, sobre esta unidad se desarrolla terrenos agrícolas.



Figura 13. Terraza aluvial sobre la que se asienta la mayor proporción de viviendas del C.P. La Golondrina.

Loma: Constituida por superficies elevadas de forma alargada con pendiente superior a 15° de inclinación. Sobre esta unidad se ubican las viviendas ubicadas en el extremo sureste del C.P. La Golondrina (Figura 14).



Figura 14. Loma (polígono amarillo) sobre la cual se asientan algunas viviendas del C.P. La Golondrina.

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

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. La Golondrina, 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.

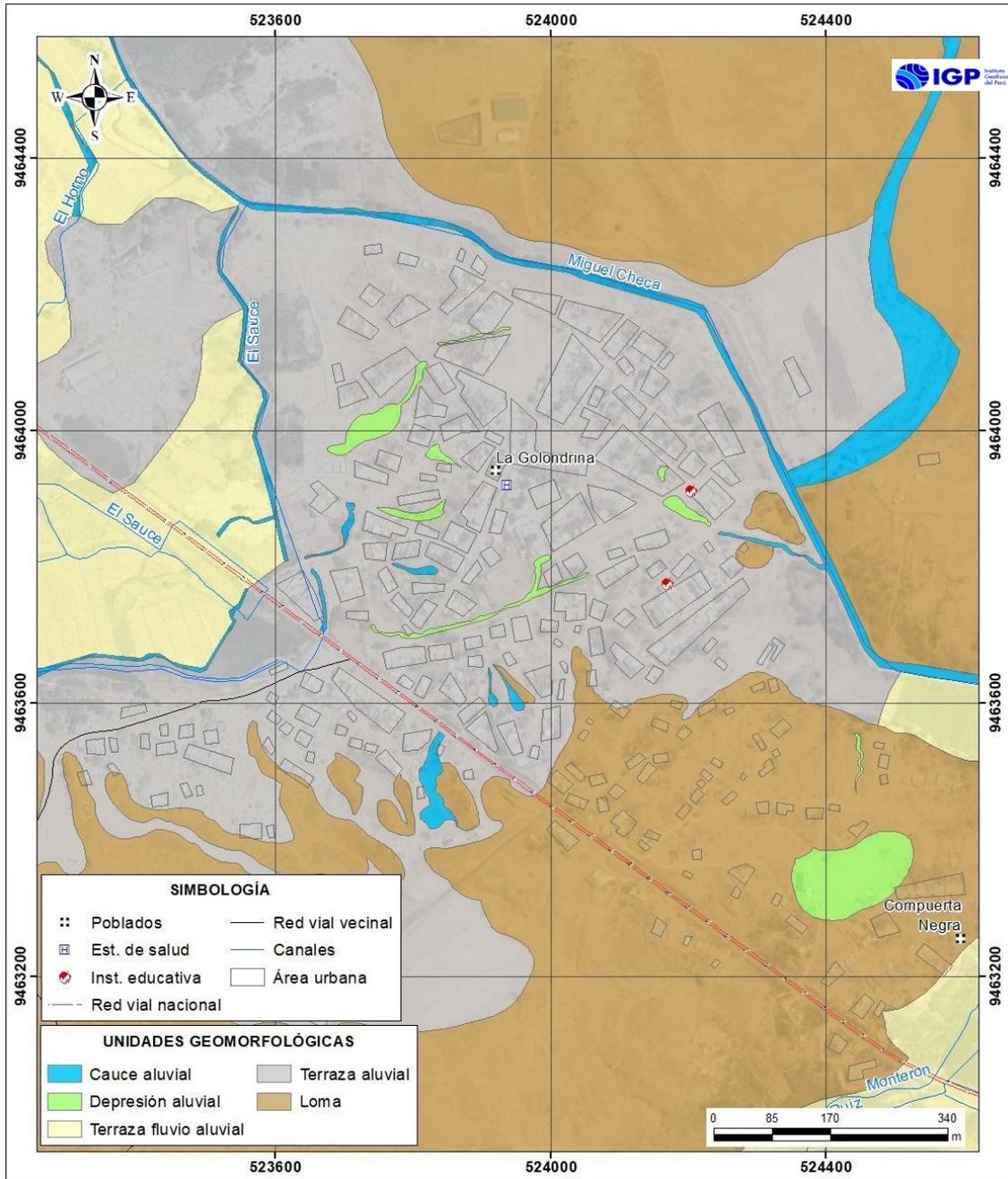


Figura 15. Mapa geomorfológico del área urbana del C.P. La Golondrina, donde la población se asienta principalmente sobre una terraza aluvial.

Cabe señalar que, el C.P. La Golondrina presenta relieves variables (elevaciones y depresiones), durante las precipitaciones pluviales intensas, las aguas de escorrentía se desplazan desde las lomas hacia las zonas de menor pendiente, acumulándose en zonas de depresión, de acuerdo con testimonio de los pobladores y el reconocimiento in situ, principalmente se generan inundaciones pluviales en las inmediaciones de la Av. Oswaldo Marcelo, calle barrio Señor Cautivo y parte del barrio Nueva Esperanza (Figuras 16 y 17).

Finalmente, en la carretera Panamericana Norte se ha identificado un pontón que drena las aguas de escorrentía pluvial contiguas al canal de irrigación denominado Sauce hacia las zonas agrícolas ubicadas en el extremo suroccidental del C.P. La Golondrina, estructura que podría colmatarse durante los periodos de lluvias intensas e inundar un predio ubicado en el margen derecho del pontón, (Figura 18).

Inundación fluvial: Se originan por el desborde del 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. La Golondrina, este tipo de evento podría generarse durante la activación de una quebrada ubicada en el margen izquierdo del canal Miguel Checa, específicamente en el extremo nororiental del poblado, sin embargo, las aguas de escorrentía desembocarían al canal antes mencionado, por lo que se considera que no generaría efectos severos a las viviendas aledañas, (Figura 19).



Figura 16. Zona de depresión (polígono amarillo) ubicada a 23 metros al sur de la institución educativa N° 145 Néstor Batanero donde se producen inundaciones en épocas de lluvias intensas.



Figura 17. Inundaciones pluviales (polígono amarillo) que se producen en la vía de ingreso hacia el C.P. La Golondrina, cuyas aguas de escorrentía provienen desde el Barrio Señor Cautivo, atravesando acceso conformado por bloquetas.

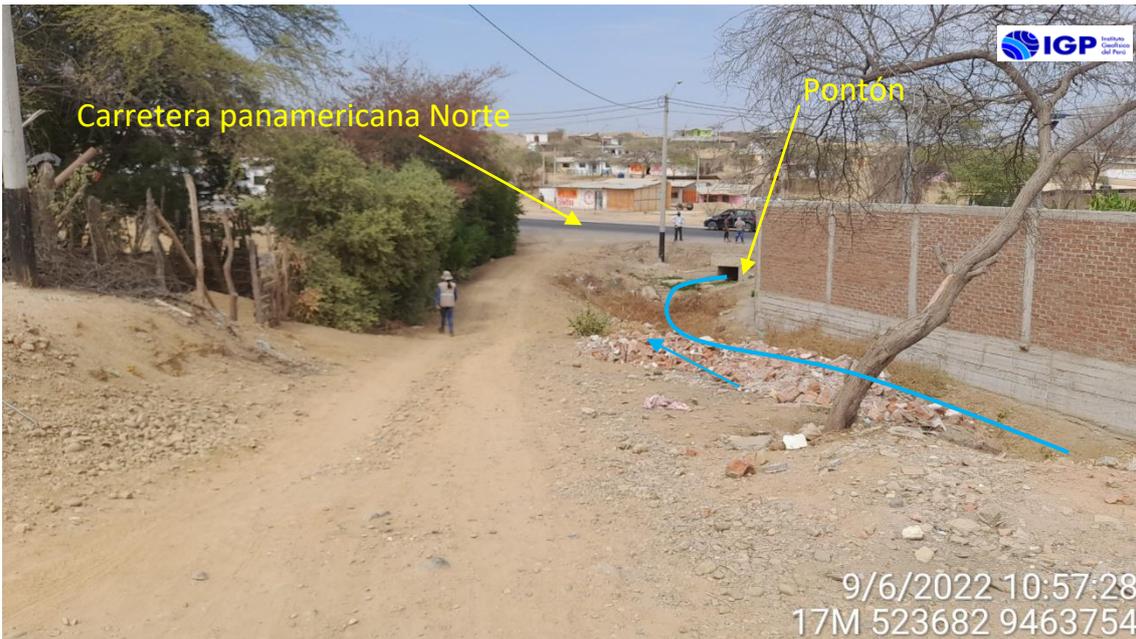


Figura 18. Zonas susceptibles a inundaciones pluviales ante el incremento de precipitaciones pluviales, las aguas de escorrentía pluvial podrían acumularse y colmatarse el pontón de drenaje.



Figura 19. Zonas susceptibles a inundaciones fluviales han sido identificadas en las inmediaciones del cauce de una quebrada de cauce temporal (líneas amarillas) que se ubican en el extremo oriental de la plaza principal del C.P. La Golondrina.

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

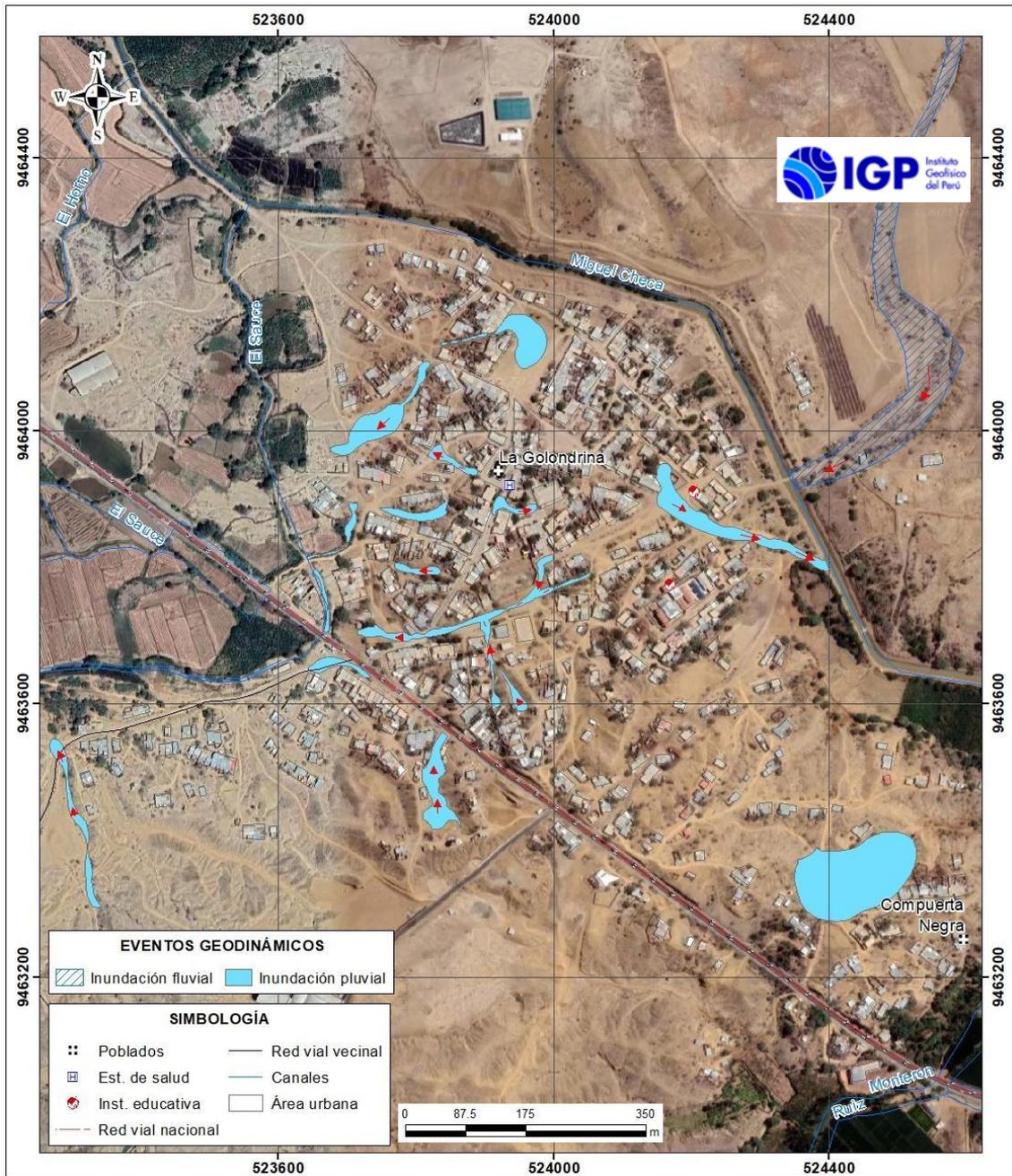


Figura 20. Con la información recopilada en campo, se generó el mapa geodinámico de La Golondrina, delimitando las áreas susceptibles a inundaciones pluviales y fluviales.

2.3. GEOTECNIA

Con la finalidad de obtener la información geotécnica de los suelos de cimentación en el área urbana del C.P. La Golondrina, en coordinación con el Gobierno Regional de Piura, se ejecutó

exploraciones a cielo abierto (calicatas), análisis químico y cortes directos para la estimación de la capacidad de carga de los suelos.

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

Tabla 2. Ubicación de calicatas

| CALICATA | UTM ESTE (m) | UTM NORTE (m) | PROFUNDIDAD (m) | NIVEL FREATICO A (m) |
|----------|--------------|---------------|-----------------|----------------------|
| CG - 01 | 523940 | 9464124 | 2.00 | N.P. |
| CG - 02 | 523751 | 9463716 | 2.00 | N.P. |
| CG - 03 | 524265 | 9463851 | 2.00 | N.P. |
| CG - 04 | 524268 | 9463682 | 2.60 | N.P. |
| CG - 05 | 524391 | 9463320 | 1.60 | N.P. |

Fuente: Gobierno Regional de Piura. NP: No presenta

Clasificación de suelos SUCS en el área urbana del C.P. La Golondrina: 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 4 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 SC: Corresponden a arenas arcillosas con contenido de humedad de 1.0 %, constituyen suelos de compacidad

suelta, presentan índice plástico de 12% y densidad máxima de 1.94 gr/cm³. Este tipo de suelos ha sido identificado en la calicata CG-03 que se ubica a 90 metros al sur de la institución educativa N° 145 Néstor Batanero, hasta una profundidad de 1.80 metros.

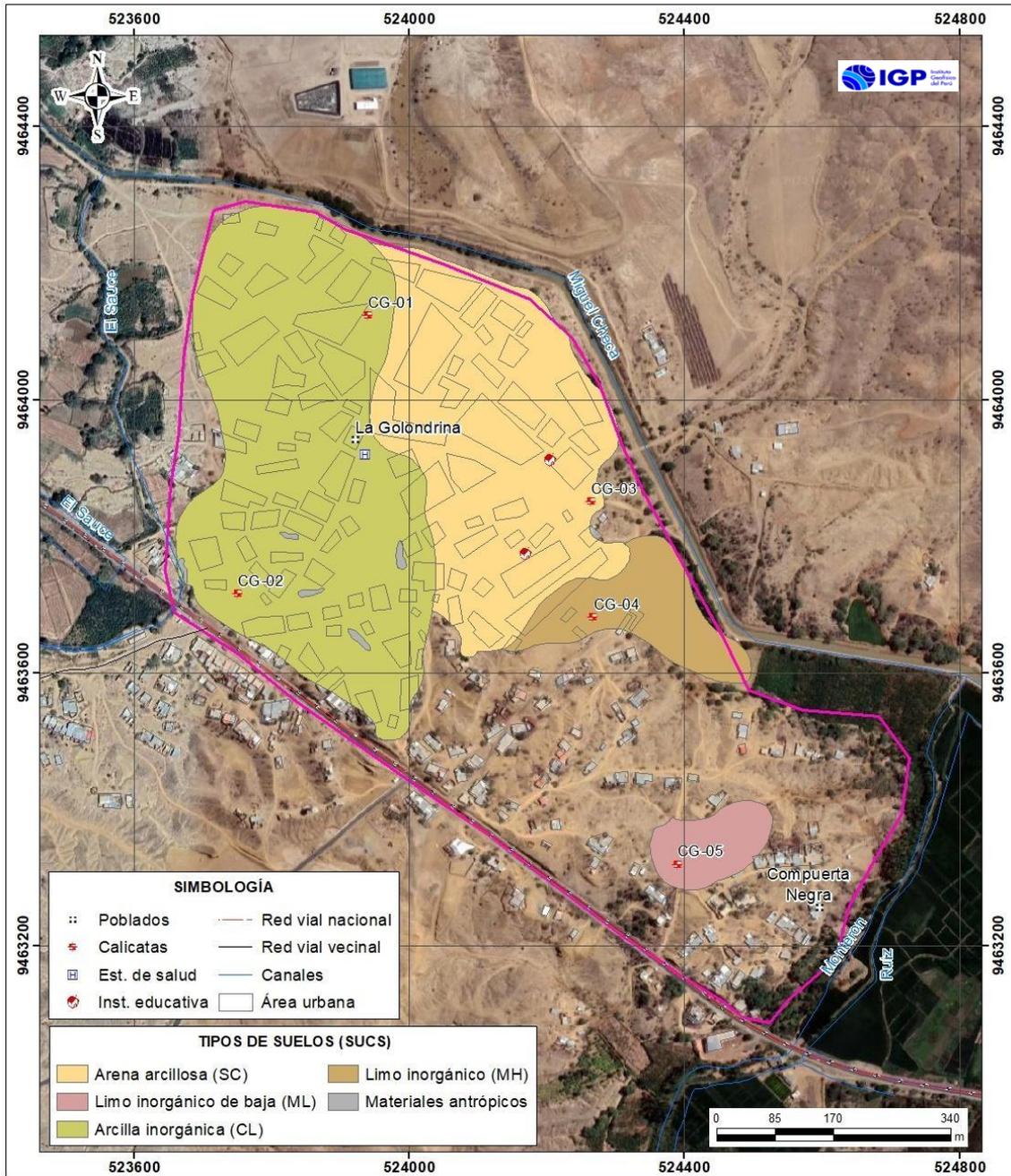


Figura 21. Mapa de clasificación SUCS de suelos en el área urbana del C. P. La Golondrina.

- Suelos tipo ML: Están conformados limos inorgánicos de baja plasticidad con contenido de humedad de 3.5 a 6.4 %, constituyen suelos de compacidad suelta, presenta índice plástico menor a 11%. Presenta densidad máxima de 1.8 a 1.9 gr/cm³ y ha sido identificado en las calicatas CG-03 (profundidad de 1.80 – 2.00 m) y CG-05 (profundidad de 1.60 metros) que se ubican a 90 metros al sur de la institución educativa N° 145 Néstor Batanero y a 220 metros al noroeste del sector Compuerta, respectivamente

- Suelos Tipo CL: Están conformados por arcillas inorgánicas de baja plasticidad con contenido de humedad de 8.6 y 10.2 %, constituyen suelos de compacidad suelta, con índice plástico de 18 – 23 %. Presenta densidad máxima de 1.7 a 1.8 gr/cm³ y ha sido identificado en las calicatas CG-01 y CG-02 (hasta profundidades de 2.00 m) que se ubican a 182 metros al norte y 288 metros al sur de la plaza del C.P. La Golondrina, respectivamente.

- Suelos Tipo MH: Están conformados por limo inorgánico de alta plasticidad con contenido de humedad de 16.8 %, tienen índice plástico de 32 %. Presenta densidad máxima de 1.8 gr/cm³ y ha sido identificado en la calicata CG-04 (hasta profundidades de 2.60 m) que se ubica a 432 metros al sureste de la plaza del C.P. La Golondrina.

- Suelos de origen antrópico: Conformados por materiales heterogéneos (desmonte, rellenos, residuos y basura) los cuales no se encuentran compactados. Estos suelos han sido identificados a 164 metros al sureste de la plaza del C.P. La Golondrina.

A continuación, se establece un cuadro resumen de los tipos de suelos existentes en el área urbana del C.P. La Golondrina.

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

| CALICATA | PROFUNDIDA D (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 (%) | CLASIFICAC IÓN SUCS | DENOMINACIÓN |
|----------|------------------------|--------------------------|------------------------------|--|------------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------|-----------------------------------|---------------------------|--|
| CG - 01 | 2.00 | N.P. | 0.00 | 21.90 | 78.10 | 49 | – | 23 | 10.20 | CL | Arcilla inorgánica |
| CG - 02 | 2.00 | N.P. | 0.00 | 17.50 | 82.50 | 43 | – | 18.2 | 8.60 | CL | Arcilla inorgánica |
| CG - 03 | 2.00 | N.P. | 0.00 | 51.90 | 80.40 | 37 | – | 12 | 6.40 | SC ML | Arena arcillosa Limo inorgánico |
| CG - 04 | 2.60 | N.P. | 0.00 | 22.00 | 78.40 | 64 | – | 32 | 16.80 | MH | Limo inorgánico de alta plasticidad |
| CG - 05 | 2.10 | N.P. | 0.00 | 10.10 | 89.10 | 32 | – | 8 | 3.50 | ML | Limo inorgánico de baja plasticidad |

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

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

- Calicata CG 01, muestra 0.837%,
- Calicata CG 02 muestra 0.847%,
- Calicata CG 03 muestra 0,091%,
- Calicata CG 04 muestra 0.505% y
- Calicata CG 05 muestra 0.472%.

Considerando estos resultados y haciendo la comparativa con los límites permisibles de agresividad del suelo al concreto (Tabla 4), se determina que las calicatas CG 03 y CG 05 se encuentran dentro de

límite permisible; sin embargo, las calicatas CG 01, CG 02 y CG 04 superan los 5000 PPM (estado perjudicial), por lo tanto, se requieren tomar precauciones para protección de estructuras (cemento tipo MS).

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

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

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

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

Para conocer esta resistencia al corte en laboratorio se usa el equipo de corte directo, siendo el más usado una caja de sección cuadrada o circular dividida horizontalmente en dos mitades. Dentro de ella se coloca la muestra de suelo con dos placas de piedra porosa en

ambos extremos, se aplica una carga vertical de confinamiento (Pv) y luego una carga horizontal (Ph) creciente que origina el desplazamiento de la mitad móvil de la caja originando el corte de la muestra.

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

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

| CALICATA | CG-01 | CG-02 | CG-03 | | CG-04 | CG-05 |
|------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| ÁNGULO DE FRICCIÓN (°) | 27.037 | 23.695 | 27.041 | 27.408 | 20.735 | 27.847 |
| COHESIÓN | 0.01 | 0.05 | 0.01 | 0.00 | 0.06 | 0.04 |

Fuente: Gobierno Regional de Piura.

La Tabla 5 indica que, los suelos del C.P. La Golondrina presenta ángulos de fricción entre 20 y 27°, así mismo, como cohesión entre 0.010 y 0.060.

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

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

Fórmula para falla por corte general

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

Fórmula para falla por corte local

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

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

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 1.5 metros y ancho de zapata de 1.0 metro. Los resultados de capacidad de carga admisible de suelos analizados se presentan en los Tabla 7.

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. La Golondrina.

| 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 |
|----------------------------|--|--|---------------|--|--|---------------|
| CG-01 | 1.07 | 0.36 | F.L | 1.43 | 0.48 | F.L |
| CG-02 | 1.30 | 0.43 | F.L | 1.62 | 0.54 | F.L |
| CG-03 | 1.20 | 0.40 | F.L | 1.63 | 0.54 | F.L |
| CG-04 | 1.17 | 0.39 | F.L | 1.42 | 0.47 | F.L |
| CG-05 | 1.59 | 0.53 | F.L | 2.03 | 0.68 | F.L |
| DIMENSIONES DE CIMENTACIÓN | Profundidad: 1.00 metro y ancho:1.00 metro (Zapata Cuadrada) | | | Profundidad: 1.50 metro y ancho:1.00 metro (Zapata cuadrada) | | |

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

De los resultados citados anteriormente y tomando en cuenta la Tabla 8, se ha determinado que para la profundidad de 1 y 1.5 metros, los suelos de cimentación del área urbana del C.P. La Golondrina presentan capacidad de carga admisible muy baja (menor a 1.0 kg/cm²), (Figura 22).

Tabla 8. Rango de capacidad de carga admisible

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

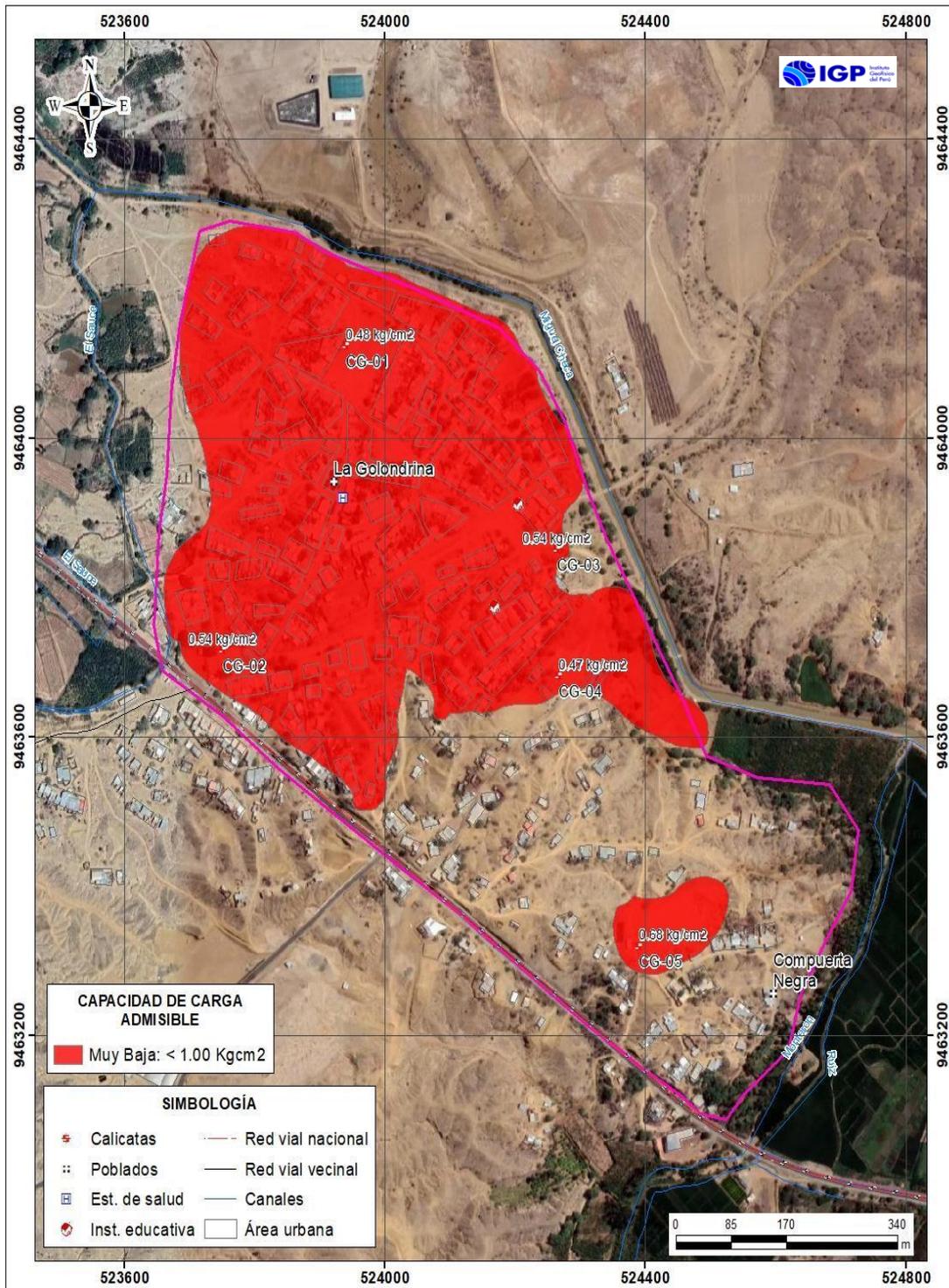


Figura 22. Mapa de capacidad de carga admisible de los suelos de cimentación del C.P. La Golondrina, para zapata cuadrada de 1.5 metros de profundidad y ancho de 1.0 metro.

3. EVALUACIÓN GEOFÍSICA

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

3.1. METODOLOGÍA

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

3.1.1. RAZONES ESPECTRALES (H/V)

El método de razones espectrales (H/V) fue propuesto por Nakamura (1989) para caracterizar la respuesta dinámica del suelo a partir del periodo de respuesta del suelo y en algunos casos, estimar su amplificación, ante la 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 (LG-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.

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

3.1.2. ONDAS SUPERFICIALES Y MICROTREMORES

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

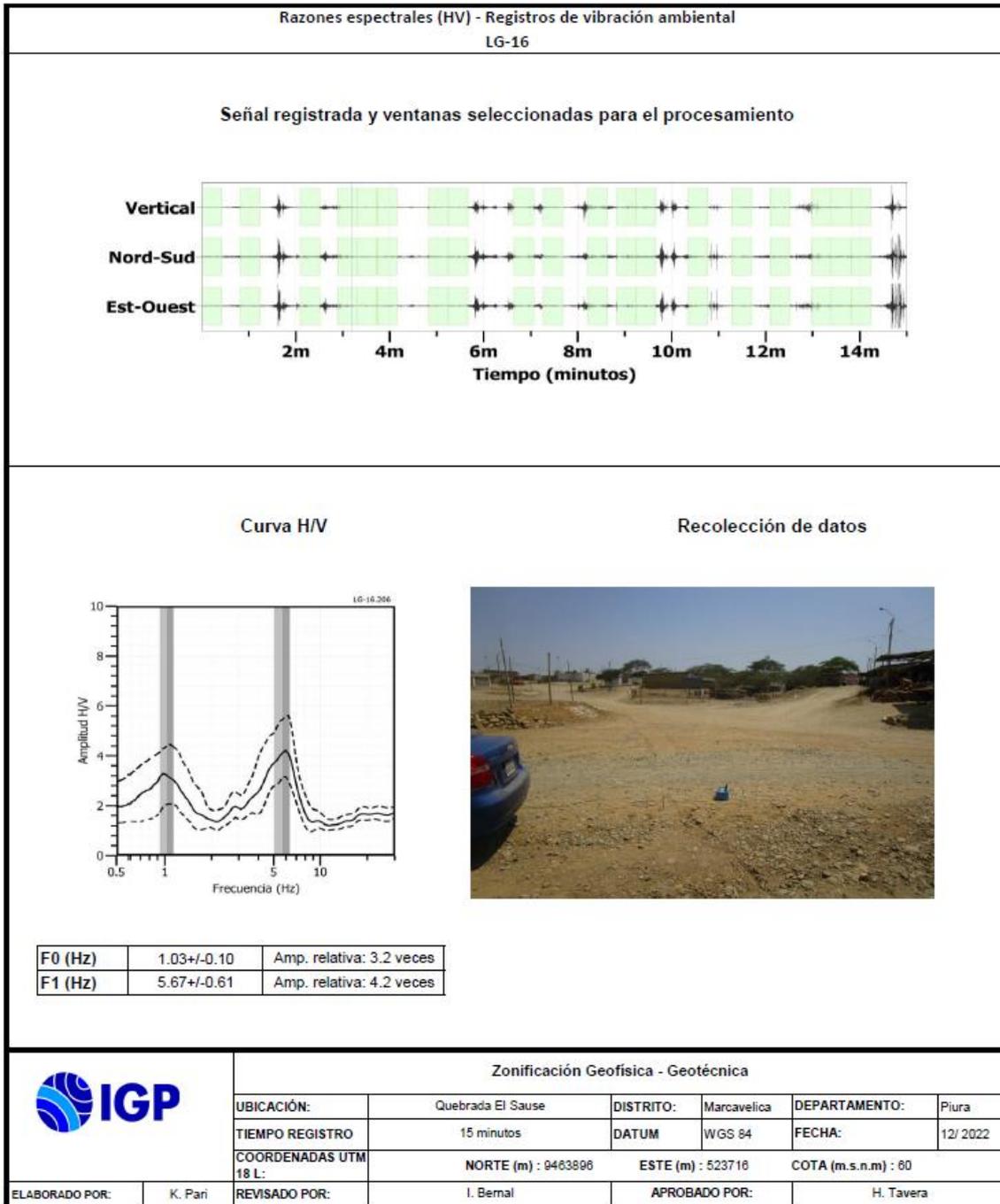


Figura 23. Resultados obtenidos con el método de razones espectrales (H/V) para el punto LG-16. Arriba, la señal registrada y abajo la curva promedio de las razones espectrales (H/V) en línea gruesa y su desviación estándar en líneas discontinuas. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

El ensayo de Análisis Multicanal de Microtremores (MAM) o sísmica de Microtremores (Louie, 2001), es método complementario al MASW, que al utilizar registros de microtremores permite investigar a mayores profundidades. En este caso no existe fuente sísmica y solo consiste en el

registro de la vibración del suelo generada por la actividad humana. La combinación con el método de MASW permite obtener información a niveles superficiales y en profundidad.

Los datos sísmicos recolectados en campo fueron procesados con el programa de computación SeisImager y en su procedimiento, se aplicó la Transformada Rápida de Fourier (FFT) para obtener la curva de dispersión que relaciona la velocidad de fase de las ondas superficiales con la frecuencia (Reynolds, 2011). Seguidamente, cada curva de dispersión perteneciente a un mismo arreglo (MASW y MAM), fue sometida a un proceso de inversión a fin de obtener los perfiles Vs en una dimensión (1D) para el punto central de la línea, ver Figura 24.

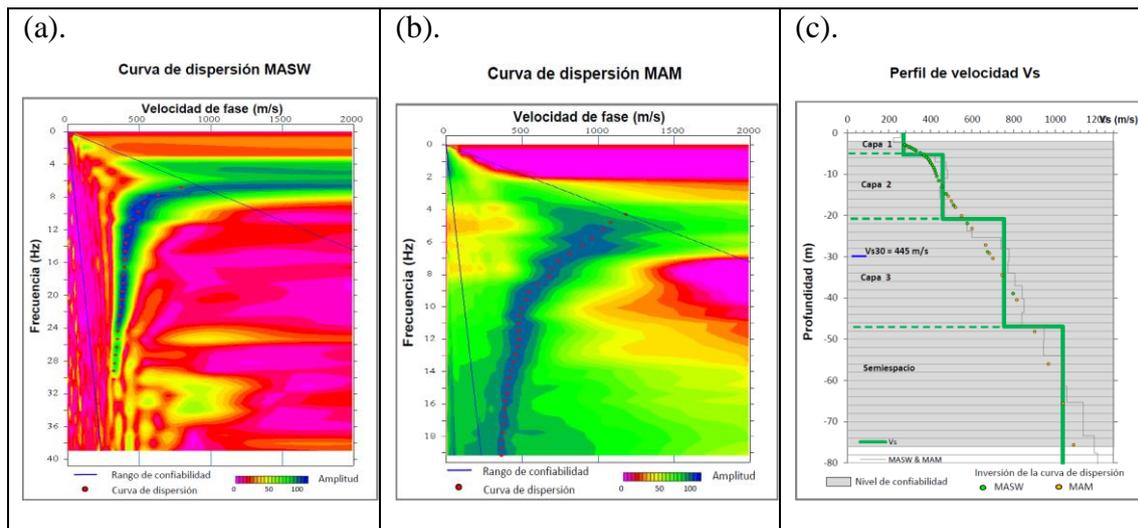


Figura 24. Curvas de dispersión obtenidos a partir de las técnicas MASW (a) y MAM (b) y perfil de velocidad obtenido a partir de la combinación de ambos ensayos (c).

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 rígido) | S3 |
| 3 | 350 a 500 | Suelo rígido | S2 |
| 4 | 500 a 800 | Suelo muy rígido | S1 |
| 5 | 800 a 1500 | Roca | S0 |
| 6 | > 1500 | | |

3.1.3. TOMOGRAFÍA DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA

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

3.2. ADQUISICIÓN DE DATOS

En el área urbana del C.P. La Golondrina, se ha recolectado en campo un total de 32 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 de tres líneas de tomografía eléctrica.

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 |

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 LG-15, ubicado por la carretera Panamericana Norte, donde existe ruido de poca amplitud y/o saltos transitorios; es decir no está muy perturbada en comparación con la señal LG-01 que presenta algunos saltos y/o picos de señal, estando ubicada al sur de la carretera Panamericana Norte.

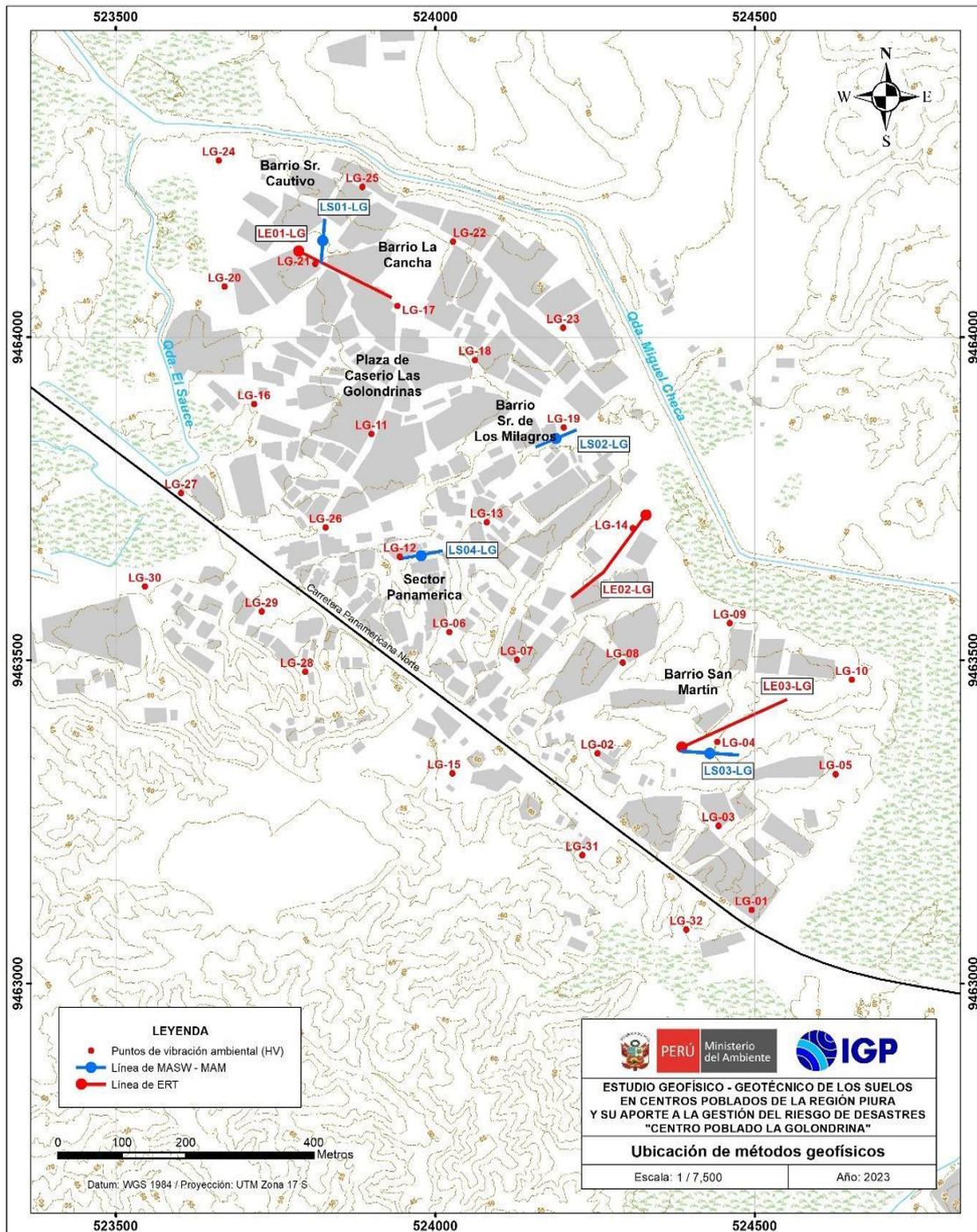


Figura 25. Distribución espacial de los puntos y líneas de adquisición de datos geofísicos en el C.P. La Golondrina.



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.

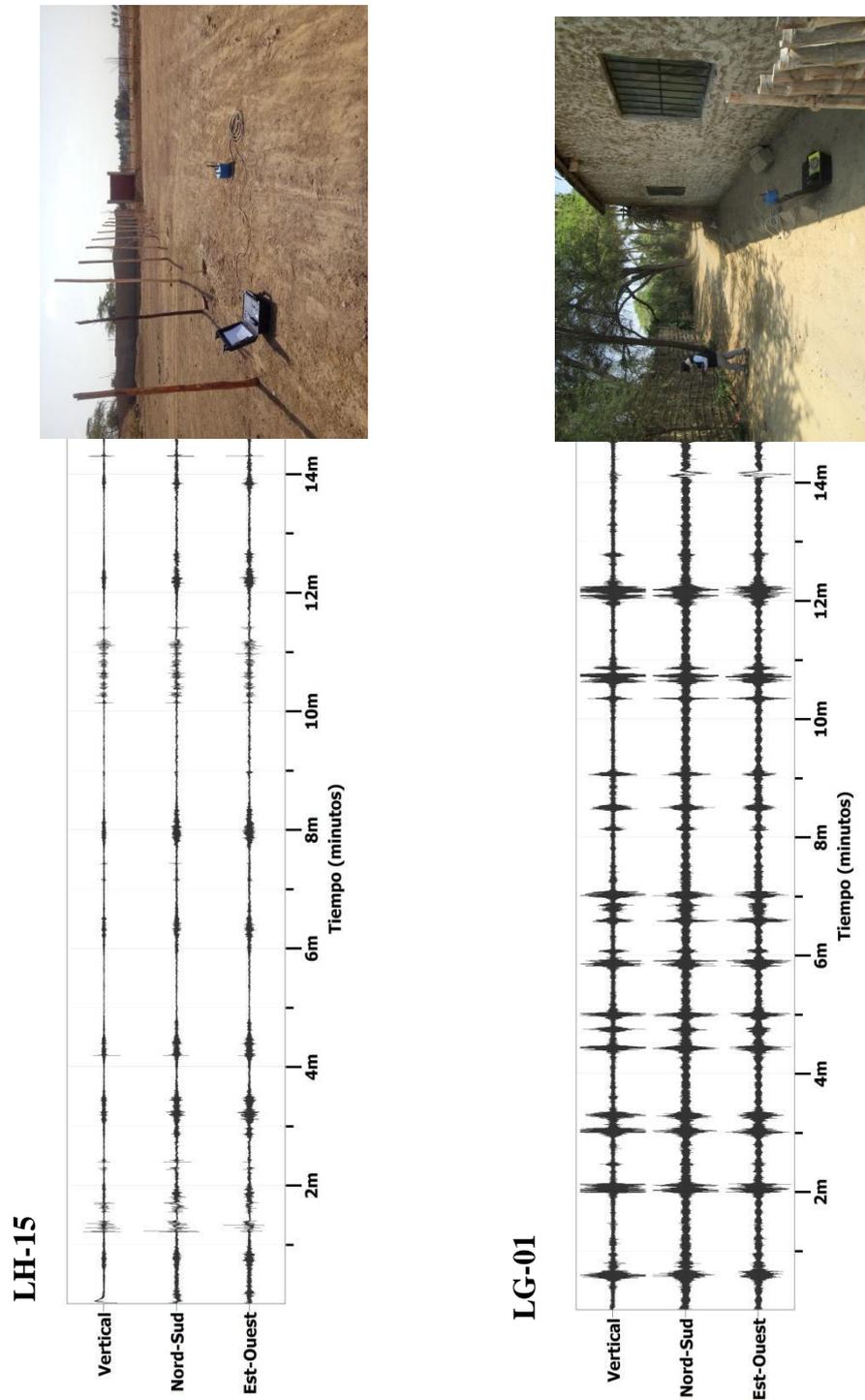


Figura 27. Ejemplos de registros de vibración ambiental obtenidos en los puntos LG-15 Y LG-01, ubicados sobre diferentes tipos de suelos. Obsérvese las diferentes amplitudes de la señal registrada en cada punto.

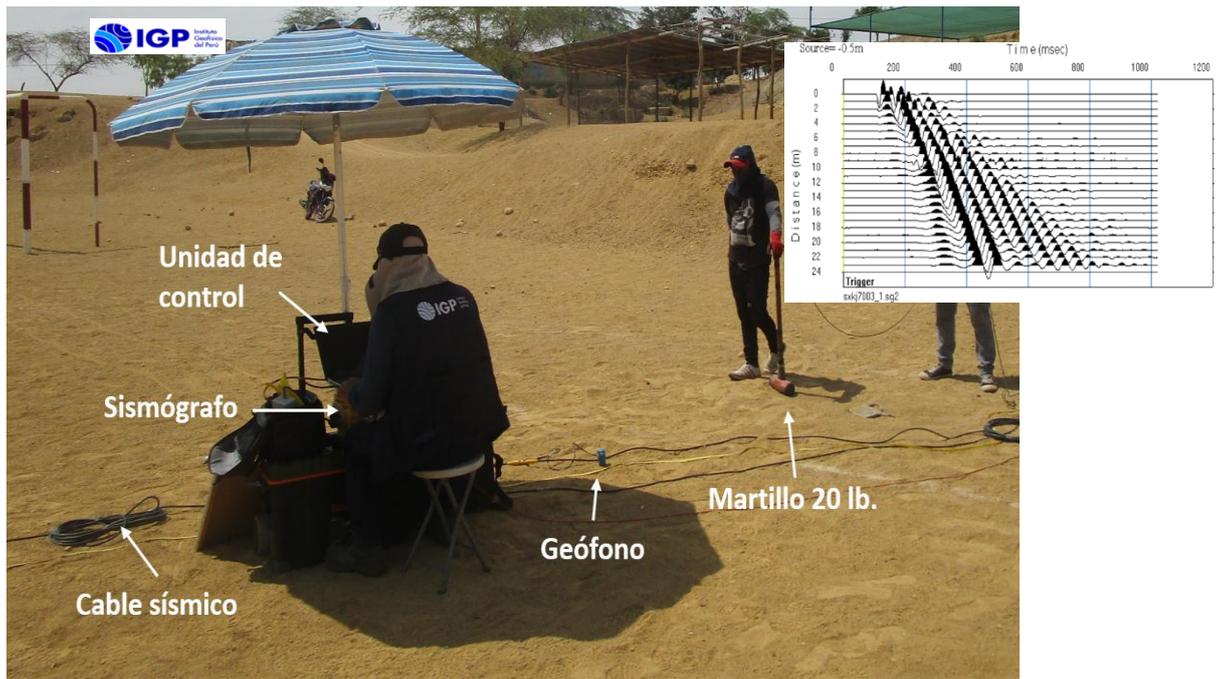


Figura 28 Disposición del equipo para la adquisición de registros sísmicos – MASW.

Tabla 11. Coordenadas y características de las líneas sísmicas

| Línea Sísmica | Coordenadas UTM – WGS84 | | Cota (m.s.n.m.) | Espaciamiento entre geófonos (m) | Longitud total (m) | |
|---------------|-------------------------|-----------|-----------------|----------------------------------|--------------------|----|
| | Este (m) | Norte (m) | | | | |
| LA GOLONDRINA | | | | | | |
| 1 | LS01-LG | 523823 | 9464151 | 57 | 3 | 69 |
| 2 | LS02-LG | 524189 | 9463842 | 51 | 3 | 69 |
| 3 | LS03-LG | 524429 | 9463357 | 53 | 4 | 92 |
| 4 | LS04-LG | 523978 | 9463661 | 58 | 3 | 69 |

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.

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

| Línea Eléctrica | Coordenadas UTM – WGS84 | | Cota (m.s.n.m.) | Espaciamiento entre electrodos (m) | Longitud total (m) | |
|-----------------|-------------------------|-----------|-----------------|------------------------------------|--------------------|-----|
| | Este (m) | Norte (m) | | | | |
| LA GOLONDRINA | | | | | | |
| 1 | LE01-LG | 523778 | 9464137 | 65 | 10 | 180 |
| | | 523931 | 9464061 | 70 | | |
| 2 | LE02-LG | 524334 | 9463732 | 64 | 10 | 190 |
| | | 524212 | 9463597 | 66 | | |
| 3 | LE03-LG | 524377 | 9463361 | 64 | 10 | 190 |
| | | 524550 | 9463439 | 59 | | |



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. La Golondrina, responden a dos rangos de frecuencias: F_0 ($F \leq 2.0$ Hz) y F_1 ($F > 2.0$ Hz); su distribución espacial muestra la presencia de bajas frecuencias en gran parte del área de estudio, con amplificaciones de hasta 7 veces, las frecuencias mayores se distribuyen uniformemente en toda el área de estudio, donde prevalece un pico de frecuencias bien definido, presentando amplificaciones menores a 2.5 veces, asimismo se observa que en algunos casos los suelos no responden a ningún periodo, evidenciando la presencia de suelos homogéneos. 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 0.7 a 1.3 Hz, distribuidos en parte del área de estudio. Estos valores bajos de frecuencia estarían asociados a la presencia de una capa sedimentaria de gran espesor.

En la Figura 31 se muestra ejemplos de razones espectrales (H/V) obtenidas para los puntos LG-09, LG-16 y LG-27, ubicados en el barrio San Martín, la plaza del C.P. La Golondrina, y el último por la carretera Panamericana Norte. En estos espectros sobresalen frecuencias de 0.87, 1.03 y 0.82 Hz con amplificaciones de 5.2, 3.2 y 6.1 veces, asimismo se evidencia un segundo pico en los puntos LG-09, LG-16 y LG-27 con frecuencias de 11.9, 9.6, 5.7 y 4.9 Hz con amplificaciones de 2.4, 4.2 y 5.5 veces.

Finalmente, los puntos LG-01, LG-15 y LG-32, ubicados al sur de la plaza (Figura 32), responden a frecuencias de, 1.44, 0.77 y 1.42 Hz con amplificaciones de 1.8, 4.1 y 6.4 veces respectivamente y el segundo pico responden a frecuencias de 7.47, 9.64 y 7.66 Hz con amplificaciones de 3.3, 2.7 y 4.4 veces.

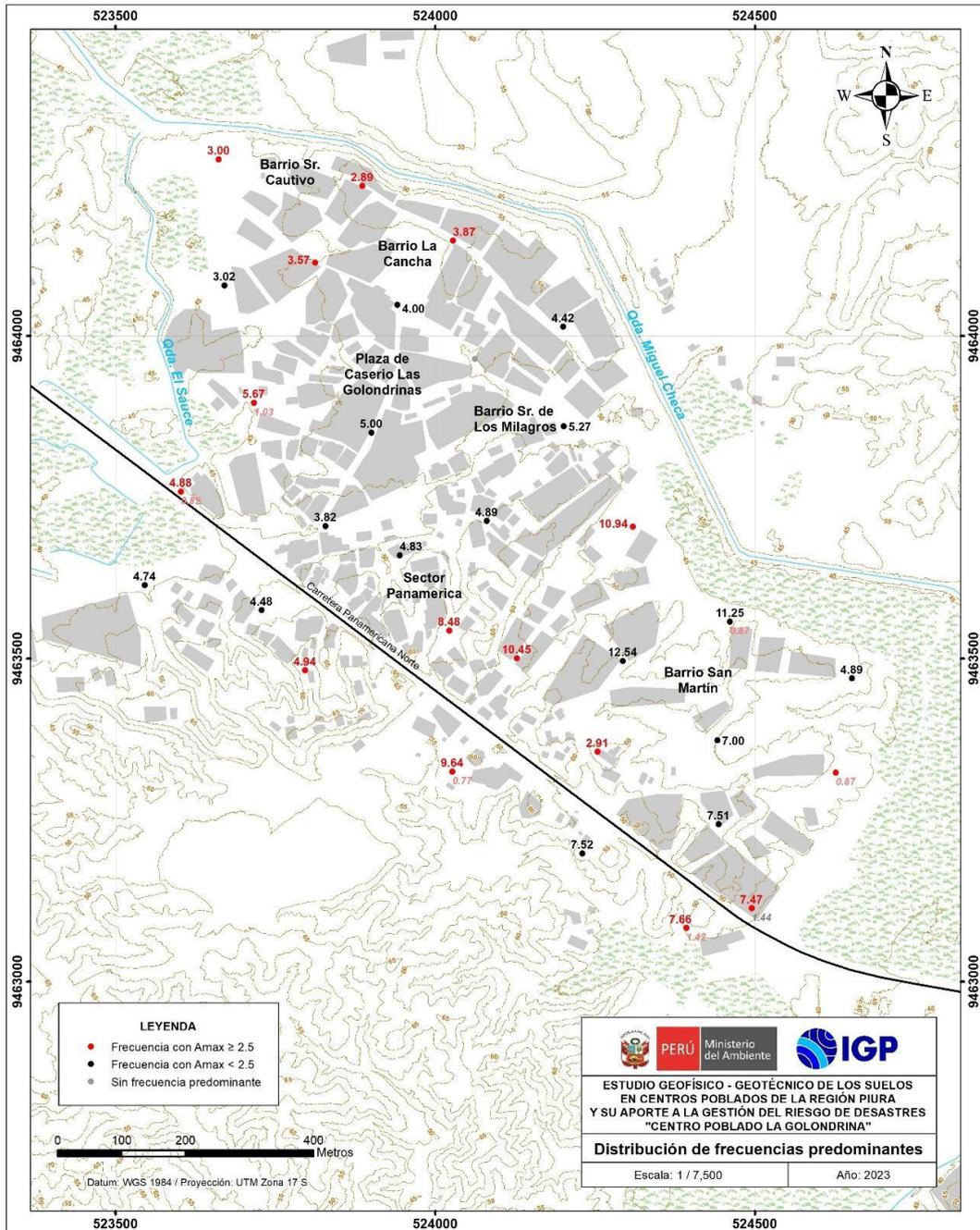
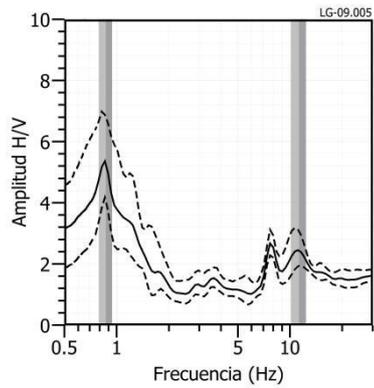
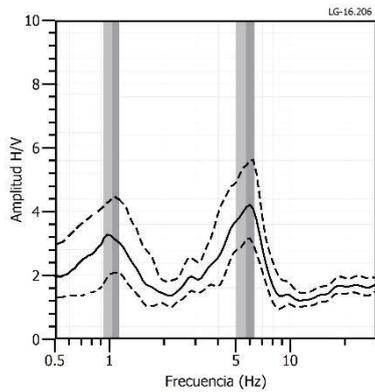


Figura 30. Distribución espacial de las frecuencias F_0 ($F < 2.0\text{Hz}$) y F_1 ($F > 2.0\text{Hz}$). Los valores en rojo, corresponden a puntos con amplificaciones mayores a 2.5 veces.

LG-09



LG-16



LG-27

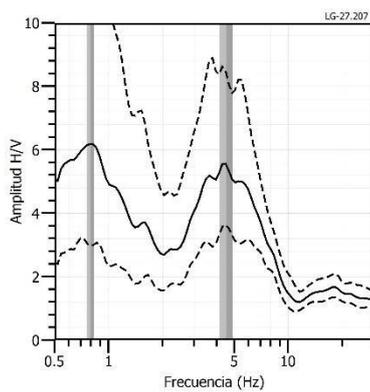
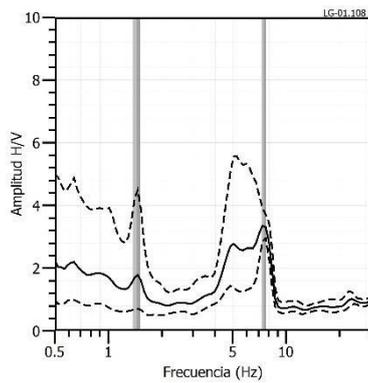
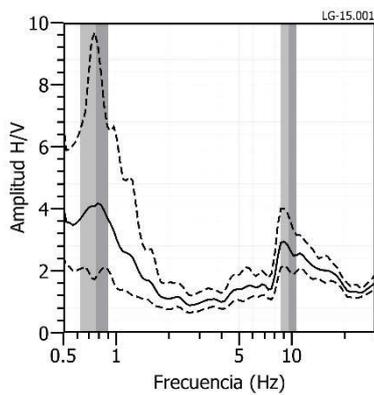


Figura 31. Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F0 ($F < 2.0\text{Hz}$): Para los puntos LG-09, LG-16 y LG-27, ubicados en el barrio San Martín, por la plaza del centro poblado y por la Panamericana Norte. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

LG-01



LG-15



LG-32

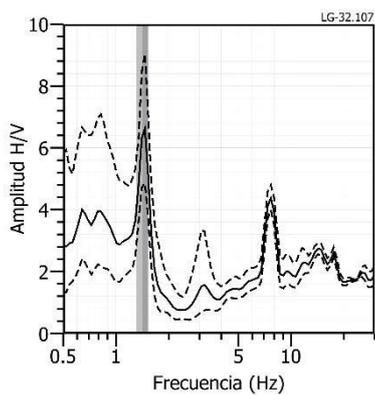


Figura 32. Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F0 ($F < 2.0\text{Hz}$): Para los puntos LG-01, LG-15 y LG-32, ubicados al suroeste de la carretera Panamericana Norte. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

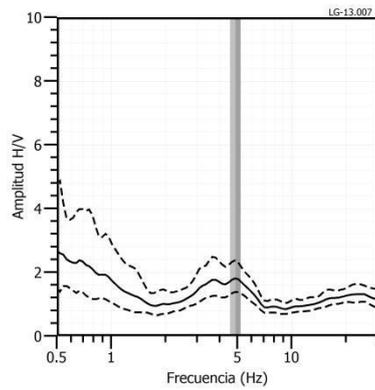
- **Frecuencias predominantes, F1:** En la Figura 30, se muestra la distribución espacial de los valores de F1, observándose el predominio de valores entre 2.90 a 11 Hz (0.1-0.3 segundos). Estos valores se presentan de manera uniforme en el área de estudio con amplificaciones moderadas, menores a 2.5 veces. Se identifica un pico de frecuencia bien definido entre 3 a 7 Hz; con amplificaciones de hasta 5.5 veces.

La Figura 33, muestra las razones espectrales (H/V) obtenidas para los puntos LG-13, LG-16 y LG-27, ubicados por la quebrada El Sauce, presentan un pico bien definido con frecuencias predominantes de 4.89, 5.67 y 4.88 Hz y amplificaciones de 2.0, 4.2 y 5.5 veces, además responden a un segundo pico de frecuencias en los puntos LG-16 y LG-27 con frecuencias de 1.03 y 0.82 Hz con amplificaciones de 3.2 y 6.1 veces.

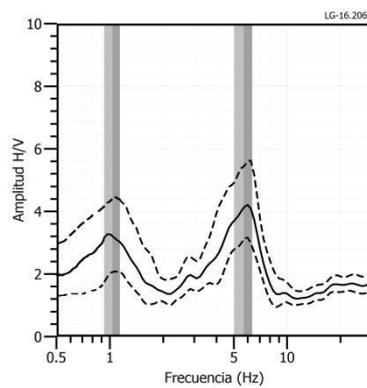
Los puntos LG-21, LG-22 y LG-25, ubicados en el barrio La Cancha (Figura 34), presentan picos con frecuencias a 3.57, 3.87 y 2.89 Hz con amplificaciones de 2.6, 2.6 y 2.7 veces respectivamente.

Finalmente, las razones de los puntos LG-06, LG-07 y LG-14, ubicados en la zona central del C.P. (Figura 35) responden a frecuencias de, 8.48, 10.45 y 10.94 Hz con amplificaciones de 2.8, 2.5 y 2.8 veces.

LG-13



LG-16



LG-27

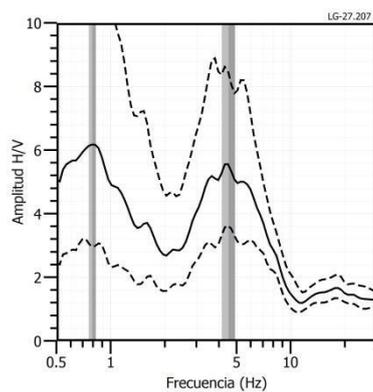
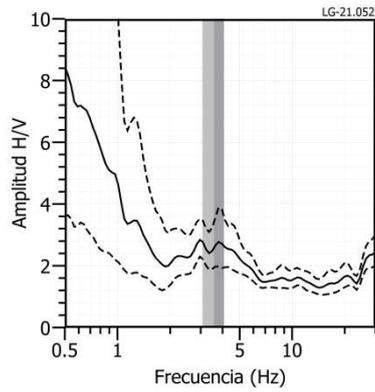
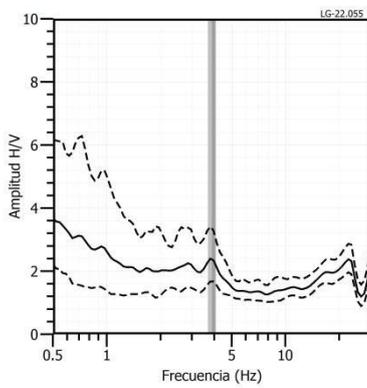


Figura 33. Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F1 ($F > 2.0\text{Hz}$): Para los puntos LG-13, LG-16 y LG-27, ubicados por la quebrada El Sauce. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

LG-21



LG-22



LG-25

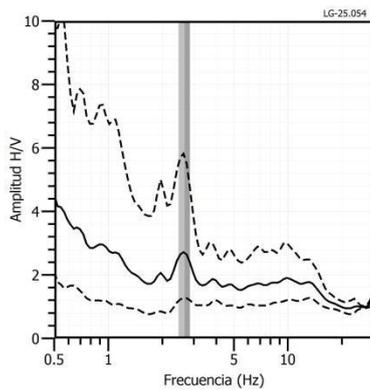
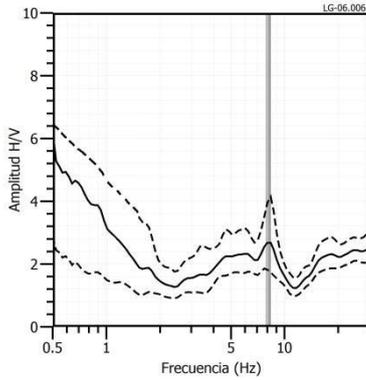
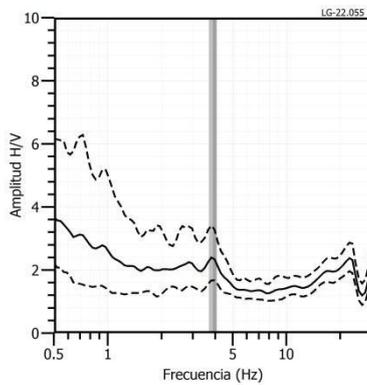


Figura 34. Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F1 ($F > 2.0\text{Hz}$): Para los puntos LG-21, LG-22 y LG-25, ubicados por el barrio La Cancha. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

LG-06



LG-07



LG-14

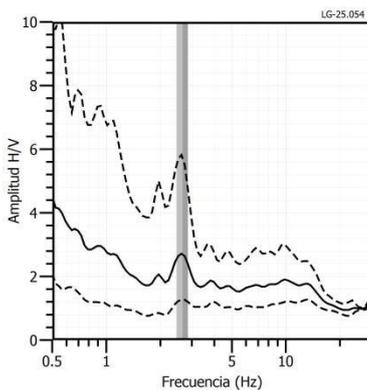


Figura 35. Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F1 ($F > 2.0\text{Hz}$): Para los puntos LG-06, LG-07 y LG-14, ubicados en la zona central del centro poblado. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

Interpretación

El análisis de razones espectrales H/V en el área de estudio ha permitido observar que los suelos del área urbana de La Golondrina responden a dos rango de frecuencia $F_0 \leq 2.0$ Hz y $F_1 (>2.0$ Hz), el primer rango de frecuencias se presenta en gran parte del área de estudio con amplificaciones altas, mayores a 2.5 veces. El segundo rango de frecuencias se presenta de manera uniforme en toda el área, presentando moderada amplificación. Lo que evidencia la existencia de suelos con un comportamiento dinámico heterogéneo.

- **Periodos Dominantes:** A partir de las frecuencias predominantes, se obtiene los periodos de respuesta del suelo y cuya distribución se muestra en la Figura 36. En este caso, en el área de estudio los suelos responden al rango de periodos con valores de 0.1 a 0.3 segundos; además de manera localizada se tiene la influencia de un rango de periodos 0.7 a 1.3 segundos.

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

Línea sísmica LS01-LG: Ubicada en el barrio Sr. Cautivo, siendo la profundidad de resolución promedio del perfil de 64 metros. Este perfil permite identificar la existencia de cuatro (4) capas sísmicas: La primera de 5 metros de espesor y velocidad V_s de 159 m/s corresponde a suelo blando, la segunda capa de 10 metros de espesor y velocidad V_s de 310 m/s sugiere un suelo intermedio

(medianamente rígido), la tercera capa de 10 metros de espesor y velocidad V_s de 368 m/s corresponde a suelo rígido. La cuarta capa con espesor de 15 metros y velocidad de 586 m/s corresponde a suelo muy rígido. El semiespacio, con velocidad $V_s > 805$ m/s, sugiere roca moderadamente dura.

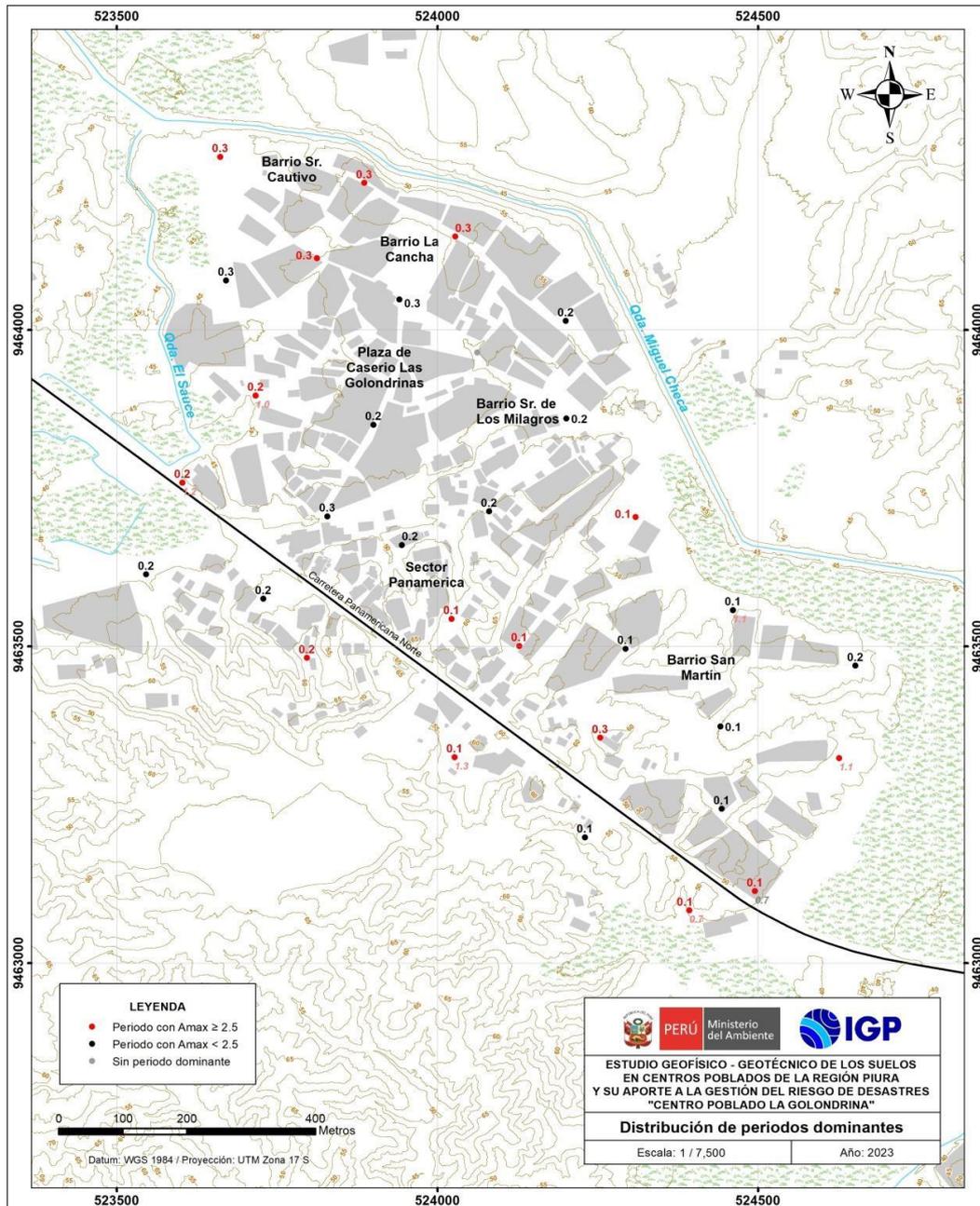


Figura 36. Distribución espacial de periodos dominantes del suelo para el C.P. La Golondrina. Los valores en rojo, corresponden a puntos con amplificaciones mayores a 2.5 veces.

Línea sísmica LS02-LG: Ubicada en el barrio Sr. de los Milagros, siendo la profundidad de resolución promedio del perfil de 75 metros. Este perfil permite identificar la existencia de cuatro (4) capas sísmicas: La primera de 5 metros de espesor y velocidad V_s de 329 m/s corresponde a suelo intermedio (medianamente rígido). La segunda capa de 10 metros de espesor y velocidad V_s de 560 m/s corresponde a suelo muy rígido, la tercera capa de 8 metros de espesor y velocidad V_s de 476 m/s decrece la velocidad a suelo rígido. La cuarta capa con espesor de 10 metros y velocidad de 765 m/s corresponde a suelo muy rígido. El semiespacio, con velocidad $V_s > 979$ m/s, sugiere roca moderadamente dura.

Línea sísmica LS03-LG: Ubicada en el barrio San Martín, siendo la profundidad de resolución promedio del perfil de 74 metros. Este perfil permite identificar la existencia de tres (3) capas sísmicas: La primera de 5 metros de espesor y velocidad V_s de 340 m/s corresponde a suelo intermedio (medianamente rígido), la segunda capa de 16 metros de espesor y velocidad V_s de 663 m/s sugiere un suelo muy rígido. La tercera capa con espesor de 13 metros y velocidad de 921 m/s junto con el semiespacio, con velocidad $V_s > 1168$ m/s, sugiere roca moderadamente dura.

Línea sísmica LS04-LG: Ubicada por el sector Panamericana, siendo la profundidad de resolución promedio del perfil de 76 metros. Este perfil permite identificar la existencia de tres (3) capas sísmicas: La primera de 5 metros de espesor y velocidad V_s de 270 m/s corresponde a suelo intermedio (medianamente rígido), la segunda capa de 16 metros de espesor y velocidad V_s de 459 m/s sugiere un suelo rígido. La tercera capa con espesor de 26 metros y velocidad de 755 m/s corresponde a un suelo muy rígido. El semiespacio, con velocidad $V_s > 1037$ m/s, sugiere roca moderadamente dura.

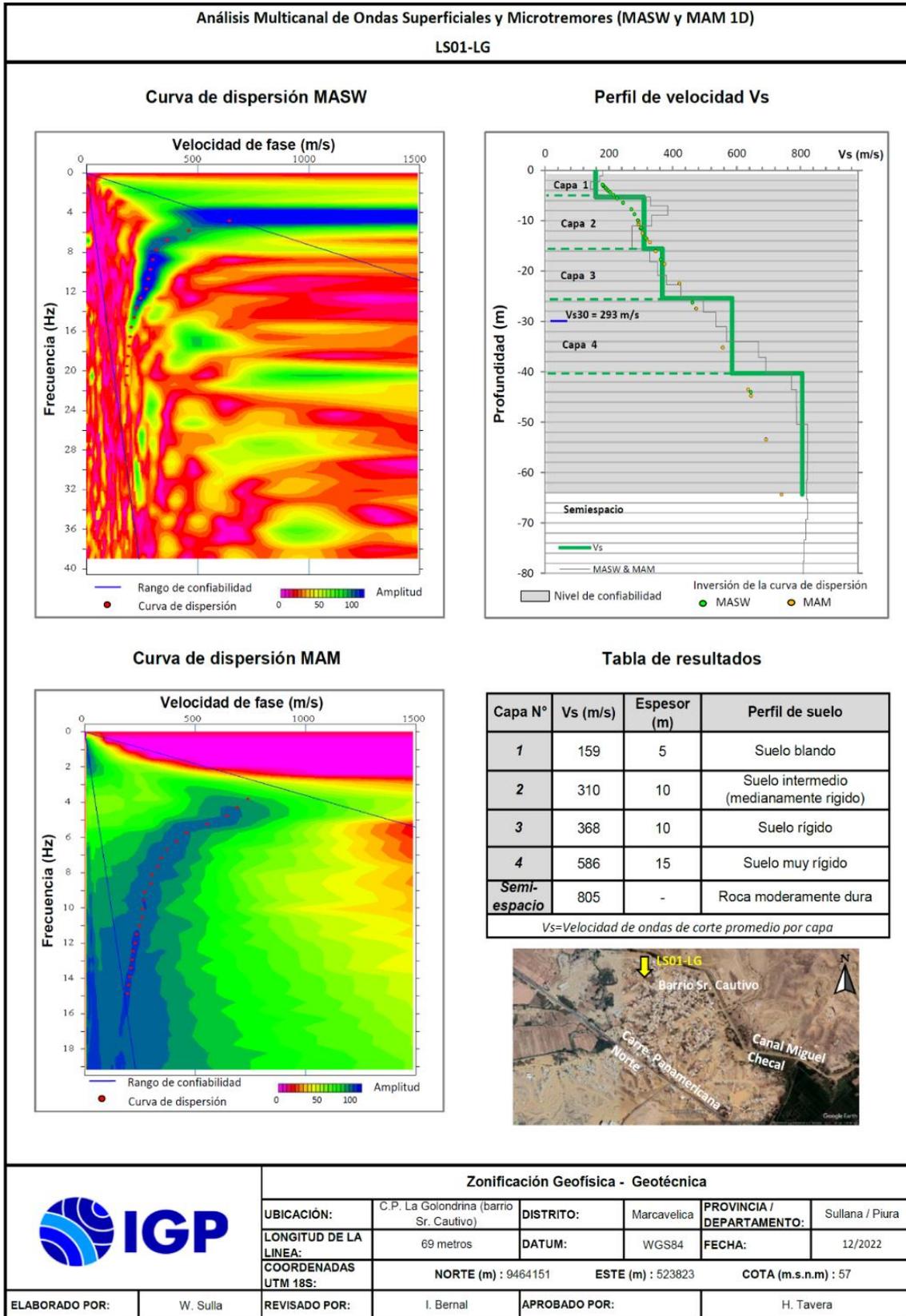


Figura 37. Resultados obtenidos con MASW y MAM para la línea sísmica LS01-LG.

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 | | | | | | | | | | |
| | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | Semiespacio | | VS30 (m/s) |
| | 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-LG | 159 | 5 | 310 | 10 | 368 | 10 | 586 | 15 | 805 | - | 293 |
| LS02-LG | 329 | 5 | 560 | 10 | 476 | 8 | 765 | 10 | 979 | - | 499 |
| LS03-LG | 340 | 5 | 663 | 16 | 921 | 13 | 1168 | - | - | - | 598 |
| LS04-LG | 270 | 5 | 459 | 16 | 755 | 26 | 1037 | - | - | - | 445 |

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

Interpretación

En el área urbana del C.P. La Golondrina, se ha identificado a nivel superficial el predominio de suelos medianamente rígidos ($V_s = 270$ a 340 m/s) de 5 metros de espesor, pero localmente se identificó suelos blandos ($V_s = 159$ m/s) de 5 metros de espesor en el extremo noroeste (barrio Sr. Cautivo). Estos suelos cubren a suelos rígidos, principalmente al noroeste del área urbana (barrios Sr. Cautivo, Sr. De los Milagros y sector Panamericana), corresponden a una capa intermedia de 16 a 20 metros de espesor, pero no se identificó hacia el sureste.

En conjunto, los espesores de los suelos blandos, medianamente rígidos y rígidos van de 25 metros en dirección noroeste, por el barrio Sr.

Cautivo, y decrece en dirección sureste, con 5 metros de espesor, por el barrio San Martín, ver Figura 38.

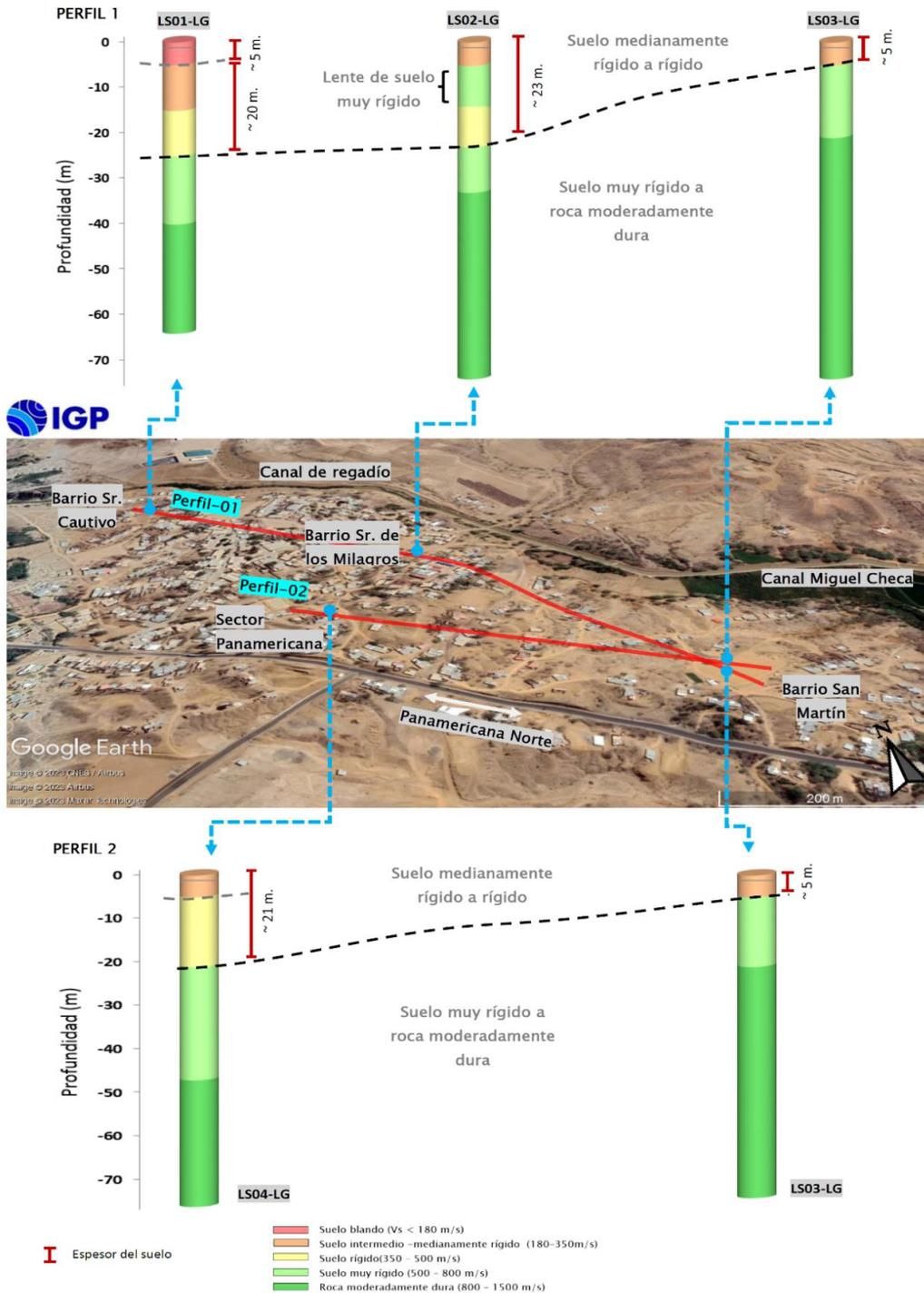


Figura 38. Resultados de MASW y MAM ubicados a lo largo del perfil 1 (LS01-LG - LS02-LG y LS03-LG) y perfil 2 (LS03-LG y LS04-LG) sobre la imagen satelital.

Por debajo se identifican los suelos muy rígidos a roca moderadamente dura, sugiriendo que los suelos corresponden a depósitos aluviales de poco espesor.

El suelo blando se identifica hacia el noroeste, próximo al canal de regadío; corresponde a material fino con presencia de humedad, lo cual influye en la pérdida de rigidez del suelo.

Para el área de estudio, el Vs30 calculado corresponde a suelos Tipo S1 con Vs30 de 598 m/s, S2 con Vs30 entre 445 y 499 m/s y S3 con Vs30 de 293 m/s; es decir suelos muy rígidos hacia el sureste, rígidos en el centro y medianamente rígidos hacia el noroeste (adaptación de la clasificación de suelos, indicada en la Norma sismorresistente E.030, al área de estudio).

3.3.3. Secciones geoelectricas

A continuación, se describen las características observadas en las secciones geoelectricas con resolución de hasta los 40 metros de profundidad. En la Figura 39, se presenta la sección obtenida para la línea LE01-LG y en el Anexo 2, para las secciones restantes.

-Sección geoelectrica LE01-LG: Realizada en el barrio La Cancha sobre una longitud de 180 metros y en dirección NO-SE. En esta sección predominan 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 presenta dos anomalías, la primera con moderado contenido de humedad (80 a 300 Ohm-m) espesor de 15 metros, la segunda anomalía (delimitada con líneas plomas) presenta menor concentración de humedad.

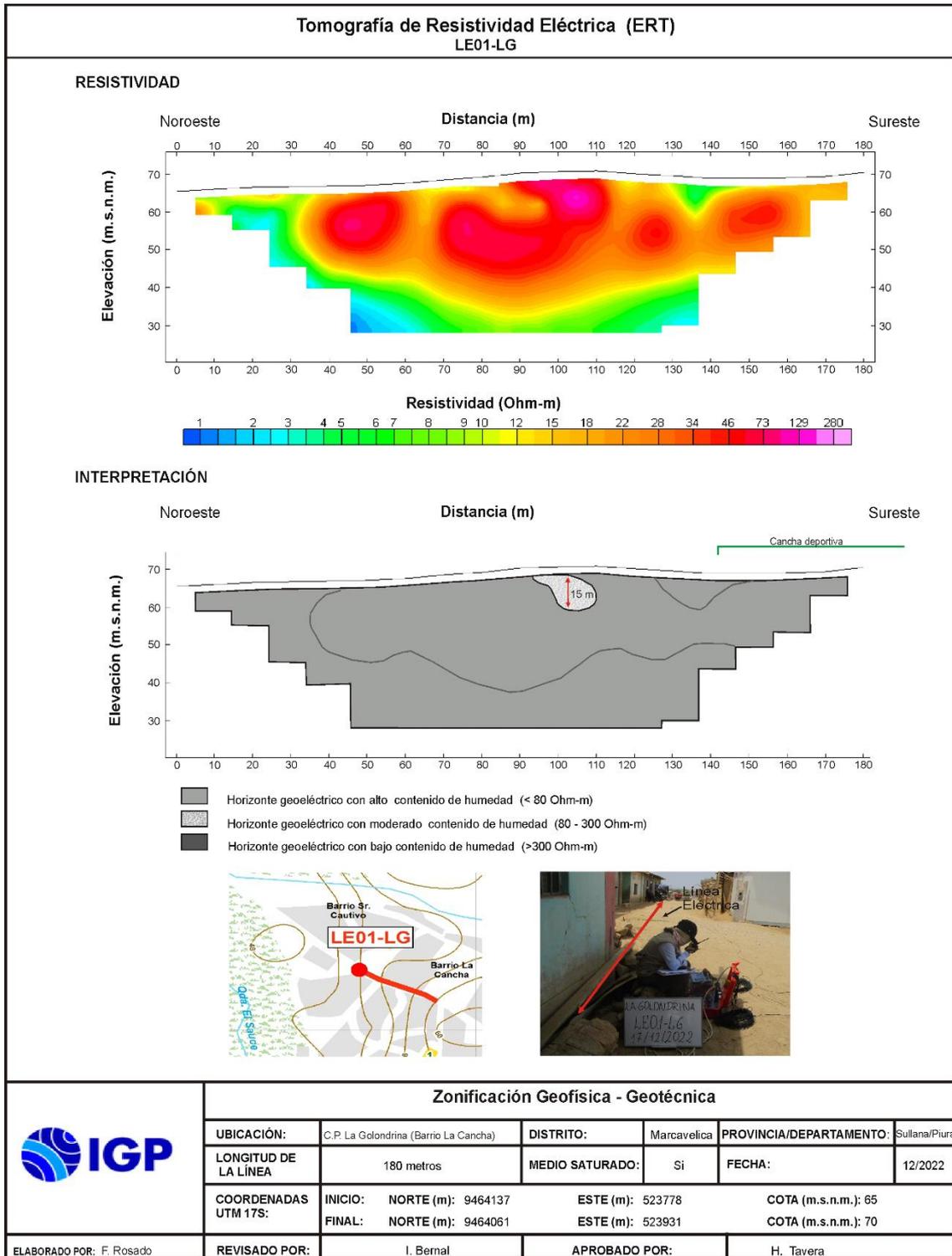


Figura 39. Resultado de tomografía eléctrica para la línea LE01-LG.

-Sección geoelectrica LE02-LG: Realizada en el barrio San Martín sobre una longitud de 190 metros y en dirección NE-SO. En esta sección predominan depósitos con baja resistividad (< 80 Ohm-m),

debido a la presencia de depósitos aluviales con alto contenido de humedad, espesores mayores a 40 metros. Además, a nivel superficial se presentan dos anomalías con menor concentración de humedad.

-Sección geoelectrica LE03-LG: Realizada en el barrio San Martín sobre una longitud de 190 metros y en dirección NE-SO. En esta sección predominan los depósitos con baja resistividad ($< 80 \text{ Ohm-m}$), espesores mayores a 40 metros. Además, a nivel superficial se presentan dos zonas anómalas con menor concentración de humedad, la primera hacia el inicio de la sección extremo noreste y la segunda hacia el final de la sección. También en profundidad se presentan dos zonas anómalas con menor concentración de humedad.

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

- Hacia el norte del área de estudio (barrio La Cancha), se ha identificado la presencia un horizonte con alto contenido de humedad (Figura 40). Además, se presenta una anomalía con menor concentración de humedad y espesor de hasta 35 metros.

- Hacia el sur del área de estudio (barrio San Martín), se ha identificado la presencia de un horizonte con alto contenido de humedad (Figura 40). Además, se presenta anomalías con menor concentración de humedad, tanto a nivel superficial como en profundidad.

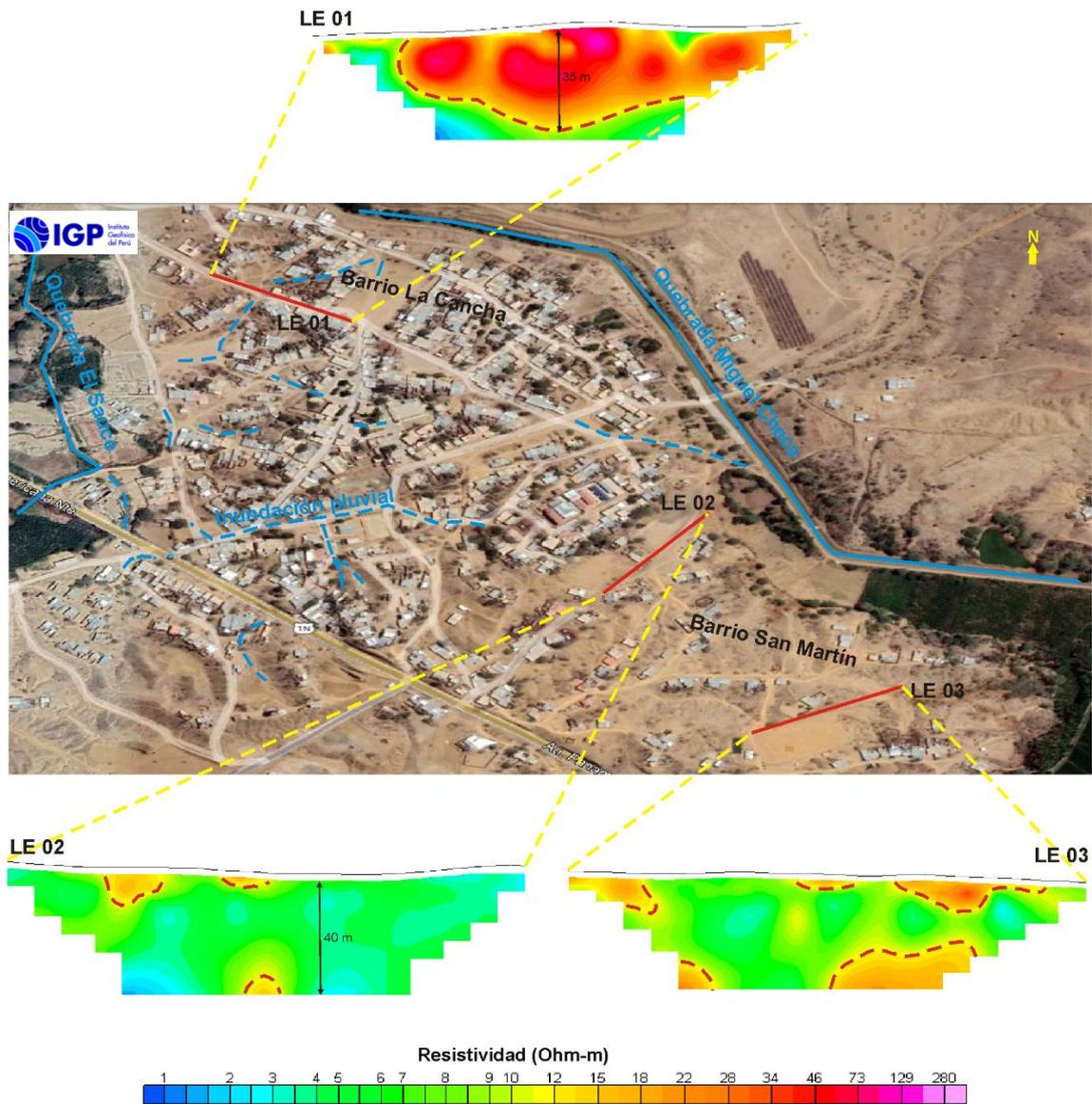


Figura 40. Ubicación y orientación de las líneas de tomografía eléctrica, realizadas al norte (LE01-LG) y al sur (LE02-LG y LE03-LG). Las líneas interlineadas amarillas indican la orientación de las secciones y las líneas interlineadas rojas delimitan la presencia de alto contenido de humedad.

3.4. INTEGRACIÓN DE RESULTADOS

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

Los suelos del área urbana del C.P. La Golondrina responde predominantemente a periodos cortos que varían entre 0.1 a 0.3 segundos que se distribuyen sobre toda el área de estudio.

Los resultados obtenidos con los métodos geofísicos permiten evidenciar que los suelos están conformados por capas medianamente rígidos a rígidos con espesores que varían entre 5 y 25 metros, los mayores espesores se presentan hacia el noroeste (barrio Sr. Cautivo), por otro lado, el material muy rígido aflora hacia el sureste (barrio San Martín). Las velocidades de ondas de corte V_{s30} varían entre 293 y 598 m/s, correspondiendo a suelos Tipo S1 y S2 es decir suelos muy rígidos y rígidos.

Los periodos dominantes se encuentran relacionados con las condiciones físicas del suelo, a través de $T_0=4H/V_s$, 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 900 m/s y 1000 m/s para las ondas de corte (V_s), se estima la existencia de una capa sedimentaria de 20 a 50 metros de espesor en toda el área de estudio. Estos espesores han sido confirmados con los modelos de velocidad obtenidos con los arreglos sísmicos. Asimismo, estos suelos presentan alto contenido de humedad (el cual se encuentra desde los 4 metros de profundidad), incrementando la complejidad del comportamiento dinámico de los suelos ante sismos (Figura 41).

Estas condiciones, evidencian que La Golondrina se encuentra ubicada en una zona que presenta moderado peligro por sismo, debido a que sus suelos experimentarían altos niveles de sacudimiento (a periodos cortos) ante la ocurrencia de sismos, que afectarían directamente a los elementos expuestos en superficie.

4. ZONIFICACIÓN GEOFÍSICA – GEOTÉCNICA DE LOS SUELOS

El mapa de Zonificación geofísica-geotécnica para el C.P. La Golondrina, 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 a la adaptación de la clasificación de los perfiles de suelos indicados en la Norma de Construcción Sismorresistente E.030, la existencia de suelos de tipo S1 y S2; es decir, suelos muy rígidos y rígidos que responden a periodos de 0.1 a 0.3 segundos con amplificaciones moderadas.

Para el área urbana del C.P. La Golondrina, se propone la siguiente Zonificación Sísmica-Geotécnica (Figura 41).

- **ZONA I:** Conformadas por suelos muy rígidos, con una capa delgada de depósitos recientes (arenas) con espesores de ~5 metros con velocidades de ondas de corte V_s de 340 m/s para la capa superficial y de hasta 900 m/s a la profundidad de 30 metros. El periodo de vibración natural del suelo varía entre 0.1 a 0.2 segundos con amplificaciones relativas de hasta 4 veces. Se presenta un alto contenido de humedad en la zona sur. Asimismo, se observa una muy baja capacidad de carga admisible baja 1.0 Kg/cm² hasta un metro de profundidad. Estas características corresponden a Suelos Tipo S1, que corresponde a suelos muy rígidos.

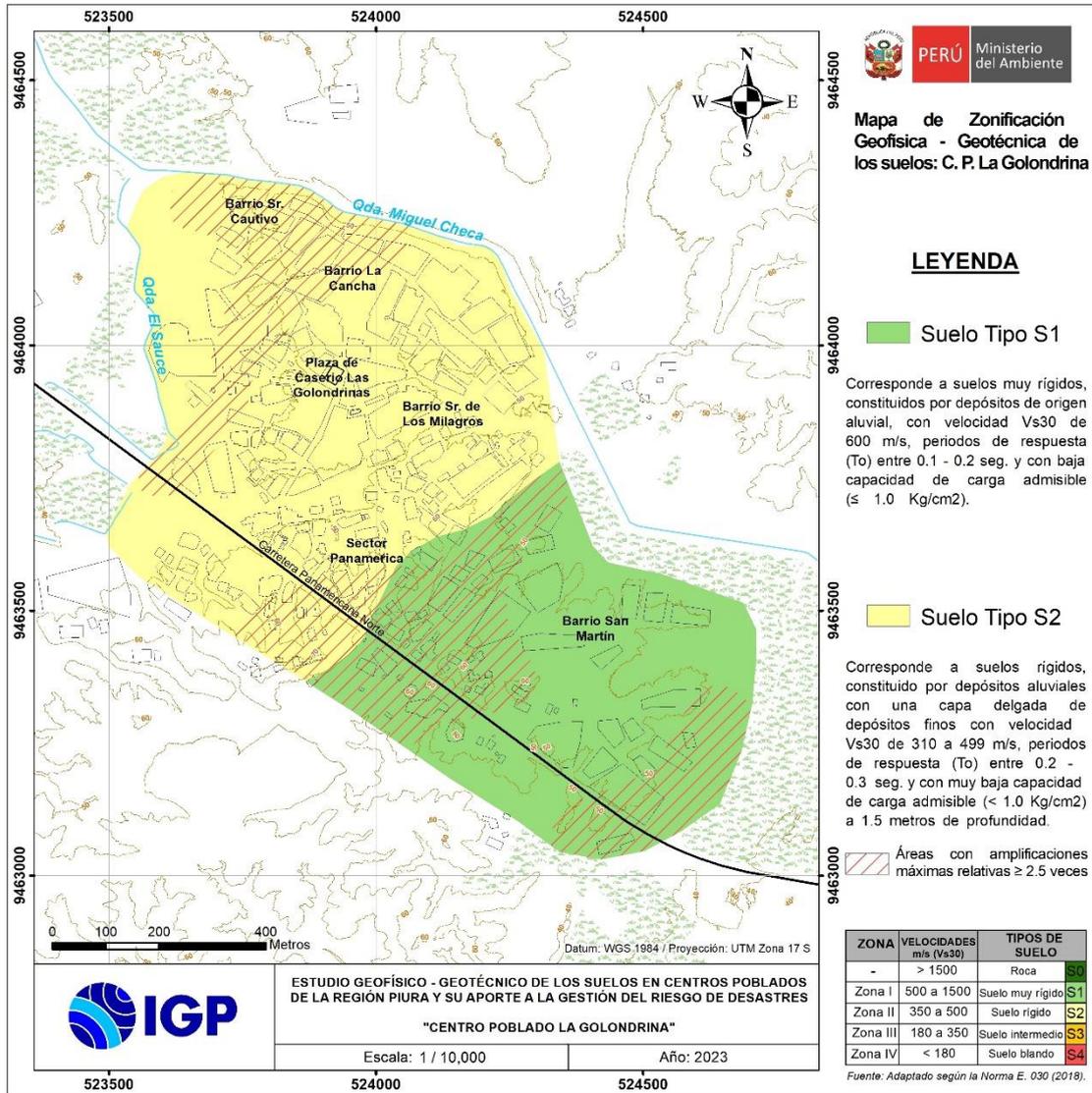


Figura 41. Mapa de zonificación geofísica-geotécnica de los suelos del C.P. La Golondrina. Las líneas inclinadas en rojo delimitan zonas con mayor amplificación.

- **ZONA II:** Conformadas por suelos rígidos, con una capa delgada de depósitos recientes de hasta 5 metros con velocidades de ondas de corte Vs que varían entre 159 y 300 m/s para la capa superficial y de hasta 600 m/s a la profundidad de 30 metros. El periodo de vibración natural del suelo varía entre 0.2 y 0.3 segundos con amplificaciones relativas de hasta 6 veces. Asimismo, se observa en dirección NO una muy baja capacidad de carga admisible $\leq 1.0 \text{ Kg/cm}^2$ hasta un metro

de profundidad. Estas características corresponden a Suelos Tipo S2, que corresponde a suelos intermedios y/o medianamente rígidos.

CONCLUSIONES

El análisis y evaluación geofísica - geotécnica de los suelo del C.P. La Golondrina ubicada en el distrito de Marcavelica, provincia de Sullana - Piura, ha permitido llegar a las siguientes conclusiones:

- Los eventos geodinámicos identificados en el área urbana del C.P. La Golondrina, son las inundaciones pluviales que afectan las inmediaciones de la Av. Oswaldo Marcelo, calle barrio Sr. Cautivo y parte del barrio Nueva Esperanza debido a que ocupan depresiones y la ausencia de drenaje pluvial.
- En el área urbana de La Golondrina se ha identificado cuatro tipos de suelos: arena arcillosa (SC), limos inorgánicos (ML), arcillas inorgánicas (CL) y limos orgánicos (MH).
- Se ha determinado que para la profundidad de 1.0 y 1.5 metros, los suelos de cimentación del C.P. La Golondrina presentan capacidad de carga admisible muy baja (menor a 1.0 kg/cm²).
- Según su comportamiento dinámico, los suelos del C.P. La Golondrina responden a un rango de periodo de 0.1 - 0.3 segundos, evidenciando la presencia de suelos homogéneos. Asimismo se identifica la influencia de un segundo rango de periodos a 0.7 - 1.2 segundos. Estos resultados evidencian un mayor riesgo para edificaciones y/o infraestructuras que responden en este rango de periodos, por la posibilidad de que experimenten un fenómeno de resonancia suelos-estructura.

- Los resultados permiten identificar que los suelos en el área urbana del C.P. La Golondrina están diferenciados en 4 capas sísmicas y un semi-espacio. Los suelos blandos corresponden a la primera capa con espesores de 4 metros ($V_s = 159$ m/s) situados de manera local al noroeste, predominan suelos medianamente rígidos, rígidos y muy rígidos, desde la primera, segunda y hasta la tercera capa sísmica ($V_s = 270$ a 765 m/s) y con espesores entre 15 y 45 metros y el semiespacio con velocidades mayores a 800 m/s. En el área de estudio, se obtuvo velocidades de ondas de corte V_{s30} que fluctúan entre 293 y 598 m/s, que corresponde a suelos rígidos.
- Los suelos del área de estudio presentan alto contenido de humedad a profundidades que fluctúa entre 2 y 40 metros.
- Los resultados obtenidos para el área urbana de La Golondrina a partir de sus características físicas y dinámicas del suelo han permitido identificar, de acuerdo con las consideraciones indicadas en la Norma de Construcción Sismorresistente E.030 - adaptadas para el área de estudio, la existencia de suelos de Tipo S1 y S2; es decir, suelos rígidos a muy rígidos, con una capa delgada superficial de suelos intermedios y/o medianamente rígidos.
- A la ocurrencia de un sismo de moderada a mayor magnitud, los suelos del C.P. La Golondrina pueden experimentar niveles altos de sacudimiento, por la presencia de suelos intermedios con altos niveles de humedad a nivel superficial.

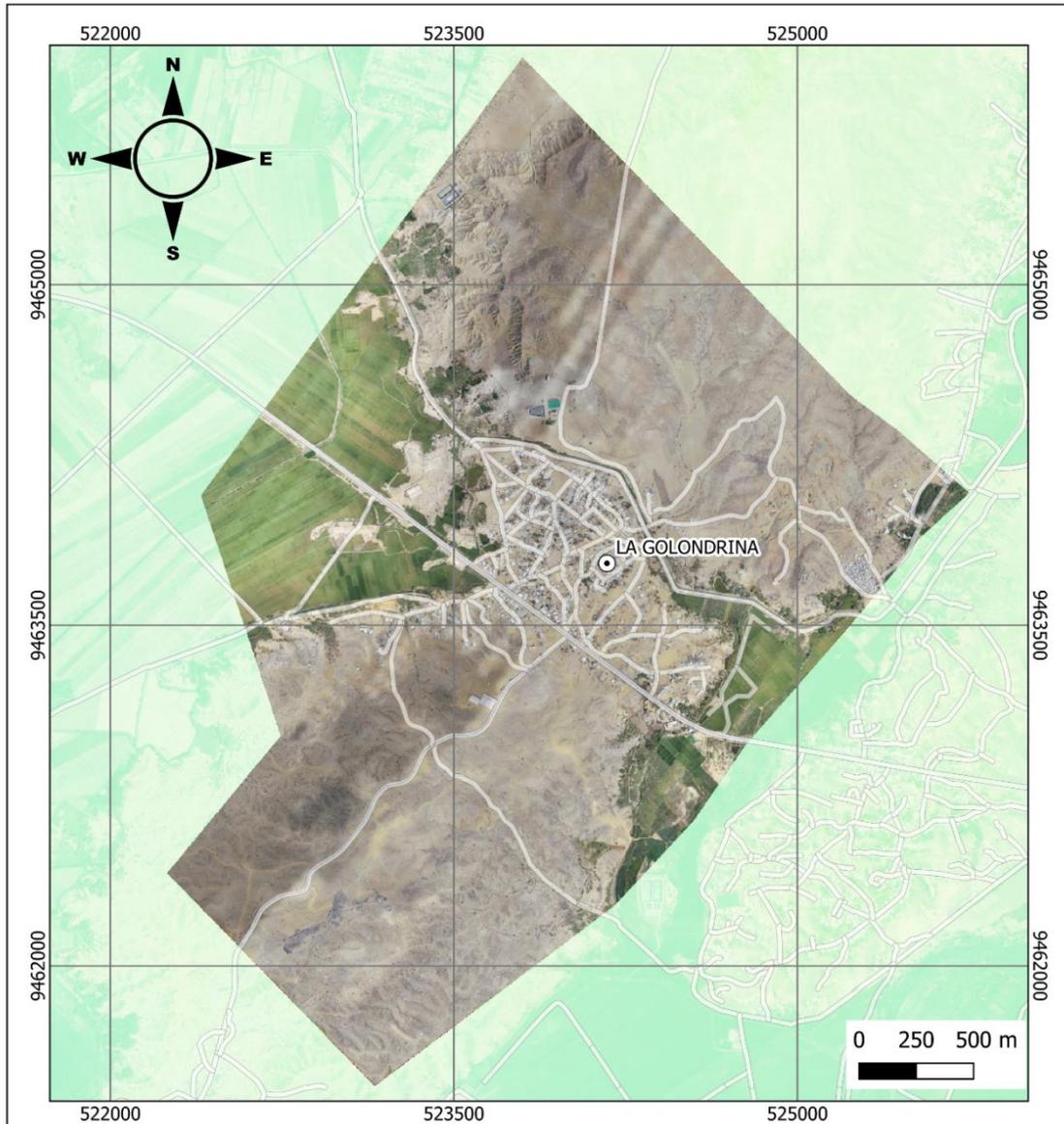
REFERENCIAS

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

- Norabuena, E, Leffler-Griffin, L., Mao, A. Dixon, T. (1998). Space geodetic observations of Nazca-South America Convergence. *Science*, 279, 358-362.
- Norma Técnica de edificaciones E.030. 2018. Aprobada por resolución ministerial N°355-2018-VIVIENDA.
- Norma Técnica de suelos y cimentaciones E.050. 2018. Aprobada por decreto supremo N° 011-2006-VIVIENDA.
- Norma Técnica de edificaciones E.060 concreto armado 2009. Aprobada por decreto supremo N°015-2004-VIVIENDA.
- 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.
- Villegas-Lanza, J.C., 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.

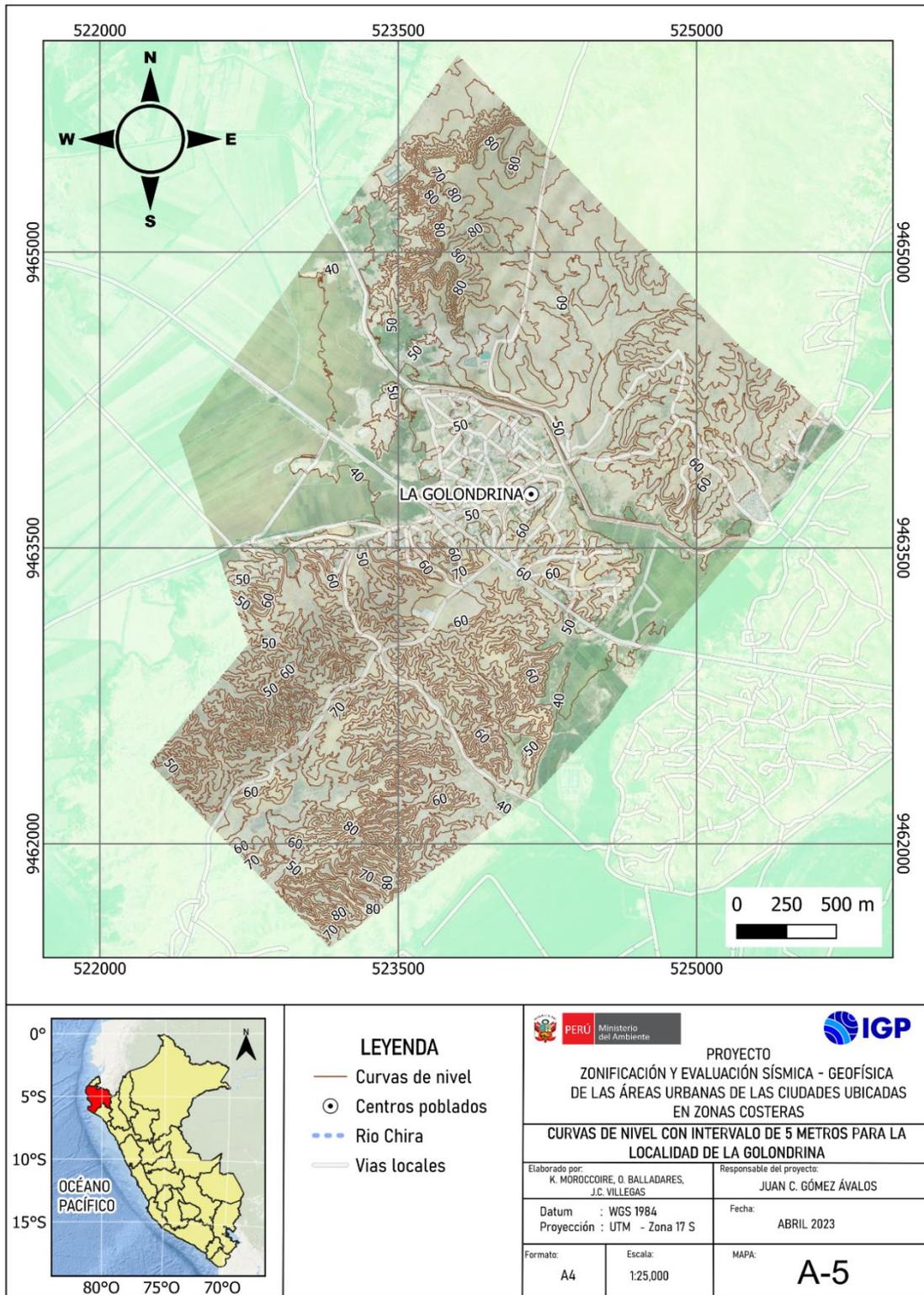
ANEXOS 1
Información Topográfica

Ortomosaico



| | | | | | | | | |
|--|--|--|--|---|--|----------------------|----------------|---------------------|
| | <p>LEYENDA</p> <ul style="list-style-type: none"> ⊙ Centros poblados — Vías locales | | | | | | | |
| | | <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 LA GOLONDRINA</p> | | | | | | |
| | | <table border="1"> <tr> <td>Elaborado por: K. MOROCCOIRE, O. BALLADARES, J.C. VILLEGAS</td> <td>Responsable del proyecto: JUAN C. GÓMEZ ÁVALOS</td> </tr> <tr> <td>Datum : WGS 1984 Proyección : UTM - Zona 17 S</td> <td>Fecha: ABRIL 2023</td> </tr> <tr> <td>Formato: A4</td> <td>Escala: 1:25,000</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">MAPA: A-4</td> </tr> </table> | Elaborado por: K. MOROCCOIRE, O. BALLADARES, J.C. VILLEGAS | Responsable del proyecto: JUAN C. GÓMEZ ÁVALOS | Datum : WGS 1984 Proyección : UTM - Zona 17 S | Fecha: ABRIL 2023 | Formato: A4 | Escala: 1:25,000 |
| Elaborado por: K. MOROCCOIRE, O. BALLADARES, J.C. VILLEGAS | Responsable del proyecto: JUAN C. GÓMEZ ÁVALOS | | | | | | | |
| Datum : WGS 1984 Proyección : UTM - Zona 17 S | Fecha: ABRIL 2023 | | | | | | | |
| Formato: A4 | Escala: 1:25,000 | | | | | | | |
| MAPA: A-4 | | | | | | | | |

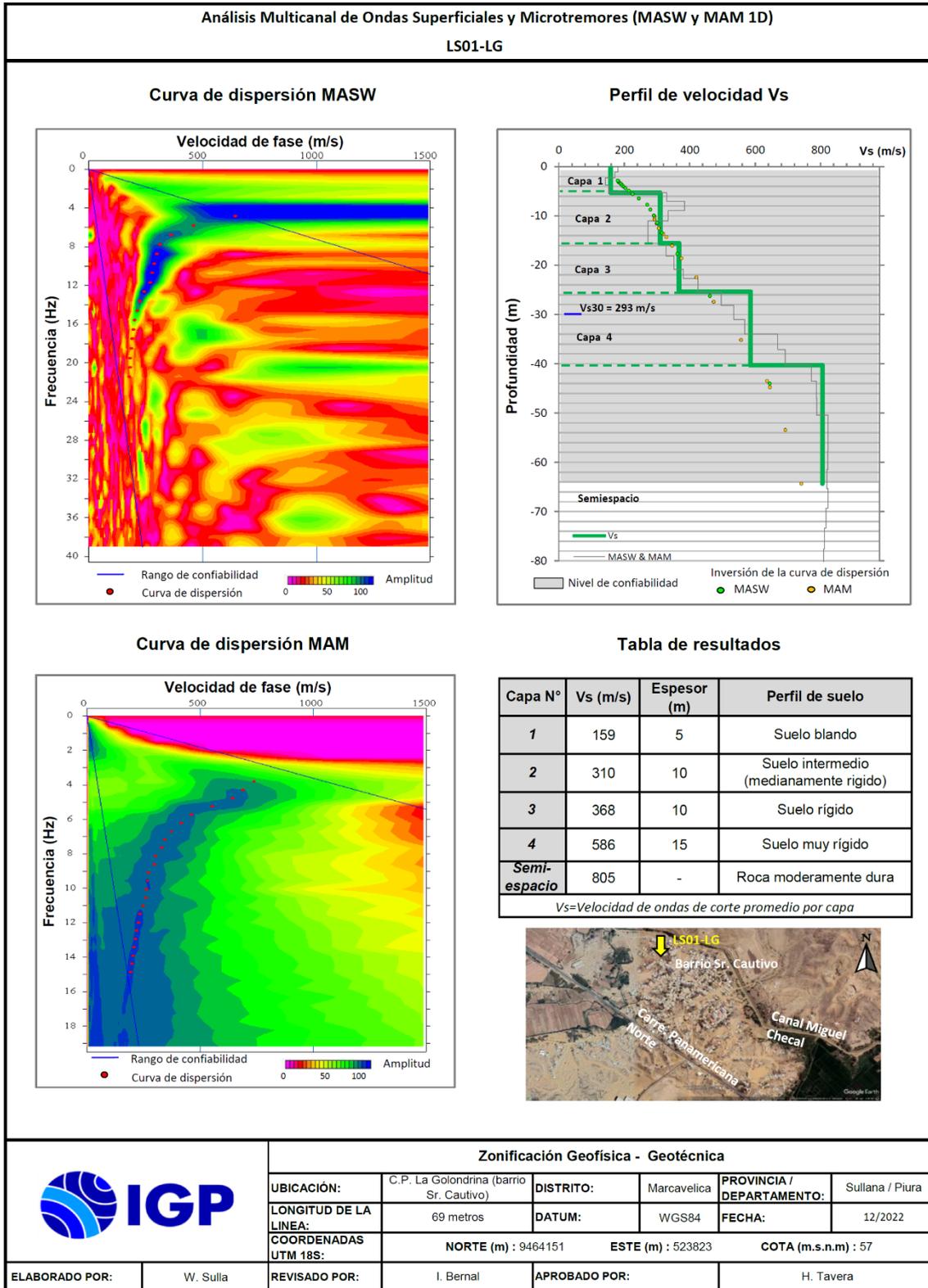
Curvas de Nivel

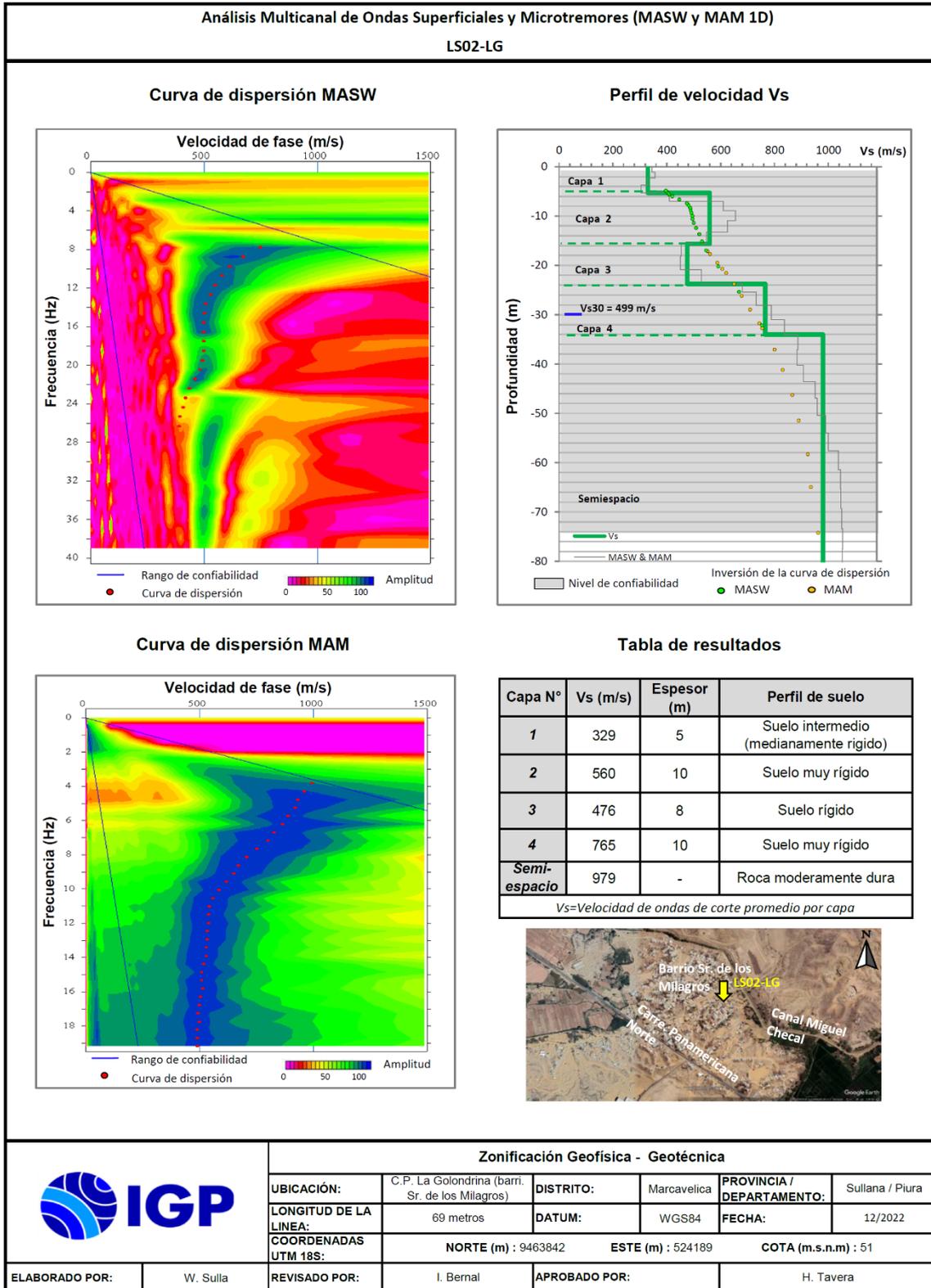


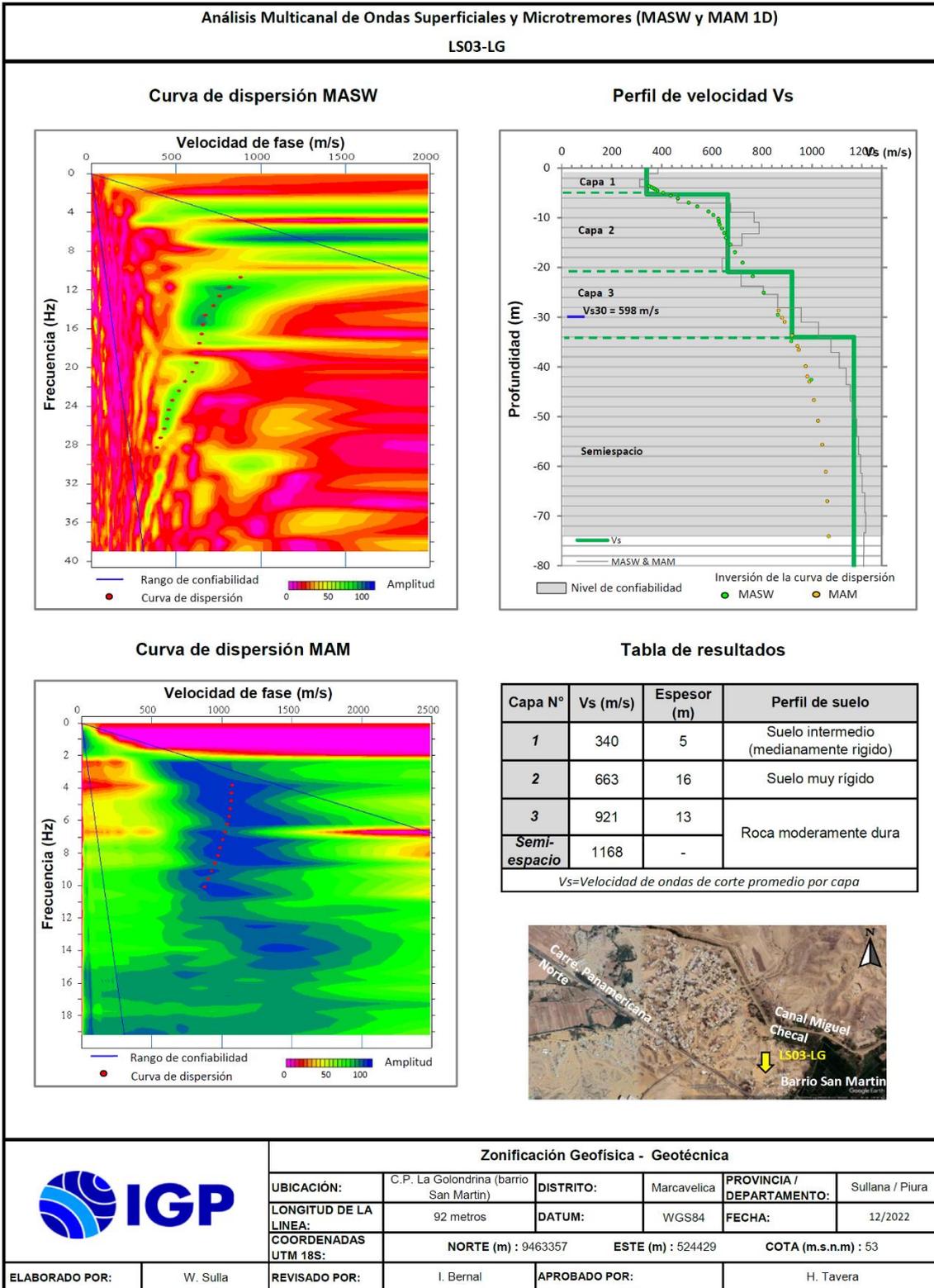
ANEXOS 2

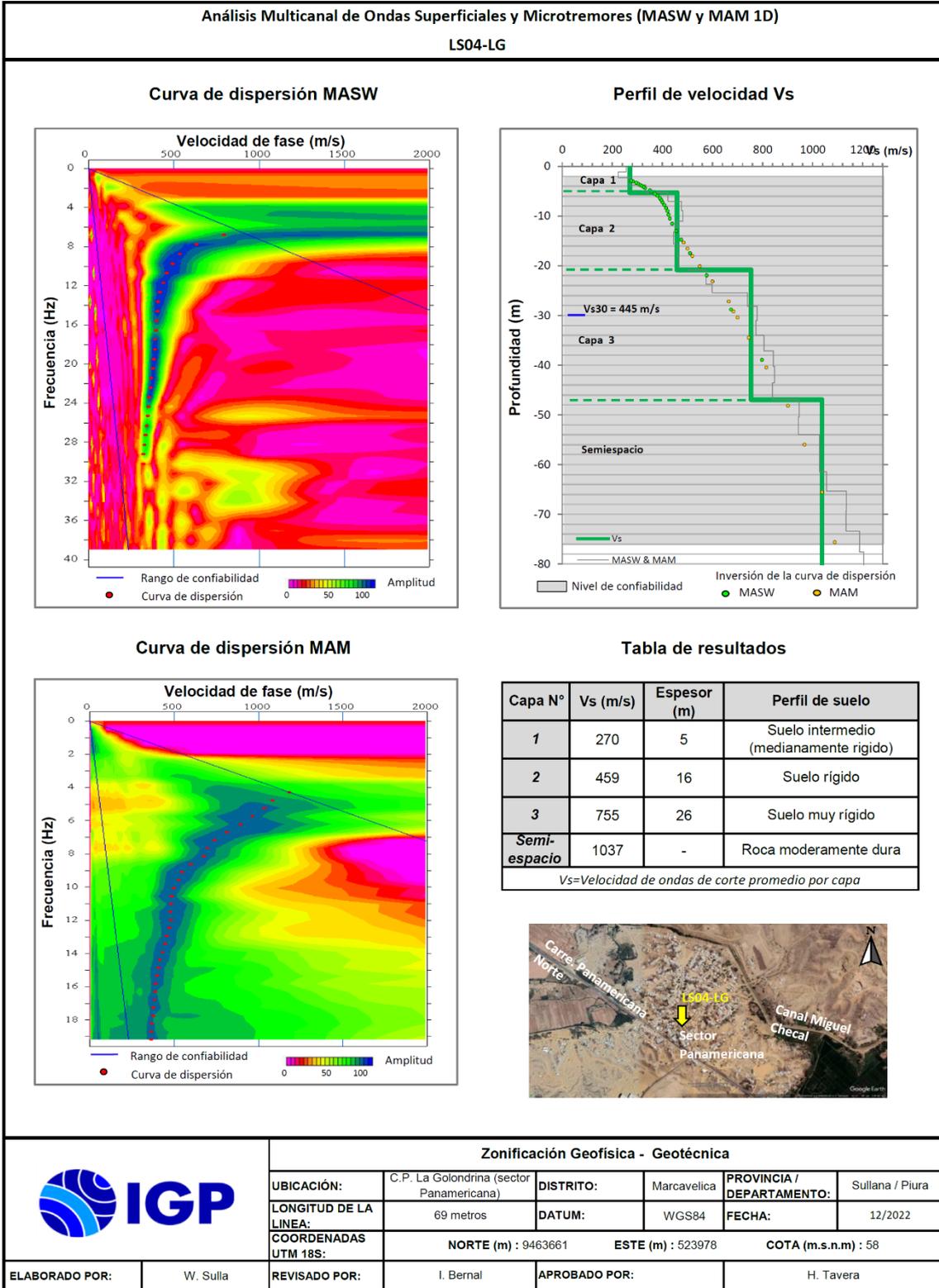
Información Geofísica

Perfiles sísmicos MASW - MAM









Secciones de Tomografía Eléctrica

