

PROGRAMA PRESUPUESTAL N° 068: REDUCCIÓN DE LA VULNERABILIDAD Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS POR DESASTRES

**Zonas Geográficas con Gestión de Información Sísmica
Generación de Estudios Territoriales de Peligro Sísmico**



ZONIFICACIÓN SÍSMICA – GEOTÉCNICA DE LA CIUDAD LAS LOMAS

Instituto Geofísico del Perú

Presidente Ejecutivo: Dr. Hernando Tavera

Director Científico: Dr. Danny Scipion

Autores

Isabel Bernal

Caracterización Sísmica y Geofísica de la Ciudad Las Lomas

Juan Carlos Gomez

Caracterización Geológica- Geotécnica de la Ciudad Las Lomas

Equipo de Evaluación Geológica y Geotécnica: Segundo Ortiz/ Pilar Vivanco/ Víctor Alarcón / Mariana Vivanco/ Héctor Lavado/ Giovana Gutiérrez/ Belinia Baez

Equipo de Evaluación Geofísica: Fabiola Rosado / Wilfredo Sulla/ Liliana Torres / Javier Oyola/ Kelly Pari /Luz Arredondo/Jorge Salas

Personal de apoyo: Augusto Cárdenas / Roberth Yupanqui

Personal administrativo: Marisol Enriquez/ Esther Campos

Este Informe ha sido producido por:

Instituto Geofísico del Perú
Calle Badajoz 169, Mayorazgo IV etapa, Ate
Teléfono (511) 3172300

**ZONIFICACIÓN SÍSMICA – GEOTÉCNICA DE LA
CIUDAD LAS LOMAS**

(Provincia de Piura – Región Piura)

RESUMEN

En el marco del Programa Presupuestal por Resultados N°068: Reducción de la Vulnerabilidad y Atención de Emergencias por Desastres se ejecutó el proyecto “Zonas Geográficas con Gestión de Información Sísmica”, el mismo que tuvo como una de sus actividades la “Generación de Estudios Territoriales de Peligro Sísmico” obteniéndose como resultado final, la Zonificación Sísmica - Geotécnica de las áreas urbanas de las ciudades/localidades de Las Lomas (distrito Las Lomas), La Arena (distrito La Arena), La Unión (distrito La Unión), Morropón (distrito Morropón), Máncora (distrito de Mancora), Talara (distrito de Pariñas), Querecotillo (distrito de Querecotillo) y Tambo Grande (distrito de Tambo Grande).

Estos estudios permiten conocer el Comportamiento Dinámico de los Suelos a partir de la recolección de datos de campo utilizando técnicas geofísicas, sísmicas, geológicas y geotécnicas.

El análisis e interpretación de los datos obtenidos permiten tener como resultado la “Zonificación Sísmica – Geotécnica de los suelos de la Ciudad Las Lomas”, información primaria que debe ser utilizada por ingenieros civiles y arquitectos en el diseño y construcción de estructuras apropiadas para cada uno de los tipos de suelos identificados en este estudio. Este documento técnico debe constituirse como herramienta de gestión de riesgo a ser utilizado por las autoridades locales y regionales.

El presente informe está constituido por tres (3) partes, en la primera se realiza la presentación de las características del área de estudio; en la segunda la caracterización geológica y geotécnica de la ciudad Las Lomas, y en la tercera, la caracterización sísmica y geofísica. Finalmente, en los Anexos se adjunta toda la documentación y mapas temáticos generados durante la realización del presente estudio.

INDICE

RESUMEN

INDICE

PARTE 1: Presentación

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Objetivo

1.2. Historia

1.3. Accesibilidad y Clima

1.4. Economía

1.5. Estudios Previos

2. CONDICIONES LOCALES DE SITIO

2.1. La Norma Técnica E.030

CONCLUSIONES

PARTE 2: Caracterización geológica y geotécnica de la ciudad Las Lomas

PARTE 3: Caracterización sísmica y geofísica de la ciudad Las Lomas

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS: Documentos y anexos se adjunta en DVD

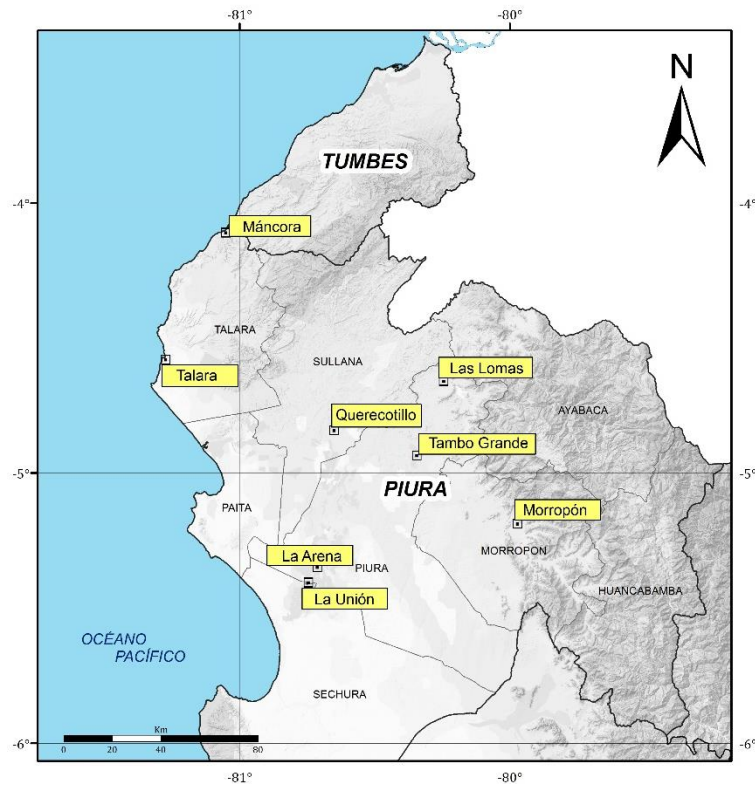
1. INTRODUCCIÓN

Dentro del Programa Presupuestal por Resultados N°068 "*Reducción de la Vulnerabilidad y Atención de Emergencias por Desastres*", el Instituto Geofísico del Perú ejecutó durante el año 2019 el Proyecto "*Zonas Geográficas con Gestión de Información Sísmica*" y como parte del mismo, la Sub-Dirección de Ciencias de la Tierra Sólida desarrollan la Actividad "*Generación de Estudios Territoriales de Peligro Sísmico*" a fin de obtener el Mapa de Zonificación Sísmica – Geotécnica (Comportamiento Dinámico del Suelo) para las áreas urbanas de las siguientes ciudades (Figura 1):

- *Las Lomas, distrito Las Lomas, provincia y región de Piura.*
- *La Arena, distrito La Arena, provincia y región de Piura.*
- *La Unión, distrito La Unión, provincia y región de Piura.*
- *Morropón, capital del distrito y provincia de Morropón, región de Piura.*
- *Máncora, distrito de Mancora, provincia de Talara, región de Piura.*
- *Talara, distrito de Pariñas, provincia de Talara, región de Piura.*
- *Querecotillo, distrito de Querecotillo, provincia de Sullana, región de Piura.*
- *Tambo Grande, distrito de Tambo Grande, provincia y región de Piura.*

De acuerdo a la historia sísmica del Perú, la región norte ha sido afectada en varias oportunidades por eventos sísmicos de variada magnitud que han generado altos niveles de intensidad, puesta en evidencia con los daños observados post-sismo en la región Piura (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. Entonces, no es tan importante el tamaño del sismo, sino la intensidad del sacudimiento del suelo, la educación de la población y la calidad de las construcciones.



*Figura 1: Distribución espacial de las ciudades intervenidas durante el año 2019:
Zonificación Sísmica – Geotécnica de suelos*

Los estudios de Zonificación Sísmica – Geotécnica (Comportamiento Dinámico del Suelo), permitirán tener mayor conocimiento sobre las características dinámicas del suelo sobre el cual se levantan las ciudades y/o futuras áreas de expansión. Para ello se realiza la aplicación de diferentes metodologías que consideran datos sísmicos, geofísicos, geológicos y geotécnicos. Los resultados que se obtienen permiten comprender que no hay suelo malo y que solamente se debe considerar el diseño y la construcción de viviendas y estructuras apropiadas para cada tipo de suelo. Dentro de este contexto, la población de la Ciudad Las Lomas debe comprender que existen tres (3) reglas para construir una casa sismorresistente (www.acerosarequipa.com):

a.) **Buenos Planos.** Los planos de construcción deben ser hechos por profesionales con pleno conocimiento de las características dinámicas del suelo descritas en los Mapas de Zonificación Sísmica – Geotécnica.

b.) **Buenos Profesionales.** Para la construcción de las viviendas y/o obras de ingeniería se debe contar siempre con la supervisión de ingenieros civiles, arquitectos, etc.

c.) **Buenos materiales.** Solo la calidad de los materiales que se utilizan en la construcción permitirá tener la seguridad de que las estructuras fueron correctamente construidas.

Es importante remarcar que los Mapas de Zonificación Sísmica – Geotécnica permiten conocer las características dinámicas del suelo y se constituyen como información primaria a ser utilizada por los ingenieros civiles y arquitectos en el diseño y construcción de las estructuras apropiadas para cada tipo de suelos identificados en cada zona de estudio. Asimismo, debe considerarse como herramienta de gestión de riesgo a ser utilizado por las autoridades locales y regionales.

1.1.- Objetivo

El principal objetivo a cumplir en este estudio es obtener el mapa de Zonificación Sísmica - Geotécnica para la ciudad Las Lomas, provincia y región de Piura, a partir de la información obtenida con la aplicación de diferentes métodos sísmicos, geofísicos, geológicos y geotécnicos. Asimismo, es de interés del presente estudio que las autoridades dispongan de un documento técnico que les ayude en el desarrollo y ejecución de proyectos orientados al ordenamiento territorial y desarrollo sostenible de la ciudad (Figura 2).

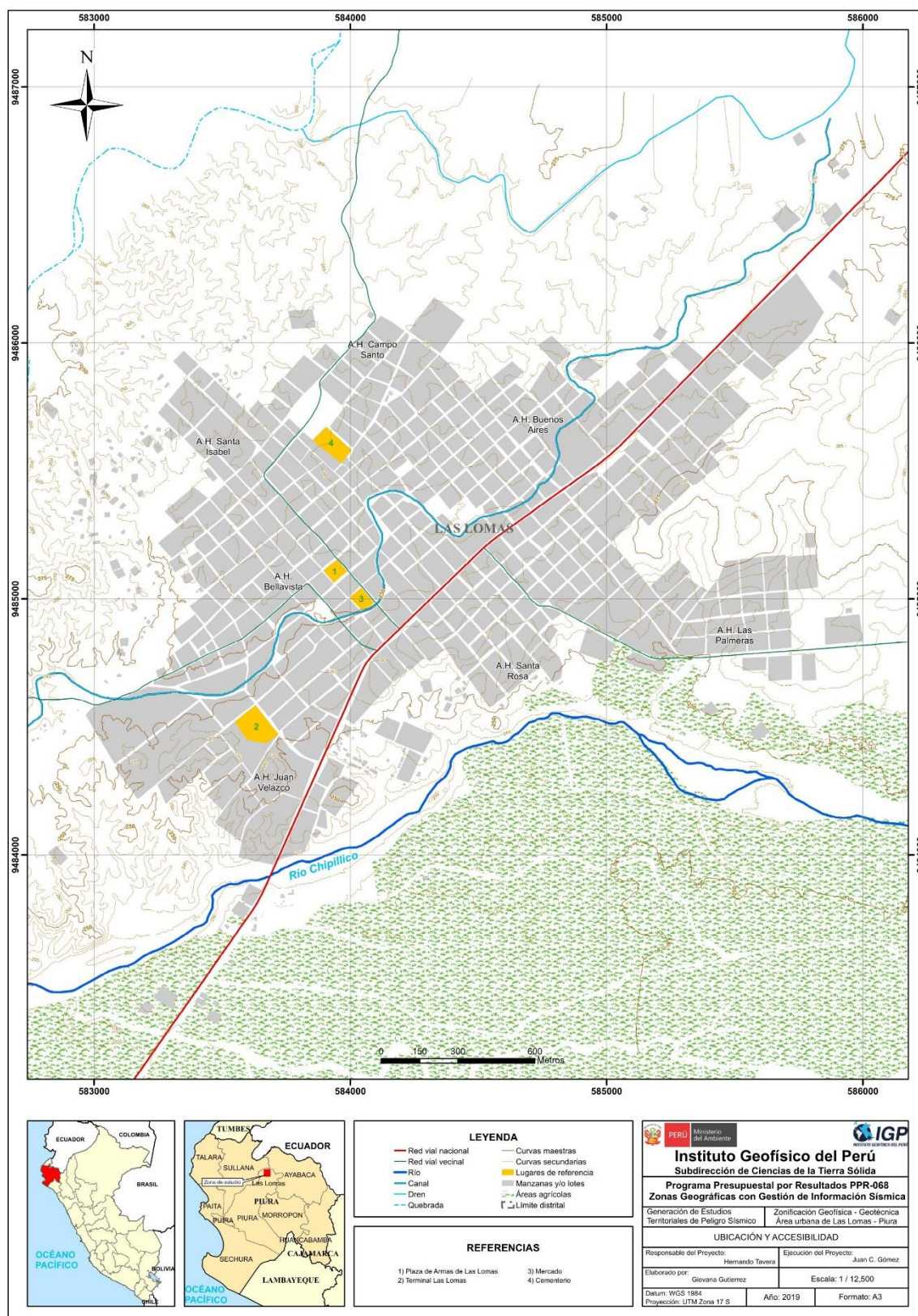


Figura 2: Mapa de ubicación geográfica de la ciudad Las Lomas.

1.2. Historia

El territorio que actualmente ocupa Las Lomas, pertenecía a la hacienda Suipirá y en el año 1827 el dueño de la hacienda era el español Vicente María Fernández de Otero. En la hacienda Suipirá, Fernández de Otero consideraba el trabajo de los campesinos y de los negros esclavos. Años más tarde, en 1867 el ecuatoriano José Ángel Palacio, dueño de esta hacienda, trajo de Loja (Ecuador) varios esclavos con sus familias, todos de procedencia Jamaíquina, quienes construyeron sus viviendas en las faldas de las lomas, ubicadas en la margen izquierda del río Chipillico, popularizándose así el nombre de “Negros lomeños” o los que viven en “Las Lomas”. En la margen derecha de este río en los terrenos de la hacienda Yuscay de propiedad de Francisco Burneo, vivían campesinos procedentes de Chulucanas y Morropón.

En octubre de 1934, los señores: Lucio Ortiz, Marciano Olivares, César Camacho, Luis Castillo, Francisco Neira, Juan Bravo y José Miguel Ruíz, organizados en un Comité solicitaron al Presidente de la República, don Oscar R. Benavides, la creación del distrito Las Lomas. Por consiguiente, el 3 de abril de 1936, el Congreso de la República, mediante la Ley NO.8231 decretó la creación del distrito Las Lomas. De esta manera, este Comité culminó con éxito su gestión. El Comité Pro Creación del distrito Las Lomas fue asesorado por los doctores Hildebrando Castro Pozo y Luciano Castillo, diputados por el departamento de Piura.

Piura ocupa un lugar importante en la economía nacional gracias a la gran diversidad de sus recursos naturales, que se benefician del encuentro de dos corrientes marinas de temperaturas contrapuestas, aguas frías de Humboldt y calientes de El Niño, que permiten el cultivo de una gran diversidad de productos y a la vez enriquecen el mar, ubicando a esta región como una de las principales zonas pesqueras del país.

Con una clara vocación agrícola, Piura es el primer productor de mango y limón a nivel nacional, ocupa el segundo lugar en la producción de algodón, arroz y camote, el cuarto en banano, y el quinto en caña de azúcar. La región alberga la mayor extensión de bosques secos de la costa peruana concentrando el 65 por ciento de los 3,2 millones de hectáreas que hay en el país. Este territorio está cubierto en su mayoría por los algarrobos, las especies más características de los bosques piuranos. La naturaleza también ha sido benévola con Piura en cuanto a la riqueza minera, pues además del petróleo que se encuentra tanto en sus provincias cuanto en el zócalo continental, también ha depositado gas y fosfatos, así como cobre y otros minerales, que hoy en día con el avance tecnológico y la evolución de los precios internacionales pueden ser una nueva oportunidad de desarrollo para la región.

La ciudad Las Lomas es uno de los diez distritos que conforman de la región Piura. Limita por el sur con el distrito de Tambogrande, por el este con el distrito de Sapidilla y Paimas y por el oeste con la provincia de Sullana y distrito de Lancones (Figura 2 y 3).



Figura 3: Plaza de Armas de la ciudad Las Lomas.

1.3. Accesibilidad y Clima

El acceso a la ciudad Las Lomas, por vía terrestre desde Lima, es por la carretera Panamericana Norte con un recorrido aproximado de 988.70 km, se continua el recorrido por la carretera afirmada Piura- Tambogrande (85.80 km). Asimismo, el acceso por vía aérea; Lima- Piura se realiza en un tiempo aproximado de 1 hora 30 min.

Para determinar las condiciones climáticas de la ciudad Las Lomas, se han tomado datos referenciales de la web del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). La estación meteorológica Partidor está ubicada a 9.13 km al SO del centro urbano Las Lomas, en las coordenadas geográficas; Latitud: 4°43'55.09'', longitud: 80°16'47.36'' y cota 218 m.s.n.m. Según la información registrada en esta estación (período 2017 – 2019), se determina que la ciudad presenta un clima cálido. Las temperaturas medias alcanzan la mínima de 15.72 °C en invierno (julio) y máxima de 35.2 °C en verano (febrero) (Tabla 1 y Figura 4). Asimismo, estos datos meteorológicos varían cuando se presenta el fenómeno del Niño.

Tabla 1: Temperaturas máximas y mínimas medias mensuales (2017- 2019).

Estación: PARTIDOR					
Tipo Convencional - Co - Metereológica					
Departamento	Piura	Provincia	Piura	Distrito	Las Lomas
Latitud	4° 43' 55.09"	Longitud	80° 16' 47.36"	Altitud	218 msnm
Mes	Temperatura Promedio		2017	2018	2019
Enero	T° Max. Media mensual (°)		33.69	34.35	34.15
	T° Min. Media mensual (°)		22.67	20.93	22.36
Febrero	T° Max. Media mensual (°)		32.23	34.28	32.50
	T° Min. Media mensual (°)		22.81	22.54	22.98
Marzo	T° Max. Media mensual (°)		31.90	35.20	32.54
	T° Min. Media mensual (°)		23.05	22.23	22.43
Abril	T° Max. Media mensual (°)		30.87	33.72	33.16
	T° Min. Media mensual (°)		21.89	21.09	21.03
Mayo	T° Max. Media mensual (°)		29.34	31.57	32.12
	T° Min. Media mensual (°)		20.39	18.71	20.05
Junio	T° Max. Media mensual (°)		27.63	30.23	31.48
	T° Min. Media mensual (°)		19.00	17.19	17.98
Julio	T° Max. Media mensual (°)		27.98	29.68	30.79
	T° Min. Media mensual (°)		17.43	16.54	16.39
Agosto	T° Max. Media mensual (°)		28.80	31.55	30.50
	T° Min. Media mensual (°)		16.57	16.92	15.72
Septiembre	T° Max. Media mensual (°)		30.84	33.07	31.36
	T° Min. Media mensual (°)		16.43	16.71	15.94
Octubre	T° Max. Media mensual (°)		31.61	32.20	31.46
	T° Min. Media mensual (°)		16.65	17.69	16.61
Noviembre	T° Max. Media mensual (°)		30.68	33.00	SD
	T° Min. Media mensual (°)		16.75	19.20	SD
Diciembre	T° Max. Media mensual (°)		32.89	33.30	SD
	T° Min. Media mensual (°)		19.33	20.49	SD

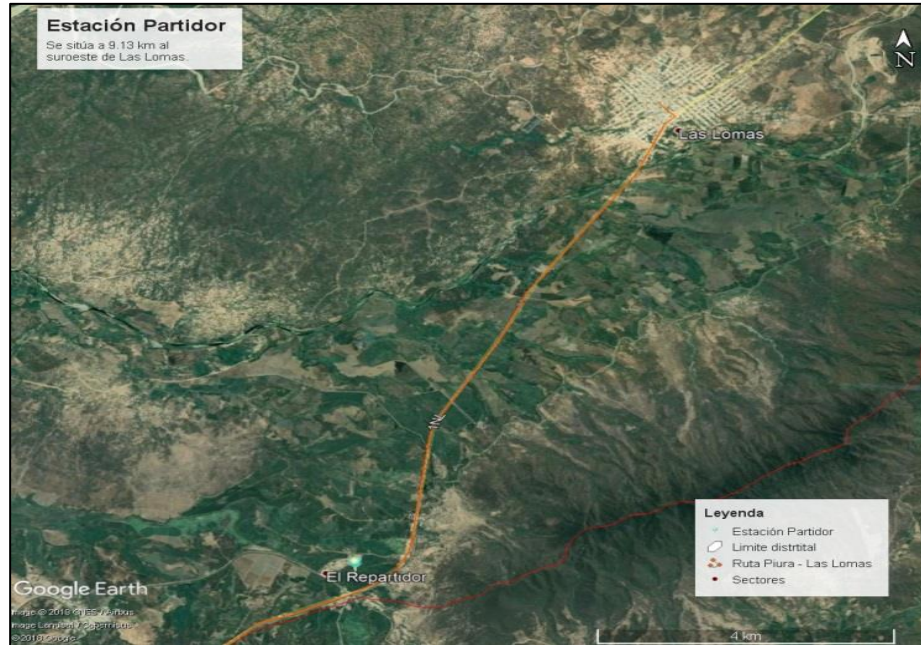


Figura 4: Estación Meteorológica "Partidor", ubicada a 9.13 km al SO del casco urbano Las Lomas.

1.4. Economía

La economía de la región Piura se desarrolla en base a su producción pesquera, producción de fertilizantes y en el sector agrícola, basándose en el cultivo y comercialización de Algarrobos, sorgo, arroz, maíz amarillo, plátano, limón, yuca, mango; etc. Asimismo, en el sector minero se basa extracción de hierro, sal y fosfatos; además de la producción de potasio, cobre, plomo, plata, carbón azufre, bentonita y baritina. Por último, la extracción de petróleo equivalente al 33 % de la producción nacional del Perú.

La economía de la ciudad Las Lomas se sustenta el desarrollo de la actividad agrícola, puesto que el 80% de su población económicamente activa (PEA) es agrícola. Sus cultivos permanentes como el limón y otros frutales abastecen significativamente el consumo de la capital de la provincia de Piura. Los cultivos transitorios, como el arroz y otros van disminuyendo por las limitaciones de agua, altos costos de producción y bajos niveles de rentabilidad.

1.5. Estudios Previos

Para la ciudad Las Lomas, se ha recopilado información sobre estudios previos de geología, geotécnica, sísmica y geofísica realizados por diversos investigadores e instituciones a fin de ser considerada para proyectar los objetivos del presente estudio; además de complementar los resultados a obtenerse. Entre los principales documentos técnicos consultados, se tiene:

- En el 2017, CENEPRED realiza el estudio “Informe de evaluación de riesgo por lluvias intensas en el CC.PP. Las Lomas – Santa Isabel, distrito Las Lomas, provincia y departamento de Piura”, en Las Lomas se presenta depósitos aluviales recientes compuestos de arenas, limos y arcillas y por rocas intrusivas. Se encuentra caracterizada por tener una pendiente suave menor a 5°. Las lluvias intensas durante el “Niño Costero 2017”, categorizó a Las Lomas en riesgo alto ante lluvias intensas.
- En el 2014, el IGP mediante el proyecto de cooperación con el Banco Mundial presenta el estudio “Re-evaluación del peligro sísmico probabilístico para el Perú”, considerando que el Perú se encuentra en una región altamente sísmica se realiza el estudio de peligro sísmico con bases sísmicas actualizadas. Se definen nuevas fuentes sismogénicas y se genera los mapas de aceleración horizontal (PGA), los resultados muestran que Las Lomas presentarían aceleraciones de hasta 370 gals para un periodo de retorno de 500 años.

2. CONDICIONES LOCALES DE SITIO

Es ampliamente conocido que las condiciones locales de sitio son uno de los principales factores responsables de los daños que se producen en cualquier tipo de edificación durante la ocurrencia de sismos severos. Este factor es fuertemente dependiente de las características geológicas, geomorfológicas, geodinámicas, geotécnicas, sísmicas y geofísicas de los suelos. En conjunto, estos controlan la amplificación de las ondas sísmicas causantes de los daños a observarse en superficie después de ocurrido un evento sísmico.

Las condiciones locales de sitio son evaluadas en los estudios de Zonificación Sísmica, geotécnica y el resultado es considerado como una de las herramientas más importantes para minimizar los daños producidos por los sismos. La finalidad es evaluar el comportamiento dinámico de los suelos (CDS), teniendo en cuenta que la intensidad de las sacudidas sísmicas varía considerablemente a distancias cortas y áreas pequeñas. Diversos estudios muestran, que los suelos ante la incidencia de ondas sísmicas asociadas a movimientos débiles y/o fuertes, responden de acuerdo a sus condiciones locales, pudiendo estos modificar el contenido frecuencial de las ondas y/o generar amplificaciones de las ondas sísmicas (Hartzell, 1992; Beresnev et al., 1995; Bard 1995; Lermo y Chávez-García, 1993, 1994 a, b; Bard y Sesame, 2004; Bernal, 2006- 2018), ver Figura 5.



Figura 5: Las condiciones locales de sitio controlan la amplificación del sacudimiento del suelo, puesto en evidencia con la amplitud del registro sísmico obtenido sobre roca y sedimentos.

La metodología a seguir para lograr el mayor conocimiento sobre el comportamiento dinámico del suelo o efectos de sitio en regiones de moderada a alta sismicidad, considera estudios geológicos, geomorfológicos, geotécnicos, sísmicos y geofísicos. Cada uno de estos campos de investigación proveen de información básica a partir de observaciones de campo y la toma de datos in situ, para lo cual es necesario disponer de mapas catastrales actualizados de las zonas en estudio, así como los correspondientes a las zonas de futura expansión urbana.

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

2.1. La Norma Técnica E.030

En el Perú, la construcción de obras civiles de cualquier envergadura debe considerar la Norma Técnica E.030 “Diseño Sismorresistente” del Reglamento Nacional de Edificaciones, modificada según Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda. Básicamente, esta norma considera los perfiles de suelos en función de sus propiedades mecánicas, tomando en cuenta la velocidad promedio de propagación de las ondas de corte, o alternatively, para suelos granulares, considera el promedio ponderado de los N_{60} obtenidos mediante un ensayo de penetración estándar (SPT), o el promedio ponderado de la resistencia al corte en condición no drenada S_u para suelos cohesivos. Se estable 5 perfiles (Tabla 2):

- **Perfil Tipo S_0 : Roca Dura**, corresponde a las rocas sanas con velocidades de propagación de ondas de corte (V_s) mayor a 1500 m/s.

- **Perfil Tipo S_1 : Roca o Suelos Muy Rígidos**, a este tipo corresponden rocas con diferentes grados de fracturación, de macizos homogéneos y los suelos muy rígidos con velocidades de propagación de onda de corte V_s entre 500 y 1500 m/s.
- **Perfil Tipo S_2 : Suelos Intermedios**, son suelos medianamente rígidos, con velocidades de propagación de onda de corte V_s entre 180 y 500 m/s.
- **Perfil Tipo S_3 : Suelos Blandos**, corresponden suelos flexibles con velocidades de propagación de onda de corte V_s menor o igual a 180 m/s.
- **Perfil Tipo S_4 : Condiciones Excepcionales**, corresponde a suelos excepcionalmente flexibles y los sitios donde las condiciones geológicas y/o topográficas son particularmente desfavorables, en los cuales se requiere efectuar un estudio específico para el sitio. Será determinado con un Estudio de Mecánica de Suelos (EMS).

Tabla 2: Clasificación de los perfiles de suelo según la norma E.030

Perfil	V_{s30} (m/s)	Descripción
S_0	> 1500	Roca dura
S_1	$500 \text{ a } 1500$	Roca o suelo muy rígido
S_2	$180 \text{ a } 500$	Suelo medianamente rígido
S_3	< 180	Suelo blando
S_4	Clasificación basada en el EMS	Condiciones Excepcionales

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:

di = espesor de cada uno de los estratos n .

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

En general, para cualquier estudio se deberá considerar el tipo de suelo que mejor describa las condiciones locales de cada zona de interés. Para este estudio, la Zonificación Sísmica – Geotécnica se realiza en función de las características mecánicas y dinámicas de los suelos que conforman el terreno de cimentación del área de estudio y de las consideraciones dadas por Norma E.030 (Diseño Sismorresistente). De acuerdo a los estudios realizados, se establece la existencia de 4 zonas cuyas características son:

ZONA I: Comprende a suelos Tipo S1, cuyo periodo predominante varía entre 0.1 y 0.3 segundos.

ZONA II: Comprende a suelos Tipo S2 y el predominio de periodos entre 0.3 y 0.5 segundos.

ZONA III: Comprende a suelos Tipo S3, cuyos periodos predominantes son de 0.5 y 0.7 segundos.

ZONA IV: Comprende a suelos Tipo S4 (condiciones excepcionales) y está conformada por:

-Zona IVa: Depósitos eólicos, fluviales, marinos y/o suelos pantanosos.

-Zona IVb: Zonas de topografía irregular, susceptibles a generar derrumbe, flujos detríticos.

-Zona IVc: Depósitos de relleno sueltos, desmontes heterogéneos, rellenos sanitarios.

Esta zonificación condiciona el tipo de estructura que se debe construir; es decir, tipo de material, geometría y el número de pisos en las viviendas o de grandes obras de ingeniería. Se debe buscar que el periodo fundamental de respuesta de la estructura, no coincida con la del suelo a fin de evitar el fenómeno de resonancia y/o una doble amplificación sísmica.

CONCLUSIONES

Para la Ciudad Las Lomas se han identificado, según las características dinámicas del suelo, sus propiedades mecánicas y el procesamiento establecido en la Norma de construcción Sismoresistente E-030:

Los materiales que conforman el subsuelo de la ciudad Las Lomas son rocas de origen ígneo (dioritas, granodioritas y monzogranito). Suprayaciendo a las rocas ígneas se encuentran los depósitos del Cuaternario que están conformados por materiales aluviales y fluviales. El área urbana de Las Lomas se asienta sobre rocas ígneas.

Los eventos geodinámicos identificados en la zona de estudio son: inundaciones fluviales en la margen derecha del río Chipillico, afectando áreas agrícolas y algunas viviendas del sector Juan Velazco y La Torta. Los eventos pluviales provenientes de las depresiones existentes y por la falta de mantenimiento de los drenes, afectan los sectores de: La Cruz, AA.HH. Bellavista, Casco Urbano de Las Lomas, AA.HH. Junta Vecinal Buenos Aires, AA.HH. Miraflores y Suipirá.

Se identificaron tres tipos de suelos: arenas limosas (SM) con capacidad portante baja ($1.0 - 2.0 \text{ kg/cm}^2$), arcillas y limos inorgánicos de baja plasticidad (CL - ML) con capacidad portante muy baja ($<1 \text{ kg/cm}^2$) y arenas mal graduadas con limos (SP - SM) que presentan capacidad portante alta ($>3.0 \text{ kg/cm}^2$).

Los resultados obtenidos para la ciudad Las Lomas han permitido identificar, según las características dinámicas del suelo (Figura 6), sus propiedades mecánicas y el procedimiento establecido en la Norma E.030, la existencia de suelos Tipo S1 y S4. Estos tipos de suelos corresponden a las Zonas I y IV respectivamente, donde el 95 % del área de estudio responde a periodos que varían entre 0.1 y 0.2 segundos, con amplificaciones relativas mayores a 3

veces, principalmente en sectores ubicados hacia el extremo este del área de estudio (áreas de cultivo), próximos al río Chipillico y canal que cruza la ciudad de Las Lomas.

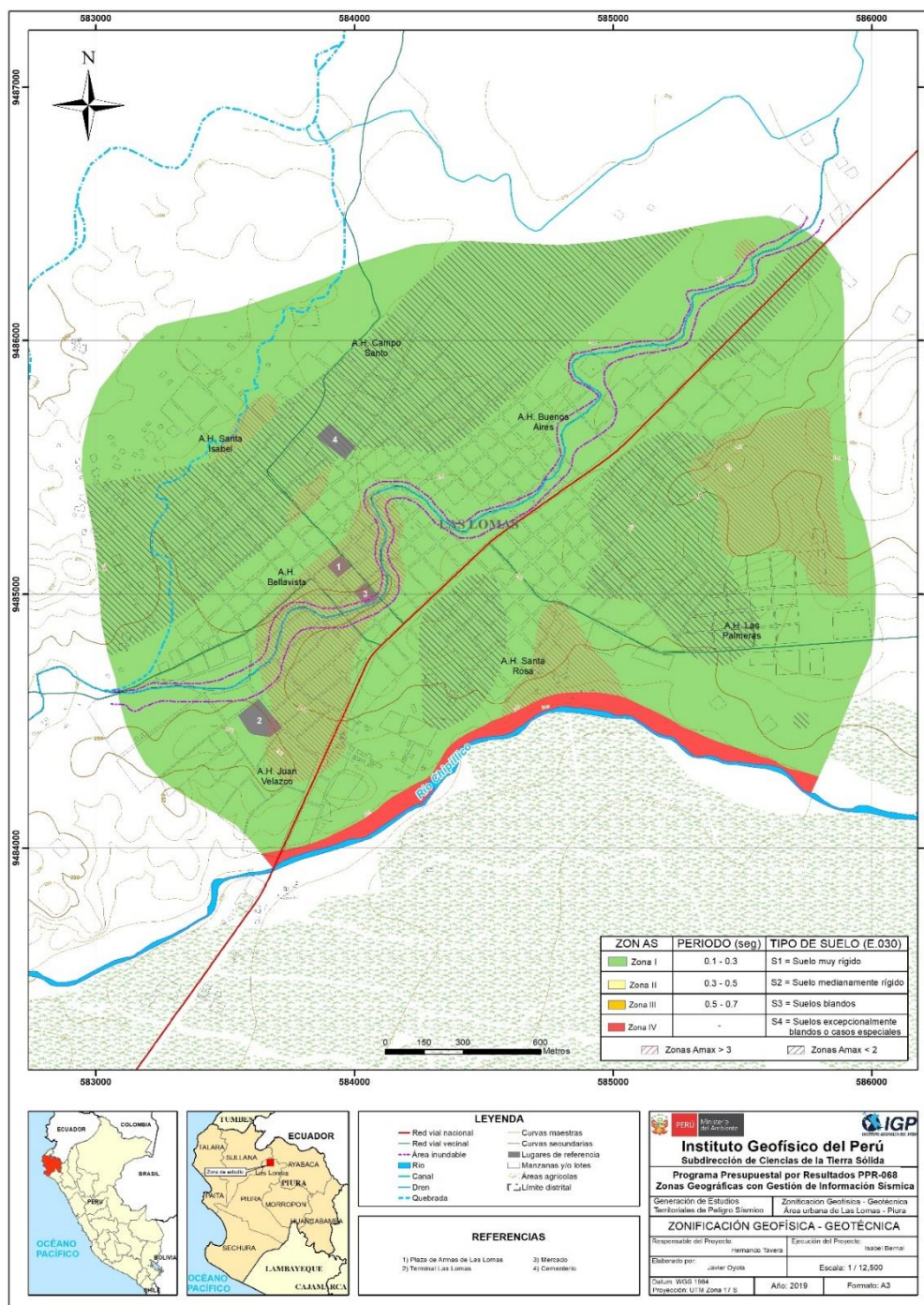


Figura 6: Mapa de Zonificación Sísmica – Geotécnica para la ciudad Las Lomas.

CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA DE LA CIUDAD LAS LOMAS

CONTENIDO

1. METODOLOGÍA

2. GEOMORFOLOGÍA

2.1. Modelo digital de elevación

2.2. Pendientes

2.2.1. Clasificación del grado de pendientes

2.3. Unidades geomorfológicas

2.3.1. Colina

2.3.2. Lecho Fluvial

2.3.3. Loma

2.3.4. Terraza Aluvial

3. GEOLOGÍA

3.1. Geología local

3.1.1. Rocas Intrusivas

3.1.2. Depósitos Cuaternarios

4. GEODINÁMICA

4.1. Procesos de geodinámica interna

4.2. Procesos de geodinámica externa

4.3. Zonas susceptibles a procesos geodinámicos

4.3.1. Zonas Susceptibles a Inundaciones

4.4. Elementos expuestos

5.- ASPECTOS GEOTÉCNICOS

5.1. Exploraciones a cielo abierto

5.1.1. Descripción de calicatas

5.2. Densidad del suelo in-situ

5.3. Exploraciones con posteadora manual

5.4. Ensayos de penetración dinámica ligera (norma DIN 4094)

5.5. Ensayo de corte directo (Norma ASTM D - 3080)

5.6. Capacidad de carga portante

5.6.1. Carga última

5.6.2. Tipos de Capacidad de carga portante

5.7. Clasificación de suelos SUCS

CONCLUSIONES

1. METODOLOGÍA

Para realizar la caracterización geológica y geotécnica de los suelos en la ciudad Las Lomas, se ha seguido la siguiente metodología:

- ✓ **Gabinete I:** Las actividades realizadas incluyeron la revisión de imágenes satelitales obtenidas del servidor Perú SAT-1, 2013 y la recopilación de información bibliográfica de la zona a escala regional y local (boletines geológicos, informes técnicos, entre otros).
- ✓ **Campo I:** Se realizó el cartografiado geológico, geomorfológico y geodinámico a escala 1: 12 500 usando ortofotos del área de estudio obtenida a través del RPAS.
- ✓ **Campo II:** Elaboración de ensayos geotécnicos de acuerdo a:
 1. Elaboración de calicatas: Se realizaron 08 calicatas distribuidas entre el casco urbano y área de expansión urbana.
 2. Ensayos de Penetración Dinámica Ligera (DPL): se realizaron para determinar la resistencia de los suelos al ser penetrados. En la ciudad Las Lomas se realizaron 10 DPL.
 3. Ejecución de auscultaciones haciendo uso de posteadora: se distribuyeron en zonas intermedias a la ubicación de las calicatas más próximas, con el fin de complementar la información sobre los tipos de suelos. En el área de estudio se realizaron 9 posteos.
- ✓ **Laboratorio:** Procesamiento de las muestras de suelos, a través de ensayos de mecánica de suelos como la granulometría (clasificación SUCS), humedad, densidad y corte directo (capacidad de carga admisible).
- ✓ **Gabinete II:** Elaboración del informe técnico adjuntando las fichas geotécnicas (calicatas, DPL y posteos), geodinámicas (identificación de zonas susceptibles a movimientos en masa e inundaciones) y planos temáticos a escala 1:12 500.

2. GEOMORFOLOGÍA

La geomorfología estudia las diferentes formas de relieve de la superficie terrestre (geoformas) y los procesos que las generan. Este relieve es el resultado de la interacción de fuerzas endógenas y exógenas. Las primeras actúan como creadoras de grandes elevaciones y depresiones producidas fundamentalmente por movimientos en masa de componente vertical; mientras que, las segundas, como desencadenantes de una continua denudación que tiende a rebajar el relieve originado; estos últimos llamados procesos de geodinámica externa que agrupa a la cadena de meteorización-erosión, transporte y sedimentación (Gutiérrez, 2008). El estudio de la geodinámica externa se efectúa en un sistema proceso- respuesta, siendo el primero el agente creador (origen) y el segundo, la geoforma resultante. El término geoforma es un concepto genérico que designa a todos los tipos de formas de relieve independientemente de su origen y dimensión (Zinck, 1988; Zinck & Valenzuela, 1990). En este capítulo se describen las características físicas de las geoformas existentes en la Ciudad Las Lomas.

Previamente, en base al levantamiento topográfico y mediante herramientas computacionales (SIG) se ha elaborado los planos: Modelo Digital del Terreno y de pendientes, con el fin de delimitar las características geomorfológicas del terreno. Estos mapas fueron verificados y validados durante el trabajo de campo realizado en la Ciudad Las Lomas.

2.1. Modelo Digital de Elevación (MDE)

Los MDE son representaciones gráficas de la superficie del terreno, conformado por un número de puntos con información altimétrica y planimétrica. Por su naturaleza digital, son utilizados para realizar mapas de pendientes, acumulación de horas de radiación y parámetros morfométricos, entre otros (Felicísimo, 1994).

Para la elaboración del MDE de la ciudad Las Lomas, se tomó en cuenta el uso de herramientas SIG sobre las curvas de nivel diseñadas anteriormente, obteniendo como resultado; la representación digital de la superficie del terreno de la localidad (Figura 1).

En base al MDE elaborado para la ciudad Las Lomas se ha reconocido que la zona urbana se asienta sobre una lomada con pendientes entre 237 y 259 m.s.n.m. En la margen izquierda del río Chipillico está conformado por un valle aluvial en cual se desarrolla la actividad agrícola de la zona.

2.2. Pendientes

Este parámetro influye en la formación de los suelos y condiciona el proceso erosivo, puesto que, mientras más pronunciada sea la pendiente, la velocidad del agua de escorrentía será mayor, no permitiendo la infiltración del agua en el suelo (Belaústegui, 1999). El mapa de pendientes de la ciudad Las Lomas (Figura 2), fue obtenido a partir del MDE elaborado anteriormente, haciendo uso de herramientas de geoprocetamiento (área de influencia, construcción de modelos, análisis espacial, etc.) y así diferenciar gráficamente, los ángulos de inclinación del relieve en el área de estudio.

2.2.1. Clasificación del grado de pendientes

Para la clasificación de los rangos de pendientes se usó la hipótesis de Fidel et al. (2006), siendo su contribución los valores de la Tabla 1:

Tabla 1: Rangos de pendientes del terreno.

PENDIENTE EN GRADOS	CLASIFICACIÓN
<5	Muy baja
5 - 20	Baja
20 - 35	Media
35 - 50	Fuerte
>50	Muy fuerte

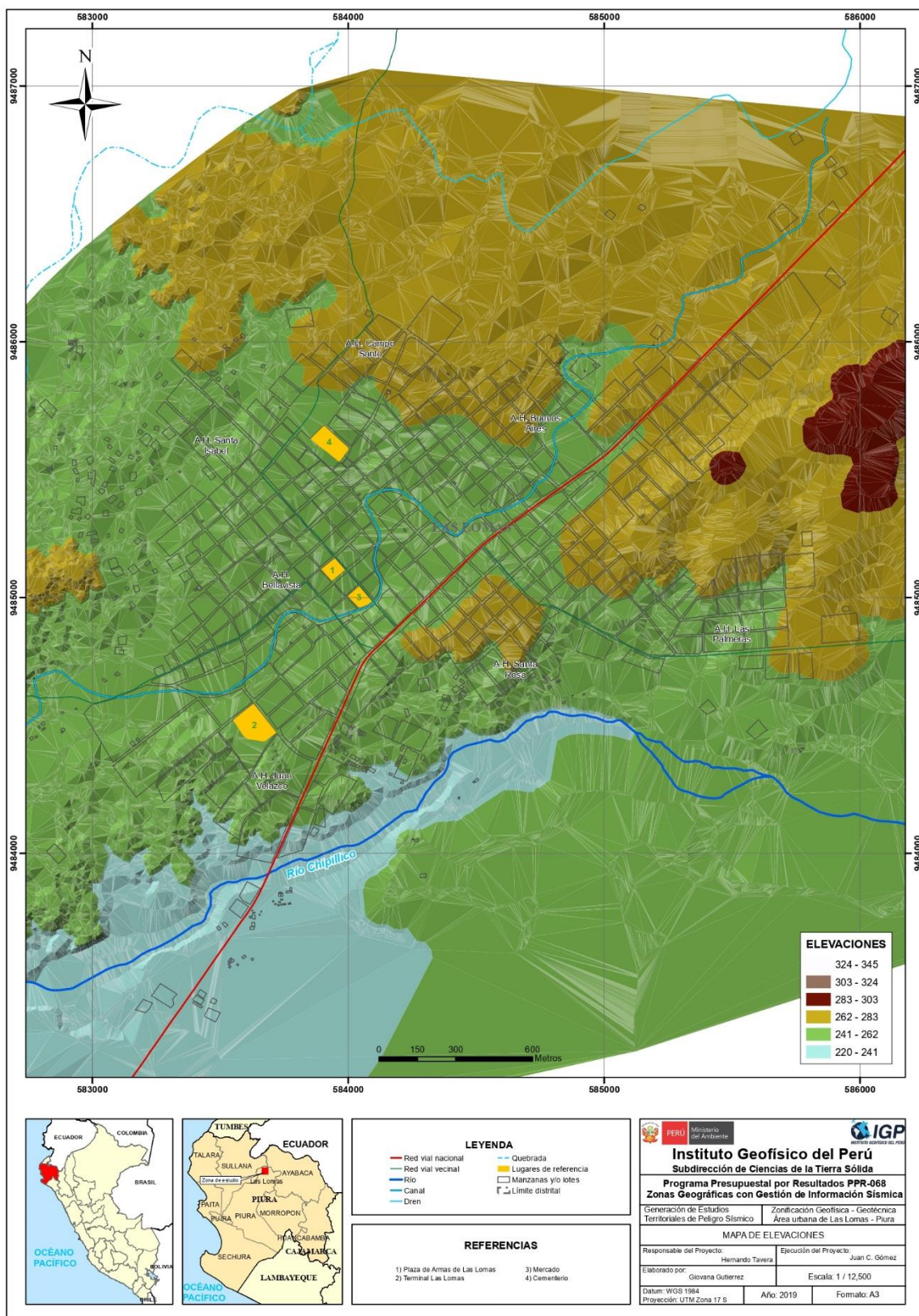


Figura 1: Mapa del modelo digital de elevaciones para la ciudad Las Lomas y alrededores.

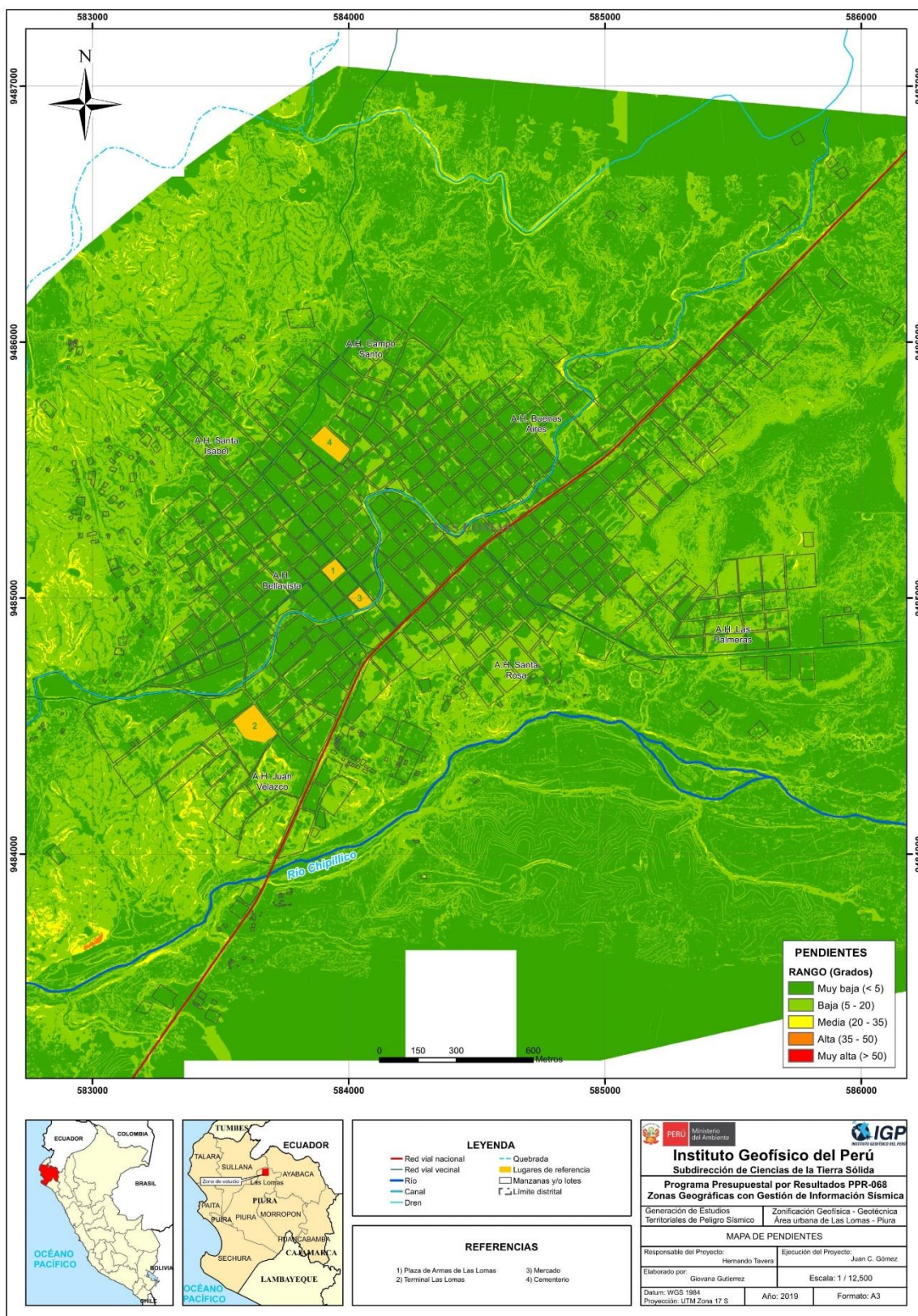


Figura 2: Mapa de pendientes y alrededores para la Ciudad Las Lomas.

La ciudad Las Lomas, se encuentra asentada sobre una lomada con pendientes que oscilan entre 5° y 15° (Figura 2).

2.3. Unidades geomorfológicas

Estas unidades con ciertas características físicas son generadas por procesos morfogenéticos de carácter endógeno (procesos internos) y exógeno (procesos externos) formando relieves positivos y negativos (Figura 3).

a) Características físicas

Las características físicas de las unidades geomorfológicas; es decir, su relieve expresa una combinación de parámetros como: pendiente, altura, geometría y drenaje (modificado de Pike et al., 2009), las cuales son directamente accesibles a la percepción visual proximal o distal, sea humana o instrumental.

b) Procesos Los agentes modeladores como el agua, viento, temperatura, entre otros, desencadenan diversos procesos externos como el intemperismo, meteorización, erosión, transporte y deposición, generando diferentes geoformas que pueden ser clasificados de acuerdo a su origen, en depositacional y denudacional (erosional). Otros procesos internos como el magmatismo y tectonismo, generan unidades de origen estructural. En el área de estudio se han delimitado cinco unidades geomorfológicas y sus características físicas y su origen (Tabla 2 y Figura 3).

2.3.1. Colina

Elevaciones topográficas con una altura menor a 100 m, cuyo relieve presenta pendientes menores a 20°, caracterizándose por tener forma redondeada. Esta unidad geomorfológica representa el 6% del área de estudio y se encuentra ubicada a 1.70 km al este del casco urbano de Las Lomas (Figura 4).

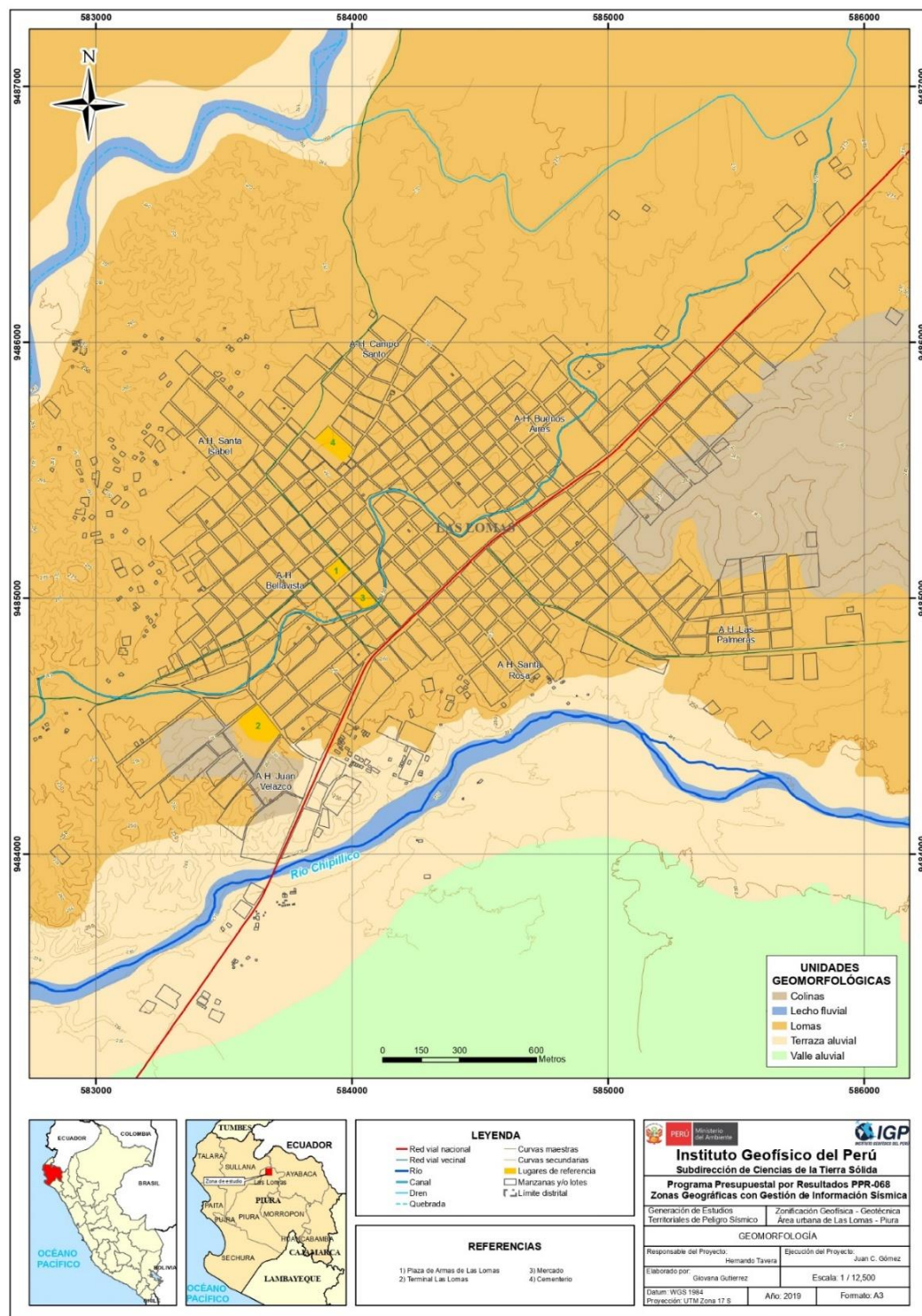


Figura 3: Mapa geomorfológico para la ciudad Las Lomas.

Tabla 2: Descripción de las unidades geomorfológicas, de la ciudad Las Lomas, en base a sus características físicas y origen.

CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA DE LAS LOMAS					
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		PROCESO	UNIDAD GEOMORFOLÓGICA	ÁREA (HAS)	ÁREA (%)
Pendiente	20°-35°	Estructural Denudacional	Colinas	126.60	5.90
Altura	100-300 m				
Geometría	Redondeada				
Drenaje	Dendrítrico	Mixta Estructural Denudacional	Lomadas	1240.50	57.40
Pendiente	20°-35°				
Altura	100-300 m				
Geometría	Alargada	Mixta Depositacional Denudacional	Terraza aluvial	335.20	15.50
Drenaje	Dendrítrico				
Pendiente	5°-20°				
Altura	<100 m	Denudacional Depositacional	Valle aluvial	398.30	18.40
Geometría	Alargada				
Drenaje	Radial				
Pendiente	<5°	Denudacional	Lecho fluvial	55.20	2.60
Altura	<100 m				
Geometría	Alargada				
Drenaje	Paralelo				

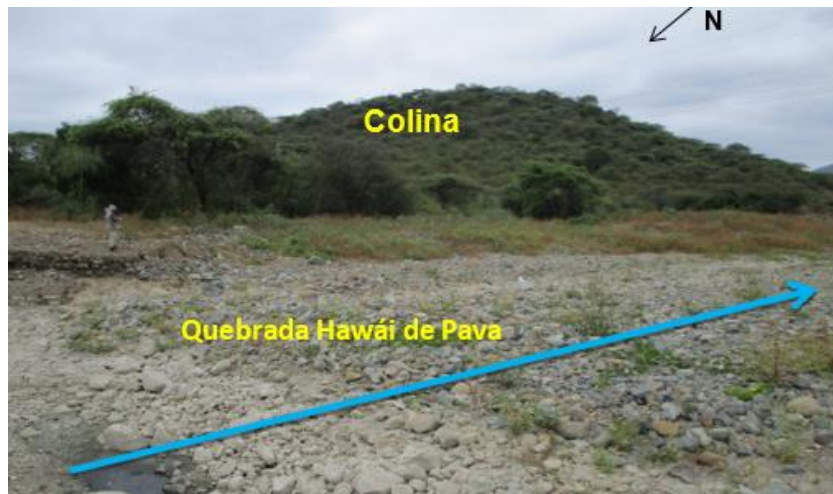


Figura 4: La colina se sitúa a 1.70 km al este del casco urbano Las Lomas (metros de la quebrada Hawái de Pava).

2.3.2. Lecho Fluvial

La morfología del lecho fluvial depende de diferentes factores como: caudal, pendiente, tamaño del sedimento y de lo erosionable que sea el substrato rocoso; siendo el producto de un equilibrio dinámico entre la carga de sedimentos y su capacidad de transporte.

El lecho fluvial del río Chipillico comprende un área de 55.20 ha, que representa el 2.60 % del total; desplazándose con dirección este – oeste, siguiendo una trayectoria que colinda con la ciudad Las Lomas (margen derecha), presenta una pendiente de 0.7 % (menor a 1°), su ancho del cauce puede llegar a estar comprendido entre 41 y 114 metros aproximadamente y se observan islotes en la parte central (Figura 5).



Figura 5: Lecho fluvial del río Chipillico.

2.3.3. Loma

Esta unidad geomorfológica presenta una pendiente $<35^\circ$, altura <300 m, geometría alargada, drenaje dendrítico y origen denudacional. Abarca el 57.40 % de la zona de estudio, con un área de 1240.50 ha. Esta unidad recientemente ha sido modificada (redondeadas y/o cubiertas por mantos de arena) por la acción del viento (erosión eólica), escorrentía de las aguas superficiales y por la actividad antrópica. Sobre esta unidad se asienta el casco urbano de la ciudad Las Lomas (Figura 6).



Figura 6: Sobre estas lomas se encuentra asentada el área urbana Las Lomas y alrededores.

2.3.4. Terraza Aluvial

Esta unidad geomorfológica, de origen depositacional, presenta una pendiente $< 10^\circ$, así como una geometría irregular y drenaje variable. Abarca un área de 335.20 ha, representando el 15.50 % de la zona en estudio. La terraza aluvial tiene una altura de 5 m con respecto al nivel del río Chipillico, se sitúa en ambas márgenes del río Chipillico y la quebrada Salao (Figura 7).



Figura 7: Las terrazas se sitúan en ambas márgenes del río Chipillico y la quebrada Salao.

3.- GEOLOGÍA

La geología es la ciencia que estudia la composición, estructura interna y externa de los materiales que componen al planeta Tierra y los procesos por los cuales ha venido evolucionando a lo largo de millones de años desde su origen hasta la actualidad. Para entender la geología de un lugar, se estudia la litología de las formaciones geológicas o unidades litoestratigráficas, determinando las características físicas de los componentes de las rocas, comprendiendo que estas son originadas por procesos internos (tectónica de placas, ascenso de magma, etc.) como también, por procesos externos que modelan la superficie terrestre tales como: Meteorización, erosión, transporte y depositación de rocas preexistentes, en base a estos procesos también se puede entender cuál es la dinámica de formación de los suelos.

De esta manera, para tener una idea clara de la geología local, se parte por conocer primero la geología histórica, es decir se estudian los eventos geológicos que ocurrieron en el pasado, que fuerzas actuaron en la formación de las estructuras geológicas, que tipos de rocas que se depositaron o emplazaron en un determinado tiempo y espacio geológico a escala regional, esta ciencia es complementada con otras ramas de la geología como son: la geología estructural, estratigrafía, sedimentología, geodinámica, geomorfología etc., todas estas disciplinas permiten explicar la complejidad o simplicidad geológica local sobre la cual se asienta una población.

3.1.- Geología local

Las unidades litológicas aflorantes en la ciudad Las Lomas han sido cartografiadas a escala 1:12,500, sobre un área de 21.60 km² aproximadamente (Figura 8), y sus características se describen a continuación (Tabla 3).

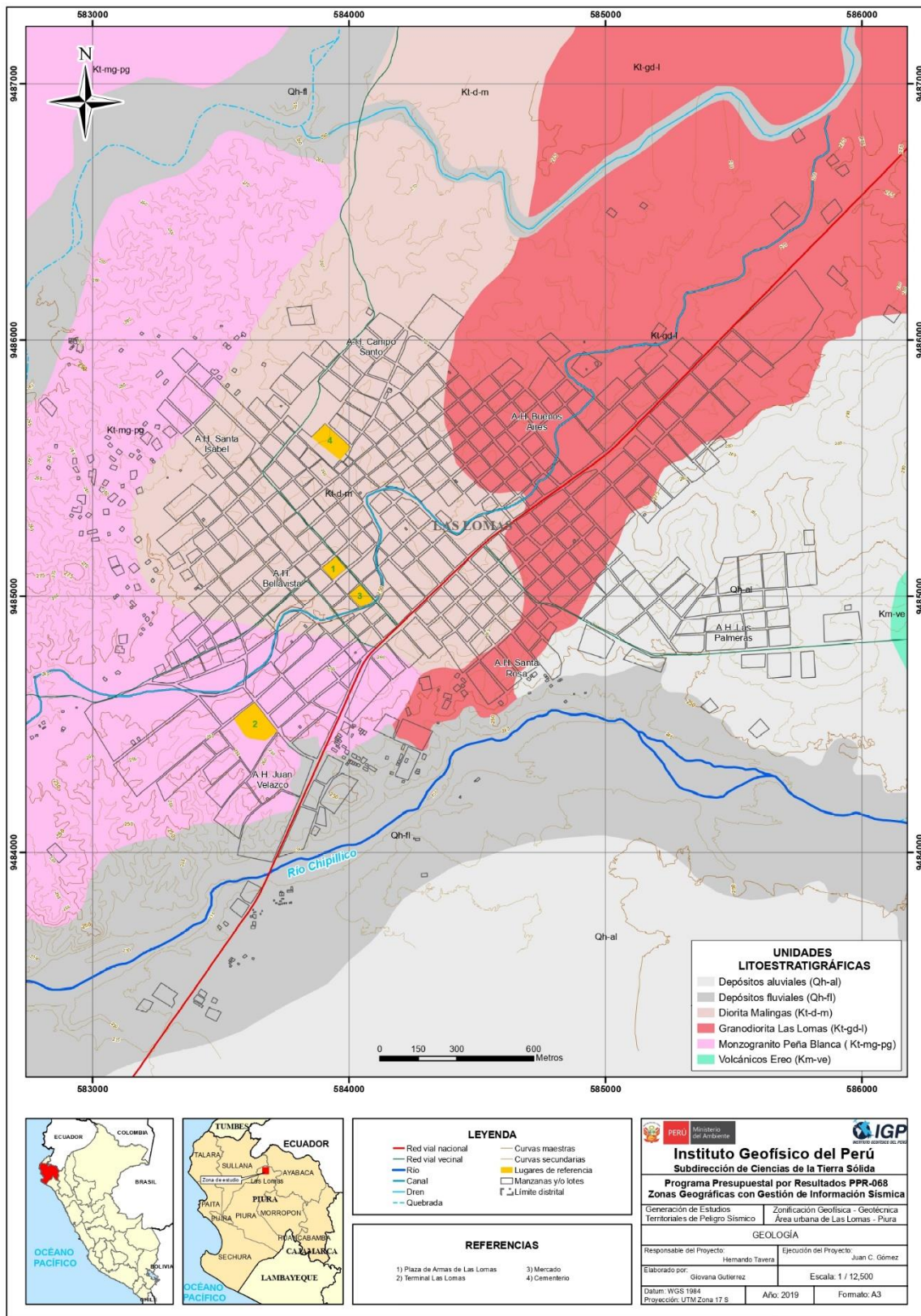


Figura 8: Mapa de la geología local de la ciudad Las Lomas y alrededores.

Tabla 3: Columna cronolitoestratigráfica de la zona de estudio.

CRONOESTRATIGRAFIA			LITOESTRATIGRAFIA		
ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDAD ESTRATIGRAFICA	SÍMBOLO	LITOLOGÍA
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	Depósitos fluviales	Qh-fl	Gravas sub-redondeadas y sub-angulosas en matriz areno limosa.
			Depósitos aluviales	Qh-al	Fragmentos angulosos heterogéneos, envueltos en matriz limo-arenosa.
	TERCIARIO	INFERIOR	Monzogranito Peña Blanca	Mg-pb	Monzogranito Peña Blanca
			Granodiorita Las Lomas	Gd-l	Granodiorita Las Lomas
MESOZOICO	CRETACEO	SUPERIOR	Diorita Malingas	D-m	Diorita Malingas

3.1.1.- Rocas Intrusivas

Los cuerpos rocosos intrusivos de la región forman parte del segmento norte del Batolito de la Costa, el mismo que fue denominado “Segmento Piura” por Pitcher (1978) y están comprendidas por:

a. Diorita Malingas (D-m)

Sobre estos intrusivos se encuentra asentada el 50 % del casco urbano de Las Lomas, comprendiendo el 12 % del área de estudio. Ubicadas en la parte más distal del complejo, en forma de stock.

b. Granodiorita Las Lomas (Gd-l)

Es uno de los plutones de mayor extensión, está emplazada en la parte central del complejo, diametralmente intruido por el Monzogranito Peña Blanca. Comprende el 17 % del área de estudio y sobre esta unidad se asienta el AA.HH. Santa Rosa, Miraflores y Lomas sector Norte

c. Monzogranito Peña Blanca (Mg-pb)

Está emplazado en la parte central del complejo Plutónico Las Lomas donde intruye los gabros y dioritas marginales (INGEMMET, 2009). Es de grano grueso y de color rosáceo. Abarca el 24 % del área

de estudio y sobre este se asienta el sector La Cruz, AA. HH Juan Velazco, Zona rural Bellavista y Ampliación Santa Isabel. También aflora en el extremo noroeste del casco urbano de Las Lomas.

3.1.2.- Depósitos Cuaternarios

Suprayaciendo al sustrato rocoso, conformado por rocas intrusivas, se encuentran los depósitos Cuaternarios de edad Holocena, principalmente aluvial, y fluviales, los que se describen a continuación:

a) Depósitos aluviales (Qh-al)

Conformados por gravas y arenas de grano grueso a fino de tonalidad beige a blanquecina, con intercalaciones de limos y pequeños lentes de arcillas (Figura 10). Los depósitos aluviales abarcan el 28% del área de estudio y sobre estos depósitos se encuentra asentado el AA.HH. Las Palmeras. Asimismo, afloran en el extremo sur y sureste del casco urbano de Las Lomas.



Figura 9: Depósito aluvial constituido por clastos redondeados en matriz arenosa de grano grueso a fino con algunos lentes de limos.

b) Depósitos fluviales (Qh-fl)

Conformados por suelos gravosos, con elementos de diferentes diámetros y envueltos en una matriz arenosa o areno-limosa. Estos materiales son transportados por la dinámica, evolución del curso y cauce del río Chipillico, incluyendo quebradas activas. Abarca el 19 % del área de estudio y afloran en el río Chipillico, en las quebradas Salao y Hawái de Pava, ver Figura 10.



Figura 10: Depósitos fluviales (quebrada Salao) conformados por clastos de origen ígneo en matriz arenosa de grano grueso a medio con bajo porcentaje de limos.

4.- GEODINÁMICA

Comprende todos aquellos eventos geodinámicos producto de la interacción de procesos geológicos (internos y externos) que originan cambios físicos, químicos y/o morfológicos que dan como producto eventos que modifican el actual relieve. Es importante recalcar que, analizar factores como la litología permite explicar el origen de los materiales que constituyen las geoformas (colinas, lomas, entre otras) y en las cuales se generan procesos como meteorización y erosión que contribuyen a la ocurrencia de eventos geodinámicos.

4.1. Procesos de geodinámica interna

Son transformaciones de la estructura interna de la Tierra en relación con los agentes magmáticos, sísmicos y tectónicos. El territorio peruano está sometido a una constante actividad sísmica, debido a la subducción de la Placa de Nazca debajo de la Placa Sudamericana, considerada como la principal fuente sismogénica en el Perú, produciendo los eventos de mayor magnitud conocidos hasta el presente. Otra fuente, la constituye la deformación de la zona continental, que ha dado origen a la formación de fallas de diversas longitudes con la consecuente ocurrencia de sismos de magnitudes menores (Cahill & Isacks, 1992; Tavera & Bufo, 2001).

4.2. Procesos de geodinámica externa

Entre estos procesos se encuentran la meteorización (física o mecánica) y la erosión (fluvial, eólica y marina). Estos procesos aprovechan la fuerza de la gravedad; es decir, las rocas descienden algunos metros debido a desplazamientos masivos de terreno o son transportados por medio de las corrientes fluviales hasta depositarse. En general, estos procesos, transportan materiales desde la parte alta de la cuenca hacia la parte baja.

Asimismo, estos procesos tienen como factores condicionantes a la geomorfología (formas de relieve), litología (tipos de rocas y/o suelos) y estructuras geológicas (pliegues y disposición de estratos) que interactúan con los factores detonantes como sísmicos (sismicidad de la zona), climatológicos (incremento de las precipitaciones) y antrópicos (urbanismo, uso del suelo y construcción de vías de comunicación).

a) Meteorización: Las rocas que afloran en la superficie terrestre están expuestas a una lenta, pero a la vez efectiva, alteración. Ésta, puede ser física (la simple rotura de un bloque al caer), como química (la oxidación de un metal como resultado de la acción de los agentes externos, el tiempo de exposición de las rocas a estos agentes, de la naturaleza de la roca y del clima).

b) Erosión: Considera el desgaste de los suelos y rocas de la superficie terrestre como resultado de la acción combinada de varios factores como la temperatura, los gases, el agua, el viento, la gravedad y la vida vegetal y animal; así como, la erosión acelerada como el resultado de la acción humana. La erosión presenta tres fases: desgaste, transporte y depósito de los materiales, esto trae como consecuencia que se formen relieves por desgaste (degradación) y por depósito (agradación).

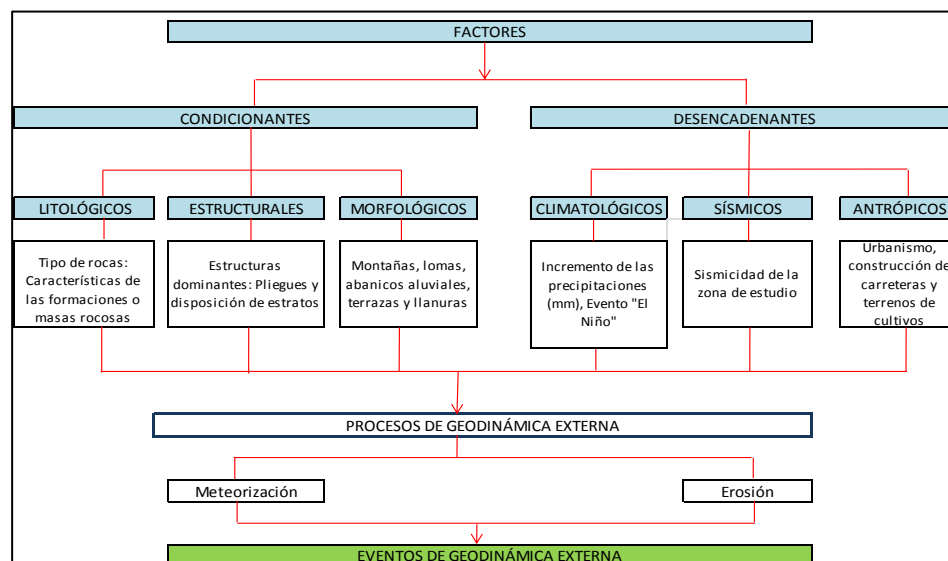


Figura 11: Factores asociados a procesos de geodinámica externa que contribuyen a la ocurrencia de eventos geodinámicos.

La acción por separado o en conjunto de los factores que dan origen a los procesos externos, favorecen a la ocurrencia de los eventos geodinámicos (Figura 11), los cuales se dividen según su origen en: fluvio-aluvial e hidro-gravitacional y cuyas características son:

c). - Fluvio-aluvial: Estos procesos de erosión (carcaveo, incisión y desgaste laminar), son originados por las precipitaciones que se presentan en la cuenca fluvial, generando la escorrentía superficial que provoca el arrastre progresivamente de los materiales a posiciones de menor energía potencial (menor pendiente). La carga de sedimentos transportados por la quebrada o río incrementen la acción erosiva y son capaces de producir la remoción de los materiales como (Brusi, 2013): Flujos de detritos e inundación. Los eventos geodinámicos originados por procesos pluviales son descritos a continuación:

Flujos de detritos (huaicos): movimiento de materiales sin cohesión (materiales sueltos) que se comportan como fluidos a causa del agua (provoca la pérdida total de resistencia de estos materiales) y se desplazan sin presentar superficies de rotura definidas. En algunos casos depositan sus materiales en forma de conos de deyección (Figura 12).

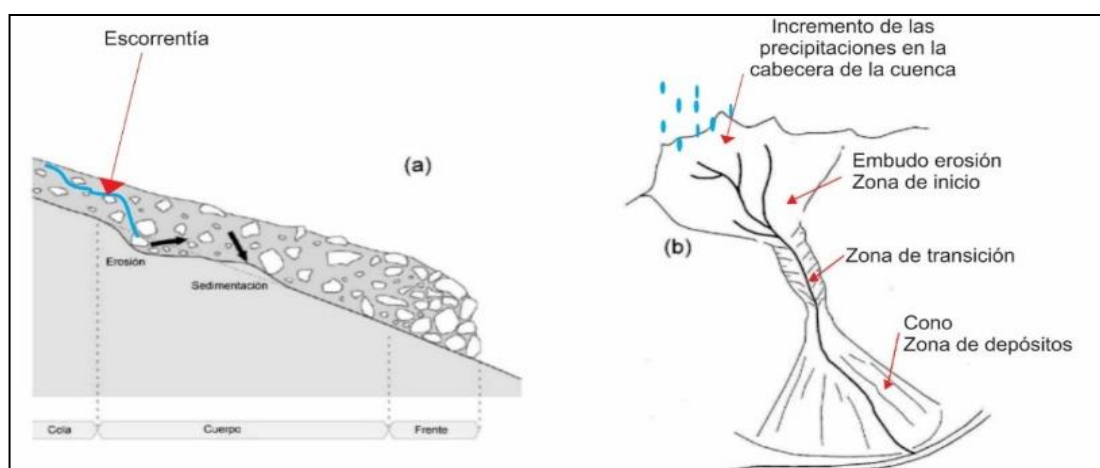


Figura 12: a) Proceso de erosión por las aguas de escorrentía y acumulación de material. b) Vista frontal de la cuenca y desarrollo del evento en cabecera de la cuenca por incremento de las precipitaciones, zona de transición (zona de almacenamiento de material y la depositación del material), modificado del GITS (Grupo de investigación de transportes de sedimentos).

Inundación: Es el resultado del comportamiento de la cuenca hidrográfica durante un período de incremento de precipitaciones. Es la ocupación ocasional de terreno por el agua de un río o una quebrada. Puede ocurrir en zonas litorales debido a tsunamis o a la superposición de oleajes y mareas; pero las más frecuentes son las inundaciones en el interior de los continentes. Son producidos por las aguas de escorrentía superficial (ríos, arroyos y torrentes); es decir, atribuida al incremento brusco del volumen de agua, denominado crecida (CENEPRED, 2013).

Cuando las lluvias superan el promedio normal de precipitación (mayor al 50%) de una zona, se le denominan “lluvias extraordinarias” o tormentas extremas. Estas al desarrollarse, generan crecidas causando inundaciones de las áreas circundantes al río. Esta anomalía es conocida como un evento hidrometeorológico (Figura 13).

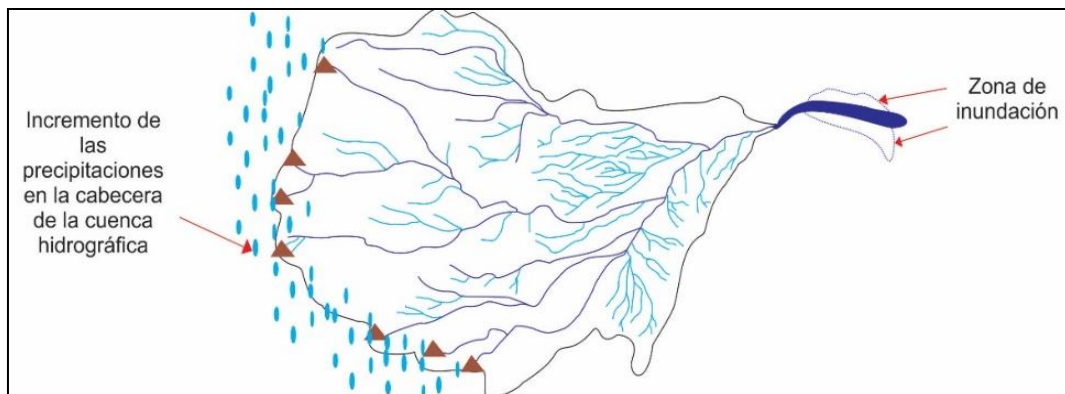


Figura 13: Inundación por incremento de las precipitaciones en la cabecera de la cuenca hidrográfica.

d) Hidro-gravitacional: En este mecanismo interviene el agua y la gravedad. Se presentan en los fondos de los valles y en las partes bajas de las vertientes. En estos se encuentran los movimientos en masa (MM) que son todos aquellos movimientos ladera abajo de una masa de rocas, detritos o tierras por efectos de la gravedad (Cruden, 1991). Para la descripción de los MM, se ha tomado en cuenta la clasificación de Varnes (1958, 1978) y Hutchinson (1968, 1988), las cuales se basan en dos elementos: el tipo de

movimiento (caída, volcamiento y deslizamiento) y el material, sean rocas y/o suelos (divididos en detritos y tierras).

Asimismo, Wyllie y Norrish (1996), indican como causas de las caídas de roca: la lluvia, la roca fracturada, el viento, la escorrentía, la infiltración, las fracturas planares, la erosión, las raíces de los árboles, fuentes de agua superficial, la descomposición del suelo, los sismos, los cortes de las vías, la explotación de materiales, el uso de explosivos, las vibraciones de la maquinaria, los vehículos y las diversas actividades antrópicas.

Caída de rocas: Es resultado del debilitamiento de la masa de roca, debido a la fragmentación y a la ausencia de soporte lateral, produciendo un deterioro en la estructura del talud por la acción de la meteorización. En este caso se forman prismas o pequeñas placas con dimensión mínima de 50 mm, que caen por gravedad (Figura 14).

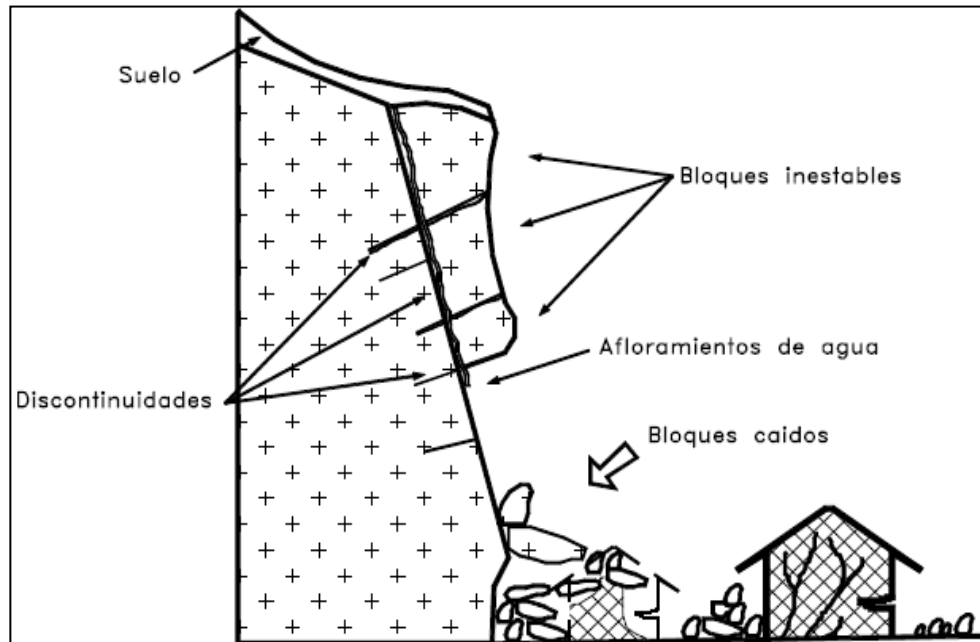


Figura 14: Proceso de caída de rocas (Suárez 1998).

Deslizamiento: Este movimiento consiste en un desplazamiento de corte a lo largo de una o varias superficies. El movimiento puede ser progresivo; es decir, que no se inicia simultáneamente a lo largo de toda

la superficie de falla (Figura 15). Estos deslizamientos se pueden clasificar en:

D. Rotacional cuando la superficie de falla es formada por una curva cuyo centro de giro se encuentra por encima del centro de gravedad del cuerpo del movimiento.

D. Traslacional cuando el movimiento de la masa se desplaza hacia fuera o hacia abajo, a lo largo de una superficie más o menos plana o ligeramente ondulado.

e) Flujo de lodos: Define a los desplazamientos de partículas y/o masas que se mueven como unidades deformadas, viscosas, sin un plano discreto de ruptura. En algunos casos se depositan en forma de conos de deyección. Se forman en el momento en que la tierra es debilitada considerablemente por el agua, generalmente en eventos con lluvias muy intensas que ocurren en épocas excepcionalmente lluviosas, alcanzando gran fuerza cuando se incrementa la intensidad de las lluvias y su duración (Suarez y Suarez, 2006).

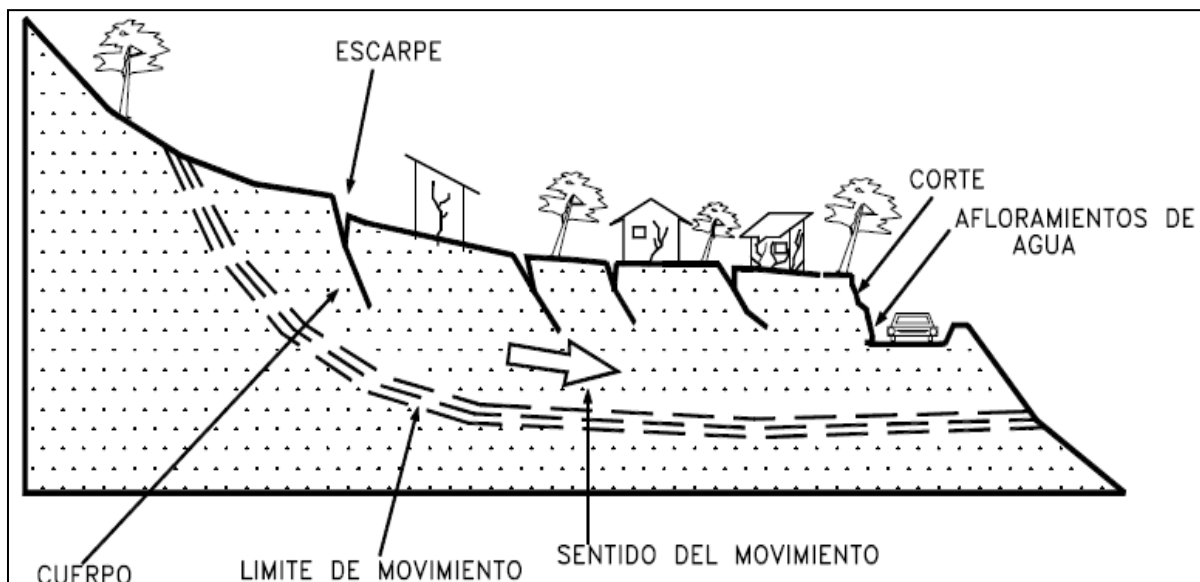


Figura 15: Deslizamiento en laderas (Suárez, 1998).

4.3. Zonas susceptibles a procesos geodinámicos

La susceptibilidad se define como la mayor o menor predisposición a que un proceso geodinámico suceda u ocurra sobre determinado espacio geográfico y tiempo (Hauser, 1985 y 1993) y depende de factores como: litología, tectonismo, agentes geológicos y actividad humana (taludes de corte). Para identificar y delimitar las zonas susceptibles se utilizó la información recopilada en campo durante el cartografiado, así como en la descripción contextual de los eventos geodinámicos ocurridos en zonas adyacentes (Figura 16).

En el área de estudio se determinó que por el desborde del río y/o quebrada en épocas de incremento de las precipitaciones podría ocasionar el fenómeno “El Niño” frecuentemente en los meses de enero a marzo. El evento extraordinario se relaciona con el “Fenómeno El Niño” de los años 1925, 1972, 1982-1983, 1997-1998 y 2017, estos afectaron la seguridad física de la ciudad de La Lomas. En la ciudad en mención se han identificado dos tipos de inundaciones como:

4.3.1.- Zonas susceptibles a inundaciones

a) Inundación fluvial

La inundación fluvial es ocasionada por el desborde, sobre la margen derecha del río Chipillico. Esto afectó infraestructuras como son el transporte y la actividad agrícola (principal fuente económica de la ciudad). Además de dejar incomunicada la ciudad con varios anexos o centros poblados. Este tipo de evento, también, ocurrió en la quebrada Salao (Figuras 17, 18, 19 y 20).

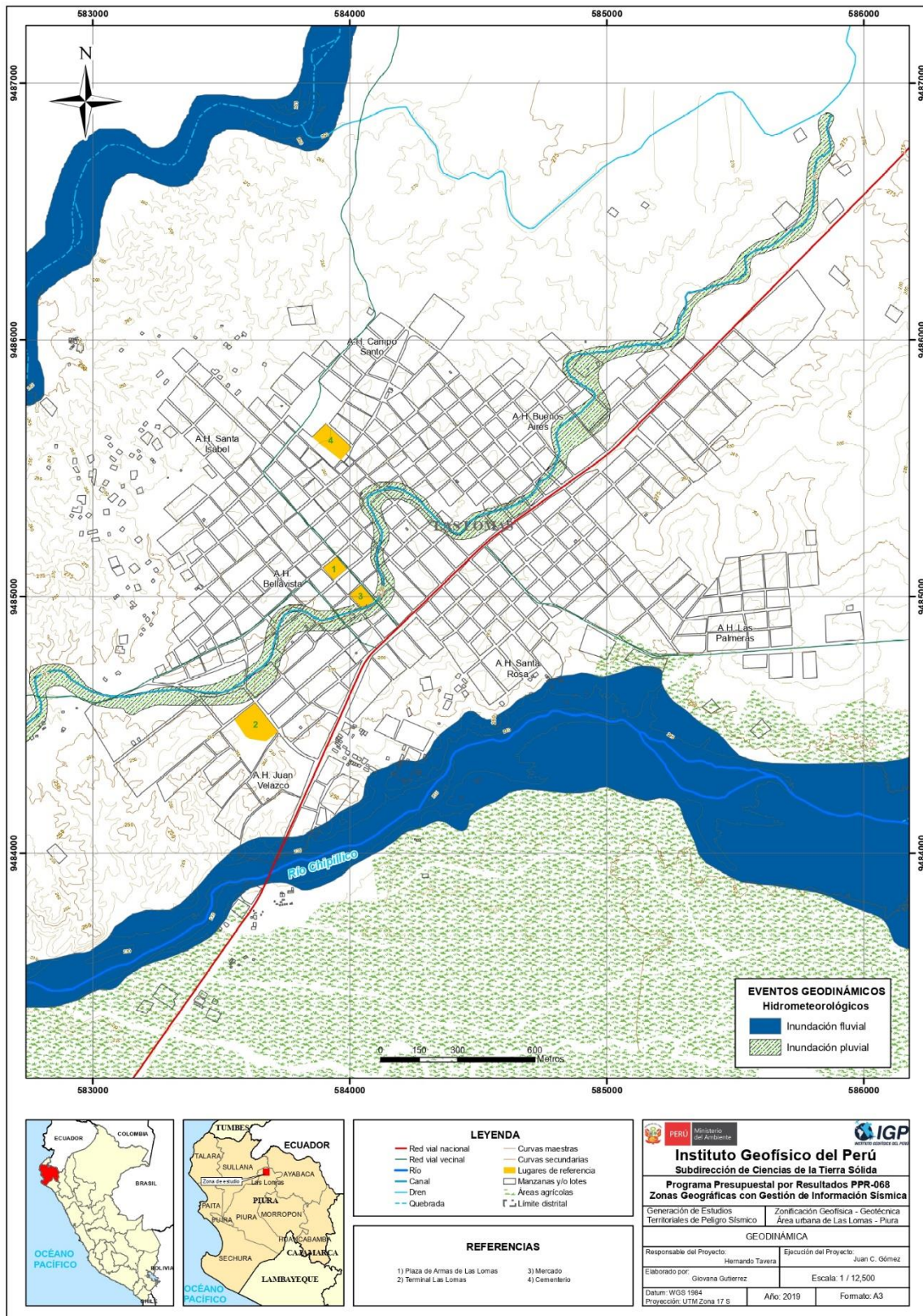


Figura 16: Mapa geodinámico de la ciudad Las Lomas y alrededores.



Figura 17: Al desbordarse el río Chipillico afecta a áreas agrícolas. La flecha amarilla indica la dirección del río.



Figura 18: Al activarse la quebrada Hawái de Pava, interrumpe el paso dejando incomunicada a Pampa Elera Alta y Potrerillo.



Figura 19: La quebrada Hawái de Pava, se activa en época de precipitaciones y cuando está inactiva almacena agua, siendo foco infeccioso en la ciudad. Está quebrada desemboca en el río Chipillico.



Figura 20: En la quebrada Salao se extrae material de cantera, alterando la topografía de la zona y dejando material en forma de “barreras” que impiden el fácil flujo del agua.

b) Inundación pluvial

La inundación pluvial, se presenta con la formación de lagunas de agua proveniente de las precipitaciones o por el desborde de los drenes; se genera en las zonas que presentan depresiones o desborde del canal de la vía que atraviesa la ciudad Las Lomas, afectando a los asentamientos humanos de Miraflores, Buenos Aires, Santa Rosa, Juan Velazco, Bellavista y el casco urbano de la ciudad (Figuras 21, 22, 23, 24, 25).



Figura 21: Canal Vía, en épocas de precipitaciones se desborda afectando a los AA.HH. de Buenos Aires, Miraflores, Santa Rosa, Juan Velazco y casco urbano de la ciudad de Las Lomas.



Figura 22: Hasta el límite del AA.HH. Bellavista con Juan Velazco esta canalizada la quebrada, posterior a este límite encuentra obstruida y angosta que y en épocas de lluvia se desborda e impide el paso de vehículos a otros anexos. La flecha amarilla indica la dirección del flujo.



Figura 23: En las intersecciones de jirón Loreto con Pasco, empieza la canalización de un Canal, el mismo que se encuentra sin mantenimiento y con agua empozada, siendo foco de infecciones y enfermedades. La flecha amarilla indica la dirección del flujo.



Figura 24: Sedimentación en el Canal Vía, esto impide el fácil flujo de las aguas hasta su desembocadura (río Chipillico). La flecha amarilla indica la dirección del flujo.



Figura 25: Inundaciones pluviales generadas por la falta de mantenimiento de cunetas.

4.4. Elementos expuestos

En el área de estudio de la ciudad Las Lomas, se identificaron elementos expuestos a nivel social susceptibles ante el impacto del peligro por ocurrencia de inundaciones. La cantidad de estos elementos son estimaciones resultantes de la relación entre el área de influencia del peligro en mención y la ocupación del sector urbano.

Se estima que aproximadamente 870 pobladores estarían expuestos a este evento geodinámico y delimitando el área de influencia de la inundación realizada 270 viviendas serian afectadas.

Haciendo uso de la superposición del área de influencia de los eventos geodinámicos, delimitados anteriormente, con el área urbana de la ciudad (en formato shapefile), se reconocieron las infraestructuras de interés social (viviendas), expuestas al evento citado, Figura 26.

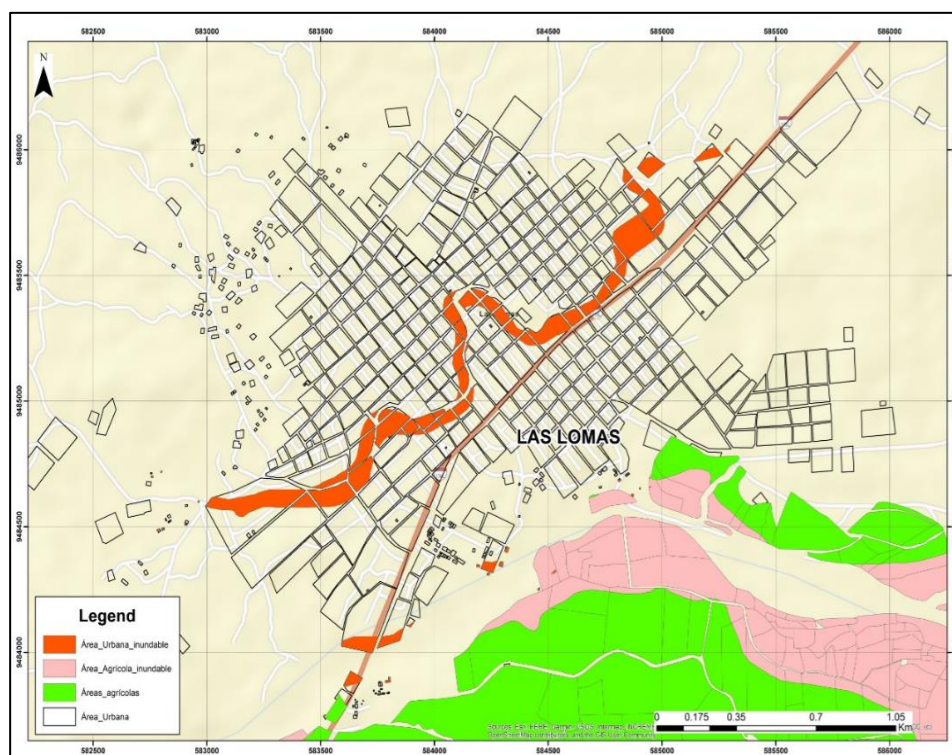


Figura 26: Delimitación de elementos expuestos ante la ocurrencia de inundaciones en la ciudad Las Lomas.

5.- ASPECTOS GEOTÉCNICOS

Los suelos son materiales inconsolidados conformados por minerales, materia orgánica, agua y aire entre sus poros, que se generan a partir de la alteración de la roca madre por agentes atmosféricos, erosionándola y formando una cobertura de variado espesor de sedimentos denominado suelo, que posteriormente han sido transportados y redepositados en las partes bajas de las cuencas hidrográficas, conformando actualmente los suelos sobre los cuales se asientan las áreas urbanas. En geotecnia para clasificar los tipos de suelos se hace uso del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) para determinar las características físico-mecánicas de los materiales (arcillas, limos, arenas, gravas y clastos) condicionadas por las propiedades litológicas de las rocas pre-existentes y la dinámica con que fueron depositados. En el diagrama de la Figura 27, se indica el origen de los diferentes tipos de suelos.



Figura 27: Diagrama del origen de los suelos.

La geotecnia es la rama de la geología aplicada a la ingeniería que se encarga del estudio de las propiedades físicas, así como, el comportamiento en condiciones estáticas de los suelos y rocas, mediante la aplicación de técnicas de exploración, entre las cuales se tienen: calicatas, perforaciones y ensayos de suelos en laboratorio; a fin de determinar las propiedades físicas de los suelos de cimentación. En la ciudad Las Lomas se realizó el estudio geotécnico que consistió en la elaboración de calicatas, ensayos de densidad de campo,

posteos y ensayos de penetración dinámica ligera (DPL) (Figura 28). Asimismo, de las calicatas se extrajeron 08 muestras que fueron enviadas al laboratorio de suelos, con el fin de realizarse los ensayos de mecánica de suelos como: granulometría, plasticidad, corte directo y el cálculo de la capacidad de carga admisible.

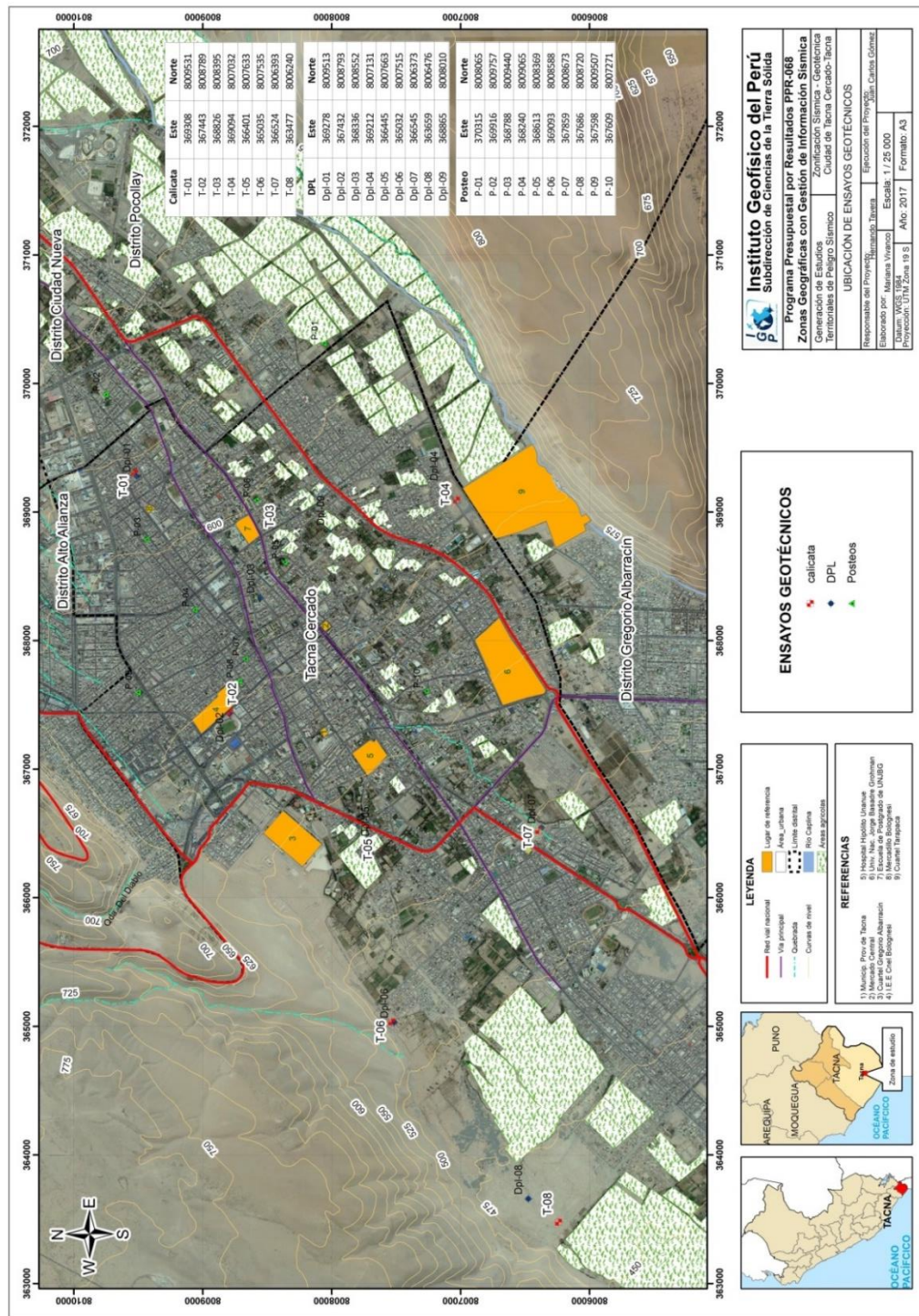


Figura 28: Mapa de ubicación de las exploraciones geotécnicas, ciudad Las Lomas.

5.1. Exploraciones a cielo abierto (calicatas, norma ASTM D420)

Es un método directo que consiste en realizar una excavación en el terreno para la observación del suelo. Estas exploraciones se realizaron hasta profundidades de 3.00 m, a fin de describir los estratos que lo conforman, así como, extraer muestras para la realización de ensayos de suelos y su análisis.

5.1.1 Descripción de calicatas

Una vez terminada la excavación de la calicata, se procede a describir el perfil estratigráfico del subsuelo, para ello se han elaborado 08 fichas de descripción de calicatas, las mismas que se adjuntan en el Anexo. La ubicación geográfica de las excavaciones se presenta en la Tabla 4.

Tabla 4: Ubicación geográfica de las calicatas elaboradas en la ciudad Las Lomas.

CALICATA	NORTE (m)	ESTE (m)	ELEVACIÓN (m.s.n.m)	PROFUNDIDAD (m)	NIVEL FREÁTICO (m)
CLL-01	584235	9486028	261	2.70	N.P
CLL-02	584706	9485649	261	2.90	N.P
CLL-03	585014	9485316	252	3.00	N.P
CLL-04	584612	9484897	260	2.80	N.P
CLL-05	584417	9485368	252	2.50	2.30
CLL-06	583293	9485796	249	2.70	N.P
CLL-07	584100	9484455	243	3.00	N.P
CLL-08	583864	9484809	222	2.90	N.P

La profundidad de investigación promedio fue de 2.80 m., debido a que se encontraron arenas limosas con nivel freático superficial, como es el caso de la calicata CLL-05, la cual fue una limitante para no continuar la excavación.

5.2. Densidad del suelo in-situ (Norma ASTM D1556)

Este método permite conocer la densidad o peso unitario de los suelos in situ con cierto grado de compactación natural. Consiste en extraer material del suelo, a fin de obtener una relación entre la masa de éste y el volumen conocido que ocupa la arena calibrada del cono de densidad. En cada estrato

muestreado, se debe realizar un ensayo de densidad de campo con el método del cono, a fin de obtener el grado de compacidad o consistencia y el contenido de humedad del suelo en condiciones naturales y en otros casos, para obtener el grado de compactación. Esta información es necesaria para desarrollar los ensayos de corte directo; sin embargo, este ensayo no es aplicable en suelos que contengan cantidad excesiva de roca o materiales gruesos de diámetro mayor a 1 ½ pulgada (38 mm).

A continuación, en la Tabla 5 se presentan los resultados de densidad natural obtenidas solo para 07 muestras, debido a la presencia de nivel freático impide que se extraiga la muestra de la calicata CLL-05. Las fichas de densidades se adjuntaron en los Anexos.

Tabla 5: Resultado de densidades in – situ

CÓDIGO DE CALICATA	MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	DENSIDAD HÚMEDA (gr/cm ³)	DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)
CLL – 01	DC-CLL - 01	2.70	1.94	1.89	2.40
CC – 02	DC-CLL - 02	2.90	1.87	1.86	0.43
CLL– 03	DC-CLL - 03	2.80	2.03	2.01	1.13
CLL – 04	DC-CLL - 04	3.00	2.21	2.21	0.38
CLL – 05	DC-CLL - 05	NO SE REALIZÓ POR PRESENCIA DE NIVEL FREÁTICO			
CLL – 06	DC-CLL - 06	2.70	2.07	2.04	1.83
CLL – 07	DC-CLL – 07	3.00	1.96	1.94	0.96
CLL – 08	DC-CLL - 08	2.90	2.04	1.99	2.20

En base a los resultados se conoce que los suelos de la ciudad Las Lomas, presentan rangos de densidad entre 1.87 – 2.21 gr/cm³; es decir, corresponden a arenas pobremente graduadas sueltas a medias densas (Anexos). El contenido de humedad es muy bajo, en condiciones naturales, es de 0.38 % hasta 2.40 %.

5.3. Exploraciones con posteadora manual (Norma ASTM D1452)

Una posteadora es un barredor manual en forma de “T” que permite

realizar sondeos exploratorios (perforaciones) en suelos blandos (arcillas y arenas) hasta profundidades del orden de 6 m. El objetivo es obtener muestras del suelo, que, aunque estén trituradas y completamente alteradas, son muy útiles para identificar y describir los suelos de manera visual. Una de las restricciones para la ejecución de este ensayo es la presencia de gravas y gravillas (la cuchara se entrapa con este tipo de suelo).

Los puntos de exploración fueron distribuidos entre las calicatas; tratando de cubrir el área de estudio o distribuirlas en los lugares donde no existía información geotécnica para obtener una mejor zonificación de los suelos de la ciudad Las Lomas. En la Tabla 6, se muestra la ubicación geográfica de los puntos de posteos y en los anexos sus fichas de análisis.

Tabla 6: Ubicación de los puntos en Coordenadas UTM-WGS84

POSTEO	UTM ESTE (m)	UTM NORTE (m)	ELEVACIÓN (m.s.n.m)	PROFUNDIDAD (m)	TIPO DE SUELOS (SUCS)	NIVEL FREÁTICO (m)
Post - 01	583831	9485706	253	2.50	SM	N.P
Post - 02	584203	9485523	253	2.70	SM	N.P
Post - 03	584768	9485188	255	1.50	SM	N.P
Post - 04	583648	9485510	250	0.50	SM	N.P
Post - 05	583383	9485222	255	1.20	SM	N.P
Post - 06	584260	9484691	241	1.30	SM	N.P
Post - 07	583558	9484728	245	2.10	SM	N.P
Post - 08	583784	9484345	243	0.80	SM	N.P
Post - 09	585193	9485570	257	1.80	SM	N.P

La profundidad alcanzada en los posteos Post-04 y Post-08, fue de 0.50 y 0.80 metros; debido a la presencia de rocas intrusivas a mayor profundidad.

5.4.- Ensayos de penetración dinámica ligera (norma DIN 4094)

El DPL, es un equipo de campo de registro continuo, dónde se contabiliza el número de golpes dados por un martillo de 10 Kg (N), en la parte superior del tambor de acero. Se pretende profundizar tramos mediante una punta

cónica de 60° que se encuentra en el extremo inferior. Este tipo de ensayo es aplicable en terrenos arenosos, areno-arcillosos y limos arenosos; y no recomendable a utilizarse en gravas, fragmentos gruesos, conglomerados y terrenos rocosos.

Este ensayo permite estimar el ángulo de fricción de suelos específicos, y los valores obtenidos ayudarán a calcular, mediante fórmulas empíricas, la capacidad portante (resistencia al corte) de los suelos en Kg/cm²; además de, las propiedades de compacidad de los suelos. Los ensayos de DPL fueron realizados en las inmediaciones de una o dos calicatas, a fin de conocer la resistencia al corte de los distintos estratos, sobretodo donde los suelos son conocidos.

En la Tabla 7, se indica la ubicación geográfica de los ensayos DPL realizados en las inmediaciones de la ciudad Las Lomas, la profundidad total alcanzada y los datos obtenidos del ensayo (número de golpes y ángulo de fricción) para profundidades comprendidas entre 0.35 y 1.95 m, debido a que en este nivel se calculará los parámetros geotécnicos (ángulo de fricción y cohesión) para el cálculo de la capacidad portante. Las fichas de los ensayos se adjuntan en los Anexos (10 DPL).

Tabla 7: Ubicación geográfica de los ensayos DPL y el parámetro de ángulo de fricción obtenido (ϕ : Ángulo de fricción interna).

DPL	ESTE (m)	NORTE (m)	ELEVACIÓN (m)	PROFUNDIDAD (m)	NÚMERO DE GOLPES ALCANZADOS	ALCANZADO
DPL-01	583856	9485666	253	0.35	45	39.70
DPL-02	584213	9485533	253	0.46	50	41.00
DPL-03	584758	9485181	250	0.46	45	39.70
DPL-04	583644	9485529	250	0.68	45	39.70
DPL-05	583378	9485219	255	0.56	48	40.50
DPL-06	584245	9484673	241	1.28	50	41.00
DPL-07	583515	9844715	245	0.77	50	41.00
DPL-08	583819	9484361	243	0.35	45	39.70
DPL-09	585184	9485588	255	0.45	45	39.70
DPL-10	584411	9485370	248	1.95	45	39.70

En los ensayos DPL se ha logrado alcanzar una profundidad máxima de 1.95 m (DPL-10), mientras que en los ensayos DPL-01 al DPL-05 y DPL-07 al DPL-09 las profundidades son menores a 0.77 metros, debido a la presencia de arenas gruesas semicompactas de origen ígneo, indicando que a mayor profundidad hay rocas meteorizadas de origen ígneo. Asimismo, la profundidad alcanzada a través de la elaboración de estos ensayos permitió inferir que los suelos en la ciudad Las Lomas y anexos presentan consistencia media a compacta.

5.5.- Ensayo de corte directo (Norma ASTM D - 3080)

La finalidad de este ensayo, es determinar la resistencia al esfuerzo de corte de una muestra de suelo sometida a deformaciones (esfuerzos verticales y horizontales), se trata de disimular las deformaciones del terreno producto de la aplicación de una carga.

La resistencia del suelo al corte se debe a dos componentes: la cohesión (comportamiento plástico que presentan las partículas finas de una muestra) 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 y en ambos extremos, se aplica una carga vertical de confinamiento (P_v), luego una carga horizontal (P_h) creciente que origina el desplazamiento de la mitad móvil de la caja originando el corte de la muestra.

5.6.- Capacidad de carga portante

Se define como el esfuerzo máximo que puede ser aplicado a la masa de suelo de tal forma que se cumplan los requerimientos básicos. Se encuentra establecido por la relación entre la carga última y un factor de

seguridad cuyo valor es de 3, esto de acuerdo a la norma técnica peruana para el diseño de cimentaciones E.050.

$$(q_{ad} = \frac{q_u}{F_s})$$

5.6.1.- Carga última (q_u)

Es la máxima presión ejercida por el área de una cimentación soportada por el suelo hasta producir una falla por corte (Sin factor de seguridad, Norma E.050). Para determinar la carga última se usaron los resultados de los ensayos de corte directo y en base al N_{SPT} (ángulo de fricción y la cohesión), mediante las fórmulas por corte general y local de Terzaghi (1943), según sea el suelo a ensayar, y utilizando las siguientes expresiones:

Fórmula para falla por corte general:

$$q_u = c \cdot N_c + q \cdot N_q + \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma$$

Fórmula para falla por corte local:

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

C : cohesión

q : carga ($\gamma \cdot D_f$)

N_c, N_q, N_γ : Factores de carga.

En base a los resultados de la carga última (q_u), se calculó la capacidad portante de los suelos para una profundidad de cimentación de 1.00 m y ancho de zapata de 1.00 m. Los resultados de capacidad de carga portante de los suelos analizados se presentan en las Tablas 8 y 9 (Figura 29).

Tabla 8: Capacidad de carga portante (criterio falla local) para 08 muestras de suelo extraídas en la ciudad Las Lomas.

MUESTRA	Capacidad de carga última (Kg/cm ²)	Capacidad portante (Kg/cm ²)	Falla de corte
CLL - 01	4.65	1.55	Falla Local
CLL - 02	7.03	2.34	Falla Local
CLL - 03	5.28	1.76	Falla Local
CLL - 04	2.41	0.80	Falla Local
CLL - 05	3.74	1.25	Falla Local
CLL - 06	5.44	1.81	Falla Local
CLL - 07	3.84	1.28	Falla Local
CLL - 08	16.31	5.44	Falla Local
DIMENSIONES DE CIMENTACIÓN	Profundidad: 1.00 m y ancho: 1.00 m		

Tabla 9: Capacidad de carga portante en base al ángulo de fricción corregido del N del DPL vs SPT y cohesión obtenida del ensayo de corte directo.

ENSAYO	Capacidad de carga última (kg/cm ²)	Capacidad portante (Kg/cm ²)	Falla de corte
DPL-06	3.74	1.25	Falla Local
DPL-10	6.99	2.33	Falla Local
DIMENSIONES DE CIMENTACIÓN	Profundidad: 1.00 m y ancho: 1.00 m		

De los resultados citados anteriormente, se ha determinado que la zona urbana de la ciudad Las Lomas, en su mayoría, ha sido construida con cimentaciones de 1.00 m de profundidad.



5.6.2.- Tipos de capacidad de carga portante

En la ciudad Las Lomas se han identificado los siguientes tipos de capacidad de carga admisible:

A) Capacidad de carga portante muy baja

Comprende rangos de capacidad de carga portante menor a 1.00 kg/cm^2 y corresponde a suelos granulares con contenido de finos de compacidad muy suelta. Estos suelos abarcan el 4 % del área de estudio y se delimitó en los suelos del AA.HH. Santa Rosa.

B) Capacidad de carga portante baja

Comprende rangos de capacidad de carga portante menor a $1.00\text{-}2.00 \text{ kg/cm}^2$ y corresponde a suelos granulares con un mínimo porcentaje de finos de compacidad suelta a media. Estos suelos abarcan el 85 % del área de estudio, sobre este tipo de suelos se asientan los sectores Camposanto, La Torta, ampliación Santa Isabel y el casco urbano de Las Lomas, así como, los AA.HH. Nueva Esperanza, Santa Isabel, Juan Velazco, Samuel More Ludeña, Miraflores y Suipirá.

C) Capacidad de carga portante media

Comprende rangos de capacidad de carga portante entre $2.00\text{-}3.00 \text{ kg/cm}^2$ y corresponde a suelos granulares con un mínimo porcentaje de finos de compacidad media. Estos suelos abarcan el 7% del área de estudio y se ubican en los suelos del AA.HH. Junta Vecinal Buenos Aires.

D) Capacidad de carga portante alta

Comprende rangos de capacidad de carga admisible mayores a

3.00 kg/cm² y corresponde a suelos granulares con un mínimo porcentaje de finos de compacidad alta. Estos suelos abarcan el 4% del área de estudio y se ubican en los de suelos del AA.HH. Bellavista.

5.7.- Clasificación de suelos, SUCS

En base a la información geotécnica recopilada de las calicatas y posteos, realizados en la ciudad Las Lomas, así como los resultados obtenidos de los ensayos granulométricos y de plasticidad, se ha identificado 03 tipos de suelos que fueron agrupados haciendo uso del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) (Tabla 10 y Figura 30).

Suelo tipo SM

Están conformados por arenas limosas mal graduadas con contenido de humedad de 0.38 % a 6.91 %, se considera que presenta capacidad de retención (permeabilidad) baja. Constituyen suelos con grado de compactación suelta a media y presentan un ángulo de fricción de 20. 85°- 30. 34°, densidad natural de 1.87-2.21 gr/cm² y no presentan plasticidad. Abarcan el 92 % de la zona de estudio y de identificaron en los asentamientos humanos de: Nueva Esperanza, Santa Isabel, Juan Velazco, Samuel More Ludeña, Miraflores, Junta Vecinal Buenos Aires, Suipirá, así como, Ampliación Santa Isabel, Sector Campo Santo, Sector La Torta y casco urbano de Las Lomas.

Suelos tipo CL-ML

Están conformados por arcillas y limos inorgánicas de baja plasticidad con contenido de arenas finas mal graduadas, el contenido de humedad es de 17.45% y se considera que su capacidad de retención (permeabilidad) es moderada, son suelos con grado de consistencia media con un ángulo de fricción de 20.85° y densidad natural de 1.65 gr/cm². Estos suelos representan el 4 % en el área de estudio y se identificó en el AA.HH Santa Rosa.

Tabla 10: Clasificación SUCS para los úsuelos identificados en la ciudad Las Lomas.

CALICATA	PROFUNDIDAD (m)	NIVEL FREÁTICO (m)	GRAVAS % (>4.76 mm)	ARENAS % (>0.074- <4.76 mm)	FINOS % (<0.074 mm)	LÍMITE LÍQUIDO (%)	LÍMITE PLÁSTICO (%)	ÍNDICE PLÁSTICO	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	CLASIFICACIÓN SUCS	DENOMINACIÓN
CLL - 01	2.70	N.P	0.20	83.40	16.35	15.60	12.70	2.90	4.15	SM	Arena Limosa
CLL - 02	2.80	N.P	0.00	78.94	21.06	24.72	---	NP	6.91	SM	Arena Limosa
CLL - 03	3.00	N.P	0.30	86.20	13.51	37.60	28.10	9.50	0.38	SM	Arena Limosa
CLL - 04	2.30	N.P	0.00	37.98	62.02	25.34	18.41	6.93	17.45	CL - ML	Arcilla y Limos inorgánico
CLL - 05	2.80	2.30	0.30	78.50	21.24	15.90	12.90	3.00	1.13	SM	Arena Limosa
CLL - 06	2.70	N.P	1.50	77.20	21.30	35.40	31.40	4.00	1.83	SM	Arena Limosa
CLL - 07	3.00	N.P	0.20	86.80	12.99	41.70	35.60	6.10	0.96	SM	Arena Limosa
CLL - 08	2.90	NP	0.00	89.43	10.57	22.07	---	NP	3.78	SP - SM	Arena mal graduada con limo

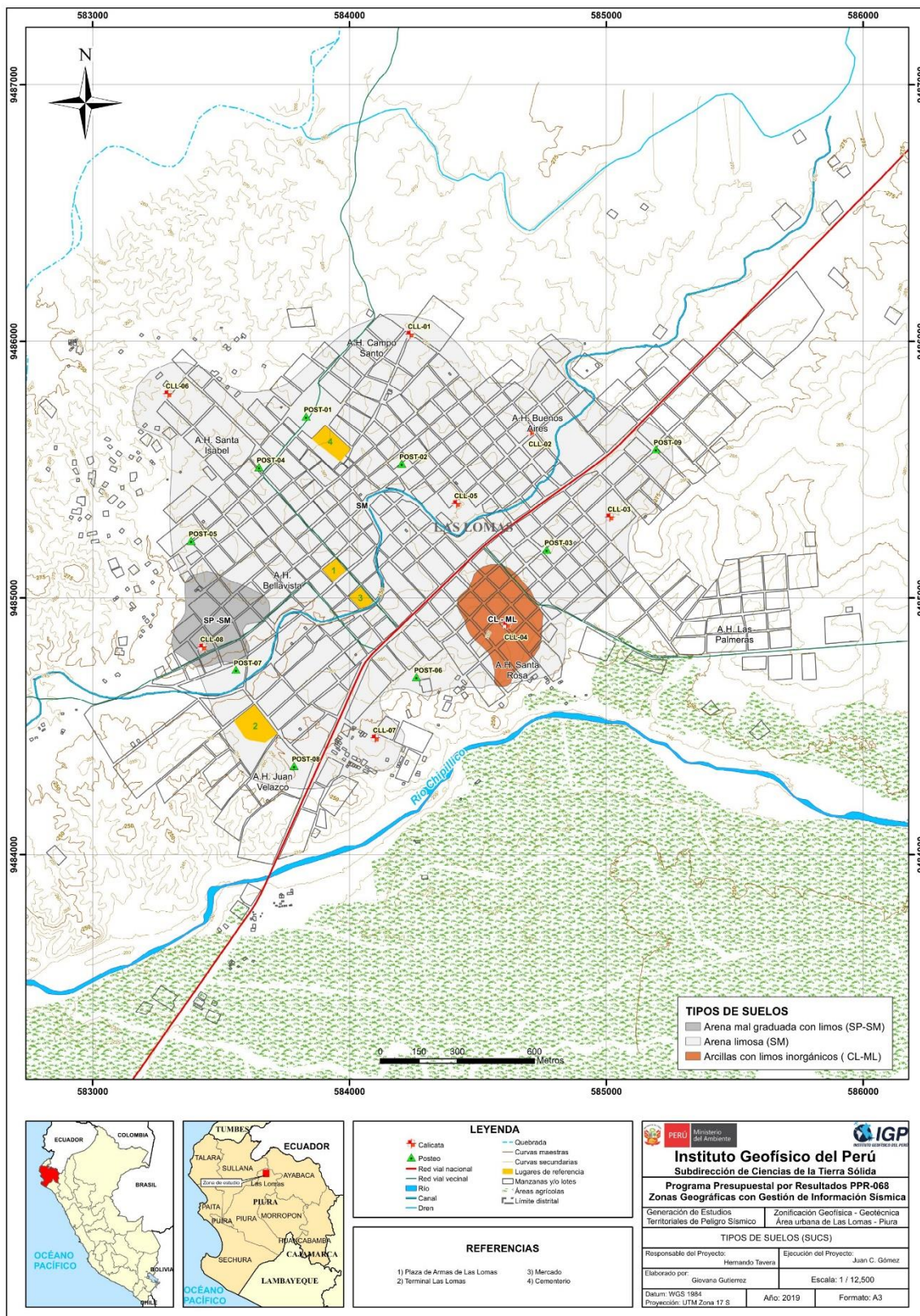


Figura 30: Mapa que muestra la clasificación SUCS de suelos para la ciudad Las Lomas.

Suelos tipo SP-SM

Están conformados por arenas mal graduadas con presencia de limos, su contenido de humedad es de 3.78 %. Estos suelos contienen una compacidad suelta a media y presentan un ángulo de fricción de 35.08° con densidad natural de 1.99 gr/cm^3 . Abarcan el 4 % de la zona de estudio y se identificaron en el AA.HH. Bellavista.

CONCLUSIONES

- El subsuelo de la ciudad Las Lomas está compuesto por dioritas, granodioritas y monzogranito. Suprayaciendo a las rocas ígneas se encuentran los depósitos del Cuaternario (materiales aluviales y fluviales). El casco urbano de Las Lomas se asienta sobre rocas ígneas.
- Se ha identificado dos eventos geodinámicos: (1) inundaciones fluviales que se producen en la margen derecha del río Chipillico, afectando áreas agrícolas y algunas viviendas del sector Juan Velazco y La Torta; y (2) inundaciones pluviales debido a las depresiones existentes y falta de mantenimiento de los drenes, afectando los sectores de: La Cruz, AA.HH. Bellavista, Casco Urbano de Las Lomas, AA.HH. Junta Vecinal Buenos Aires, AA.HH. Miraflores y Suipirá.
- Se identificaron tres tipos de suelos en la ciudad Las Lomas: Arenas limosas (SM) con capacidad portante baja ($1.0 - 2.0 \text{ kg/cm}^2$) y abarcan el 92 % del área de estudio. El segundo tipo de suelos está presente en el AA.HH Santa Rosa abarcando el 4 % de la zona de estudio y capacidad portante muy baja ($<1 \text{ kg/cm}^2$), conformado por arcillas y limos inorgánicos de baja plasticidad (CL - ML). Por último, se identifica la presencia de arenas mal graduadas con limos (SP - SM) que presentan capacidad portante alta ($>3.0 \text{ kg/cm}^2$) y abarcan el 4 % de la zona de estudio emplazándose en el AA.HH. Bellavista.

CARACTERIZACIÓN SÍSMICA Y GEOFÍSICA DE LA CIUDAD LAS LOMAS

CONTENIDO

1. METODOLOGÍA

- 1.1. Razones espectrales (H/V)
- 1.2. Análisis multicanal de ondas superficiales (MASW)
- 1.3. Tomografía de resistividad eléctrica (ERT)

2. ADQUISICIÓN DE DATOS

- 2.1. Registro de vibración ambiental H/V
- 2.2. Registro de arreglos lineales MASW
- 2.3. Registro de la resistividad del suelo ERT

3. ANALISIS E INTERPRETACION

- 3.1. Frecuencias Predominantes
- 3.2. Perfiles de Velocidad de ondas de corte Vs
- 3.3. Perfiles de Tomografía Eléctrica
- 3.4. Periodos Dominantes

4. ZONIFICACIÓN SÍSMICA Y GEOTÉCNICA

- 4.1. Integración de resultados
- 4.2. Zonificación Sísmica

CONCLUSIONES

1.- METODOLOGÍA

El estudio de Zonificación Sísmica - Geotécnica para la ciudad Las Lomas, se ha realizado con datos recolectados en campo y con la aplicación de los métodos geofísicos, sísmicos y geotécnicos.

1.1.- Razones Espectrales (H/V)

El método de razones espectrales (H/V) descrito por Nakamura (1989), permite caracterizar la respuesta dinámica del sitio y estimar la amplificación sísmica. Para la aplicación de esta técnica se obtiene registros de vibración ambiental y se procede a construir las razones espectrales H/V que consiste en obtener el cociente de los espectros de Fourier de las componentes horizontales entre la vertical (Nakamura, 1989), a fin de identificar las frecuencias predominantes y amplificaciones máximas relativas que caracterizan al tipo de suelo presente en el área de estudio. Estas características son definidas por las condiciones geológicas y geomorfológicas de las primeras decenas de metros por debajo de la superficie. Debe entenderse que la variación de las propiedades físicas de cada capa estratigráfica superficial de diferente espesor, geometría y composición litológica, causaran o no, la amplificación de las ondas sísmicas incidentes, propiedad que es utilizada para conocer las características físicas y dinámicas del suelo.

- **Procesamiento:** Para aplicar la técnica de cocientes espectrales H/V, se consideran los siguientes pasos:

- ✓ Los registros de vibración ambiental fueron tratados por ventanas de 20 segundos de señal no perturbada por el ruido de fondo. Para tal efecto, se selecciona, de forma aleatoria, diversos tramos de señal evitando la presencia de ruidos transitorios.

- ✓ Se calcula la Transformada Rápida de Fourier para un número mayor a 10 ventanas de observación para cada punto.
- ✓ Los espectros horizontales de la señal se dividieron entre el espectro vertical para obtener la relación H/V y luego, se promediaron estos para cada punto de observación siempre considerando su respectiva desviación estándar.
- ✓ Se procedió a identificar la frecuencia predominante considerando, un rango de interés que fluctúa entre 0.5 a 20 Hz y picos/rangos con amplificaciones relativas de al menos 2 veces (se considera la amplitud de "1" como punto de referencia).

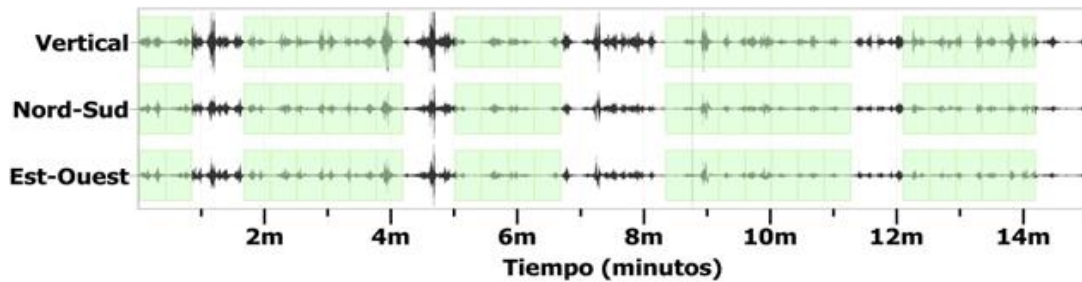
- **Interpretación:** Para la interpretación de los resultados se dispone de mapas geológicos, geomorfológicos, capacidad portante y clasificación de suelos (SUCS). Asimismo, en el análisis de la información se debe considerar: 1) Las frecuencias predominantes menores a 1 Hz corresponden a vibraciones 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, 2006; Bernal, 2006).

En la Figura 1, se muestra un ejemplo del procedimiento seguido para el total de los datos obtenidos 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 y las bandas grises identifican las frecuencias principales. Finalmente, para la presentación de los resultados, las frecuencias son expresadas en periodos dominantes.

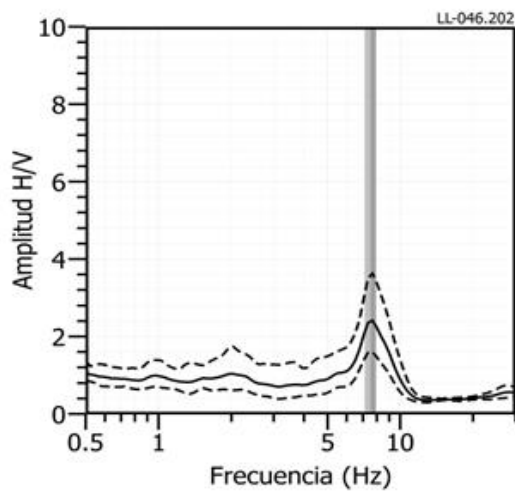
Zonificación Sísmica - Geotécnica
ÁREA URBANA DE LAS LOMAS
Frecuencias predominantes del Suelo

LL-46

Señal registrada y ventanas seleccionadas para el procesamiento



Curva H/V



Recolección de Datos



Interpretación de resultados

Dudoso	Pico(s) H/V (Hz)	f0	f1	f2
Ningún pico	☒	7.54	—	—
Observaciones				
Var. azimuthal	Homogénea	Amplitud max. Entre y°		

Figura 1: Ejemplo de la ficha H/V para el punto LL-046 en la cual se recopila los datos registrados y analizados. Arriba, señal registrada; Medio; razón espectral (H/V) en línea gruesa y su desviación estándar en línea discontinua y Abajo; resultados.

1.2.- Análisis Multicanal de ondas Superficiales (MASW)

El arreglo lineal 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, tal como muestra la Figura 2.



Figura 2: Generación de ondas Rayleigh con fuente artificial y su respectiva curva de dispersión.

La profundidad máxima de investigación (Z_{max}) depende de la longitud de la línea sísmica (D). Usualmente D es más grande que Z_{max} (Park, 2015), es decir: $D = nZ_{max}$, donde $(1 \leq n \leq 3)$. Para fines geotécnicos, la profundidad máxima de investigación suele estar en el rango de 10-30 m, pero puede variar según el tipo de suelo, la longitud de arreglo sísmico y el tipo de fuente activa utilizada (Park, 2007).

- **Procesamiento:** Consiste en aplicar la transformada rápida de Fourier (FFT) en los registros sísmicos obtenidos para cada punto de disparo (Reynolds, 2011), proceso que permite la transformación de los datos y como resultado obtener una imagen de dispersión que relaciona la velocidad de fase de las ondas superficiales con la frecuencia. Una vez obtenidas las curvas de

dispersión, ellas son sometidas de forma individual a un proceso de inversión a fin de obtener los perfiles Vs en una dimensión (1D), y para ello se consideran como parámetros de entrada, la profundidad (30 m) y el número de capas (15 capas). Finalmente, los perfiles Vs son promediados para obtener un perfil unidimensional para cada línea sísmica. Los resultados, al ser analizados, proporcionan información útil sobre las características geotécnicas del subsuelo (Park, 2014; Roma, 2010; Socco et al., 2008).

En la Figura 3, se muestra un ejemplo de los resultados que se obtiene a partir de la técnica de MASW. La imagen de la izquierda muestra la curva de dispersión obtenida y en la derecha, el perfil de velocidad Vs (línea verde) que considera el promedio final de los perfiles obtenidos post inversión. Los círculos de color verde representan la inversión de la curva de dispersión en el dominio de frecuencia y profundidad. Esta curva permite verificar el nivel de confiabilidad o la profundidad mínima y máxima de investigación (área sombreada). En este caso, el perfil presenta una capa sísmica y un semiespacio, donde, el nivel de confiabilidad es de 2 a 30 metros de profundidad.

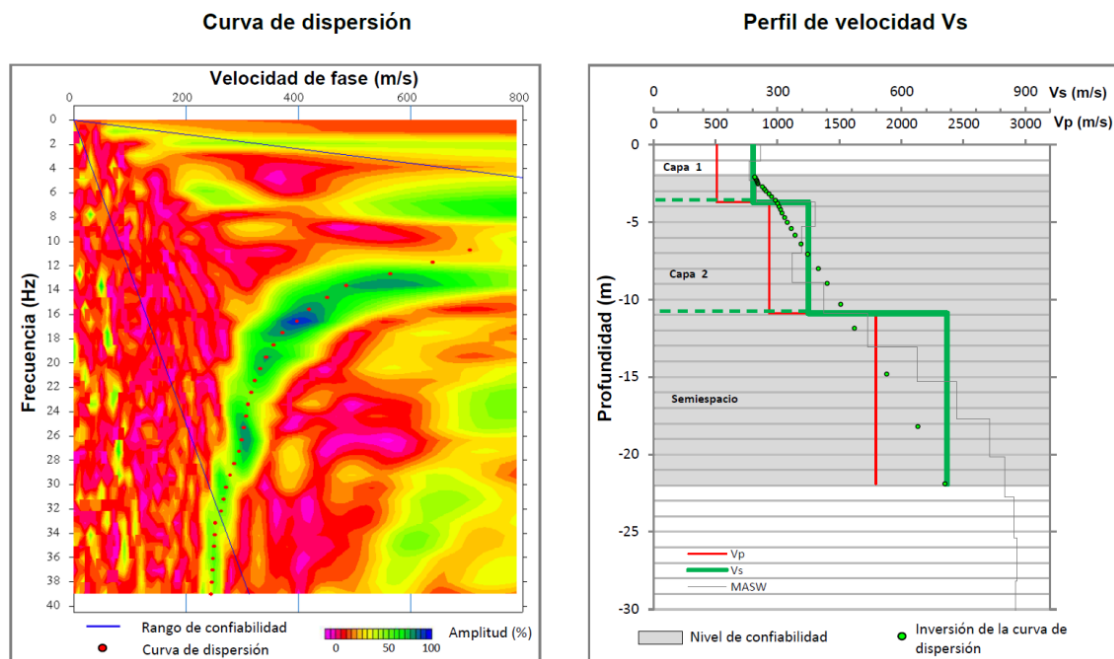


Figura 3: a) Curva de dispersión y b) perfil de velocidad obtenido a partir de la técnica de MASW.

- **Interpretación:** Para el análisis e interpretación de los resultados obtenidos se considera la clasificación de suelos según la Norma E.030. En este caso, el rango de velocidad de los perfiles de suelo S1 y S2 se subdividen a fin de considerar dos clasificaciones adicionales. Asimismo, para mayor comprensión, se considera una escala de colores, ver Tabla 1.

Tabla 1: Clasificación de perfiles de suelo, a partir de la norma E.030.

Clasificación de los perfiles de Suelo				
Nº	Vs		Norma E.030	Descripción
1	< 180 m/s	S3	Suelo blando	Suelo blando
2	180 m/s a 350 m/s	S2	Suelo medianamente rígido	Suelo moderadamente rígido
3	350 m/s a 500 m/s			Suelo rígido
4	500 m/s a 800 m/s	S1	Roca o suelo muy rígido	Suelo muy rígido o roca blanda
5	800 m/s a 1500 m/s			Roca moderadamente dura
6	> 1500 m/s	SC	Roca dura	Roca dura

Finalmente, se realiza la correlación de las capas sísmicas obtenidas con la geología y geotecnia de la zona de estudio, así como el contenido de humedad o nivel freático; ya que ambos parámetros influyen en la variación de la velocidad de ondas Vs.

1.3.- Tomografía de Resistividad Eléctrica (ERT)

La tomografía eléctrica permite obtener información sobre las propiedades físicas del subsuelo mediante la evaluación del parámetro de resistividad al paso de la corriente eléctrica. Esta propiedad permite conocer la distribución de los valores de la resistividad del subsuelo, define o delimita los diferentes estratos con mayor o menor contenido de agua, sales disueltas presentes en las fracturas de las rocas y en la porosidad del suelo.

La tomografía eléctrica es un método convencional que se basan en introducir en el terreno, un campo eléctrico de corriente continua mediante dos electrodos de corriente (A y B) conectados a un miliamperímetro; mientras que, con los otros dos electrodos (M y N), que están conectados a un milivoltímetro, se medirá la diferencia de potencial eléctrico ΔV entre esos dos puntos.

Para la obtención de valores de resistividad aparente, se han realizado líneas de tomografía eléctrica con el dispositivo polo-dipolo. La profundidad de investigación depende de la separación entre electrodos, por ejemplo, para una separación de electrodos de 1 metro, se tendría una profundidad máxima de 9 metros en el centro del perfil. Si se aumenta la distancia entre los electrodos, aumenta la profundidad de alcance, pero disminuye la resolución y en consecuencia aumenta el error.

- **Procesamiento:** Para el análisis de los datos obtenidos en campo, se ha procedido con su calificación en función de la diferencia del potencial con relación al valor de Intensidad de corriente en cada punto de lectura y en conjunto. Este procedimiento permite eliminar la posible influencia de corrientes externas que afecten los valores de resistividad aparente. El procesamiento de los datos (I : intensidad de corriente, V_p : diferencia de potencia y K : constante geométrica del dispositivo), permite conocer los valores de resistividad y su distribución en el subsuelo incluyendo la corrección por topografía.

Finalmente, los resultados son presentados en secciones de resistividad 2D (Resistividad) que relacionan distancia - profundidad con la distribución de la resistividad real del subsuelo y secciones de interpretación, donde se detallan las posibles estructuras que conforman el subsuelo, las zonas saturadas, los cambios de litología que pudiera existir y otras estructuras que sean de utilidad para el estudio.

- **Interpretación:** La interpretación de la información obtenida considera todos los factores posibles que puedan influir en los resultados; es decir, grado de saturación del terreno, porosidad y la forma del poro, la salinidad del fluido, el tipo y composición de la roca, la temperatura, los procesos geológicos que afectan a los materiales y la presencia de materiales arcillosos con alta capacidad de intercambio catiónico. Considerando la existencia de una estrecha relación entre la resistividad eléctrica y el grado de

saturación del terreno, es posible definir la ubicación de las áreas de filtración y las zonas saturadas en el subsuelo. De existir incrementos de fluidos en el terreno, estos se verán reflejados por una disminución en valores de resistividad.

2.- ADQUISICIÓN DE DATOS

En este estudio, se ha realizado la aplicación de métodos sísmicos y geofísicos para lo cual, se han utilizado diferentes tipos de registros y arreglos para la recolección de datos de campo. Para aplicar la técnica de razones espectrales (H/V) se utiliza registros de vibración ambiental, para la técnica MASW se realizan arreglos sísmicos lineales, e igual para los métodos eléctricos (ERT) que permiten conocer los valores de resistividad del suelo.

2.1.- Registro de vibración ambiental H/V

Los registros de vibración ambiental son obtenidos con equipos sísmicos compuestos por un registrador tipo CityShark y sensores de tres componentes tipo Lennartz.

Para la aplicación de esta técnica se procedió, sobre el mapa catastral de la ciudad Las Lomas, a definir la distribución y el número de puntos para el registro de vibraciones ambientales teniendo en cuenta la información geológica y geomorfológica de la zona de estudio. Para cada uno de los puntos de registro de vibración ambiental, se considera una duración de 15 minutos, lo cual permite disponer de buena cantidad de datos para su posterior análisis. En la ciudad Las Lomas, se recolecto 141 registros de vibración ambiental de manera homogénea en toda el área de estudio (Figura 4).

En la Figura 5, se muestra la disposición del equipo sísmico al momento del registro de información, además de ejemplos de señales de vibración ambiental. La señal registrada en el punto LL-075 presenta niveles de ruido transitorio; mientras que, la señal en LL-003, presenta diversidad de ruido de fondo constante, al momento de su análisis, pueden ser filtrados, para no afectar a la información a utilizarse en este estudio.

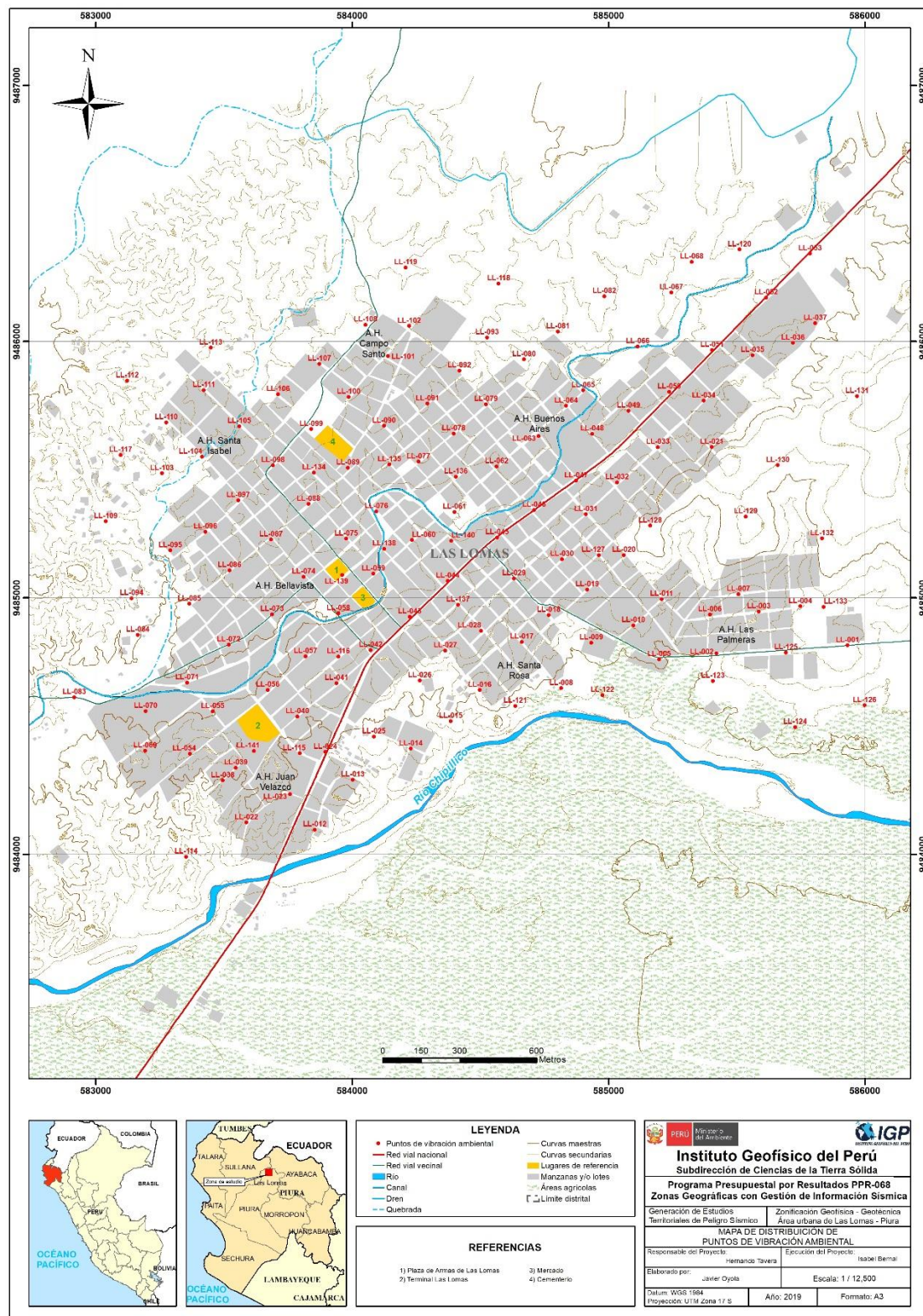
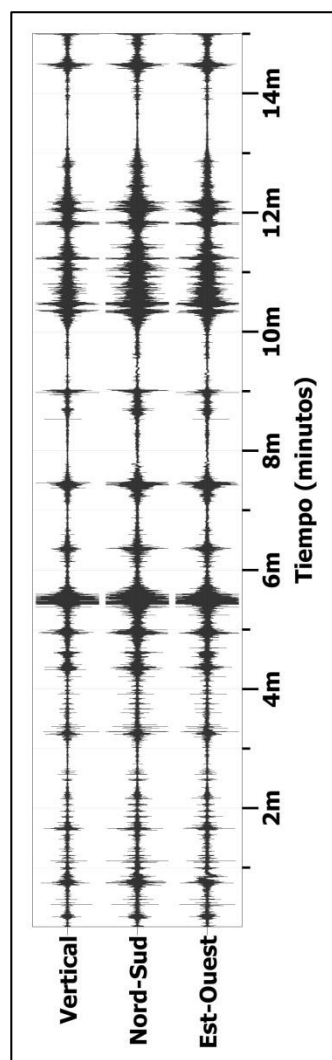


Figura 4: Mapa catastral de la ciudad Las Lomas y distribución de puntos donde se tomaron registros de vibración ambiental.

LL - 075



LL - 03

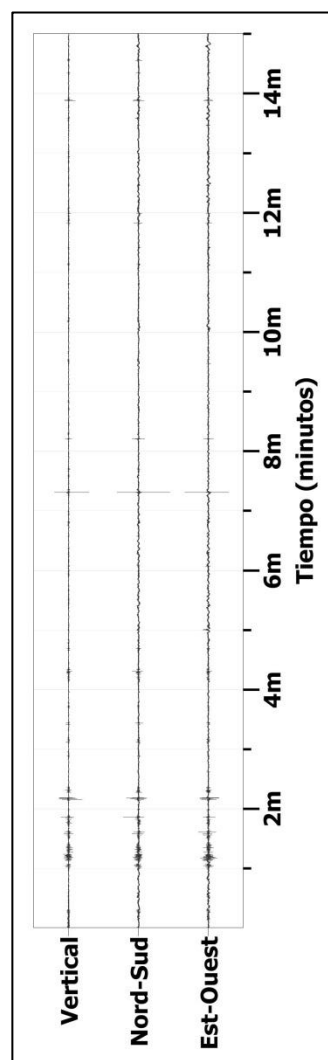


Figura 5: Ejemplos de la disposición del equipo sísmico para el registro de vibraciones ambientales. Ejemplos de registros de vibración ambiental obtenidos sobre una zona con ruido transitorio (LL-075) y otro con ruido de fondo constante (LL-03). Obsérvese las diferentes amplitudes de la señal registrada en cada punto.

2.2.- Registro de arreglos lineales MASW

Para el registro de datos se ha utilizado un equipo sísmico (sismómetro) de uso multipropósito, modelo GEODE de Geometrics, 24 sensores o geófonos de baja frecuencia (4.5 Hz). Como fuente de impacto y/o energía para generar las ondas sísmicas, se utilizó un martillo de 20 lbs. Los parámetros de registro, tales como la geometría del tendido, espaciamiento entre geófonos, fue variable ya que dependió de la geomorfología de la zona de estudio y accesibilidad.

En la ciudad Las Lomas, se realizaron 08 arreglos MASW cuyas coordenadas se muestran en la Tabla 2 y en la Figura 6, la distribución espacial de cada una de ellas codificado como: LS01-LL,..., y LS08-LL.

Tabla 2: Coordenadas y características de los arreglos lineales MASW realizados en la ciudad Las Lomas.

Arreglo lineal MASW	Este (m)	Norte (m)	Cota (m.s.n.m.)	Espaciamiento o entre geófonos (m)	Longitud total (m)
LS01-LL	583732	9484383	245	4	92
	583806	9484329	244		
LS02-LL	584509	9484751	249	4	92
	584572	9484801	254		
LS03-LL	585389	9484828	244	4	92
	585389	9484918	251		
LS04-LL	585080	9485792	256	4	92
	585150	9485850	256		
LS05-LL	584446	9485393	245	3	69
	584392	9485347	243		
LS06-LL	583552	9485688	249	4	92
	583619	9485624	254		
LS07-LL	583485	9485084	251	4	92
	583431	9485156	253		
LS08-LL	584191	9485934	256	4	92
	584226	9486020	257		

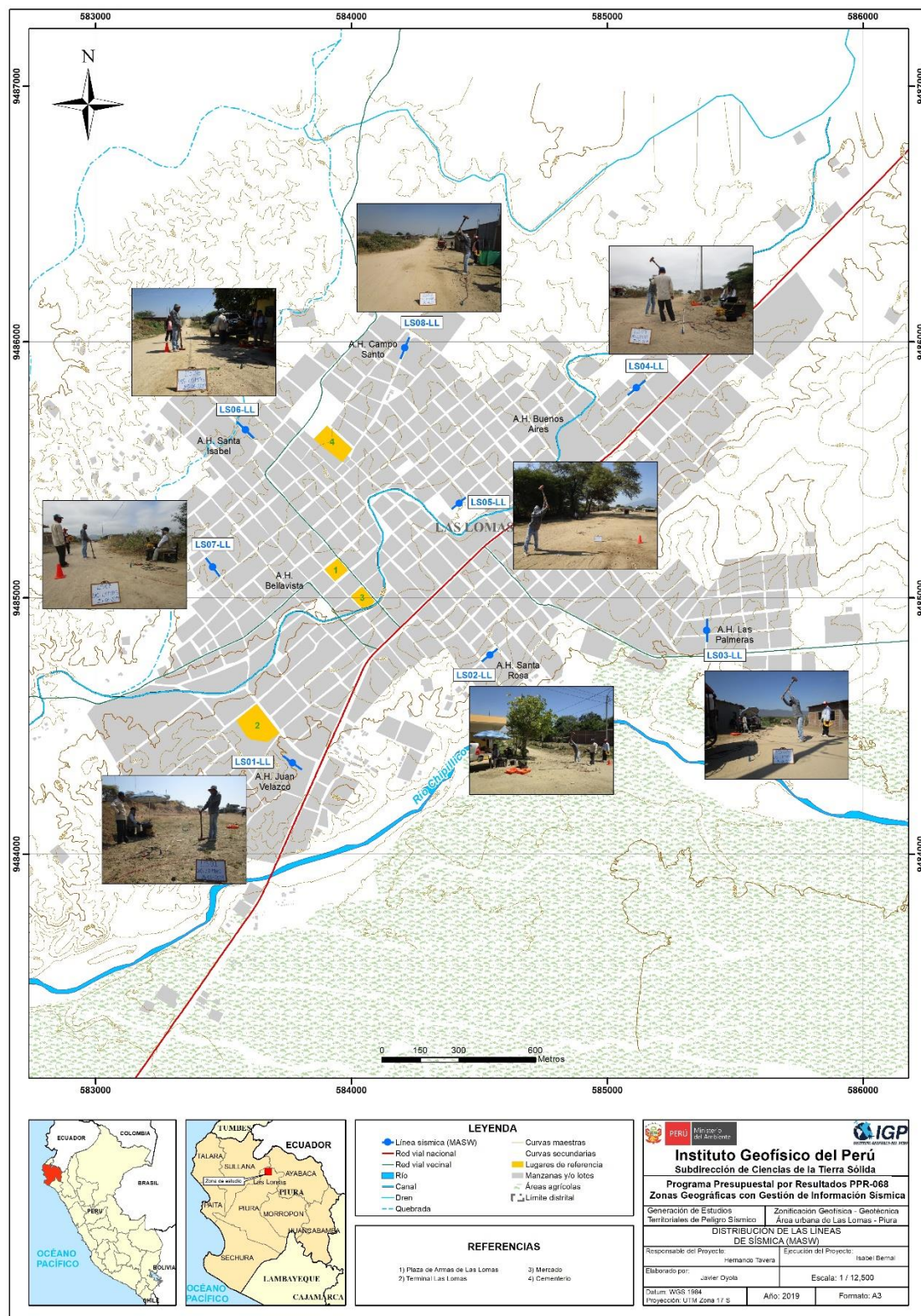


Figura 6: Mapa de la ciudad Las Lomas, y distribución espacial de los ensayos MASW codificadas como: LS01-LL,..., LS08-LL.

En la Figura 7, como ejemplo, se muestra la disposición del equipo y el registro sísmico obtenido para la línea sísmica LS03-LL, ubicado en el AA. HH Las Palmeras. Este sismograma contiene señales sísmicas con presencia de bajo ruido ambiental.

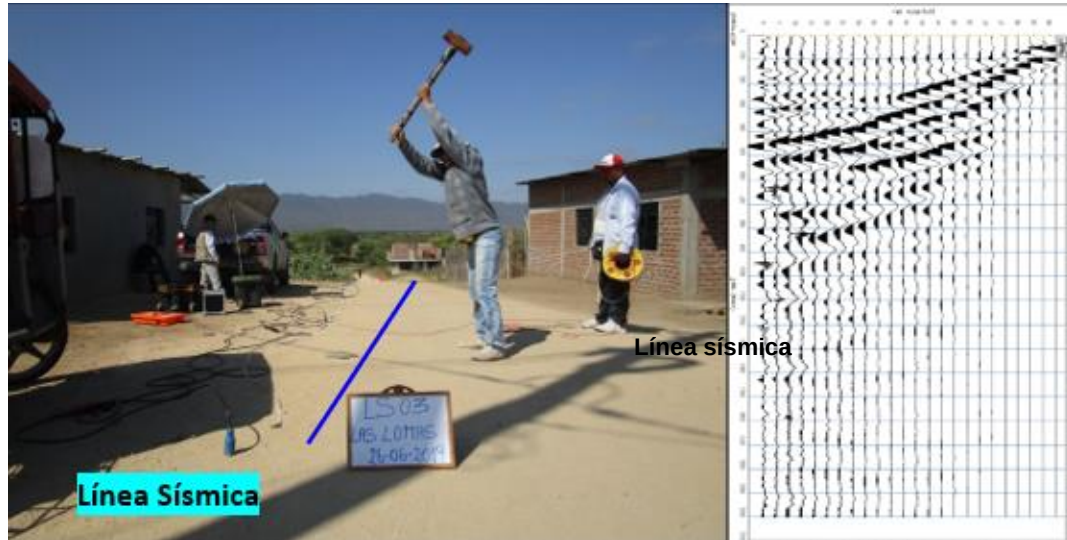


Figura 7: Disposición del equipo de adquisición de datos según el método de MASW y registro sísmico obtenido.

2.3.- Registro de resistividad del suelo ERT

Para el registro de datos se ha utilizado un equipo de Resistividad / IP Syscal Pro de marca Iris Instruments, 30 electrodos de acero y 10 cables de potencial multiconductor.

En la ciudad Las Lomas se realizaron 06 líneas de tomografía eléctrica (Figura 8) distribuidas en la zona de estudio. Para las líneas se consideró un espaciamiento de 10 metros entre cada electrodo, sobre un tendido longitudinal que variaba de 170 y 290 metros, lo cual permitió tener alcances en profundidad del orden de los 40 metros. En la Tabla 3, se muestra las coordenadas UTM (WGS84) para los puntos extremos de las líneas eléctricas.

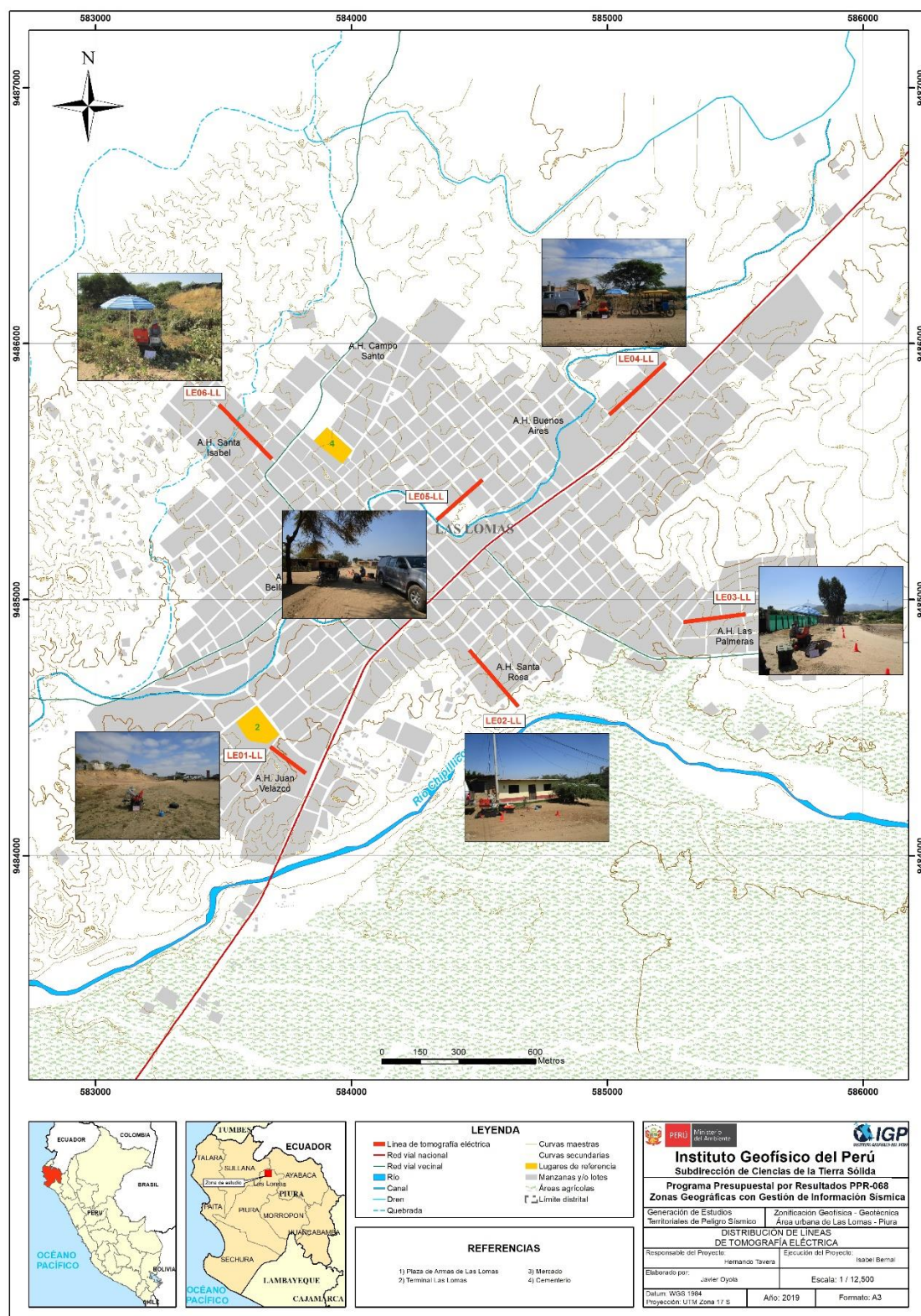


Figura 8: Mapa de la ciudad Las Lomas y distribución espacial de las líneas de tomografía eléctrica codificadas como: LE01-LL,..., LE06-LL.

Tabla 3: Coordenadas y características del ensayo ERT realizadas en la ciudad Las Lomas.

Línea Eléctrica	Este (m)	Norte (m)	Cota (m.s.n.m.)	Espaciamiento entre electrodos (m)	Longitud total (m)
LE01-LL	583683	9484425	254	10	170
	583821	9484321	249		
LE02- LL	584461	9484803	264	10	290
	584652	9484582	247		
LE03- LL	585541	9484943	258	10	230
	585298	9484912	255		
LE04- LL	585228	9485925	266	10	290
	585008	9485722	264		
LE05- LL	584512	9485468	258	10	230
	584333	9485310	257		
LE06- LL	583689	9485549	262	10	290
	583481	9485762	259		

3.- ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN

En este estudio se ha realizado la aplicación de los siguientes métodos sísmicos y geofísicos: razones espectrales (H/V), arreglos sísmicos lineales (MASW) y métodos eléctricos (ERT). Todos tienen como principal objetivo conocer las propiedades físicas y dinámicas del subsuelo (periodos dominantes, velocidades sísmicas, resistividades del subsuelo, etc.). A continuación, se describe el desarrollo de estos métodos y los principales resultados obtenidos en cada caso para la ciudad Las Lomas.

3.1.- Frecuencias Predominantes

Esta información permite obtener espectros de Fourier para las tres componentes de registro de vibración ambiental obtenidas de manera puntual en 141 puntos (Figura 9). La relación espectral entre las componentes horizontales con la vertical permite conocer las frecuencias y/o periodos dominantes de vibración natural del suelo y en algunos casos, la amplificación sísmica relativa para cada punto.

.- Distribución de frecuencias predominantes: A partir de los valores extraídos de las razones espectrales H/V, se obtiene mapas con la distribución espacial de los valores de frecuencias predominantes. Los resultados obtenidos de las razones espectrales H/V, permiten definir dos rangos de frecuencias F0 ($F \leq 2.0$ Hz) y F1 ($F > 2.0$ Hz), mostrando un pico de frecuencia bien definido y otro de menor amplitud con tendencia a valores menores de frecuencia. A continuación, se describe y analiza la distribución espacial de las frecuencias predominantes identificadas en la ciudad Las Lomas.

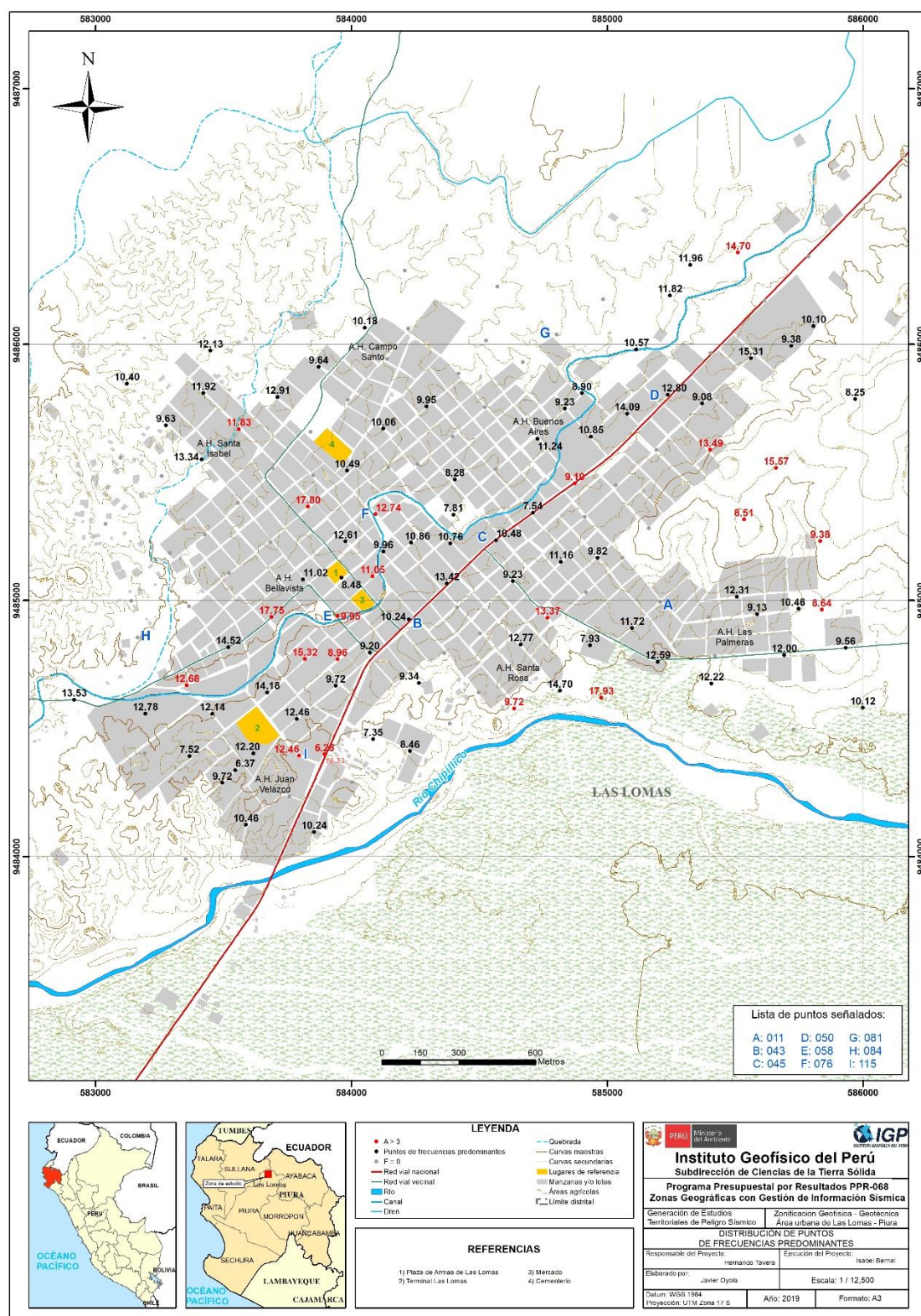


Figura 9: Mapa del área de estudio con la distribución espacial de las frecuencias predominantes F_o ($F > 6.0$ y < 17.0 Hz) definidas en cada punto. Las letras indican la ubicación de los gráficos.

.- Frecuencia predominante F_0 : En la Figura 9, se muestra el mapa con la distribución espacial de los valores de F_0 , con valores predominantes entre 6.0 y 17.0 Hz. Asimismo, se identifica áreas en las cuales los suelos no responden a ninguna frecuencia.

En la Figura 10, se muestra ejemplos de razones espectrales obtenidos para la zona céntrica del área de estudio, donde los suelos responden a un mismo rango de frecuencia, pero con una gran diferencia en el factor de amplificación relativa, tal como se observa en los siguientes ejemplos:

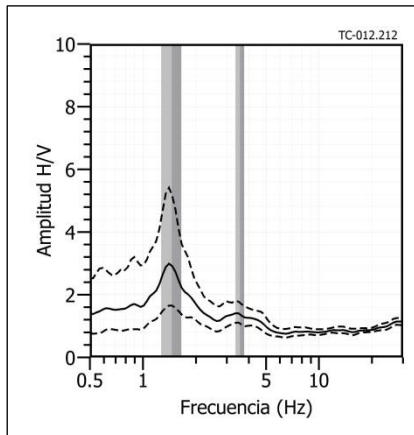
Las razones (H/V), para los puntos LL-58 (E), LL-76(F) y LL-115(I) ubicados en la zona céntrica y sur de la ciudad Las Lomas, próximos a la Plaza de Armas, al Mercado y al Terminal Las Lomas, evidencian que los suelos responden a frecuencias de 9.9, 12.7 y 12.4 Hz con amplificaciones de 3.0, 6.3 y 3.5 veces respectivamente.

Las razones (H/V), para los puntos LL-43(B), LL-45(C) y LL-50(D) ubicados en dirección Este y NE de la Plaza de Armas, sobre la Panamericana Norte, evidencian que los suelos responden a frecuencias de 10.2, 10.4 y 12.8 Hz con mínimas amplificaciones (menores a 1.5 veces).

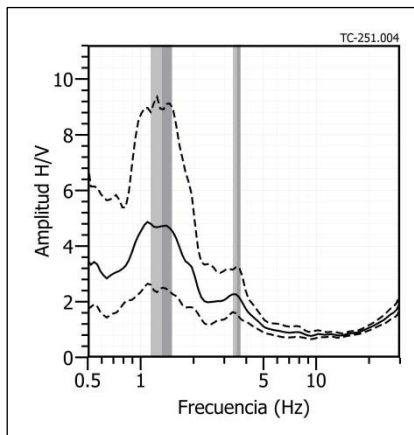
Finalmente, los puntos LL-11(A), LL-81(G) y LL-84(H), realizados a los extremos este, norte y oeste del área de estudio, próximo al A.H. Las Palmeras, por el A.H. Buenos Aires y al noroeste del Terminal Las Lomas, evidencian que los suelos no responden a ninguna frecuencia ya que la curva es plana.

Los valores altos de frecuencia se asocian a estratos del suelo de poco espesor y los factores de amplificación mayores a 3 veces, sugieren que estos suelos presentan baja consistencia a niveles superficiales.

TC - 12



TC - 251



TC - 253

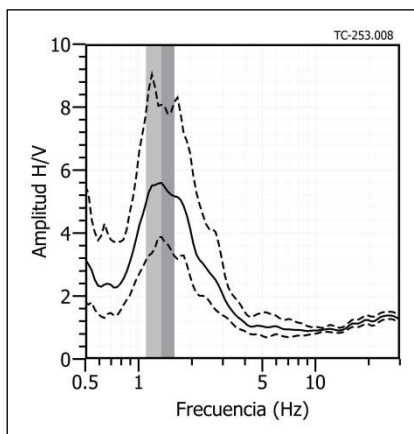
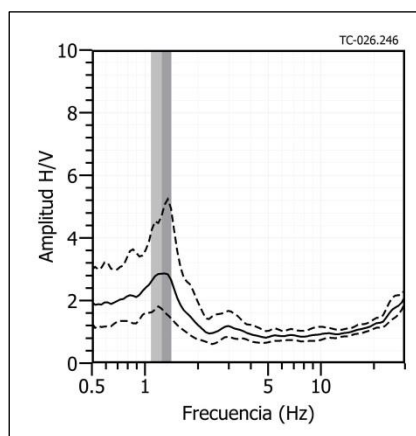
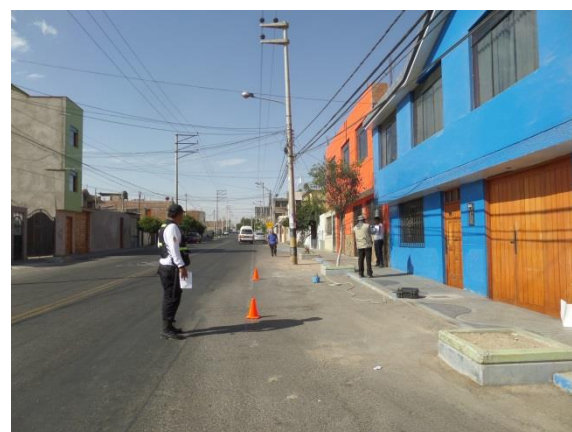
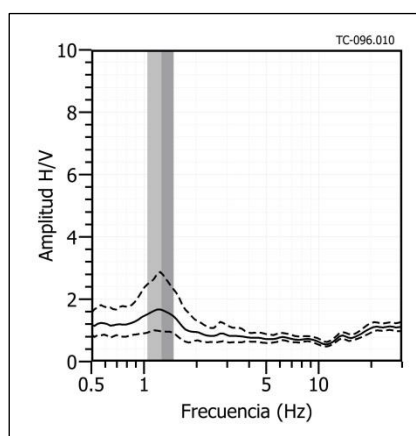


Figura 10: Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F_0 ; para los puntos TC-12(B), TC-251(G) y TC-253(H), ubicados al sur, cerca de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

TC - 26



TC - 96



TC - 131

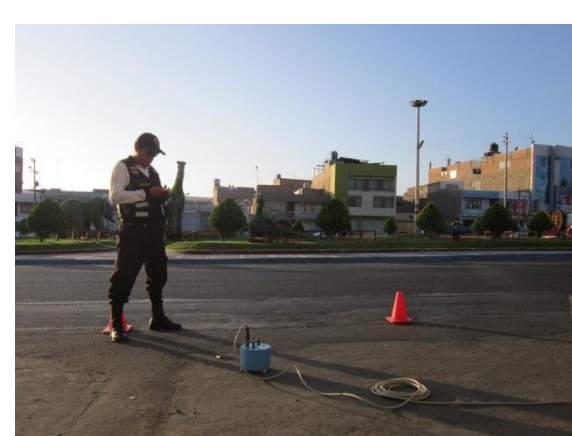
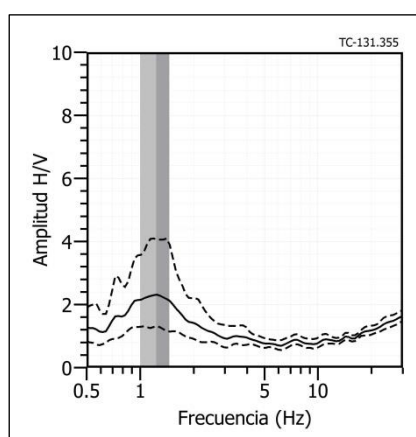
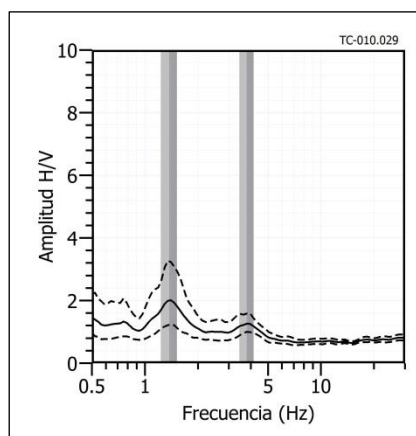
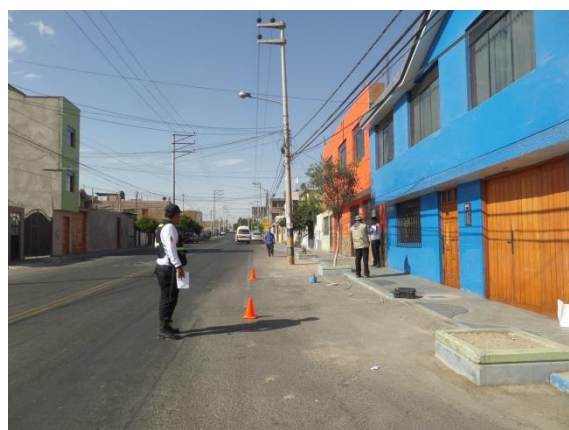
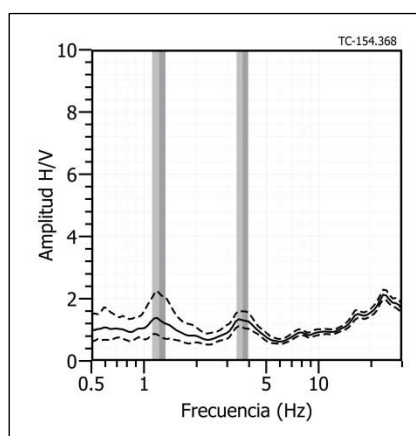


Figura 10: ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F_0 ; para los puntos TC-26(C), TC-96 (D) y TC-131(E), ubicados en el centro de la ciudad. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

TC - 10



TC - 154



TC - 287

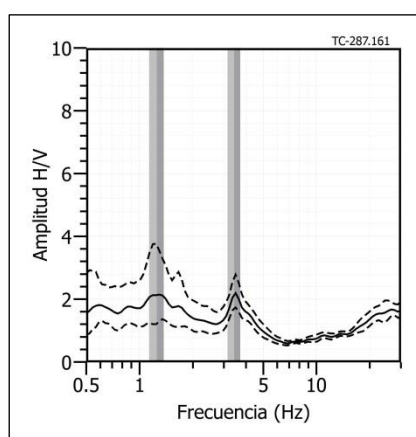


Figura 10: ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F_0 ; para los puntos TC-10(A), TC-154 (F) y TC-287(I), ubicados el primero al sur por la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann y los dos siguientes al norte y noroeste. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

3.2.- Perfiles de Velocidad de ondas de corte Vs

Los modelos de velocidad de propagación de las ondas sísmicas (V_s) proporcionan información muy útil en materia de riesgo sísmico y reconocimiento general, de la estructura y naturaleza del subsuelo. En este estudio, el procesamiento de los registros sísmicos permitió llegar a profundidades de 30 metros para cada línea sísmica. En la Figura 6, se presenta el mapa con la ubicación de las líneas. A continuación, se describe los resultados obtenidos agrupados según su similitud y distribución de velocidades en el perfil sísmico:

Línea sísmica LS01-LL: Realizadas al suroeste de la ciudad Las Lomas; en el A.H. Juan Velazco. Su análisis e interpretación indican la presencia de suelos conformados por dos capas: la primera, de 9 metros de espesor y velocidades V_s entre 250 y 396 m/s que sugieren la presencia de suelos rígidos. La segunda de 20 metros de espesor y con velocidades $V_s > 844$ m/s. La superficie de contacto con el semiespacio presenta velocidades $V_s > 1130$ m/s; es decir, compuesta por roca moderadamente dura.

Línea sísmica LS02-LL: Línea sísmica realizada al este del área urbana; en el A.H. Santa Rosa. Se identifica una capa sísmica de 7 metros de espesor con velocidades V_s de 236 m/s, corresponde a suelo moderadamente rígidos. El semi-espacio presenta velocidades $V_s > 558$ m/s, considera a suelos rígidos.

Línea sísmica LS3-LL: Realizada al este del área de estudio, en el A.H. Las Palmeras. Se identifica una capa sísmica de 9 metros de espesor con velocidades V_s de 426 m/s, que corresponde a suelos de moderadamente rígidos a rígidos. El semi-espacio presenta velocidades $V_s > 974$ m/s, el cual considera roca moderadamente dura.

Línea sísmica LS4-LL: Realizada al noreste de la ciudad, en el A.H. Buenos Aires. Se identifica dos capas sísmicas: la primera de 4 metros de

espesor con velocidades V_s de 168 m/s, corresponde a suelo blando. La segunda, con velocidad V_s de 308 m/s y espesor de 13 metros, considera suelo moderadamente rígido. El semi-espacio presenta velocidades $V_s > 796$ m/s, considera a suelo muy rígido o roca blanda.

Líneas sísmicas LS05-LL y LS06-LL: Realizadas en la parte central y en el extremo noroeste de la ciudad, por el A.H. Buenos Aires y A.H. Santa Isabel, respectivamente. Se identifica dos capas sísmicas: la primera de 3 a 5 metros de espesor, con velocidades V_s entre 173 a 177 m/s considera suelo blando. La segunda capa, con velocidades V_s de 366 m/s y espesor de 10 metros, corresponde a suelo moderadamente rígido. El semi-espacio presenta velocidades $V_s > 638$ m/s.

Línea sísmica LS07-LL: Línea sísmica realizada al oeste de la ciudad, en el A.H. Bellavista. Se identifica dos capas sísmicas: la primera de 4 metros de espesor con velocidad V_s de 241 m/s y la segunda capa, con velocidad V_s de 374 m/s y con espesor de 7 metros, ambas corresponden a suelos moderadamente rígidos. El semi-espacio presenta velocidades $V_s > 711$ m/s, correspondiendo a suelo muy rígido o roca blanda.

Línea sísmica LS08-LL: Realizada al norte de la ciudad de Las Lomas, A.H. Campo Santo. Se identifica dos capas sísmicas: la primera de 7 metros de espesor con velocidades V_s de 236 m/s considera suelos moderadamente rígidos. La segunda, con velocidad V_s de 454 m/s y 11 metros de espesor, corresponde a suelo rígido. El semi-espacio presenta velocidades $V_s > 839$ m/s correspondiendo a roca moderadamente dura.

En la Figura 11, se presenta los resultados obtenidos para la línea sísmica LS01-LL (otros ver Anexo) y en la Tabla 4, los valores de velocidad de ondas de corte V_s para los distintos perfiles de suelo.

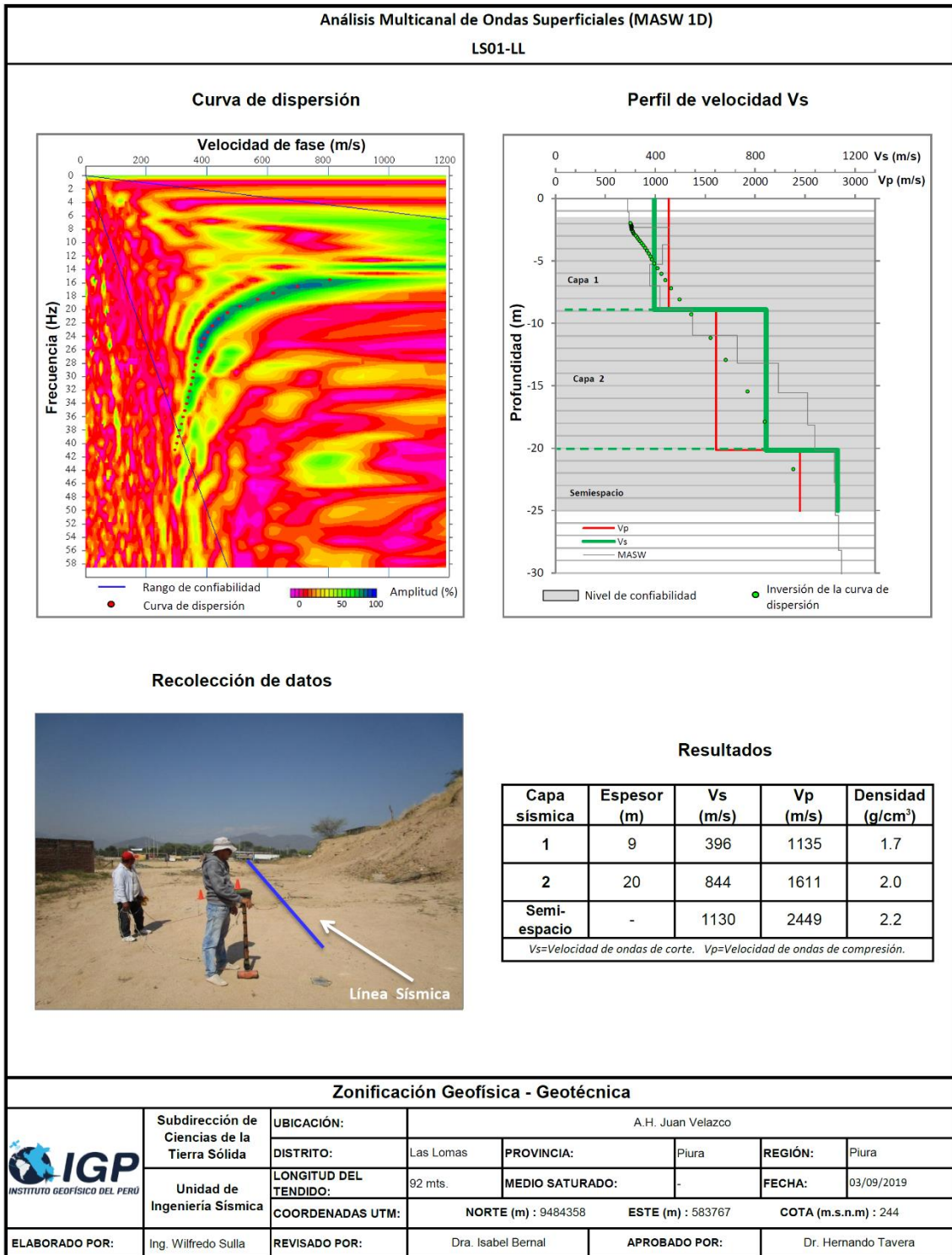


Figura 11: Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo sísmico LS01-LL.

Tabla 4: Valores de espesor y Vs de las líneas sísmicas realizados en la ciudad Las Lomas mediante el método de MASW.

Superficie					Profundidad		
Línea Sísmica	N° DE CAPA						
	1		2		Semiespacio		VS30 (m/s)
	Vs (m/s)	Esp. (m)	Vs (m/s)	Esp. (m)	Vs (m/s)	Esp. (m)	
LS01-LL	396	9	844	20	1130	-	647
LS02-LL	236	7	558	-	-	-	445
LS03-LL	426	9	974	-	-	-	699
LS04-LL	168	4	308	13	796	-	426
LS05-LL	177	5	366	10	703	-	383
LS06-LL	173	3	366	10	638	-	420
LS07-LL	241	4	374	7	711	-	502
LS08-LL	236	7	454	11	839	-	433
Suelo blando (Vs < 180 m/s) Suelo moderadamente rígido (180 – 350 m/s) Suelo rígido (350 – 500 m/s) Suelo muy rígido o roca blanda (500 – 800 m/s) Roca moderadamente duro (800 – 1500 m/s) Roca dura (Vs > 1500 m/s)							

Finalmente, los resultados obtenidos en este estudio definen la existencia en la ciudad Las Lomas de 2 y 3 capas sísmicas y un semiespacio, que al correlacionarse con la geología local presenta las siguientes características:

Suelos blandos; conformando una capa delgada con velocidades para las ondas de corte (V_s) que varían entre 170 a 180 m/s y espesores de 3 a 5 metros. Está presente próximo al canal de regadío que cruza el área urbana y a la quebrada ubicada al noroeste del área de estudio. Estos suelos se encuentran caracterizados por depósitos recientes poco consolidados con contenido de humedad.

Suelos moderadamente rígidos; con velocidades de corte (V_s) que varían entre 200 a 500 m/s con espesores de 10 a 20 metros que se distribuyen en el resto del área de estudio. En los sectores ubicados

principalmente al oeste y este de área de estudio, muestran suelos rígidos en superficie, que sugiere la presencia de roca muy intemperizada y fracturada, tal como muestra la Figura 12. Conforme incrementa la profundidad, la capa de suelo superficial se encuentran sobre suelos rígidos y este, sobre roca blanda o roca moderadamente dura.

En general, el área urbana de la ciudad de Las Lomas se identificaron suelos con espesores que varían de 3 a 20 metros, los mayores espesores se presentan hacia el extremo NE del área urbana, próximo al canal de agua y cuyo sector muestra abundante vegetación (A.H. Buenos Aires), ver Figura 12. En el resto del área se muestra suelos muy consistentes desde la superficie. Los valores de velocidad V_s obtenidos en superficie se asocian a suelos areno-limosos de poco espesor que cubren a rocas fracturadas de origen intrusivo, razón por la cual existe el predominio de mayor rigidez en profundidad.



Figura 12: Sectores en los cuales se muestra un cambio en las características del tipo de suelo.

3.3.- Perfiles de Tomografía Eléctrica

Se realizaron 06 líneas de tomografía eléctrica en la ciudad Las Lomas a fin de conocer el grado de saturación del suelo.

Las líneas LE02-LL, LE03-LL y LE04-LL ubicadas en la zona este y norte del área urbana, en los A.A.H.H. Santa Rosa, Las Palmeras y Buenos Aires. Se identifica el predominio de valores medianamente resistivos a resistivos (100 a

1500 $\Omega.m$), indica que el suelo presenta poca humedad asociándose a la presencia de afloramientos de intrusivos y rocas plutónicas. De manera puntual, en superficie aparecen valores bajo resistivos ($<100 \Omega.m$) lo que sugiere la presencia de humedad en el subsuelo característico de conglomerados, arenas y arcillas que son observados en superficie, además, de la presencia de vegetación, tal como se muestra la Figura 15. La línea LE02-LL, presenta valores resistivos a muy resistivos ($>500 \Omega.m$) por la influencia de material conglomerado y los afloramientos rocosos (Figura 13).

La LE05-LL, ubicada en la zona céntrica al noreste de la Plaza de Armas, en el A.H. Buenos Aires. Se identifica el predominio de valores bajo resistivos a muy bajo resistivos ($<100 \Omega.m$), se asocia a suelos con alto contenido de humedad puesto que en superficie el suelo está caracterizado por gravas, arenas y arcillas (depósitos aluviales), depositados próximos al canal que cruza el área urbana y a terrenos de cultivo (Figura 13).

La línea LE01-LL ubicada en la zona suroeste del área urbana, en el A.H. Juan Velazco, se identifican valores medianamente resistivos (100 a 500 $\Omega.m$) a niveles superficiales, asociado a la presencia de material con poca humedad en el subsuelo, y en profundidad predominan valores resistivos a muy resistivos ($>500 \Omega.m$) sugiriendo afloramientos del complejo plutónico Las Lomas, ver Figura 14 y 15.

La línea LE06-LL ubicada en la zona noroeste del área urbana, en el A.H. Santa Isabel (según la Figura 9). Se identifica el predominio de valores bajo resistivos ($<100 \Omega.m$) en superficie, sugiriendo la presencia de suelos húmedos asociados a depósitos aluviales, en profundidad se observan valores medianamente resistivos a resistivos (100 a 1500 $\Omega.m$) y correspondería a rocas plutónicas, ver Figura 14.

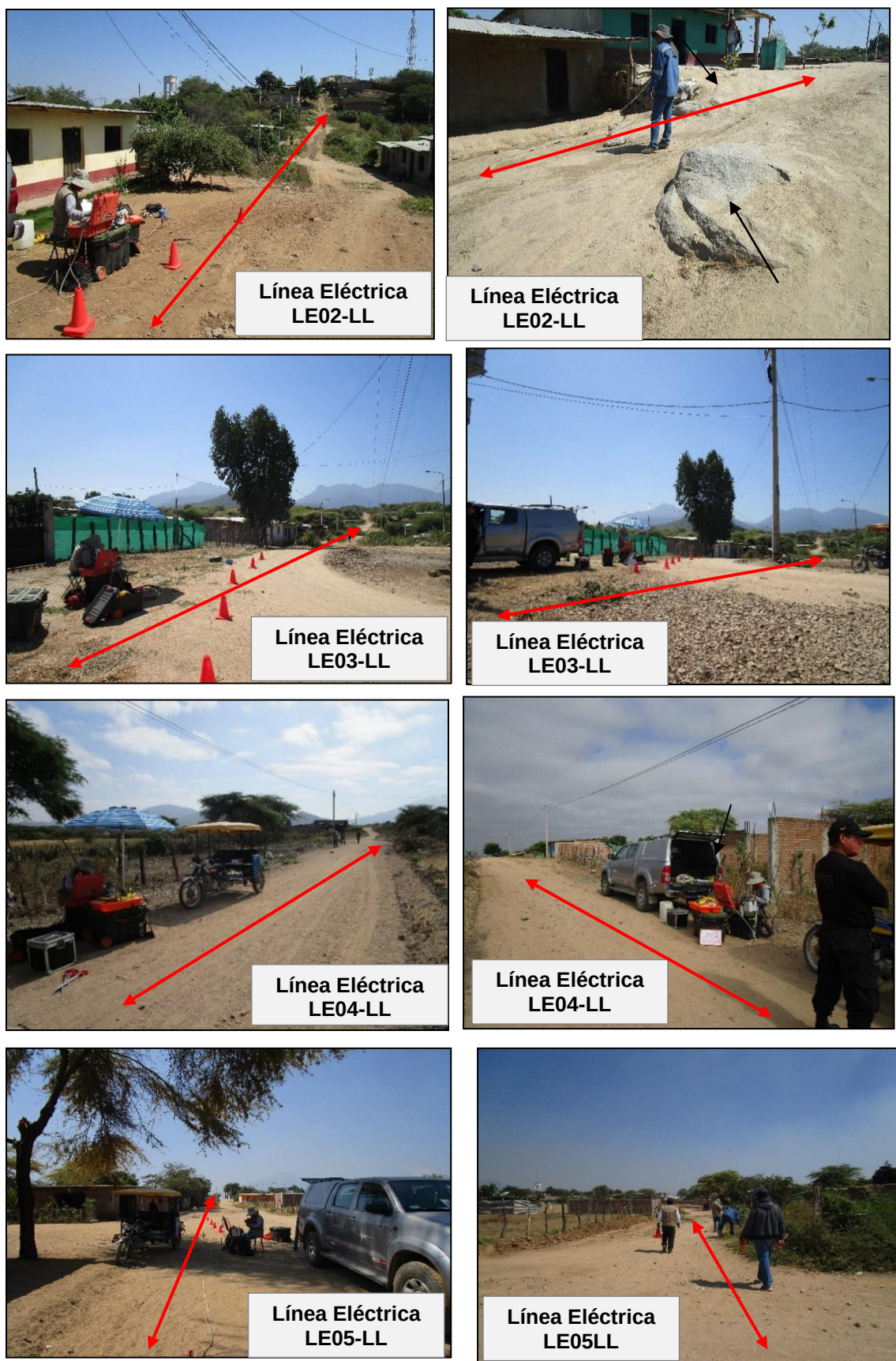


Figura13: Vista de la línea eléctrica LE02-LL, LE03-LL, LE04-LL y LE05-LL.

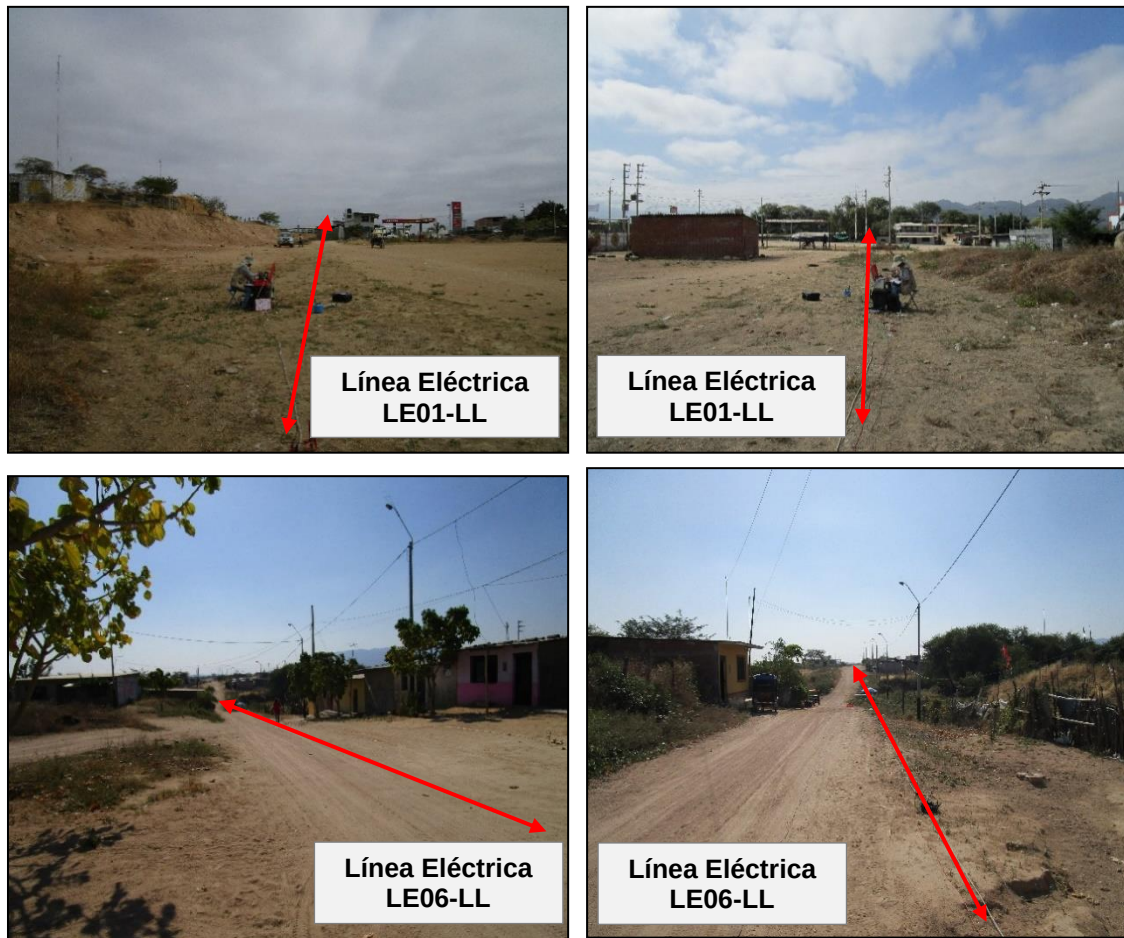


Figura 14: Vista de la línea eléctrica LE01-LL y LE06-LL.

En el distrito Las Lomas, los cortes geoelectrónicos evidencian la presencia de suelos no saturados, excepto en el A.H. Buenos Aires, donde los niveles de saturación se presentan desde la superficie, donde los depósitos aluviales constituyen un medio poroso que favorece la presencia de suelos saturados, a partir de los 5 metros de profundidad debido a la presencia de un canal de agua que cruza este sector. Por otro lado, hacia el noroeste de la Plaza de Armas en el A.H. Santa Isabel, presenta un medio parcialmente saturado cuyo suelo se encuentra caracterizado mayormente por conglomerado, arenas y finos. La presencia de vegetación y la quebrada que existe en este sector contribuyen al contenido de humedad, además de la ligera depresión que existe en este sector permite la acumulación del agua en temporadas de lluvias y/o el Fenómeno de El Niño.

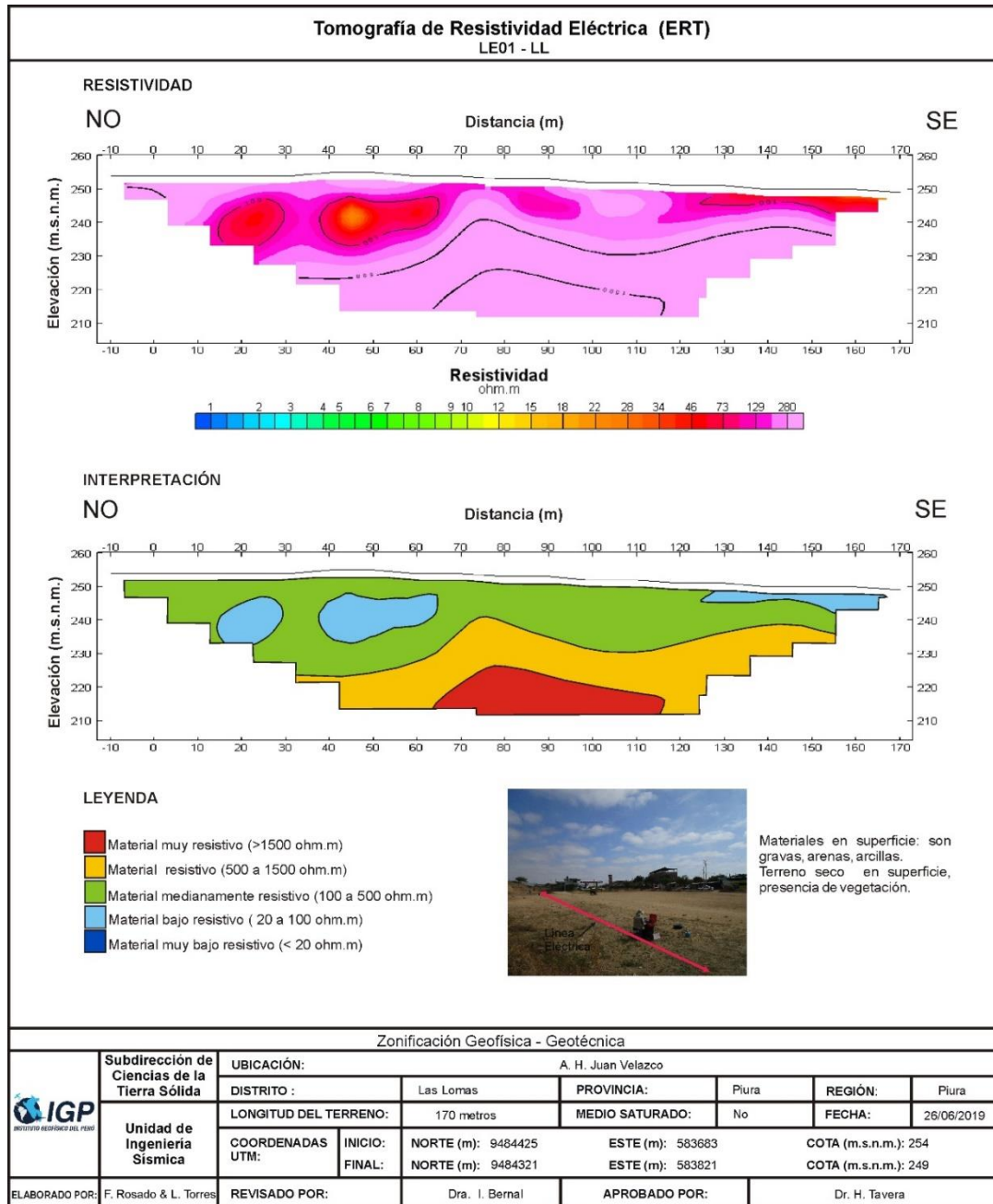


Figura 15: Resultado de tomografía de resistividad eléctrica para la línea LE01-LL.

3.4.- Periodos Dominantes

Los valores de frecuencias fueron transformados a periodos dominantes a fin de construir el mapa de isoperiodos. La distribución espacial de los periodos (T_0) de respuesta del suelo que varían entre 0.1 y 0.2 segundos, los cuales para un mejor análisis han sido separados en dos grupos, según su factor de amplificación, los valores en rojo corresponden a aquellos cuya

amplificación supera las 3 veces. Los puntos en gris, corresponde a aquellos que no presentan periodos.

El periodo de respuesta predominante del suelo de esta ciudad es de 0.1 segundos, distribuyéndose de manera uniforme sobre toda el área de urbana, y de manera puntual, los periodos de 0.2 segundo se presentan hacia el extremo sur del área de estudio (A.H. Juan Velazco). Aquellos que no presenta sensibilidad a ningún periodo, se identifican principalmente hacia el extremo noroeste (entre el A.H. Santa Isabel y el A.H. Bellavista, por el cementerio y A.H. Campo Santo), al sureste (A.H. Santa Rosa) y al este del área urbana (A.H. Las Palmeras), ver Figura 16.

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 400 m/s y 500 m/s para las ondas de corte (V_s) y periodos de 0.1 segundos, se estima una capa superficial con espesores de entre 10 y 20 metros. Los resultados de este análisis sugieren que en toda el área urbana de la ciudad Las Lomas, la capa superficial del suelo es menor espesor.

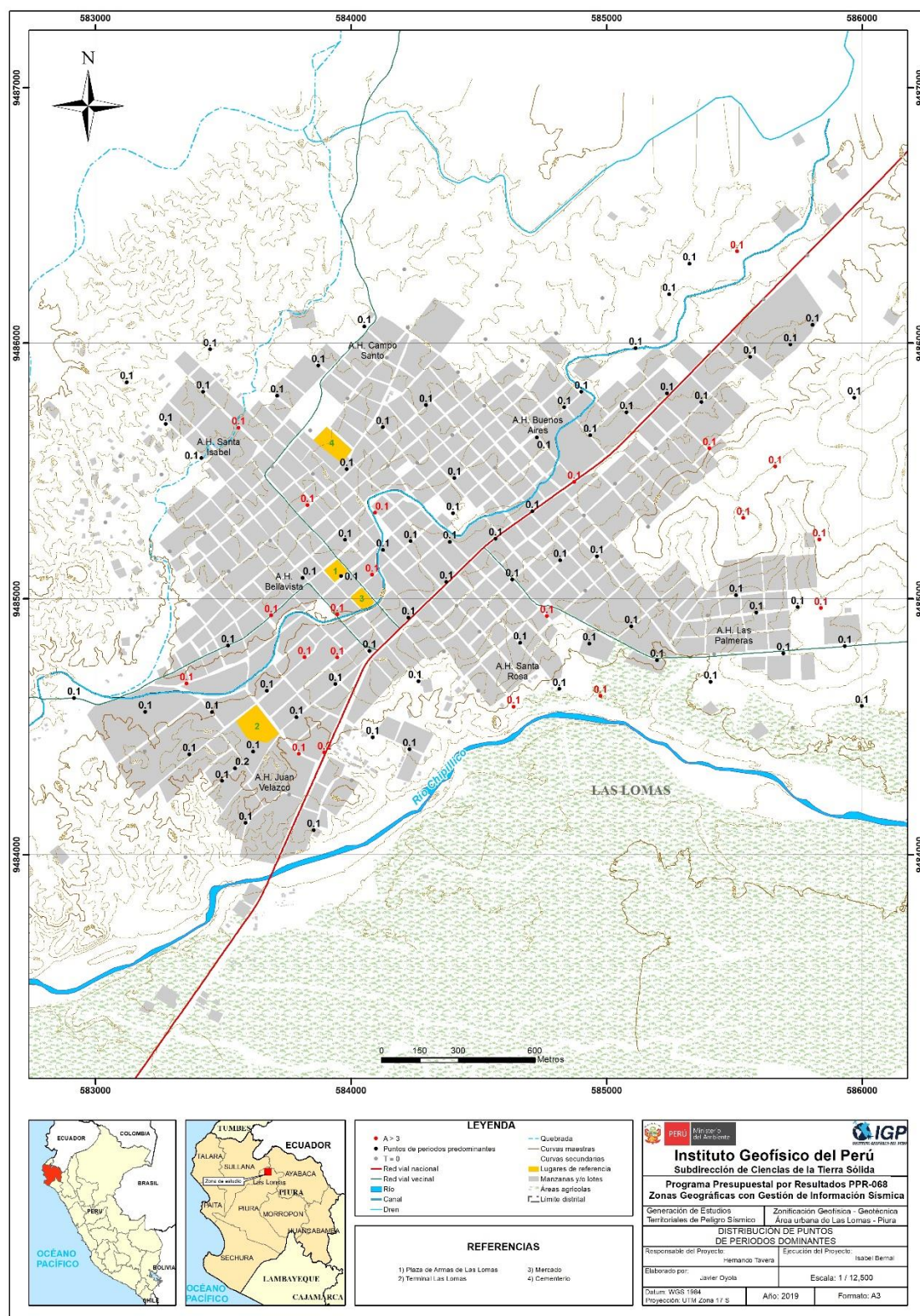


Figura 16: Mapa de la distribución espacial de los valores de periodos dominantes.

4.- ZONIFICACIÓN SÍSMICA Y GEOTÉCNICA

En base en los resultados obtenidos de los ensayos geofísicos, se ha elaborado el mapa de zonificación considerando la información generada con la aplicación de las técnicas geotécnicas; así como, con los aspectos geológicos, geomorfológicos y geodinámicos que presenta la zona en estudio. Finalmente, en base en estos resultados y la información contenida en la Norma Técnica E.030 de Diseño Sismorresistente, se delimita zonas cuyos suelos presenten similares características físicas y dinámicas.

4.1.- Integración de resultados

La ciudad Las Lomas se encuentra a una altura promedio de 255 m.s.n.m., presenta una superficie ligeramente ondulada cuya pendiente es baja a moderada, hacia su extremo noreste se identifica colinas que son parte de las estribaciones andinas, condiciones geomorfológicas que influyen en los resultados.

En general el suelo responde a periodos de entre 0.1 y 0.2 segundos (Figura 17), predominando los valores de 0.2 segundos hacia el extremo suroeste del área de estudio (A.H. Juan Velazco). Por otro lado, existen en diversos sectores, suelos que no responden a ningún periodo. Esto evidencia el alto grado de compactación del suelo, siendo conformado por arenas y conglomerados. De acuerdo con el análisis sísmico, en superficie predomina una capa delgada de suelos blandos y moderadamente rígidos ($V_s = 168$ a 308 m/s) con espesores de entre 4 y 7 metros que se distribuye en toda el área urbana, solo hacia el noreste (A.H. Buenos Aires) se identifica espesores de hasta 17 metros. Estos resultados son coherentes con la distribución de los periodos identificados en el área de estudio. En la Figura 17, se observa la correlación geofísica, hacia el noreste (punto “a”) y hacia el sureste (punto “b”), evidenciando claramente que hay un cambio en el espesor de la capa superficial hacia ambos extremos.

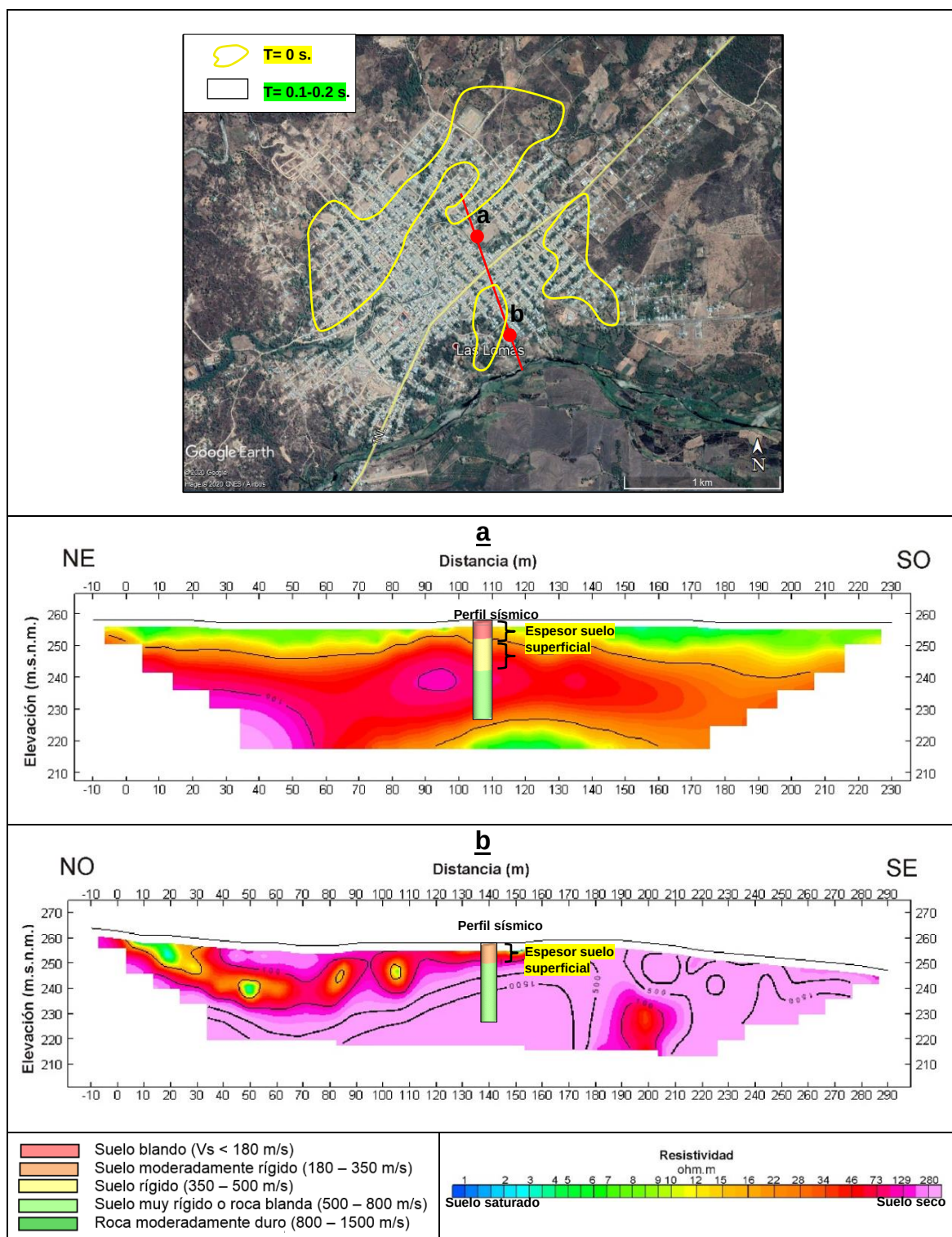


Figura 17: Correlación de los ensayos geofísicos, periodos dominantes, tipo de suelo y grado de saturación.

Asimismo, se identifica el predominio de suelos no saturados en el área de estudio, excepto en el sector donde se ubica el A.H. Buenos Aires que presenta suelos saturados desde pocos niveles de la superficie, debido a la influencia de los canales de regadío y de encontrarse próximo a terrenos de cultivo. El suelo al estar caracterizado por sustratos permeables, favorecen a que el medio saturado se encuentre a partir de los 5 metros de profundidad. Y los suelos moderadamente saturados se identificaron de manera puntual, en los A.A.H.H. Santa Rosa, Las Palmeras (dirección norte) y al sur de la Plaza de Armas. Asimismo, estudios anteriores sugieren que estos sectores se encuentran en alto riesgo a lluvias intensas y/ o el fenómeno de El Niño (CENEPRED, 2017).

4.2.- Zonificación Sísmica

El mapa de Zonificación sísmica-geotécnica para el área urbana de la ciudad Las Lomas, se elabora en función de la integración de los resultados obtenidos de los estudios geológicos, geotécnicos y geofísicos, delimitando zonas cuyos suelos presentan características de respuestas similares ante la ocurrencia de un sismo. Las características dinámicas del suelo y sus propiedades mecánicas, han permitido identificar en el área de estudio, de acuerdo a la Norma de Construcción Sismorresistente E.030, la existencia de suelos de Tipo S1 y S4.

Estos tipos de suelo corresponden a las Zonas I y IV respectivamente, donde el 95 % del área de estudio responde a periodos que varían entre 0.1 y 0.2 segundos, con amplificaciones relativas mayores a 3 veces, principalmente en sectores ubicados hacia el extremo Este del área de estudio (áreas de cultivo), próximos al río Chipillico y al canal que cruza el área urbana de Las Lomas. Dentro de esta zona, hacia el norte del área de estudio, los suelos presentan amplificaciones mayores a 3 veces y en aproximadamente el 70% de la zona en estudio, los suelos responden en dos rangos de periodos dominantes con mínimas amplificaciones.

Para el área urbana de la ciudad Las Lomas, se propone la siguiente zonificación sísmica-geotécnica (Figura 18).

- ZONA I: *Considera suelos constituidos por una capa delgada de arenas (depósitos recientes) distribuidos a nivel superficial. Esta zona presenta, suelos con velocidades de ondas de corte V_s de 260 m/s en promedio para la capa superficial y de hasta 1100 m/s a la profundidad de 30 metros, con periodos de vibración natural que varían entre 0.1 y 0.2 segundos, ambos definen la existencia de suelos Tipo S1, con un comportamiento muy rígido (NTE.030). Los suelos presentan baja saturación y una capacidad de carga admisible de entre 1.0 a 2.0 Kg/cm² hasta un metro de profundidad. Esta zona comprende el 95 % del área de estudio y se ubica en toda el área urbana de Las Lomas.*

Las líneas inclinadas en rojo delimitan áreas con amplificaciones relativas mayores a 3 veces, sugiriendo que el mayor sacudimiento del suelo, a la ocurrencia de un sismo, se presentará en los sectores próximos al río Chipillico y de manera local, por el A.H. Santa Rosa, al noreste del A.H. Las Palmeras, A.H. Bellavista, A.H. Juan Velazco, A.H. Santa Isabel, entre otros. Las líneas inclinadas en negro delimitan áreas de muy baja amplificación. Se presentan principalmente por el A.H. Las Palmeras, A.H. Santa Rosa, el cementerio, A.H. Bellavista y A.H. Campo Santo.

- ZONAS II y III: *A estas zonas les corresponde los suelos Tipo S2 y S3, los cuales no fueron identificados en el área de estudio.*

- ZONA IV: *Esta zona corresponde a suelos cuyas características físicas y dinámicas son excepcionales, por lo que su comportamiento dinámico comprende a suelos Tipo S4 (Zona Iva). Dichos suelos están constituidos por depósitos fluviales con alto contenido de humedad, corresponde a las quebradas de la margen derecha del río Chipillico. Estos sectores son*

*susceptibles a sufrir grandes amplificaciones (mayores sacudimientos).
Presenta baja capacidad de carga admisible ($< 1.0 \text{ Kg/cm}^2$).*

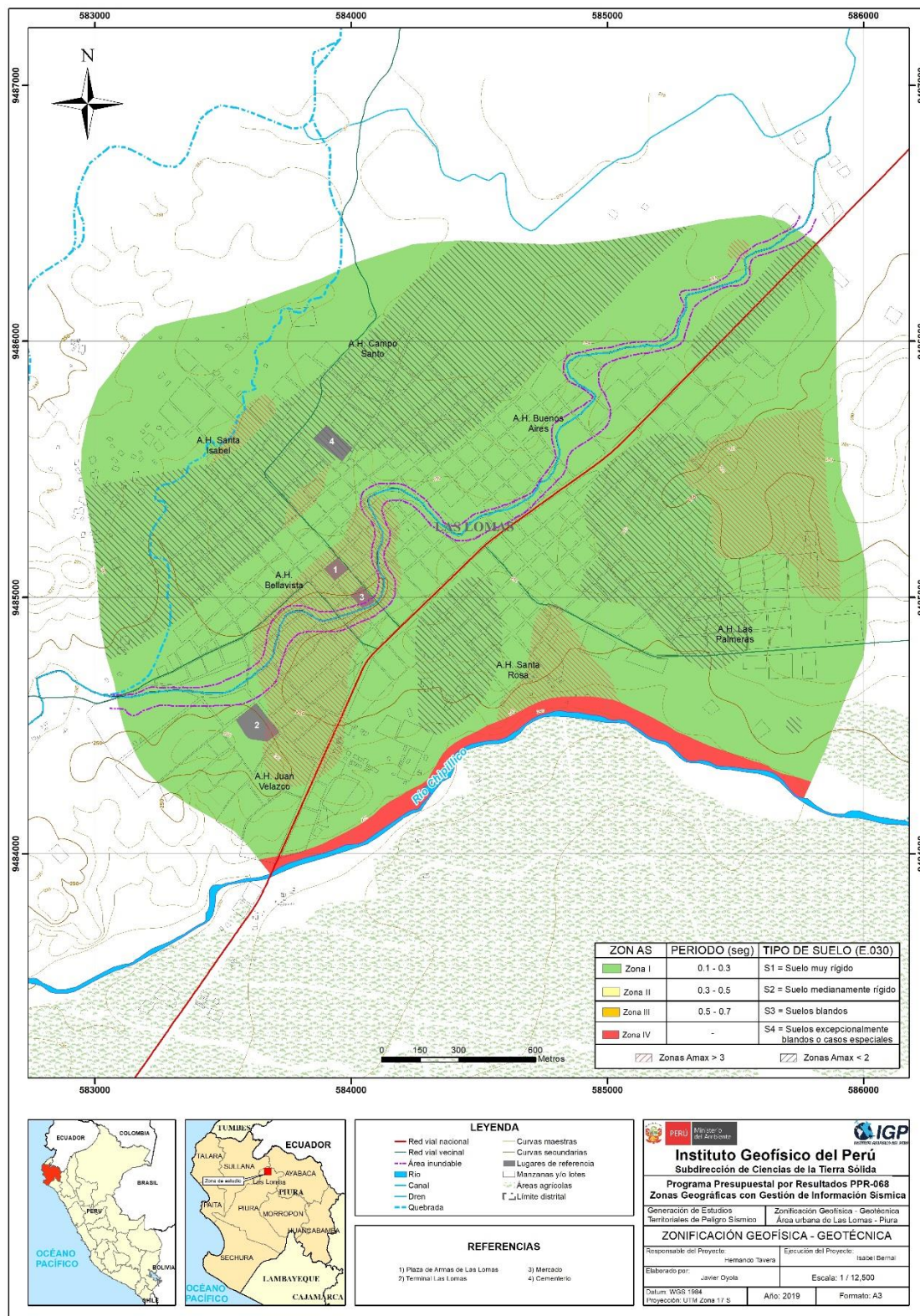


Figura 18: Mapa de Zonificación Sísmica- Geotécnica para la ciudad Las Lomas.

Asimismo, en la Figura 18 se delimita con una línea discontinua, los sectores con niveles de inundación pluvial y fluvial originada por el fenómeno El Niño en el año 2017. Estos sectores corresponden a áreas inundables corresponden a ambas márgenes del canal de regadío que cruza el área urbana.

Esta zonificación condiciona el tipo de estructura que se debiera construir, a fin evitar que esta experimente el fenómeno de resonancia suelo-estructura y/o una doble amplificación sísmica.

CONCLUSIONES

El estudio de Zonificación Sísmica-Geotécnica (Comportamiento Dinámico del Suelo) para la ciudad Las Lomas, ha permitido llegar a las siguientes conclusiones:

- El predominio de bajas amplificaciones, en el área de estudio, sugiere que los suelos presentan buena consistencia. Sin embargo, también se identifica de manera local en los AA.HH. Bella Vista, Juan Velazco, Santa Rosa, Santa Isabel, y hacia el extremo NE del A.H. Las Palmeras, donde los suelos presentan baja consistencia a nivel superficial, evidenciado por las altas amplificaciones del suelo.
- El periodo dominante del suelo (T_0) varían entre 0.1 y 0.2 segundos, distribuyéndose este último de manera local hacia el extremo sur del área de estudio (A.H. Juan Velazco). Mediante la relación $T_0 = 4H/V_s$, y asumiendo velocidades de 400 m/s y 500 m/s para las ondas de corte (V_s) y periodo de 0.1 segundo, se estima una capa superficial con espesores de entre 10 y 20 metros. Los resultados de este análisis sugieren que el espesor de la capa superficial del suelo es variable en el área de estudio.
- De los resultados obtenidos con el método sísmico, se identifica tres capas del suelo, el primero caracterizado por suelos blandos (V_s 168 a 173 m/s) con espesores entre 3 a 5 metros y los moderadamente rígidos (V_s 236 a 241 m/s) con espesores entre 4 a 7 metros, ambos corresponden a depósitos recientes y se distribuyen sobre suelos rígidos (intrusivo). Asimismo, de manera sectorizada se presenta suelos rígidos ($V_s > 400$ m/s) con espesores de 7 a 11 metros, todas asentadas sobre roca.
- Los valores de velocidad promedio calculados para los primeros 30 metros de profundidad (V_{s30}), según la norma E030-2018, clasifica el

área de estudio en dos tipos de suelo; el primero con rangos de velocidad V_{s30} entre 383 a 445 m/s corresponde a suelos medianamente rígidos (S2) y el segundo, con rangos de velocidad V_s entre 502 a 699 m/s corresponde a suelo muy rígido o roca (S1). El mayor espesor de la capa superficial (hasta 17 metros) se identifica en el sector ubicado al noroeste del área urbana (A.H. Buenos Aires).

- En el área urbana de Las Lomas, se identifican suelos no saturados, excepto en el A.H. Buenos Aires, donde los niveles de saturación se presentan desde la superficie, por la posible influencia del canal de regadío y el material que se encuentra en este sector ha favorecido para que el medio saturado se encuentre a partir de 5 metros de profundidad.
- Los resultados obtenidos para la ciudad Las Lomas han permitido identificar, según las características dinámicas del suelo, sus propiedades mecánicas y el procedimiento establecido en la Norma E.030, la existencia de una zona sísmica correspondientes a suelos Tipo S1 y S4.

BIBLIOGRAFÍA

- ANA. (1980). Inventario y evaluación nacional de aguas subterráneas Cuenca del río Chira. Pag. 79.
- Bard, P-Y. (1995) Effects of surface geology on ground motion: Recent results and remaining issues, In Proc. 10 European Conf. Earth. Eng., ed. Duma, Balkema, Rotterdam, 305-323.
- Bard, P-Y y SESAME (2001) The SESAME project: an overview and main results. 13 World Conference on Earthquake Engineering Vancouver, B.C., Canada August 16, 2004 Paper No. 2207.
- Braja Das, (2011) - Principles of Foundation Engineering, Seven Edition, pág. 139-140.
- Brusi, D., et al (2013) - Enseñanza de las Ciencias de la Tierra. ISSN: 1132-9157. Pág. 181-194.
- Beresnev, I.A., K.L. Wen, and Y.T. Yeh 1995a, "Nonlinear Soil Amplification: It's Corroboration in Taiwan. Bull, Seism. Soc. Am., Vol. 85, pp. 496-515.
- Bernal, I. (2006) Microzonificación sísmica de la ciudad de Tlaxcala, Mexico. Tesis de Maestría en Ciencias, UNAM, pag. 130.
- Cahill & Isacks (1992) - Seismicity and shape of the subducted Nazca Plate. Journal Geophys. Res., 97, 17503-17529.
- CENAPRED (2004) – Inundaciones, Secretaría de gobernación, 1ra Edición. Delegación de Coyoacan. CP.04360. México, D.F
- CENEPRED. (2017). Informe de evaluación de riesgo por lluvias intensas en el CC.PP. Las Lomas – Santa Isabel, distrito Las Lomas, provincia y departamento de Piura. Pag. 84.
- CISMID, (2016) - Densidad de campo. Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres. Laboratorio Geotécnico.
- Comité Interinstitucional, (2007) - Plan de Defensa Ribereñas y Encauzamiento de Ríos. Resumen del Diagnóstico Situacional. Autoridad Autónoma Cuenca Hidrográfica Chira – Piura.
- Cruden (1991). A Simple definition of a landslide: Bulletin of the International Association of Engineering Geology.

- Dorbath, L., Cisternas, A., Dorbath, C. (1990). Assessment of the size of large and great historical earthquakes in Peru. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 80 (30), 551-576.
- ENFEN, (2017) - Comisión Multisectorial Encargada del Estudio Nacional del Fenómeno "El Niño".
- Enríquez-Beck, Juan (2016) – Estado Hidrológico, Hidráulico y Sedimentológico de los Embalses en la región Piura. Universidad de Piura.
- Flores-Estrella, H., Lomnitz, C. y Yussim S. (2004). "Estimación de velocidades de fase a partir del análisis de microtemores con el método SPAC", *Geophysics*, Vol. 24, N° 3, 438-445.
- Gasulla, M.; Jordana, J.; Pallás, R.; Torrents, J.M. (1998). Subsurface resistivity measurements using square waveforms. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 47(1): 74-77.
- Hartzel, S. H. (1992). Site response estimation from earthquake data. *Bull. Seism. Soc. Am.* 82, 2308-2327.
- Harvey, A., M., 1987. Patterns of Quaternary aggradational and dissectional landform development in the Almeria region, southeast Spain: a dry-region tectonically-active landscape. *Die Erde* 118, 193-215
- Howie D. & Sy (2003) – A Method for correlating large penetration test (LPT) to standard penetration test (SPT) blow counts.
- Hutchinson, J., N., (1988) - General Report: Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology. *Proceedings, Fifth International Symposium on Landslides*, (Ed: Bonnard, C.). 1, 3-35 p. Rotterdam: Balkema.
- INDECI, (2017) – Instituto Nacional de Defensa Civil. Estado Situacional de la Emergencia.
- INDECI (2018); Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas – Tomo 4.
- Juaréz, E., y Rico, A., (2005) – Fundamentos de la Dinámica de Suelos. Segunda edición. Limusa S.A. México D.F.
- Lermo, J. and Chavez-Garcia, F.J. (1993). Site Effect Evaluation Using Spectral

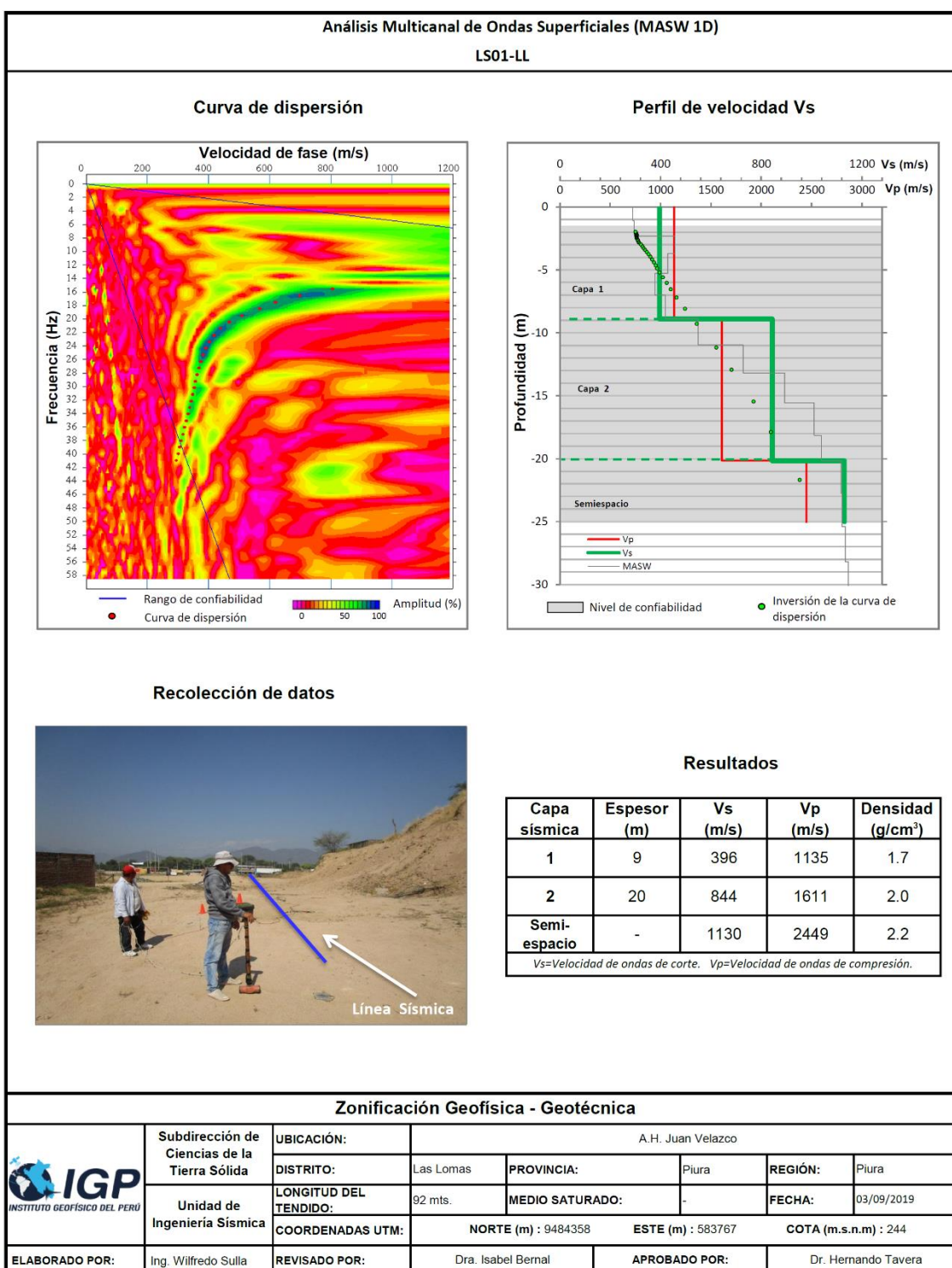
- Ratios with Only One Station. Bulletin of the Seismological Society of America, 83, 1574-1594.
- Lermo, J. y F.J. Chávez-García (1994a). Are microtremors useful in site response evaluation?, Bull. Seism. Soc. Am. 84, 1350-1364 pp.
- Lermo, J. y F.J. Chávez-García (1994b). Site effect evaluation at Mexico City. Dominant period and relative amplification from strong motion and microtremors records, Soil. Dyn. & Earthq. Eng. 13, 413-423 pp.
- Loke, M.H. (2004). Tutorial 2D and 3D electrical imaging surveys.
- Meyerhof, G., G., (1956) – Penetración Test and Bearing Capacity of Cohesionless Soils. Journal of the Soils Mechanics and Foundations División, ASCE, Vol 82 N°SM1, Proc. Paper 886, Jan. 1956, pp-19.
- Ministerio de Economía y Finanzas, (2017) - Informe de seguimiento y Gestión a la Inversión Pública.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2015) - <http://renac.mtc.gob.pe/inventariovial/default2.aspx>.
- Nakamura Y. (1989). A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. Quaterly Report Railway Tech. Res. Inst., 30-1, 25-30.
- Norma Técnica de edificaciones E.030. 2018. Aprobada por Decreto Supremo N° 011-2006-VIVIENDA, modificada por Decreto Supremo N° 003-2016-VIVIENDA.
- Orellana, E. (1982). Prospección geoelectrica en corriente continua. Madrid: Ediciones Paraninfo.
- Pachon et al. (2000) - Implicaciones de la Red de Acelerógrafos de Bogotá en el estudio de Microzonificación Sísmica. INGEOMINAS
- Park, C.B. (2015). Data acquisition. Retrieved 23 June, 2015, from
- Park, C.B. (2014). MASW for geotechnical site investigation. The Leading Edge, 32(6):656-662.
- Park, C. B., Miller, R. D., Xia, J., & Ivanov, J. (2007). Multichannel analysis of surface waves (MASW)—active and passive methods. The Leading Edge, 26 (1), 60–64.

- Park, C. B., Miller, R. D. y Xia, J. (1999). Multichannel analysis of surface waves *Geophysics* 64 800-8.
- Perrone, A., Iannuzzi, A., Lapenna, V., Lorenzo, P., Piscitelli, S., Rizzo, E., and Sdao, F. (2004). Highresolution electrical imaging of the Varco d'Izzo earthflow (southern Italy), *J. Appl. Geophys.*, 56, 17–29, doi:10.1016/j.jappgeo.2004.03.004
- Pike, R. J., I. S. Evans, and T. Hengl. 2009. *Geomorphometry: A brief Guide*. *Dev. Soil Sci.* 33: 3-30.
- Proyecto SEDI/AICD/AE/306/07 Programa de Reducción de Desastres para el Desarrollo Sostenible en las ciudades de Piura (Perú) y Machala (Ecuador). Estudio mapa de peligros de la ciudad de Piura (2008-2009).
- Reynolds, J.M. (2011). *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, 2nd ed., 712 pp.
- Salcedo, J., F., (2012) - Geología del cuadrángulo de Laas Lomas. Serie A: Carta Geológica Nacional. Boletín N° 146. Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico- INGEMMET.
- Samouëlian, A., I. Cousin, A. Tabbagh, A. Bruand y G. Richard, (2006). Electrical resistivity survey in soil science: a review. *Soil Till Res* 83, 173-193
- SESAME European research project WP12 – Deliverable D23.12: (2004). Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations measurements, processing and interpretation.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), (2018). <http://www.senamhi.gob.pe/>
- Serrano G., Marco V., (2003) – Estudio Geológico – minero de la hoja 10 C-II, escala 1:50 000. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Sieberg, A. (1930). Los Terremotos en el Perú. Capítulo VI, Geología del Perú de G. Steinmann,
- Heidelberg Carl Winster Universitat-Shuchhan-Lunc, p. 406.
- 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.

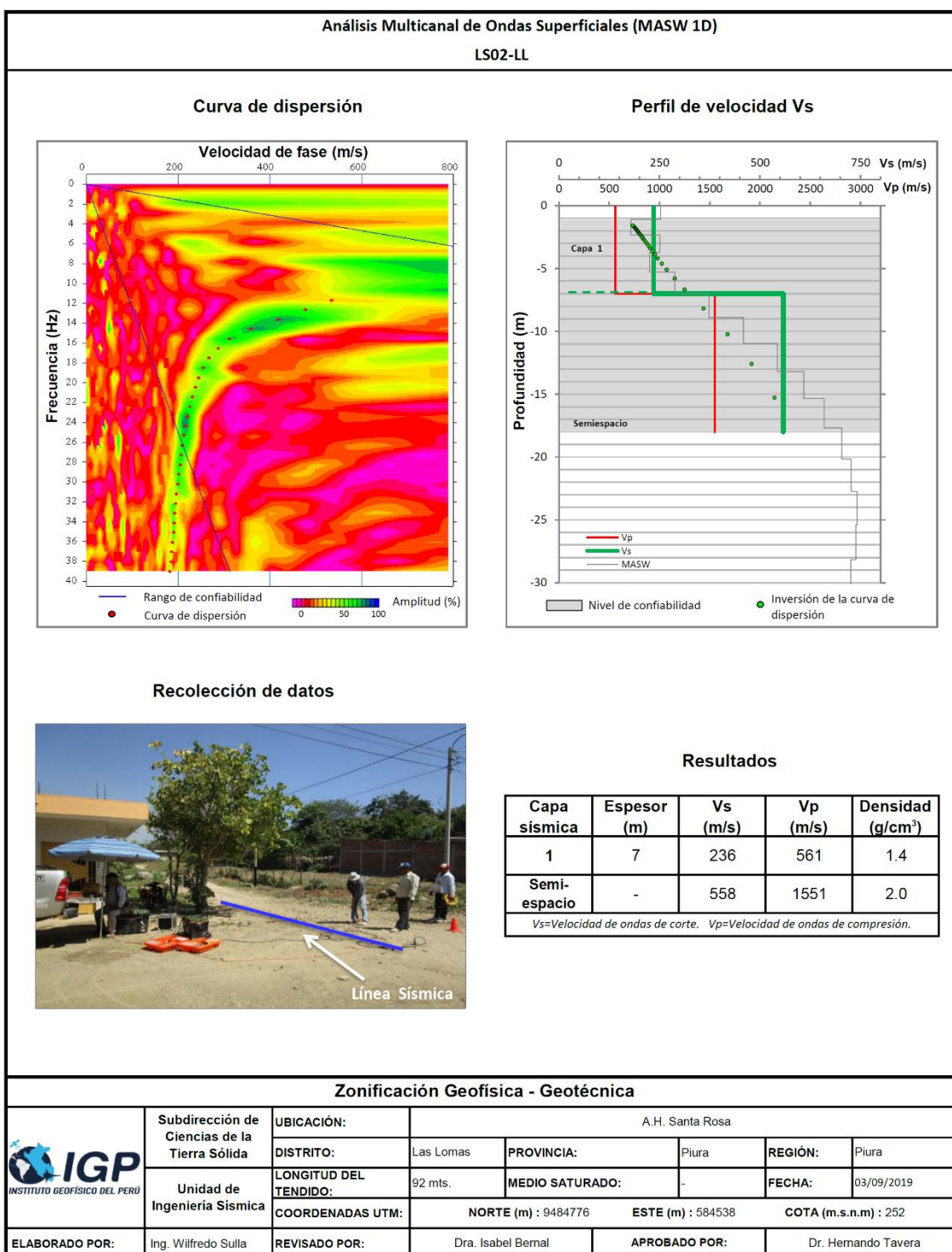
- Suárez, D., J., (1998) – Estabilidad de Taludes en Tropicales. Instituto de Investigación sobre erosión y deslizamientos. Colombia. Ed. Ingeniería de Suelos Ltda. 550 p.
- Tarback, E., D. Lutgens, F., K., (2005) - Ciencias de la Tierra. Una introducción a la Geología Física Pretince Hall. Cap16. 8a edición. 710 pp.
- Tavera, H., Bernal, I., Condori, C., Ordaz, M., Zeballos, A. y Ishizawa, O. (2014) Re-evaluación del peligro sísmico probabilístico para el Perú. Instituto Geofísico del Perú. P. 91.
- Tavera, H. y Buforn, E. (2001). Source Mechanism of Earthquakes in Perú, *Journal of Seismology*, 5, 519-539.
- Tavera, H., Agüero, C y Fernández, E. (2016). Catálogo general de isosistas para sismos peruano. Instituto Geofísico del Perú. Pag. 196
- Terzaghi, K. Peck, B., G. & Mesri, G., (1948) – Soil mechanics in engineering practice, New York: Wiley.
- Varnes, D.J., (1958) - Landslide types and processes in Eckel E.B., ed., *Landslides and Engineering Practice*, Highway Research Board Special Report 29, NAS-NRC Publication 544, Washington, D.C. 20-47 p.
- Varnes, D. J., (1978) - Slope Movement: Types and Proceses. In Scuster R. L. y Krizek, R. J., ed. *Landslides analysis and control*: Washington, D. C. National Academy Press, Transportation Research Board Special report 176. 9-33 p.
- Vilchez, et al, (2013) - Riesgo Geológico En La Región Piura. INGEMMET.
- Wyllie, D., C. & Norrish, N., I., (1996). "Stabilization of rock slopes". *Landslides investigation and mitigation*. Special report 247. Transportation Research Board. National research council, pp. 474-504.
- Xia, J., Miller, R.D., and Park, C.B., 1999, Estimation of near-surface shear-wave velocity by inversion of Rayleigh wave: *Geophysics*, 64, 691–700.
- Zinck, J. & Valenzuela, C., (1990) – Soil geographic database: structure and application examples. *ITC Journal*, 1990(3), 270-294

ANEXO I

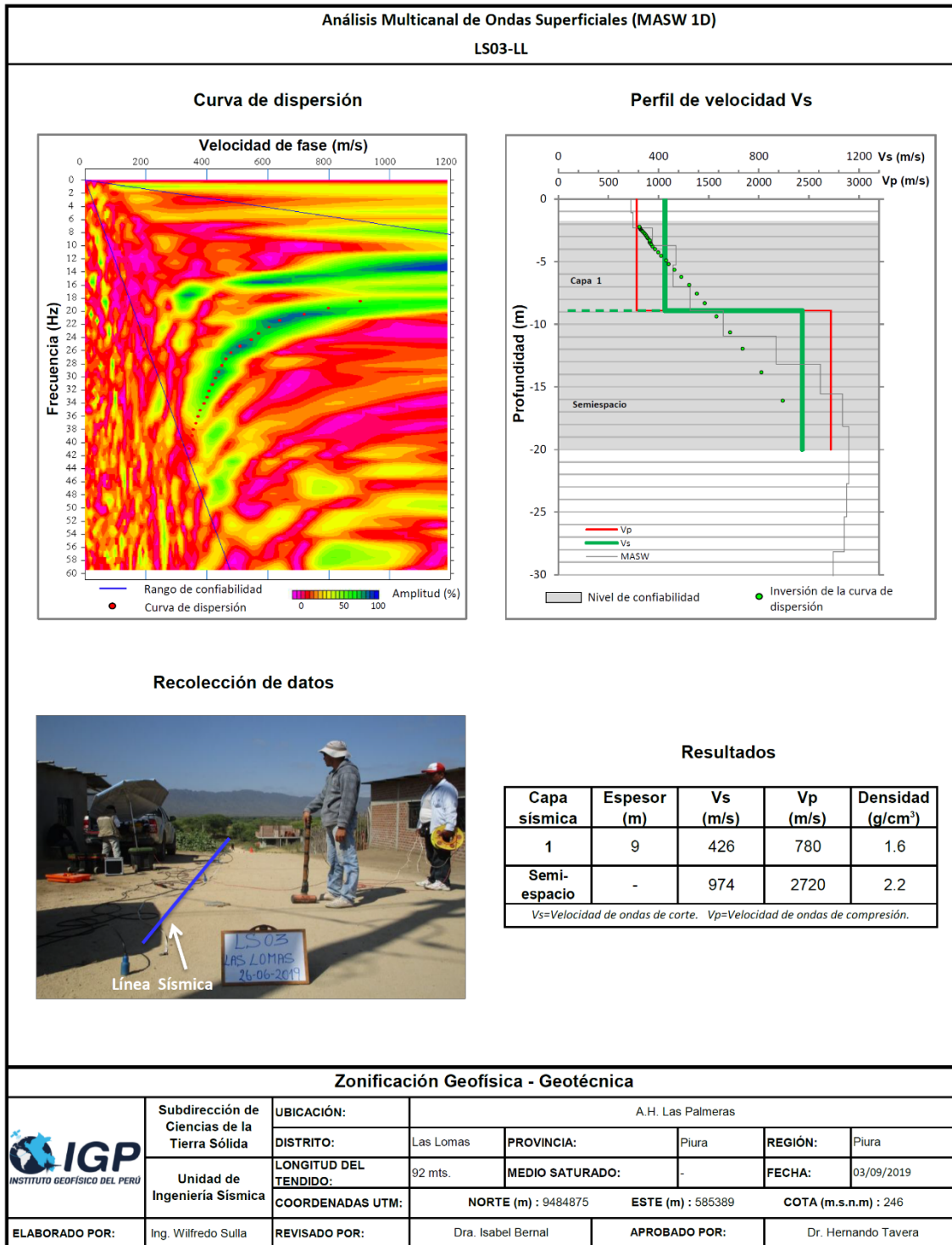
Perfiles Sísmicos MASW



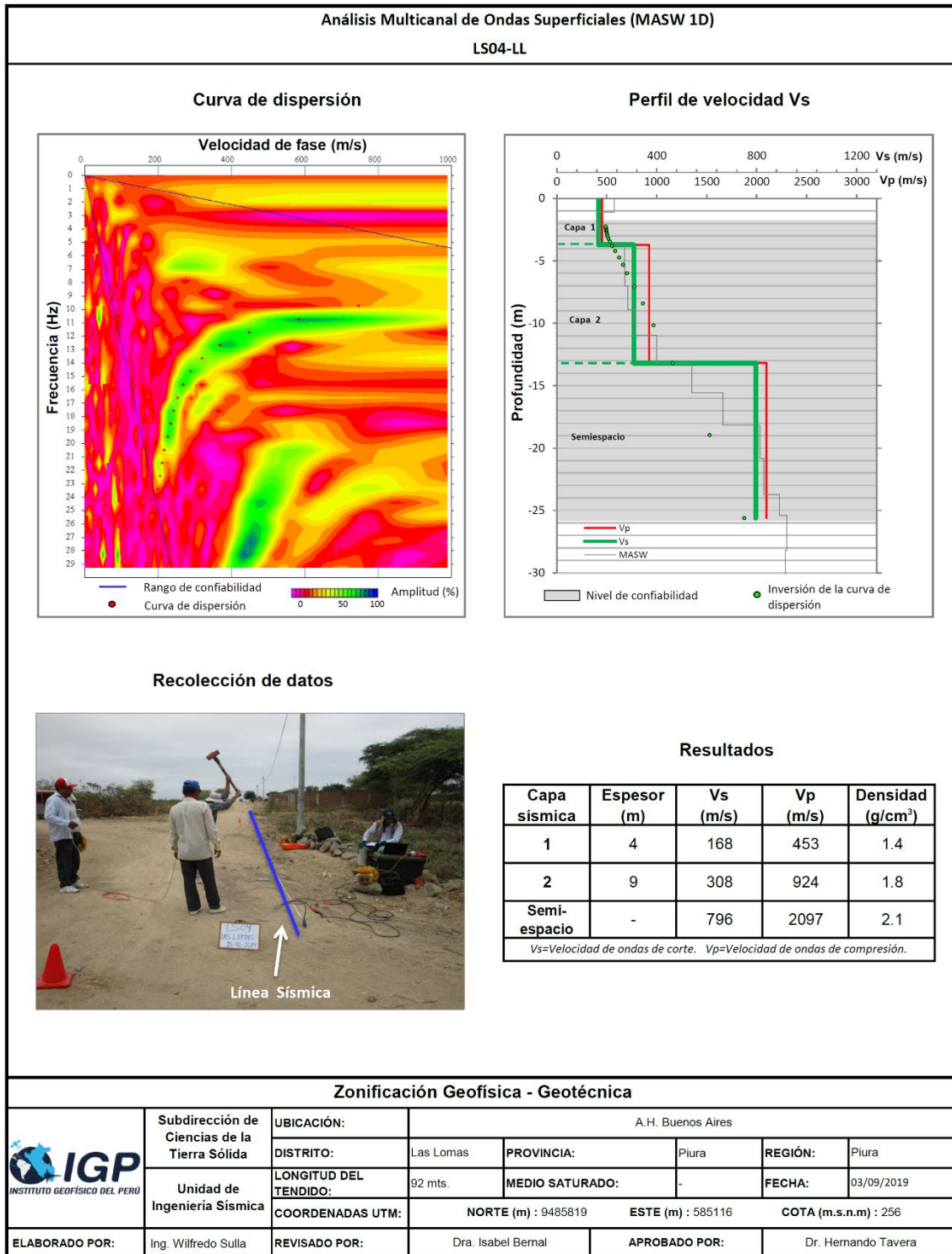
Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo sísmico LS01-LL.



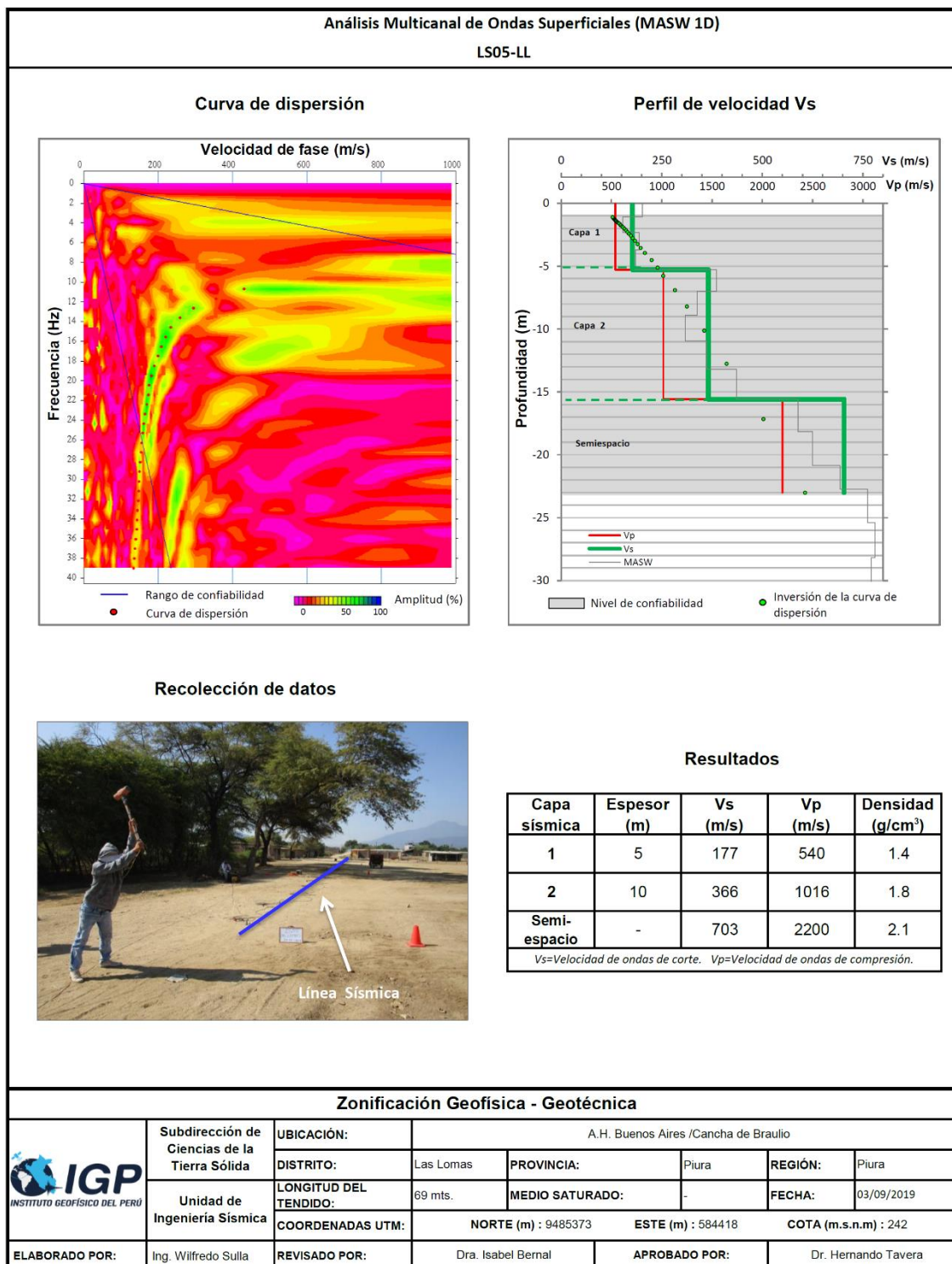
Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo sísmico LS02-LL.



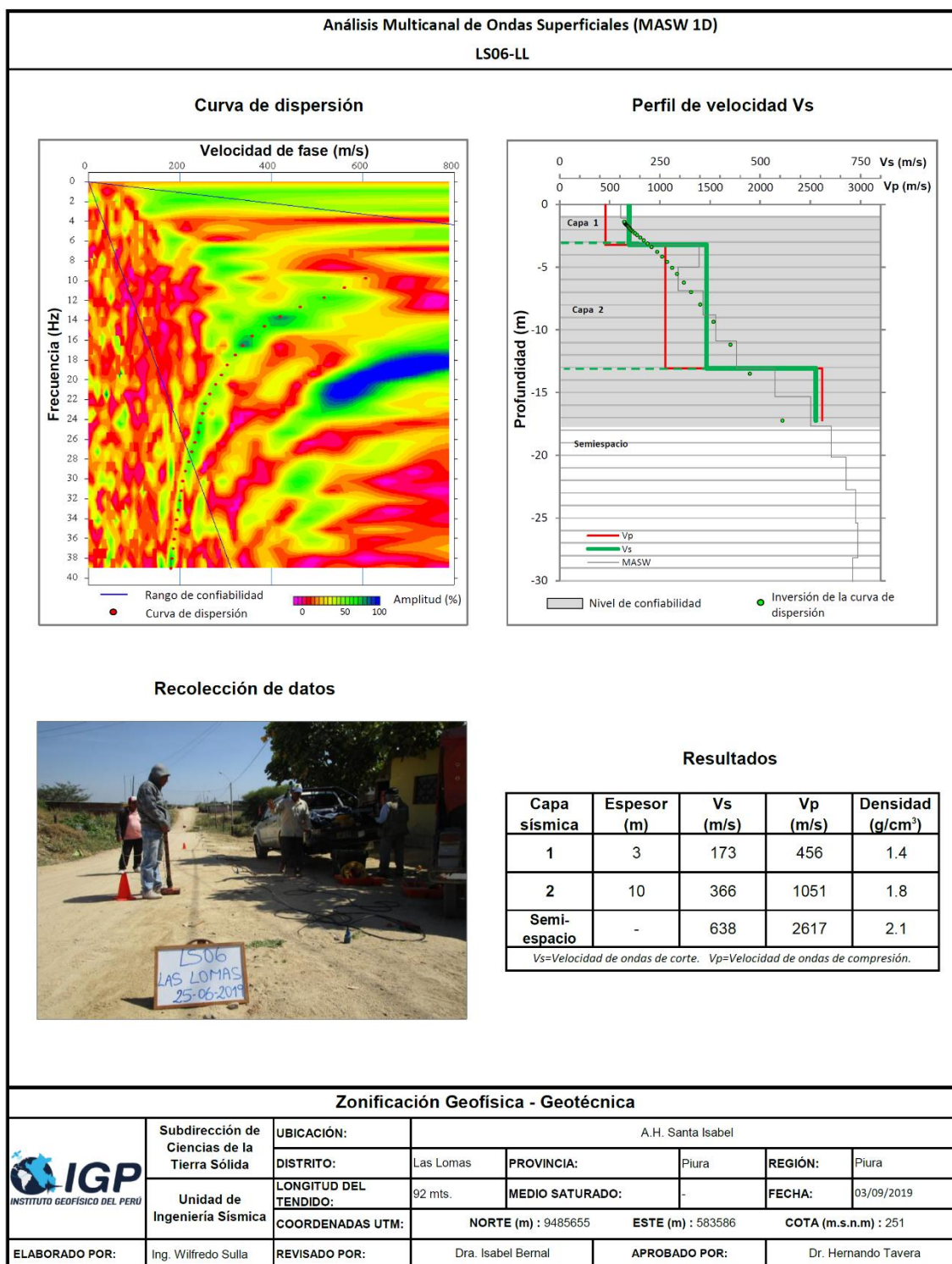
Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo sísmico LS03-LL.



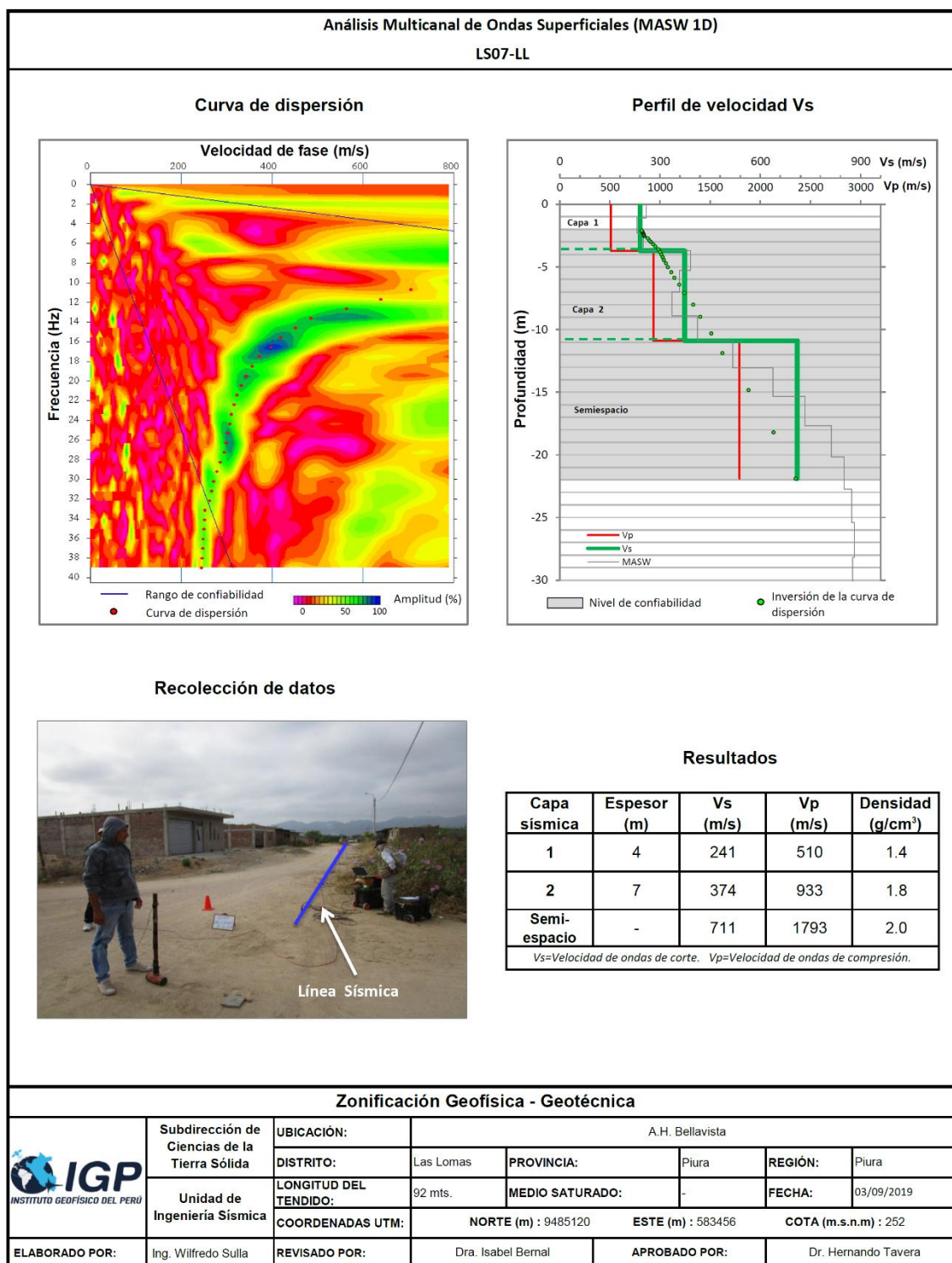
Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo sísmico LS04-LL.



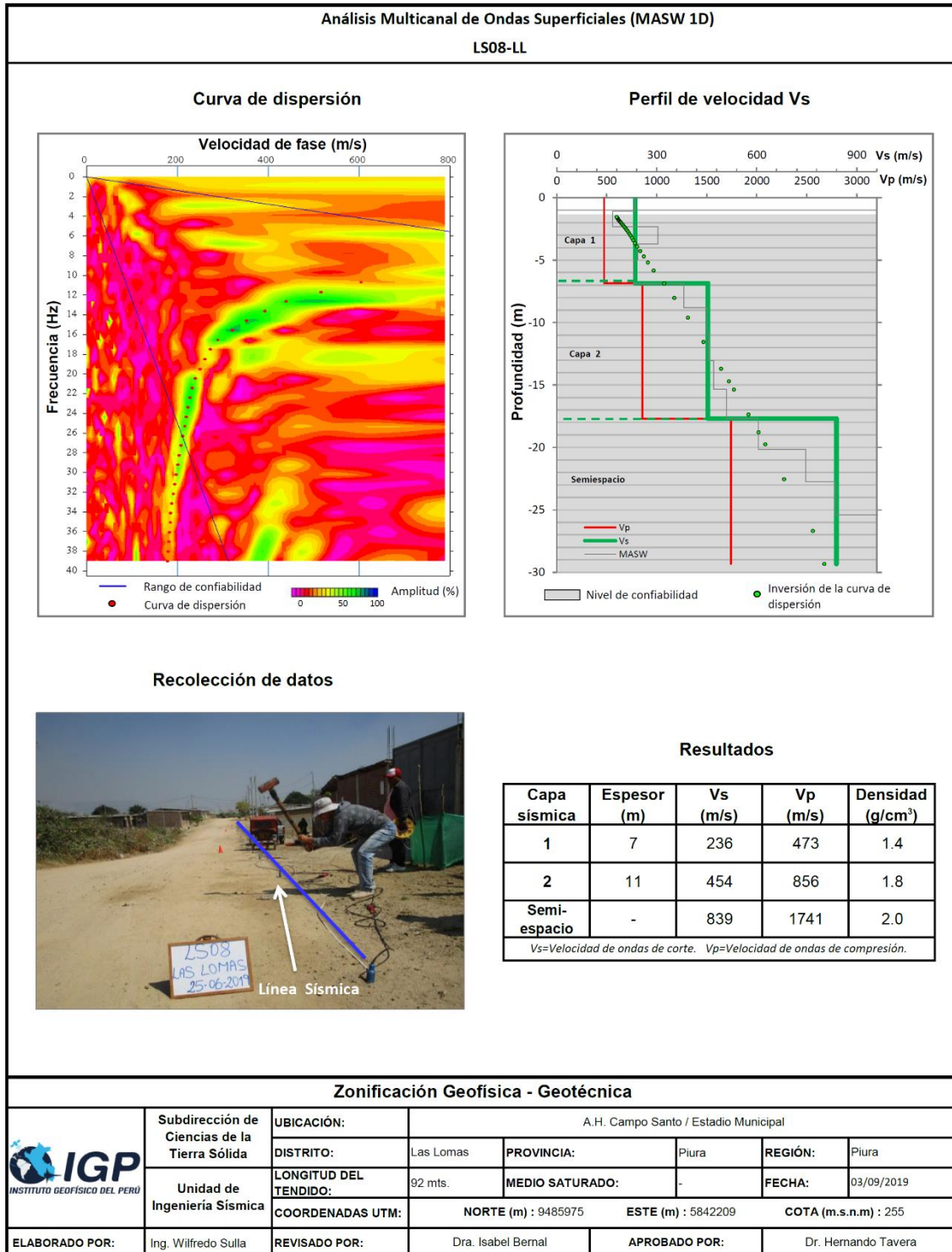
Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo sísmico LS05-LL.



Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo sísmico LS06-LL.



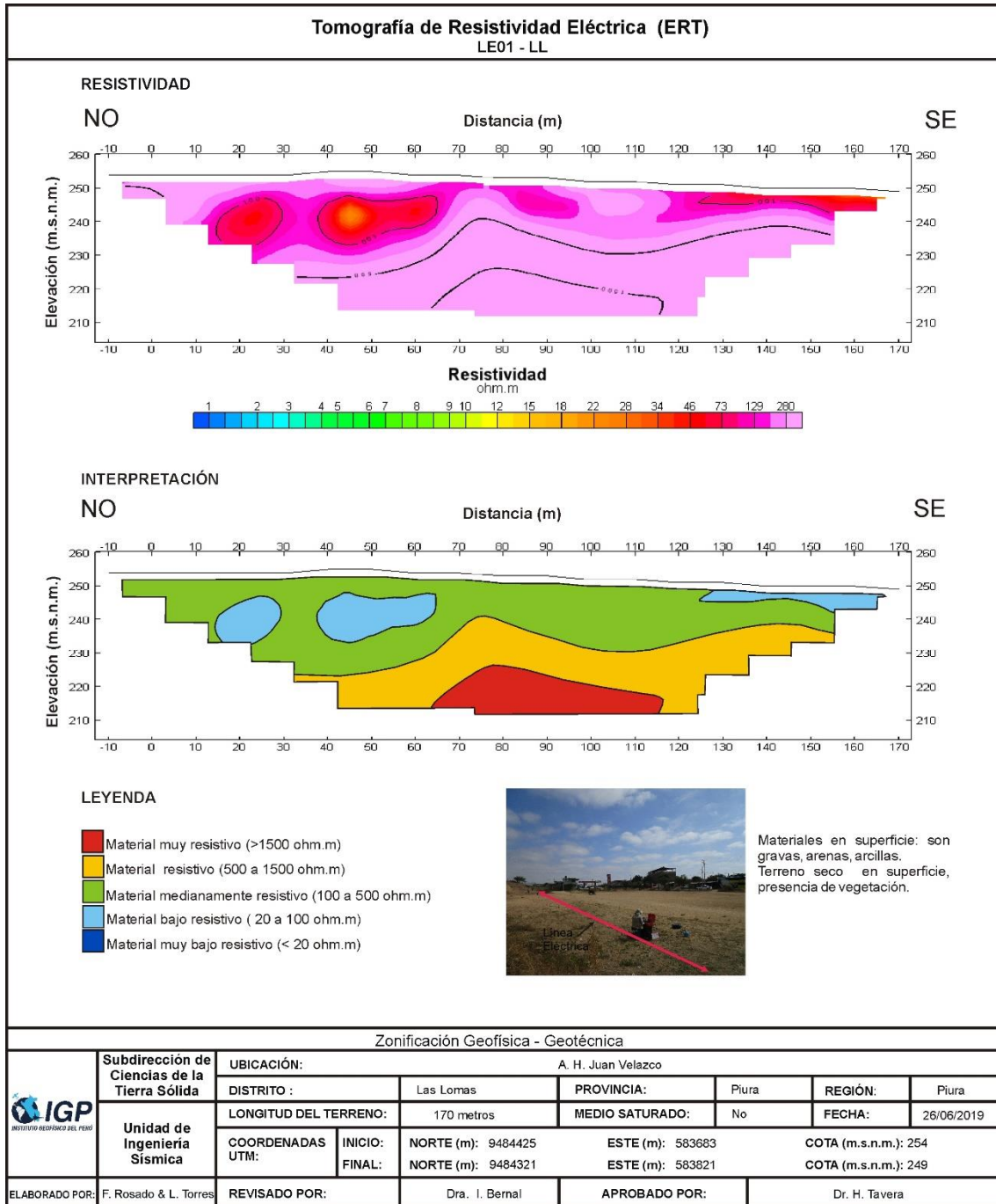
Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo sísmico LS07-LL.



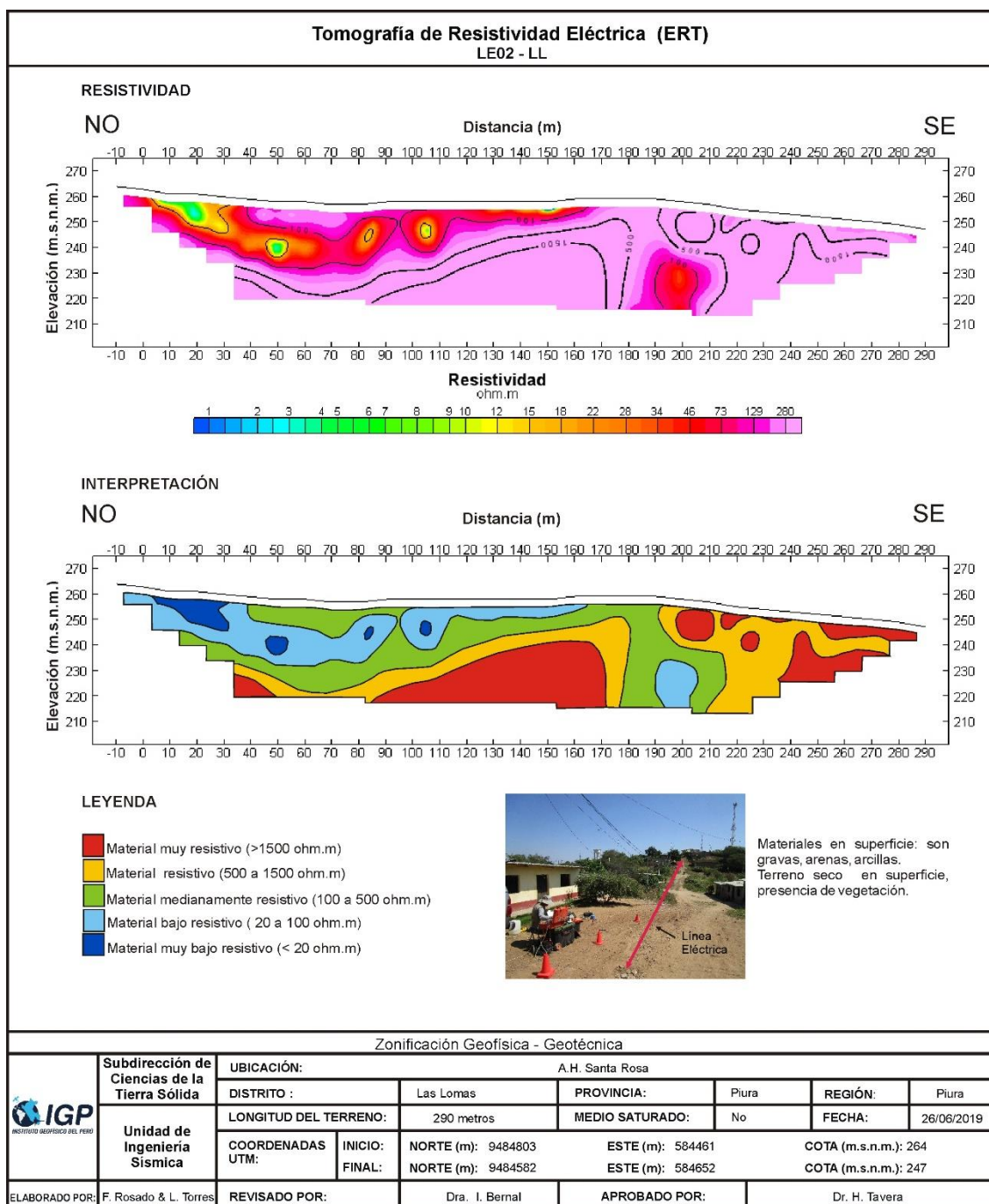
Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo sísmico LS08-LL.

ANEXO II

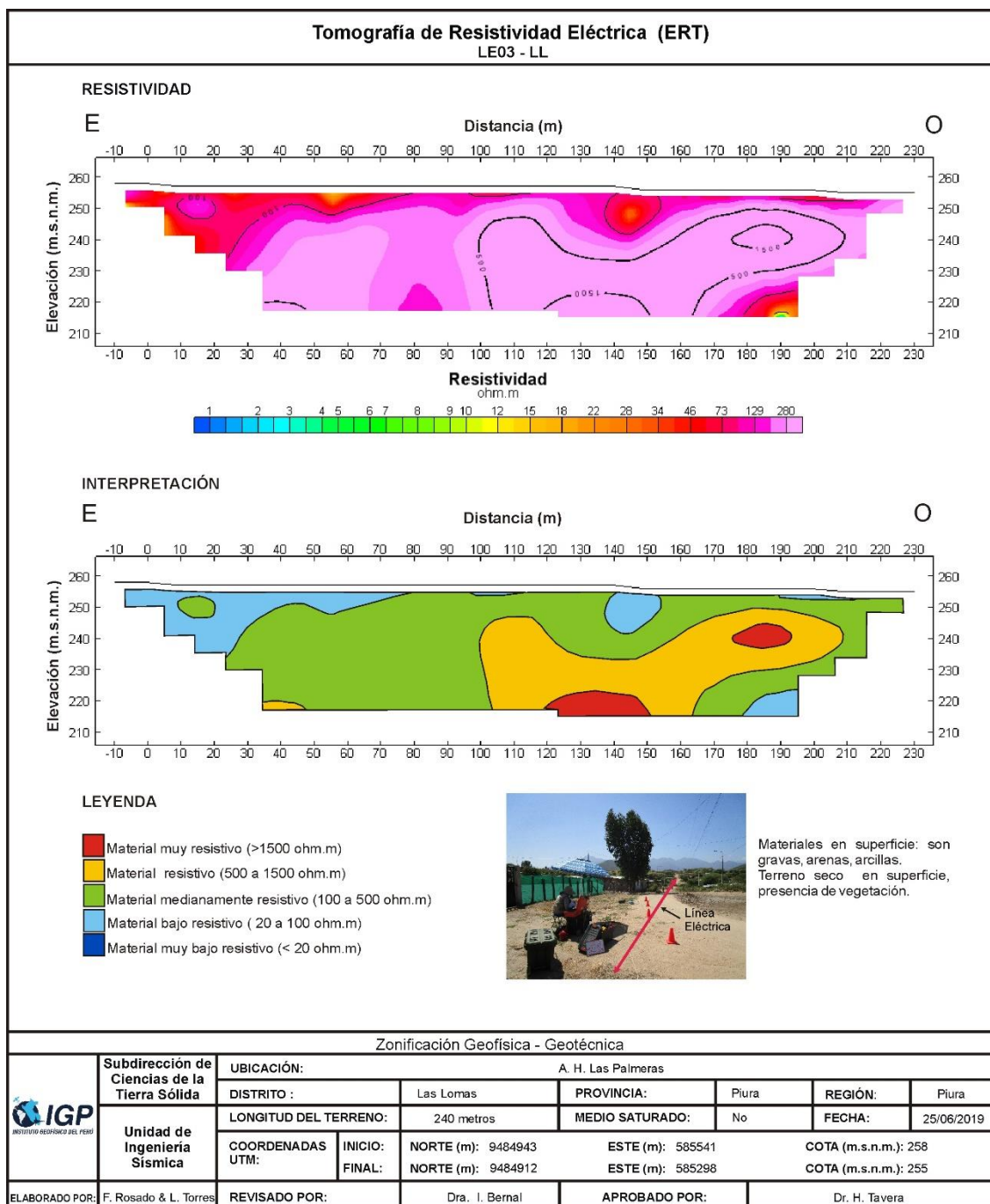
Perfiles de Tomografía Eléctrica ERT



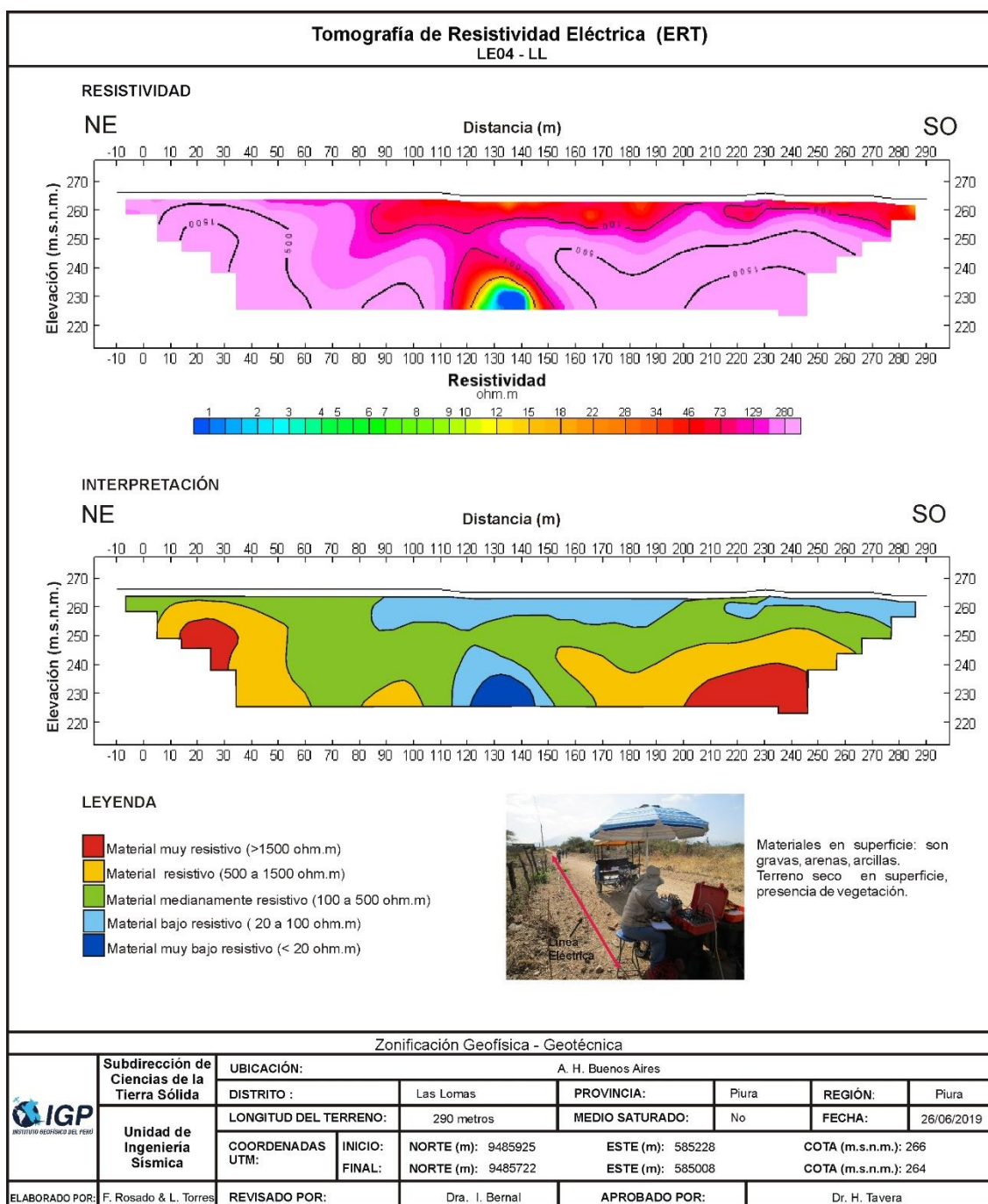
Resultado de tomografía de resistividad eléctrica para la línea LE01-LL.



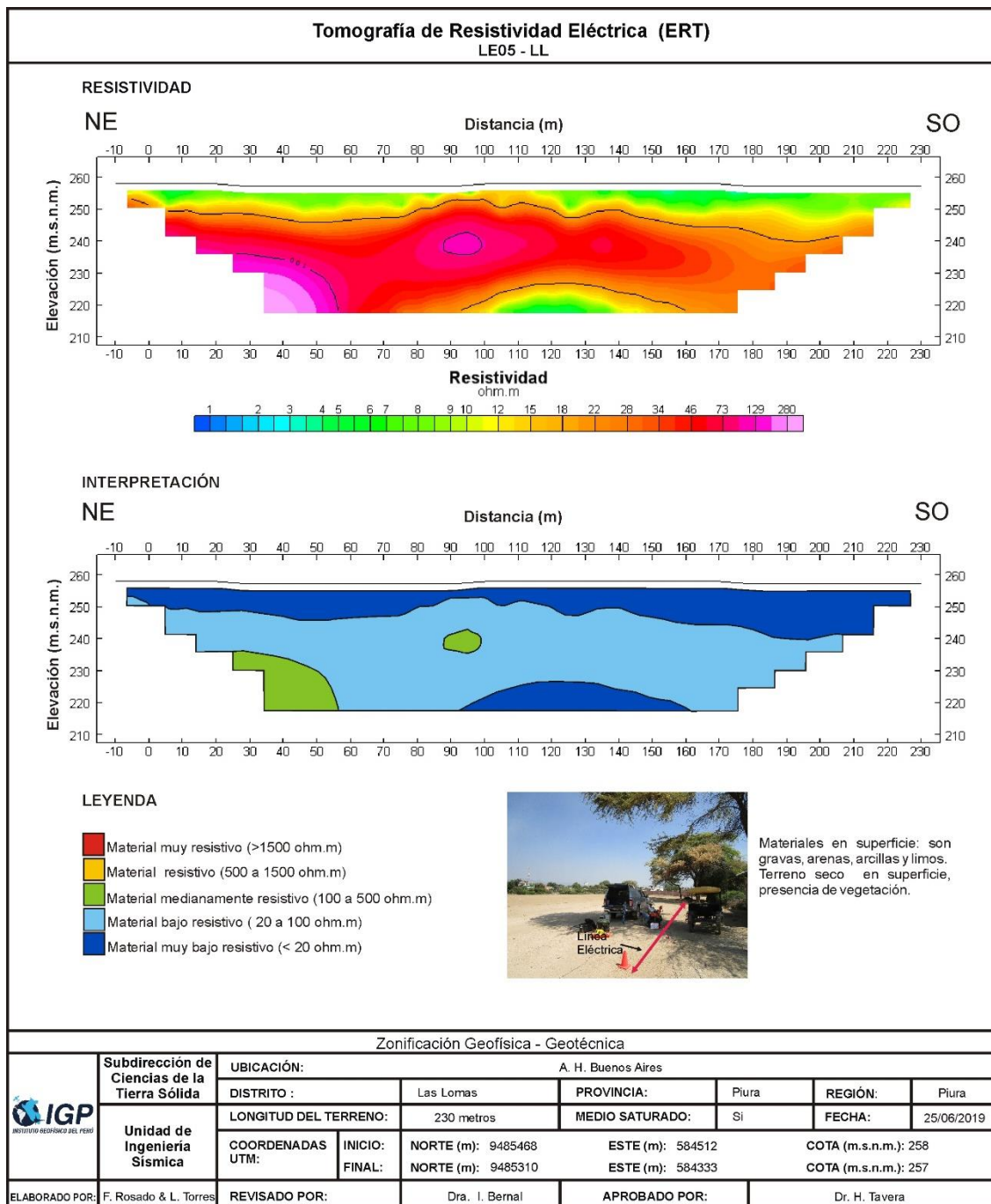
Resultado de tomografía de resistividad eléctrica para la línea LE02-LL.



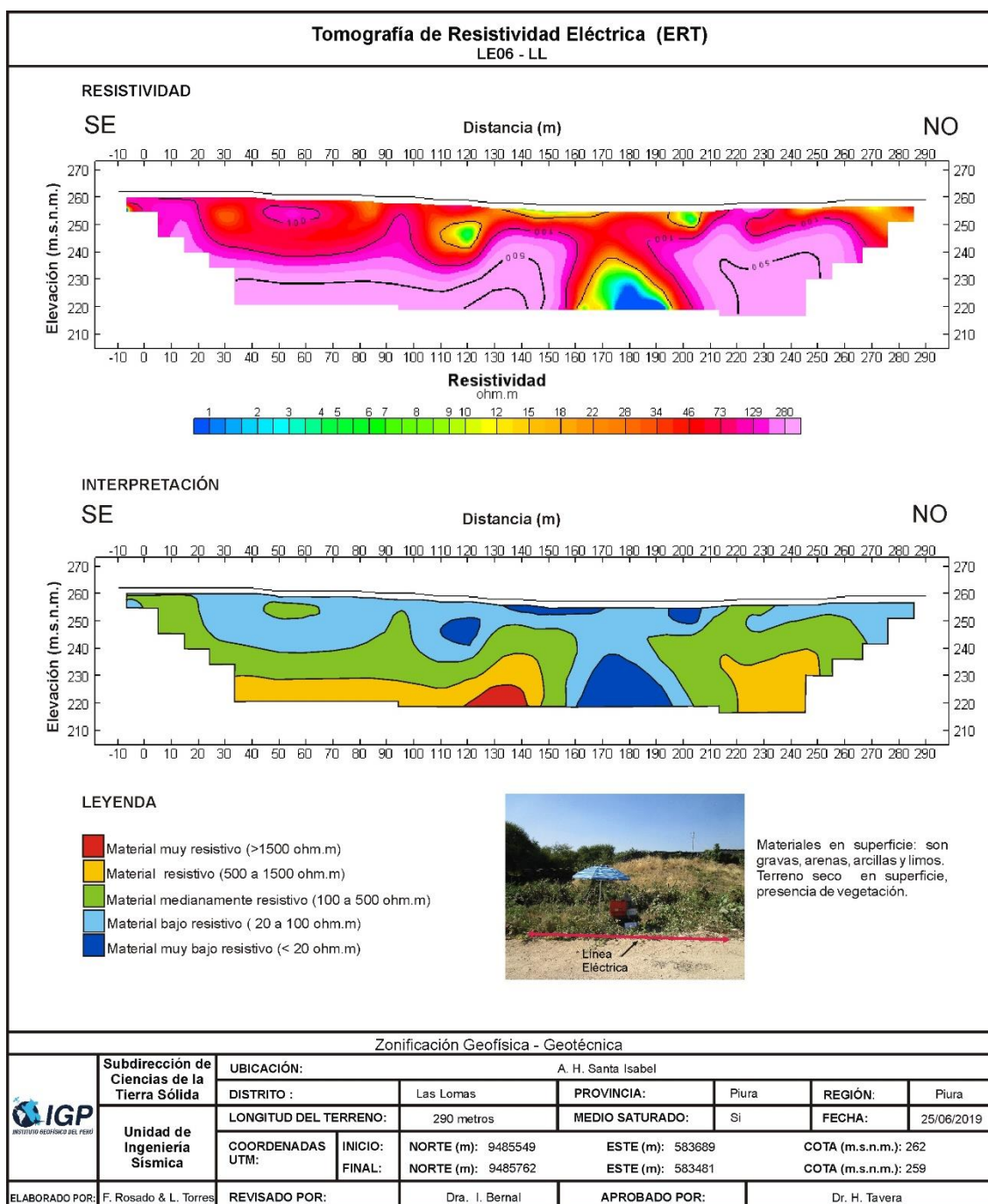
Resultado de tomografía de resistividad eléctrica para la línea LE03-LL.



Resultado de tomografía de resistividad eléctrica para la línea LE04-LL.



Resultado de tomografía de resistividad eléctrica para la línea LE05-LL.



Resultado de tomografía de resistividad eléctrica para la línea LE06-LL.

ANEXOS

Los mapas y bases de datos detallados abajo, son parte de una carpeta que se adjunta el presente informe.

1.- Información Geológica Geotécnica:

- Fichas de eventos geodinámicos
- Registros de calicatas
- Densidad de campo
- Fichas de granulometría
- Registro de posteos
- Registro de DPL
- Registro de capacidad de carga portante
- Mapas

2.- Información Geofísica

- Mapas