



PERÚ

Ministerio
del Ambiente



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 GEOFÍSICA – GEOTÉCNICA DEL ÁREA URBANA DE MORROPÓN

Lima - Perú

2020

Instituto Geofísico del Perú

Presidente Ejecutivo: Hernando Tavera

Director Científico: Danny Scipion

Autores

Isabel Bernal

Caracterización Sísmica y Geofísica del área urbana de Morropón:

Juan Carlos Gómez

Caracterización Geológica y Geotécnica del área urbana de Morropón:

Equipo de Evaluación Geológica y Geotécnica: Juan Carlos Villegas / Segundo Ortiz / Mariana Vivanco / Pilar Vivanco / Héctor Lavado / Gustavo Namay / Henry Salas

Equipo de Evaluación Sísmica y Geofísica: Kelly Pari / Liliana Torres / Wilfredo Sulla / Javier Oyola / José Millones / Jesus Huarachi

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 GEOFÍSICA – GEOTÉCNICA DEL
ÁREA URBANA DE MORROPÓN**

**Distrito de Morropón – Provincia de Morropón
Departamento 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 La Arena (distrito La Arena), La Unión (distrito de Unión), Morropón (distrito de Morropón), Máncora (distrito de Máncora), Talara (distrito de Talara), Querecotillo (distrito de Querecotillo), Las Lomas (distrito de Las Lomas), Tambogrande (distrito 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 Geofísica – Geotécnica de los suelos del área urbana de Morropón”, 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.

ÍNDICE

RESUMEN

ÍNDICE

PARTE 1: Presentación

1. Introducción

1.1. Objetivo

1.2. Historia

1.3. Accesibilidad y clima

1.4. Hidrografía

1.5. Estudios previos

2. Condiciones locales de sitio

2.1. La Norma Técnica E.030

PARTE 2: Caracterización geológica y geotécnica del área urbana de Morropón.

PARTE 3: Caracterización geofísica del área urbana de Morropón

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS: Documentos y Anexos se adjunta en un digital

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 2020 el Proyecto **“Zonas Geográficas con Gestión de Información Sísmica”** y como parte del mismo, la Sub-Dirección de Ciencias de la Tierra Sólida desarrolló 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 distritos (Figura 1):

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

De acuerdo con 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 de 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.

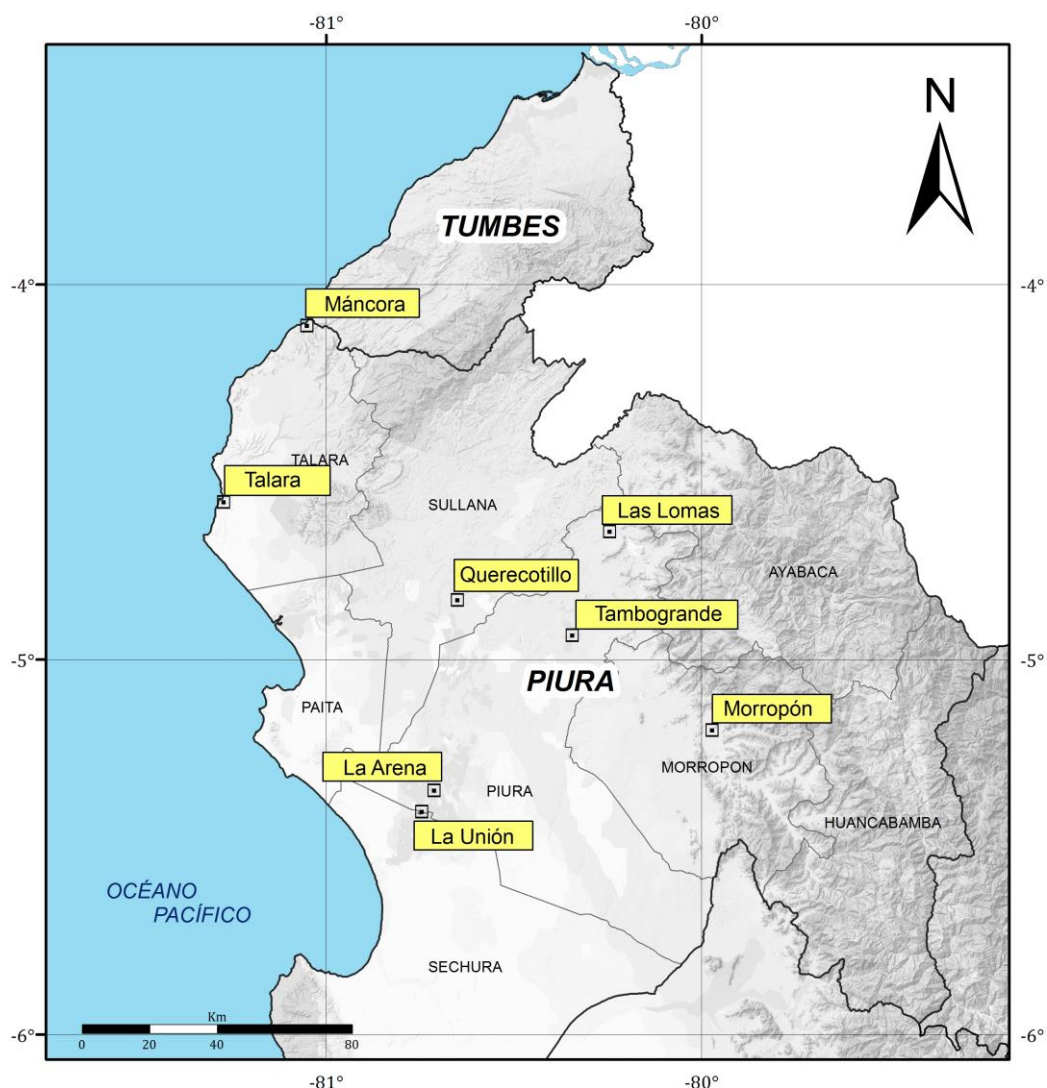


Figura 1: Distribución espacial de los distritos intervenidos durante el año 2020.

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 localidad de Sullana 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 para cumplir en este estudio es obtener el mapa de Zonificación Geofísica - Geotécnica para el área urbana de Morropón, provincia de Morropón, (Figura 2), departamento de Piura, a partir de la integración de los resultados obtenidos con los estudios 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 a la gestión del ordenamiento territorial y desarrollo sostenible de la ciudad.



Figura 2: Plaza principal del área urbana de Morropón

Actualmente, el área urbana de Morropón, es uno de los diez distritos que conforman la provincia de Morropón, departamento de Piura; con una altitud promedio de 131 m.s.n.m. y un área total de 3.0 km² y una densidad poblacional de 89,66 hab/km².

1.2. Historia

El distrito de Morropón fue cimentado el 27 de junio de 1937, mediante ley N°. 8174, por el entonces presidente de República el General Oscar R. Benavides, teniendo como alcalde a don Donatilo Arellano Gómez y como jefe de la ORM. Al Capitán EP. Carlos Puente Velezmoro. Esta ley establece que el 31 de enero de 1936 fue el nacimiento de la Provincia de Morropón con su capital Chulucanas, sin embargo su inauguración tuvo lugar el día 27 de junio de 1937, quedando instalada la referida provincia conformada por diez distritos.

El área urbana de Morropón Limita por el norte el distrito de Chulucanas y Santo Domingo, al Sur el distrito de Buenos Aires, al Este el distrito de Santa Catalina de Mossa y al Oeste con el distrito de La Matanza (Figura 3).

1.3. Accesibilidad y Clima

El acceso a Morropón, desde la ciudad de Lima, es por la carretera Panamericana Norte hasta la ciudad de Piura, luego se continua por la carretera "Panamericana Antigua" a aproximadamente 85 km (carretera Piura-Huancabamba).

Para determinar las condiciones climáticas en el distrito de Morropón se han tomado los datos referenciales de la web del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) de la estación Meteorológica Morropón ubicada en la provincia de Morropón en el distrito de del mismo nombre en las coordenadas geográficas; Latitud: 5° 11' 40.72", Longitud: 79° 58' 15.87" y cota 128 m.s.n.m. (Figura 4).

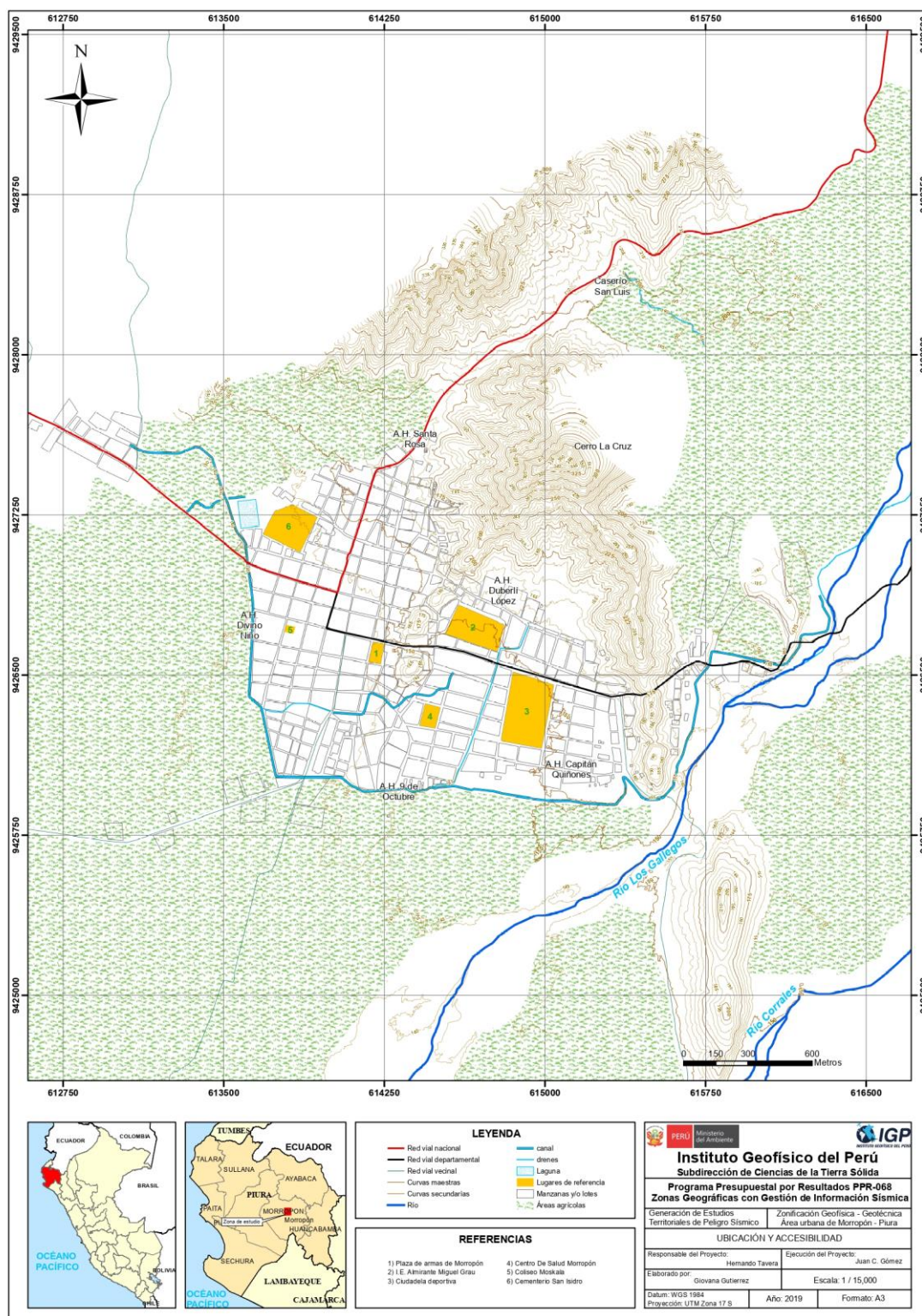


Figura 3: Mapa de ubicación geográfica del área urbana de Morropón.

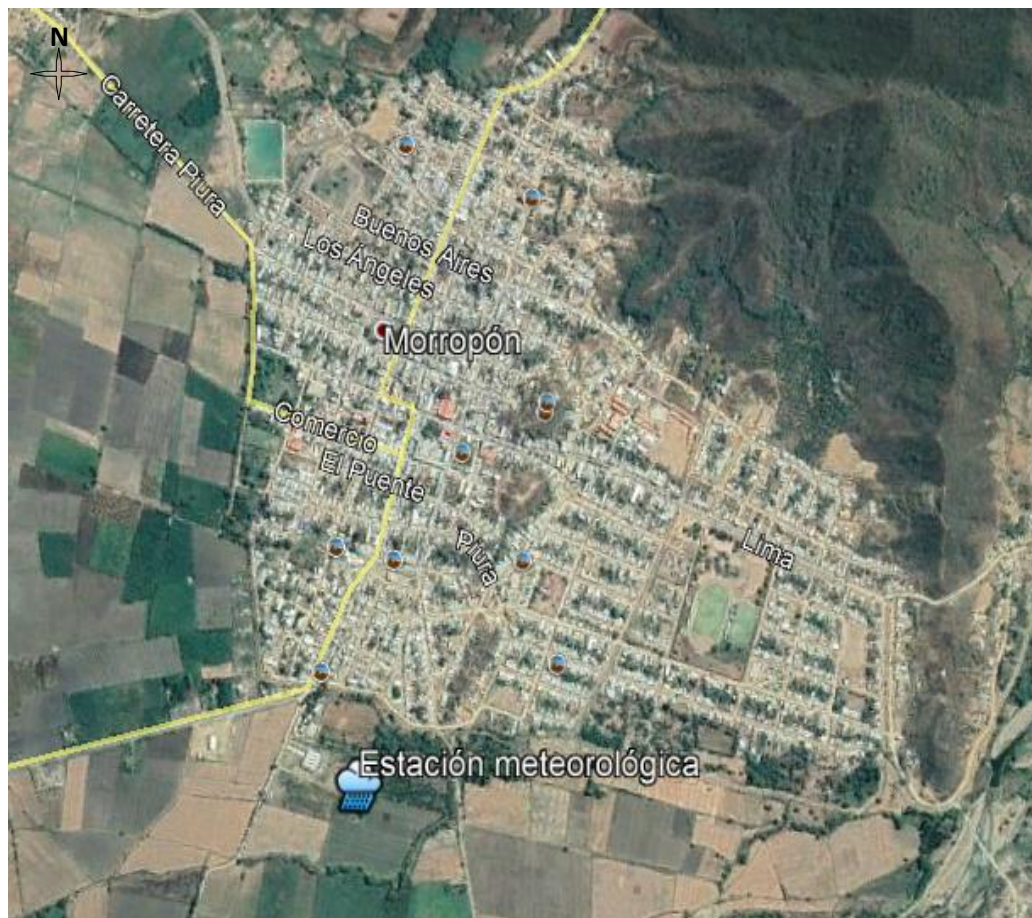


Figura 4: Ubicación de estación meteorológica Morropón

Según la información registrada en la estación (periodo 2017-2019), la ciudad presenta un clima cálido con una temperatura máxima de 36.2°C en época de verano (diciembre- junio) y en invierno (julio-setiembre), temperatura mínima de 17.1°C . Las lluvias se presentan en los meses de diciembre a mayo, siendo mínimas a nulas en los meses de julio a setiembre. Durante los eventos Niño la temperatura puede aumentar de 2°C a 4°C y las precipitaciones superan los 100 mm máximos diarios. En el evento Niño ocurrido en el 2017 se registró 150.5 mm como precipitación máxima diaria en el mes de febrero, lo que generó inundaciones pluviales, interrupción de carreteras y accesos en el área de estudio (Tabla 1). Sin evento Niño, las precipitaciones no superan los 100 mm (máximos diario) en el distrito en mención; sin

embargo, generan inundaciones pluviales en el casco urbano de Morropón

Tabla 1: Registro de temperaturas en la ciudad de Morropón, periodo 2017-2019, el recuadro en color rojo es el dato de precipitación máxima diaria registrada (mm) en la zona de estudio, que corresponde a la ocurrencia del evento Niño.

Precipitación máxima diaria (mm) de Morropón												
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2017	78.0	150.5	116	15.5	3.6	SD	0.0	0.2	0.0	4.5	0.1	2.0
2018	0.7	4.70	3.6	60.5	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	3.2
2019	10.4	82.1	17	25.0	2.4	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	2.3	3.1

1.4. Hidrografía

El área de estudio está ubicada en la subcuenca Las Gallegas y forma parte de la cuenca del río Piura que tiene una extensión de 12,155.2 km². El principal sistema de drenaje en el distrito de Morropón es el río Las Gallegas, que nace de la confluencia de la quebrada de Santo Domingo y río Ñoma, para luego unirse con el río Corral del Medio (Corrales) e integrar el curso principal del río Piura. El río Las Gallegas es de régimen irregular y cuyas descargas mayores se presentan en los meses de enero a marzo. En épocas de evento Niño el caudal aumenta interrumpiendo el acceso a distritos cercanos. Es una fuente de agua para el consumo humano en los centros poblados y en las zonas agrícolas se aprovecha para la irrigación de las tierras de cultivo a través de tomas secundarias y canales.

1.5. Estudios previos

Para el área urbana de Morropón, se ha recopilado la información sobre estudios previos de geología, geotécnica, sísmica y geofísica realizados por diversos investigadores e instituciones a fin de ser consideradas para los objetivos del presente. Entre los principales documentos técnicos consultados, se tiene:

- CENEPRED, 2017 (1994). "Informe de Evaluación de Riesgo por Inundación Pluvial en el Centro Poblado de Morropón, distrito Morropón, Provincia Morropón, Departamento De Piura". El informe describe que Morropón es afectado por inundaciones pluviales a causa de las precipitaciones extremas del evento Niño, presenta un nivel de Peligro Muy Alto y Vulnerabilidad Muy Alta debido a la presencia de viviendas construidas de material precario.
- INGEMMET, (2017). "Informe Técnico N° A6765 Evaluación Geológica de las zonas afectadas por El Niño Costero 2017 En La Región Piura". El estudio señala que Morropón a nivel de distrito, la activación de las quebradas Las Damas y Franco Cerezo y otras de corto recorrido y sin denominación afectaron pontones, alcantarillas del tramo de la carretera que une Chulucanas y Morropón, generando la obstrucción de caminos hacia otros centros poblados, los ríos Capones y Corrales se desbordaron afectando terrenos agrícolas y tramos de la carretera.
- INDECI, (2016). "Informe de emergencia n° 06/04/2016/COEN-INDECI/15:40 horas inundación afecta provincia de Morropón Piura". El informe indica que el 03 de marzo del 2016 a las 17:00 horas, se registraron inundaciones debido a las precipitaciones que afectaron viviendas, vías de comunicación, áreas de cultivo y servicios básicos en el centro poblado de Morropón., registrando 20 familias damnificadas, 4 viviendas colapsadas y 16 viviendas inhabitables
- Reyes, L. (1987). "Geología de Las Playas 9C, La Tina 9 D, Las Lomas 10 C, Ayabaca 10D, San Antonio 10 E, Chulucanas 11C, Morropon 11D, Huancabamba 11 E, Olmos 12 D, Pomahuaca 12 E. Serie A:

Carta Geológica Nacional. Boletín N° 39. Geología – Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico-INGEMMET. En el boletín se describen las unidades litológicas aflorantes a escala 100,000 en el área de estudio, cuyas edades son Precámbrico (rocas metamórficas tipo esquistos), Paleozoico (rocas metamórficas tipo cuarcitas) y Cuaternario Reciente, conformados por depósitos aluviales (conglomerados poco consolidados con matriz areniscosa o limo arcilloso) ubicados al noreste del área de estudio y depósitos fluviales (conglomerados inconsolidados depositados en fondos de cursos fluviales, arenas, limos y arcillas) sobre este tipo de depósito se ubica el distrito de Morropón. ver Figura 5.

- CENERPRED, (2017). "Informe de evaluación de Riesgo por inundación pluvial en el Centro Poblado Morropón, distrito Morropón, Provincia de Morropón, departamento de Piura". El informe tuvo por objetivo determinar el nivel de riesgo originado por inundación pluvial, para lo cual se generaron mapas de peligro por inundación del área de impacto del Fenómeno de El Niño FEN-2017, concluyendo que el peligro por inundación del área urbana es muy alto, además que el área afectada por inundación pluvial tiene vulnerabilidad muy alta debido a que hay gran presencia de viviendas de material muy precario. Y de acuerdo con la geomorfología y geología, se presentan colinas y lomadas de roca metamórfica, terrazas aluviales sobre el cual se encuentra el área urbana con pendientes que oscilan entre los 0° y 5° y llanuras o planicies aluviales y fluviales que corresponden áreas próximas al río Los Gallegos.

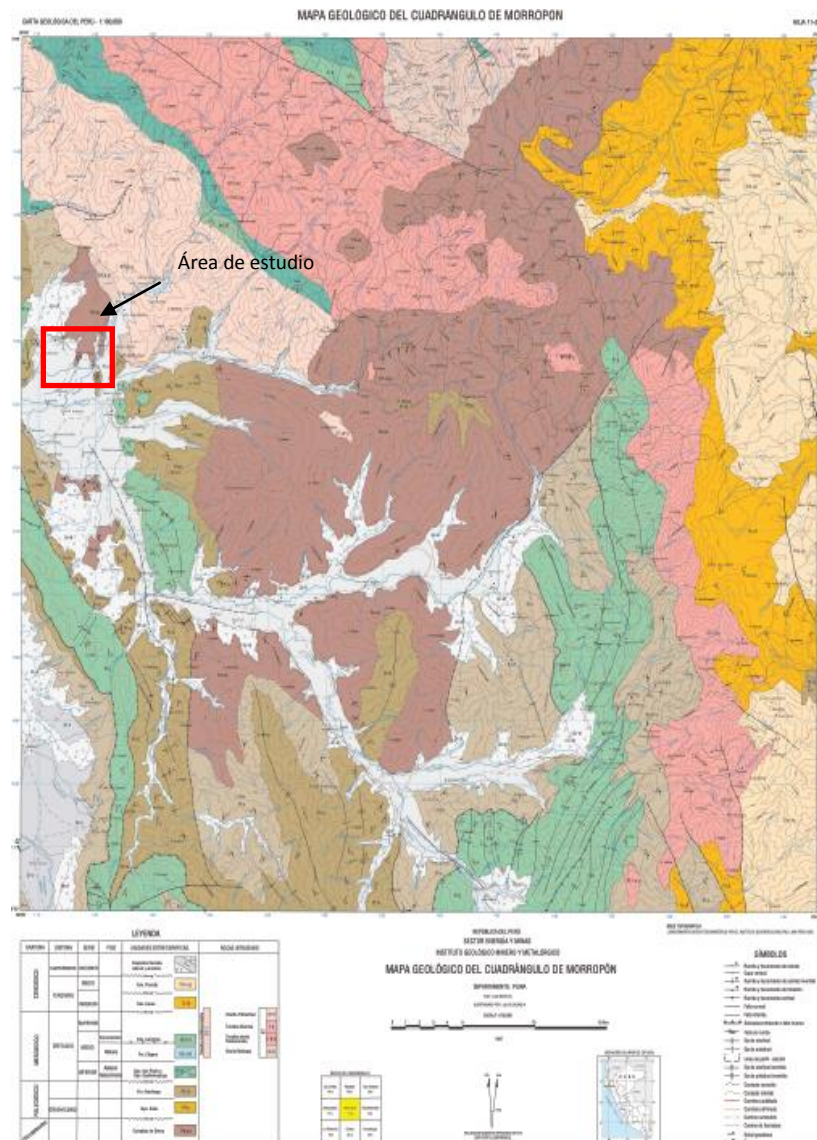


Figura 5: Mapa de geología regional del cuadrángulo de Morropón, el área de estudio se ubica en el rectángulo en rojo. Fuente: INGEMMET (versión digital).

- IGP, (2014). "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 definición de nuevas fuentes sismogénicas. Se generan los mapas de aceleración horizontal (PGA) y los resultados muestran que Morropón presenta aceleraciones de hasta 340 gals para un periodo de retorno de 500 años.

- INRENA, (1999). "Estudio de prospección geofísica con fines de reconocimiento hidrogeológica para la casa de Asilo de Ancianos de la provincia de Morropón – Piura", El proyecto tuvo objetivo determinar la posibilidad de exploración del reservorio acuífero para usos múltiples. De los resultados obtenidos, se identifica una formación acuífera cuya resistividad eléctrica fluctúa entre 10.9 a 68.5 Ohm.m a partir de los 5 metros de profundidad. De características permeables hasta los 25 metros de profundidad, por debajo corresponde al sustrato rocoso.

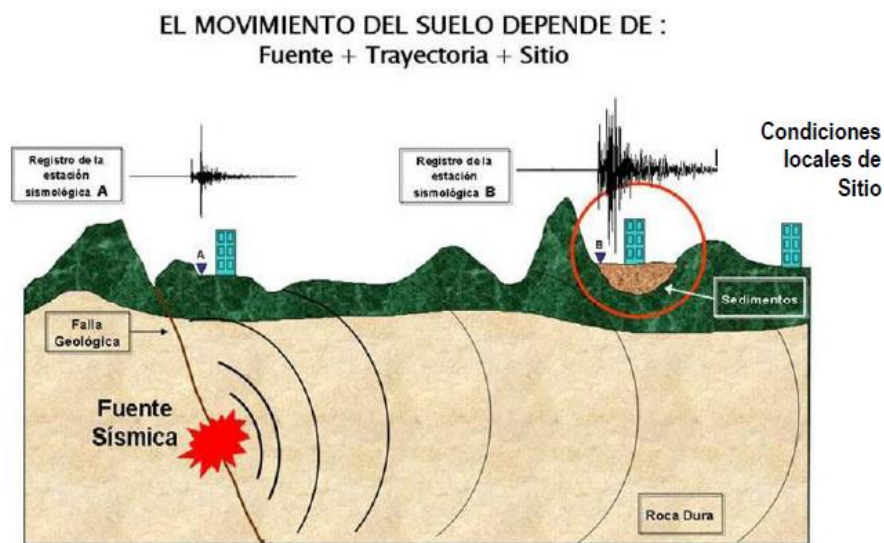
2.- CONDICIONES LOCALES DE SITIO

En la actualidad, es ampliamente conocido que las condiciones locales de sitio son uno de los principales factores responsables de los daños que se producen en cualquier tipo de edificación durante la ocurrencia de sismos severos. Este factor es fuertemente dependiente de las características 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 con 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, 2002), ver Figura 6.

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 data 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.

Figura 6: 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.

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 Geofísica - 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 lo establecido por 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 físicas, 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 establece 5 perfiles:

- **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 (Tabla 2).

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 a 1500	Roca o suelo muy rígido
S_2	180 a 500	Suelo medianamente rígido
S_3	< 180	Suelo blando
S_4	Clasificación basada en el EMS	Condiciones Excepcionales

- **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 S₄: 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).

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

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

Dónde:

d_i = espesor de cada uno de los estratos n.

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

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). En tal sentido y de acuerdo con los estudios realizados, se establece la existencia de 5 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.

**CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA
DEL ÁREA URBANA DE MORROPÓN**

CONTENIDO

1. METODOLOGÍA

2. GEOMORFOLOGÍA

2.1. Modelo digital de elevación (MDE)

2.2. Pendientes

2.2.1. Clasificación del grado de pendientes

2.3. Unidades geomorfológicas

3. GEOLOGÍA

3.1. Geología local

4. GEODINÁMICA

4.1. Geodinámica Superficial

4.1.1. Inundación

4.1.2. Elementos expuestos

5. ASPECTOS GEOTÉCNICOS

5.1. Exploraciones a cielo abierto

5.1.1. Densidad del suelo in-situ

5.2. Exploraciones con posteadora

5.3. Ensayo de penetración dinámica ligera - DPLT

5.4. Clasificación de suelos SUCS

5.5. Ensayos de corte directo

5.5.1. Capacidad de carga portante

1.- METODOLOGÍA

Para realizar la caracterización geológica y geotécnica de los suelos en el área urbana de Morropón se ha seguido la siguiente metodología:

- **Gabinete:** Las actividades realizadas incluyeron la revisión de imágenes satelitales WorlView-2 con resolución 0.5 m del servidor Digital Globe (año 2010), con la finalidad de delimitar la zona de estudio. Asimismo, se procedió con la recopilación de información geológica-geotécnica regional y local existente (boletines geológicos, informes técnicos, entre otros).
- **Campo:** Se realizó el cartografiado geológico, geomorfológico, geodinámico a escala 1:15000, utilizando la ortofoto del área de estudio obtenida, a través del RPAS. Asimismo, se realizaron exploraciones geotécnicas que incluye la ejecución de ocho (08) calicatas, seis (06) densidades de campo, 11 DPL y 10 auscultaciones manuales (posteos). Las muestras extraídas fueron analizadas en el laboratorio de mecánica de suelos para determinar humedad natural, límites de Atterberg, granulometría y corte directo para obtener parámetros de cohesión y ángulo de fricción de los suelos que sirven para el cálculo de la capacidad portante.
- Finalmente, con la información recopilada en gabinete, campo y resultados de laboratorio, se procesó y analizó para la elaboración del presente informe.

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 se agrupan en la cadena 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 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 el área urbana de Morropón.

Previamente, en base al levantamiento fotogramétrico realizado y mediante herramientas computacionales SIG, se han elaborado los planos: Modelo Digital de Elevación (MDE) y Pendientes con el fin de delimitar las características geomorfológicas del terreno (geoformas), éstas fueron verificadas y validadas durante el trabajo de campo, a través del cartografiado y delimitación de las unidades geomorfológicas en el área urbana de Morropón.

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, permite ser utilizados para realizar mapas de pendientes, acumulación de horas de radiación, parámetros morfométricos, entre otros (Felicísimo, 1994).

Para la elaboración del MDE para el área urbana de Morropón, se tomó en cuenta el uso de herramientas SIG sobre las curvas de nivel obtenidas a partir de la ortofoto, obteniendo como resultado la representación digital de la superficie del terreno de la localidad, ver Figura 1.

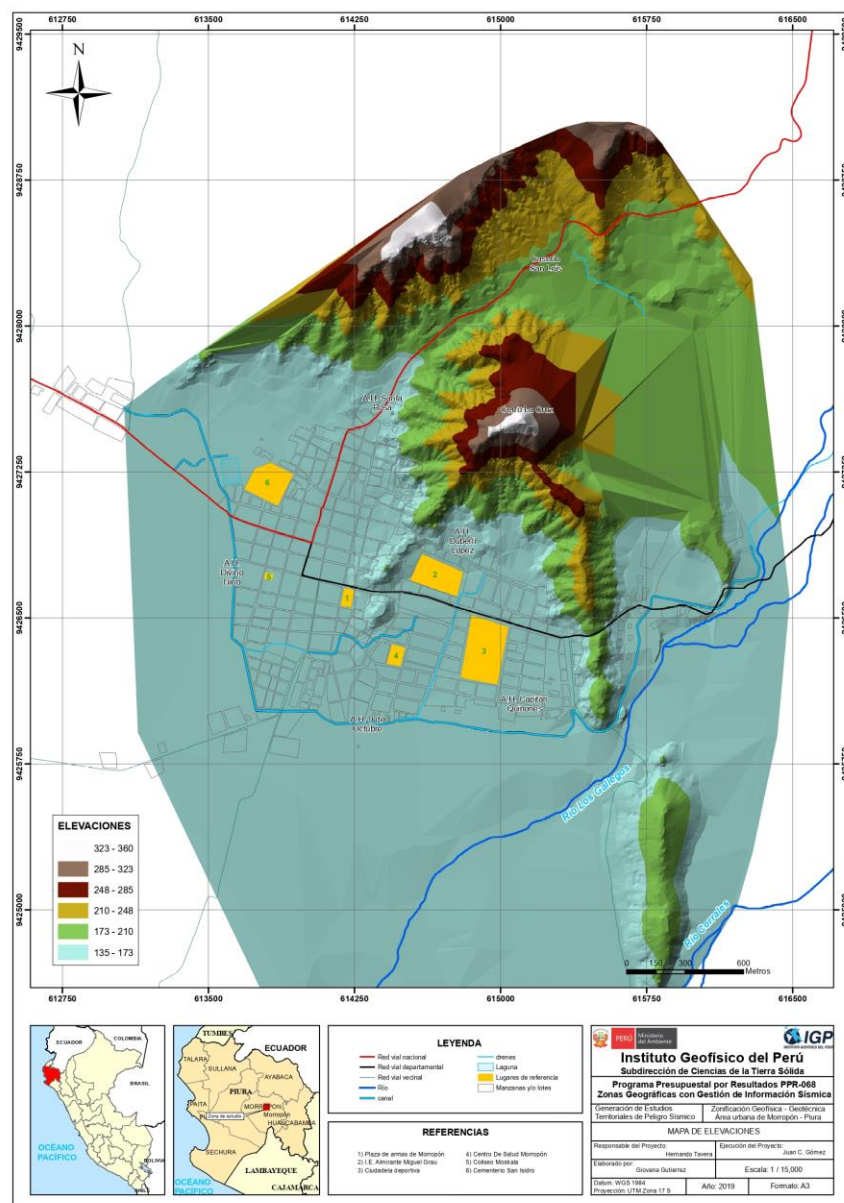


Figura 1: Mapa de modelo digital de elevación para el área urbana de Morropón y alrededores.

En base al MDE elaborado para el distrito de Morropón, se ha reconocido que las zonas altas comprenden elevaciones de 323 a 360 m.s.n.m como el cerro La Cruz (Área de conservación privada Bosque Seco de Colina Juan Velasco Alvarado). El mirador de Morropón presenta elevación de 170 m.s.n.m, el área urbana elevaciones de 140 m.s.n.m, al noreste de Morropón, el caserío San Luis presenta elevaciones de 173 m.s.n.m.

2.2. Pendientes

Es el ángulo que se expresa en grados o porcentajes. 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 diseño de mapa de pendientes del área urbana de Morropón fue desarrollado a partir del MDE elaborado anteriormente, haciendo usos de herramientas de geoprocésamiento (área de influencia, construcción de modelos, análisis espacial, etc.) para diferenciar gráficamente los ángulos de inclinación del relieve en el área de estudio (Figura 2).

2.2.1 Clasificación del grado de pendientes

Para la clasificación de los rangos de pendientes se usó como base el informe: “Estudio de riesgos geológicos del Perú de Fidel, et. al. (2006), ver Tabla 1:

El caso urbano de Morropón presenta relieve con pendiente muy baja, las colinas (Mirador de Morropón y Loma de los ricos -zona arqueológica) presentan pendientes bajas en la parte media, hacia la cima presentan un rango de 20° a 35° (pendiente media), el cerro la

Cruz, en la parte media presenta pendientes medias y hacia la cima las pendientes son de 50°.

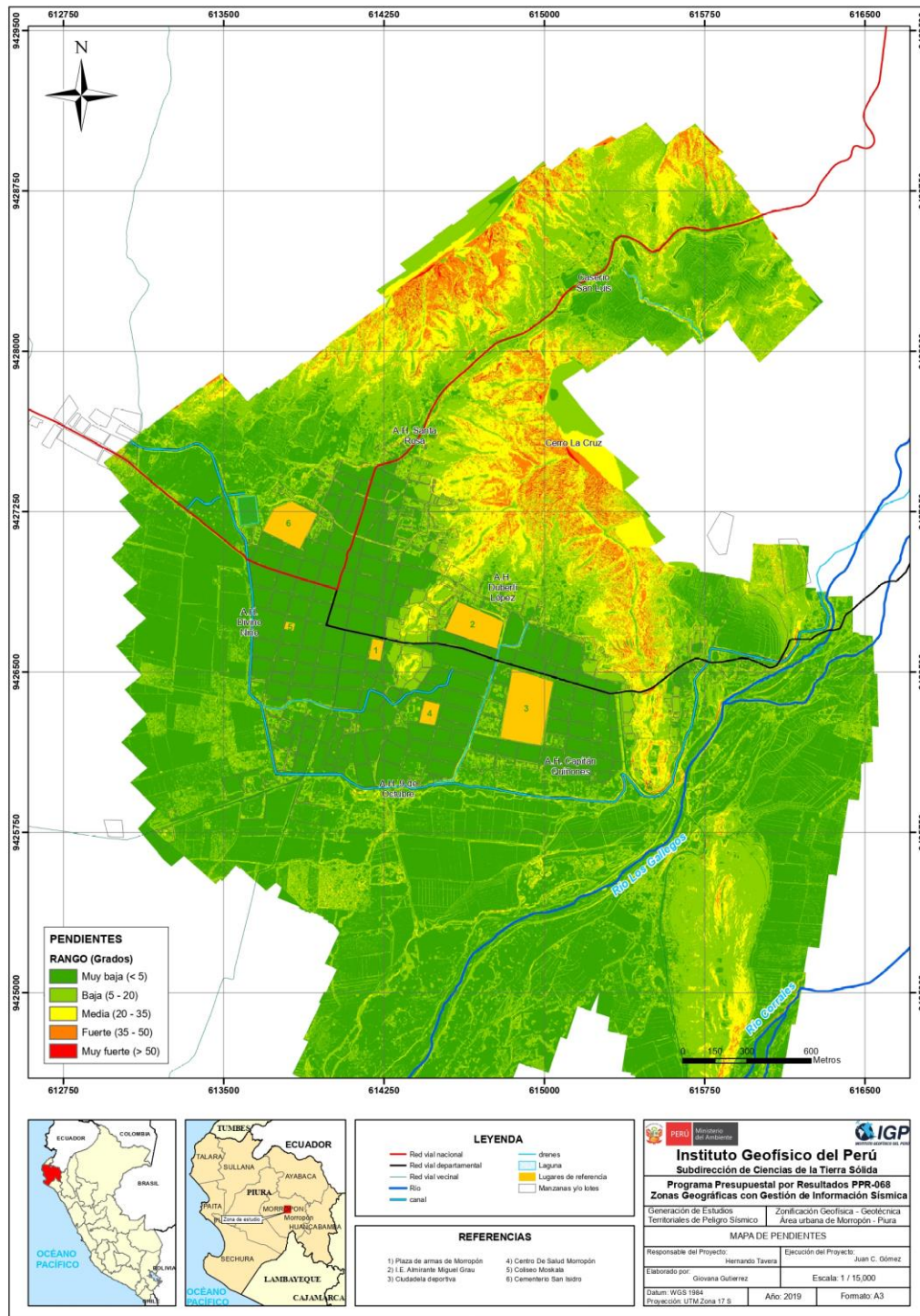


Figura 2: Mapa de pendientes del terreno para el área urbana de Morropón y alrededores.

Tabla 1: Rangos de pendientes del terreno (Fidel et al, 2006).

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

2.3. Unidades geomorfológicas

Estas unidades con ciertas características físicas son generadas por procesos morfogenéticos de carácter endógeno (procesos internos) y exógenos (procesos externos) para formar relieves positivos y negativos.

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

Procesos: Los agentes modeladores tales como el agua, viento, temperatura, entre otros, desencadenan diversos procesos externos tales como: intemperismo, meteorización, erosión, transporte y deposición generando diferentes geoformas, clasificándose de acuerdo con su origen en depositacional y denudacional (erosionar). Otros procesos internos como el magmatismo, tectonismo, entre otros, generan geoformas de origen estructural.

En base a las características físicas de las geoformas y su origen, en el área urbana de Morropón, se cartografiaron siete unidades (Figura 3): montañas, colinas, lomas, penillanura, terraza, llanura de inundación

y lecho fluvial. Las características físicas de estas unidades se detallan en la Tabla 2.

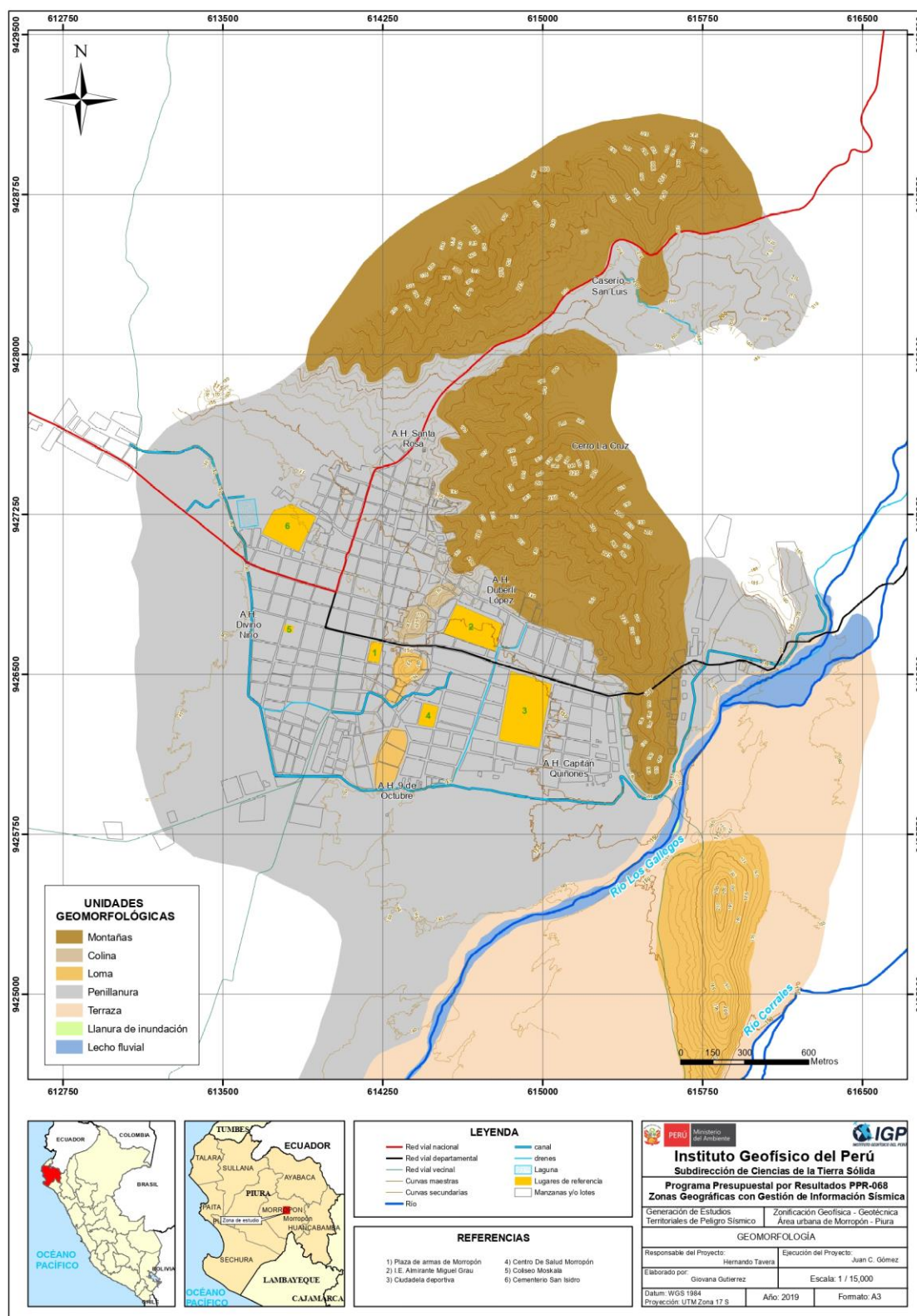


Figura 3: Mapa geomorfológico para el área urbana de Morropón y alrededores.

Tabla 2: Determinación de geoformas en la ciudad de Morropón en base a sus características físicas y su origen

GEOMORFOLOGÍA PATRON			
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		PROCESO	GEOFORMA
Pendiente	35-50	Estructural	Montaña
Altura	> 300		
Geometría	alargada		
Drenaje	radial		
Pendiente	<5°	Denudacional	Lecho fluvial
Geometría	alargada		Loma
Drenaje	rectangular		
Pendiente	<35°		
Altura	<300 m		
Geometría	alargada		Colina
Drenaje	dendrítico		
Pendiente	< 35		
Altura	<300		
Geometría	cónica		
Drenaje	dendrítico		
Pendiente	5_20	Depositacional	Penillanura
Geometría	abanico		Llanura de inundación
Drenaje	paralelo		
Pendiente	<5°		Terraza
Geometría	alargada		
Drenaje	paralelo		
Pendiente	<5°		
Geometría	alargada		
Drenaje	paralelo		

Montaña: Elevaciones topográficas con alturas mayores a 300 m y pendientes que varían de 35° a 50°. En el distrito de Morropón esta geoforma está ubicada al noreste representada por el cerro La Cruz que forma parte del Área de conservación privada Bosque Seco de Colina Juan Velasco Alvarado, presenta cobertura vegetal característica de la zona (Figura 4).



Figura 4: Geoforma Montaña en el distrito de Morropón (interlineado amarillo).

Lecho fluvial: Corresponde al canal natural de escurrimiento del flujo hídrico. En Morropón está representado por el río Las Gallegas, de régimen irregular y de forma alargada, y que en épocas de precipitaciones extremas (evento Niño), su caudal supera la capacidad de embalse e impide el acceso a otros poblados. En el año 2017, la ocurrencia del evento Niño causó el aumento de caudal en el río Las Gallegas inhabilitando el pase y aislando el sector Pampa La hacienda. El distrito de Morropón se asienta a la margen derecha de este río (Figura 5).



Figura 5: Río Las Gallegas, principal régimen fluvial en el distrito de Morropón.

Lomas: Es un área de relieve semi ondulado en su cima y de origen depositacional con geometría alargada y drenaje dendrítico. Esta geoforma se ha reconocido en el sector denominado Loma de los Ríos

(zona arqueológica) ubicado aproximadamente a 100 m al suroeste de la plaza principal de Morropón.

Colina: Es un área de relieve semi ondulado en su cima y de origen depositacional con geometría cónica y drenaje dendrítico. Esta geoforma se ha reconocido donde se ubica el mirador de Morropón, ubicado aproximadamente al noreste de la plaza principal de Morropón (Figura 6).



Figura 6: Penillanura donde se asienta el distrito de Morropón.

Llanura de inundación: Geoforma que se ubica en los márgenes de un curso hídrico principal formado por las variaciones del caudal del río (aumento y descenso). En la zona de estudio, esta unidad ha sido formada por la dinámica del río Las Gallegas en época de precipitaciones, situación que generó el aumento del caudal (transporte y depositación de sedimentos), ver Figura 7.



Figura 7: Llanura de inundación ubicada al margen izquierdo del río Las Gallegas.

Terrazas: Superficies horizontales o ligeramente inclinadas, cuyo relieve presenta pendientes menores a 5°. Generalmente, se encuentra formada por materiales heterogéneos (clastos subangulosos a subredondeados con matriz areno limosa). Esta geoforma se ha identificado a ambas márgenes del río Las Gallegas y Corrales (ver Figura 8).



Figura 8: terrazas ubicadas a ambas márgenes del río Corrales, ocupadas por sembríos (zonas agrícolas).

3.- GEOLOGÍA

La geología es la ciencia que estudia la Tierra, los materiales que la componen, las estructuras y los procesos que actúan sobre y debajo de la superficie a lo largo de millones de años desde su origen hasta la actualidad. La litología como parte de la geología, estudia las características físicas de las rocas y depósitos que constituyen una formación geológica, es decir una unidad litoestratigráfica. Los tipos de rocas han sido originados por procesos internos (tectónica de placas, ascenso de magma, etc.) como también por la erosión, transporte y depositación de rocas preexistentes (procesos de meteorización).

El intemperismo asociado a los procesos de meteorización, es básicamente un proceso químico, el agua actúa como disolvente, la remoción de los elementos más pequeños del cuerpo de roca deja espacios por donde el agua sigue penetrando y acelerando el proceso de desintegración. La roca se vuelve porosa, después, se descompone en fragmentos cada vez más pequeños, hasta que, al ser transportada y depositada se convierte en suelo. Los procesos químicos son complejos y dependen de los diversos minerales que constituyen las rocas lo que determina también su dureza y fragilidad. Por ejemplo: la sílice (SiO_2) en forma de cuarzo es estable en climas templados, pero en climas ecuatoriales, las altas temperaturas y las precipitaciones pluviales contribuyen a su descomposición; es por ello que, es importante conocer los tipos de rocas y sus características físicas (Harvey, 1987). Estos procesos de meteorización modelan tanto la roca como del suelo, dando como resultado las geoformas que componen el relieve, los factores condicionantes como la litología, pendiente, hidrología, etc; así como, los detonantes: sismos y precipitaciones pluviales ocasionan movimientos en masa (deslizamientos, flujos, caída de rocas).

Para entender el comportamiento del terreno, es necesario conocer los procesos geológicos externos (meteorización, erosión, transporte y sedimentación). Se estudian las rocas y los suelos que provienen de las mismas, analizando las propiedades asociadas al comportamiento mecánico.

La geología comprende varias disciplinas tales como la geología regional, histórica y estructural, todas permiten explicar el cómo, cuándo y que procesos actuaron en el emplazamiento de las rocas y materiales que constituyen los suelos sobre los que asienta la zona estudiada.

3.1. Geología local

La zona de estudio está dominada por afloramientos de rocas metamórficas del Complejo Olmos y Formación Río Seco que conforman el substrato rocoso y se encuentran cubiertos por depósitos aluviales y fluvio aluviales. Los depósitos fluviales son los más recientes y se encuentran adyacentes a regímenes de flujos hídricos (río Las Gallegas y Corrales). En la Tabla 3 se describe las unidades geológicas y en la Figura 9 se presenta el mapa de geología local elaborado con los datos obtenidos en campo:

Tabla 3: Columna cronolitoestratigráfica de la zona de estudio.

ERA TEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS	SÍMBOLO	LITOLOGÍA
CENOZOICA	CUATERNARIO	RECIENTE	Depósito fluvial	Qr-fl	Conformado por cantos rodados y arenas
			Depósito aluvio fluvial	Qr-al-fl	Constituida por cantos sub angulosos a subredondeados en matriz limo arcillosa
			Depósito aluvial	Qr-al	Constituida por cantos sub angulosos a subredondeados en matriz limosa
PALEOZOICO			Formación Río Seco	Pi-rs	Conformado por cuarcitas y filitas
PRECAMBRIANO			Complejo Olmos	Pe-co	Constituidos por esquistos y pizarras que presentan esquistosidad.

Las características de la geología local en el área urbana de Morropón son descritas a continuación:

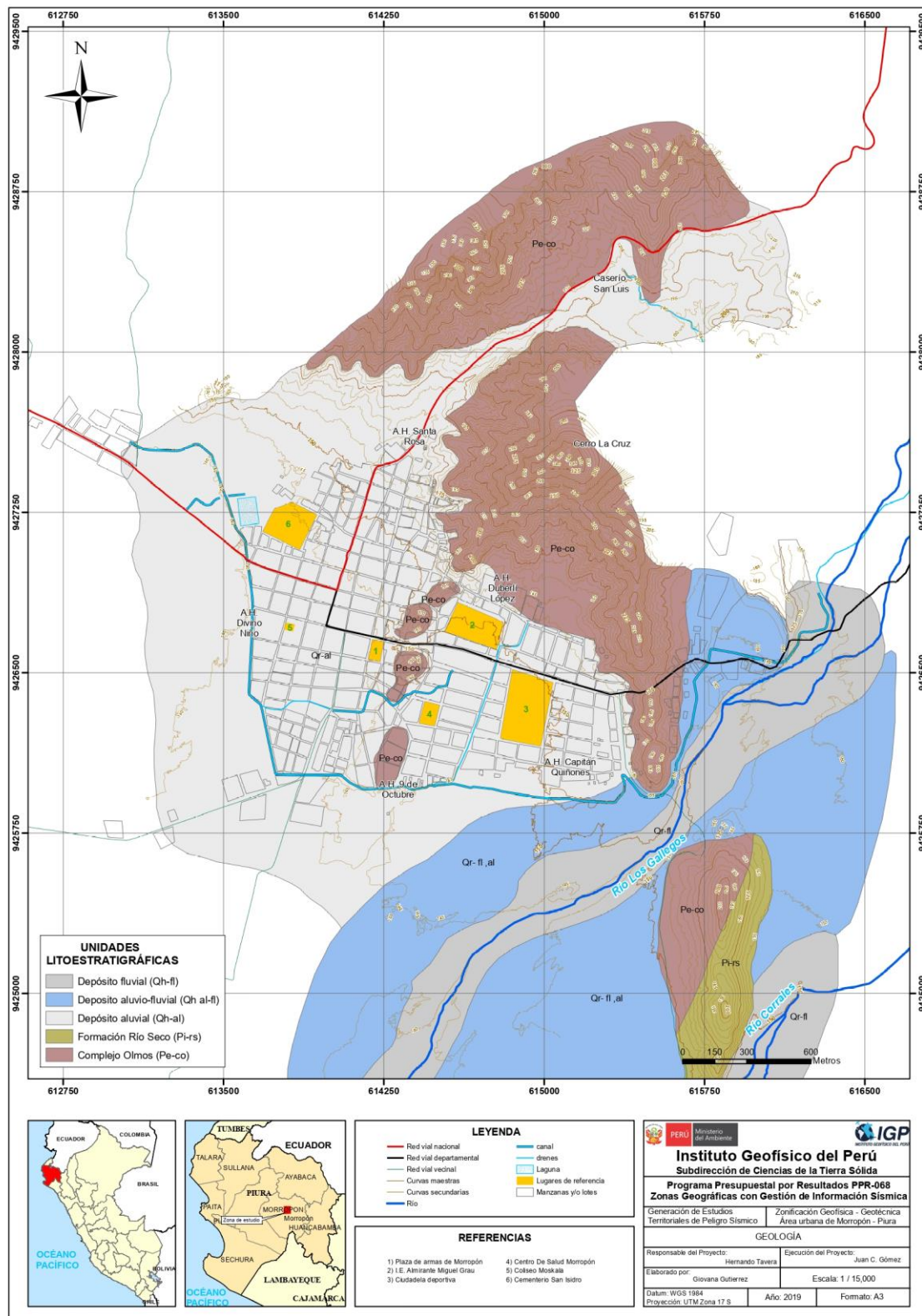


Figura 9: Mapa geológico del área urbana de Morropón.

Complejo Olmos (Pe-co): Secuencia de pizarras y esquistos, de naturaleza predominantemente pelítica (arcillosa), presentan foliación paralela y signos de gneisificación. Estos tipos de rocas afloran en el cerro la Cruz (Área de conservación privada Bosque Seco de Colina Juan Velasco Alvarado), carretera a Santo Domingo, AH 09 de octubre, sector Juan Lambo, El Mirador y la zona arqueológica (Figuras 10).



Figura 10: Rocas del Complejo Olmos, substrato rocoso sobre el cual se asienta el poblado de Morropón ubicados en el sector 09 de octubre.

Formación Rio Seco (Pi-rs): Conformado por cuarcitas con intercalación de filitas y pizarras (rocas metamórficas). Este tipo de rocas aflora al sureste de Morropón en la geoforma loma entre los ríos Las Gallegas y Corrales (ver Figura 11).



Figura 11: Cuarcitas de la Formación Rio Seco que afloran en el distrito de Morropón.

Depósito aluvial (Qr-al): Conformados por clastos sub angulosos a redondeados con matriz areno limos. Sobre estos depósitos se asienta el casco urbano de Morropón: Estos materiales se encuentran cubriendo a las rocas del Complejo Olmos y Formación Río Seco (Figura 12).

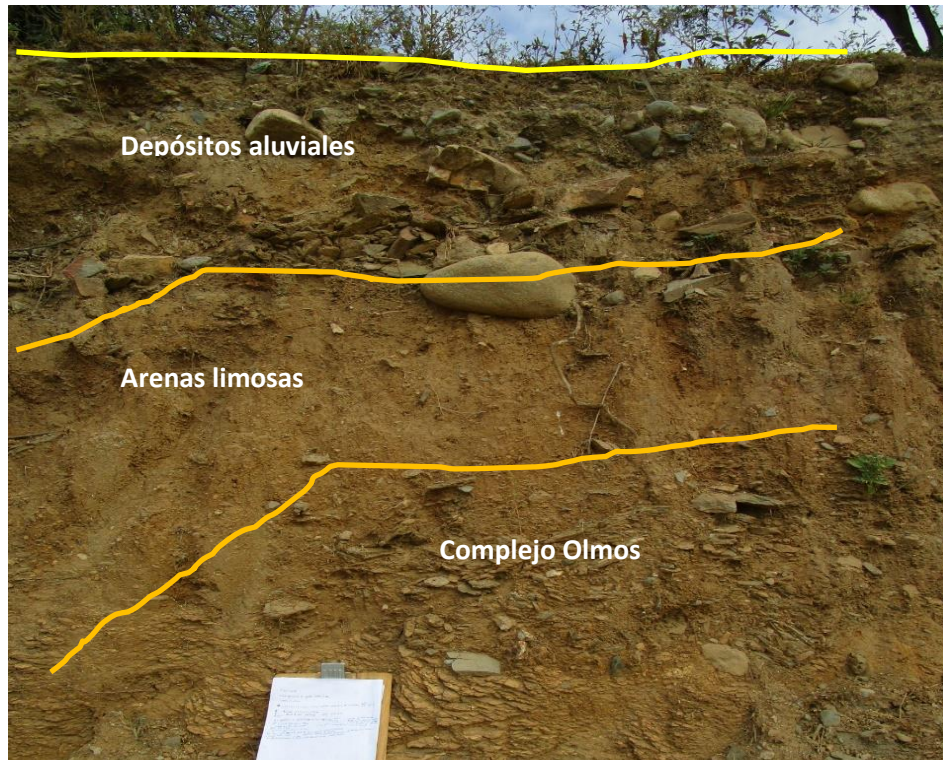


Figura 12: En la parte superior del perfil litoestratigráfico se evidencian el deposito aluviales conformados por cantos rodados (subangulosos a subredondeados) en matriz areno limosa arcillosa suprayase a la roca (esquistos) del complejo Olmos

Depósitos aluviales fluviales (Qr- al-fl): Depósitos recientes conformados por clastos subredondeados a redondeados con matriz limo arcilloso arenoso transportados y depositados por la dinámica del río Las Gallegas y Corrales. En épocas de crecientes del caudal por las condiciones climáticas extremas (Evento Niño), esto materiales se evidencian en la geoforma terraza.

Depósitos fluviales (Qr- fl): Constituidos por cantos rodados cuyo diámetro varía entre 0.5" a 4.0" y arenas producto de la dinámica del río

Las Gallegas, depositados a ambos márgenes del lecho fluvial y dentro del cauce del río en mención (Figura 13).



Figura 13: Depósitos fluviales ubicados dentro y en ambos márgenes del río Las Gallegas.

4.- GEODINÁMICA

4.1. Geodinámica Superficial

Comprenden 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.

Los procesos de erosión (carcaveo, incisión y desgaste laminar) son originados por las precipitaciones que se presentan en la cuenca fluvial, la cual genera la escorrentía superficial, esto 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 remoción de los materiales, (Brusi, 2013), como los flujos de detritos e inundación.

En el área urbana de Morropón se ha identificado dos tipos de evento geodinámico (Figura 14).

4.1.1. Inundación

Inundación fluvial: Durante el Niño Costero, la ocurrencia de precipitaciones extremas genera el aumento del caudal del río Las Gallegas que interrumpe los accesos a poblados y los aísla. Por ejemplo,

Pampa La Hacienda, caserío Bocanegra, caserío El Ingenio; además de extensas áreas de cultivo.

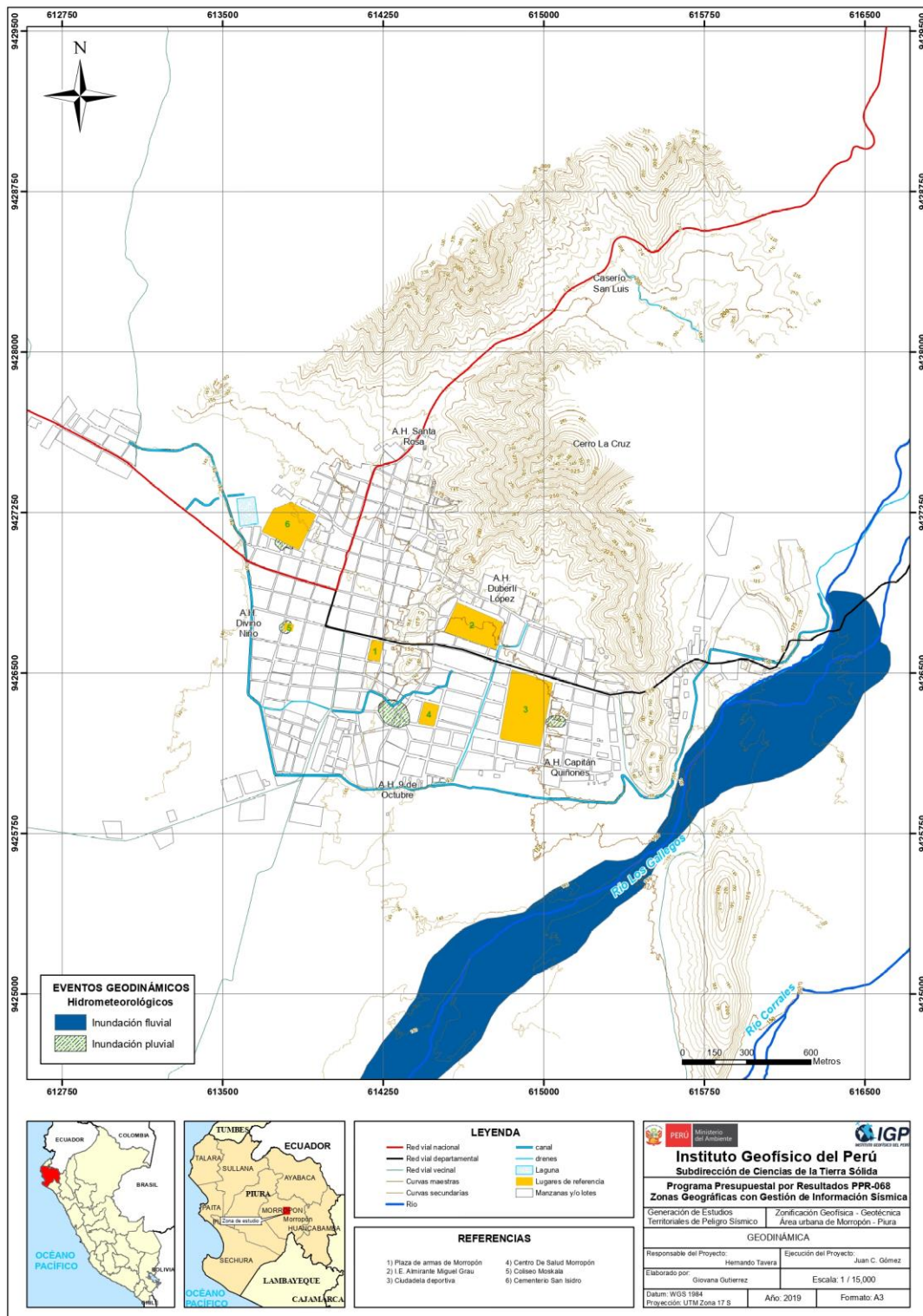


Figura 14: Mapa de geodinámica del área urbana de Morropón y alrededores.

Inundación pluvial: Es la acumulación del agua por saturación del material en superficie y por lo general, ocurren en desniveles del terreno y la falta de drenaje.

Las infraestructuras físicas (viviendas, centros educativos, locales comunales, entre otros) del casco urbano de Morropón son afectadas por las inundaciones pluviales a causa de las precipitaciones. En el año 2019 (febrero), la Estación Meteorológica de Morropón registró precipitación acumulada de 371.5 mm afectando sectores como (Figura 15):

- Av. Hildebrando Castro Pozo con el Jirón 3- paradero de moto taxi Leopoldo Farfán, referencia detrás del SUM (Sala de Usos Múltiples de Morropón)
- Jirón Camposanto (cementerio)
- Calle Los Ángeles
- Jirón Rentería (Coliseo Moskala)
- Calle Puente
- Jirón Córdova
- Pasaje 30 de Abril
- Calle Piura
- Jirón Córdova (AA.HH. 26 de Octubre)
- AA.HH. Santa Julia
- Pasaje Coronel Riojas (AH. Capitán Quiñones), se declaró vivienda No Habitable por peligro de colapso por la Municipalidad de Morropón, la altura de agua llegó a 0.50 m, de propiedad del Sr. Segundo Augusto Juárez Pacherras (Figura 15).
- AA.HH. Duberli Lopez Escalona
- Colegio Semillero Miguel Grau
- Sector Santa Isabel



Figura 15: Vivienda del Sr. Segundo Juárez Pacherras - círculo rojo (autoconstrucción de material precario-adobe) afectada por inundaciones pluviales a causa de las precipitaciones en el año 2019 (febrero), declarada como inhabitable por la Municipalidad de Morropón (testimonio del poblador). La columna de agua de inundación según señalan pobladores llegó a 0.50 m. Las flechas amarillas indican acumulaciones de material usado para el relleno de las calles.

Para atender de emergencia las inundaciones pluviales del 2019 (febrero), se realizó el relleno con material de desmonte no clasificado (arenas, gravas, entre otros) en las zonas afectadas y evitar la proliferación de enfermedades virales (Dengue) e infecciosas. A fin de determinar el umbral de inundación del río La Gallega, se ha realizado el modelamiento de inundaciones en el distrito de Morropón con la idea básica de estimar las áreas inundables ante la ocurrencia de un evento hidrometeorológico extremo, tal como se muestra en la Figura 16.

4.1.2. Elementos expuestos

En el área de estudio del distrito de Morropón, se encuentran los elementos expuestos a nivel social susceptibles ante el impacto del

peligro por ocurrencia de inundaciones, delimitado en el capítulo de geodinámica: Población y vivienda. Las cantidades de estos elementos son estimaciones resultantes de la relación entre el área de influencia del peligro y la ocupación del sector urbano. (Tablas 4 y 5).

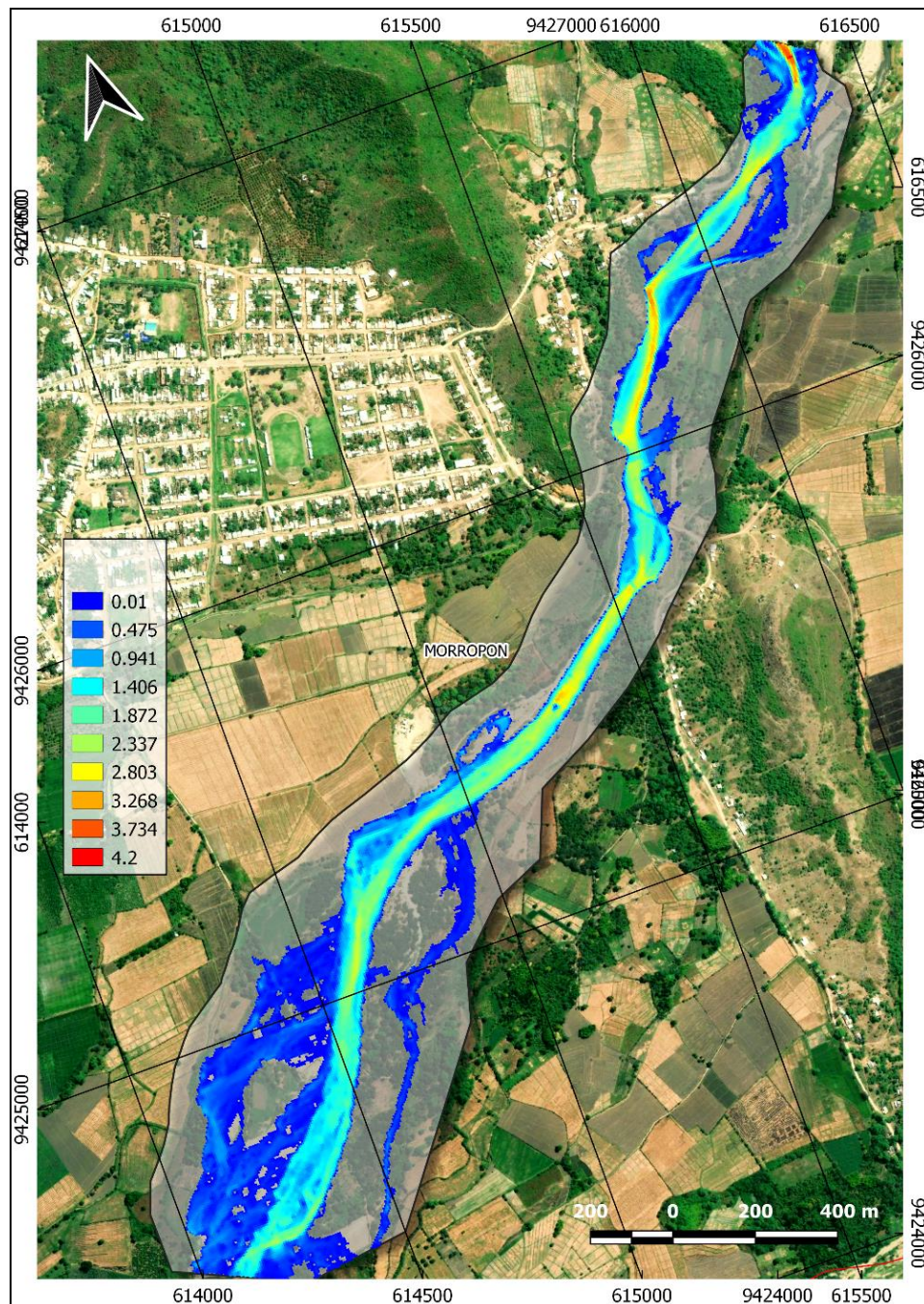


Figura 16: Alturas máximas alcanzadas ante la ocurrencia de un evento hidrometeorológico extremo correspondiente a un periodo de retorno de 100 años (Caudal pico: 232.35 m³/s).

Tabla 4: Población estimada de la localidad expuesta a eventos de origen natural.

EVENTO GEODINÁMICO	POBLACIÓN EXPUESTA
Inundaciones	1100

Tabla 5: Viviendas de la localidad expuestas a eventos de origen natural (se consideró la delimitación del área de influencia de la inundación)

EVENTO GEODINÁMICO	VIVIENDAS EXPUESTAS
Inundaciones	285

Haciendo uso de la superposición del área de influencia de los eventos geodinámicos, delimitados anteriormente, con el área urbana de la localidad (en formato shapefile), se reconocieron las infraestructuras de interés social (viviendas), expuestas al evento citado. Ver Figura 17.

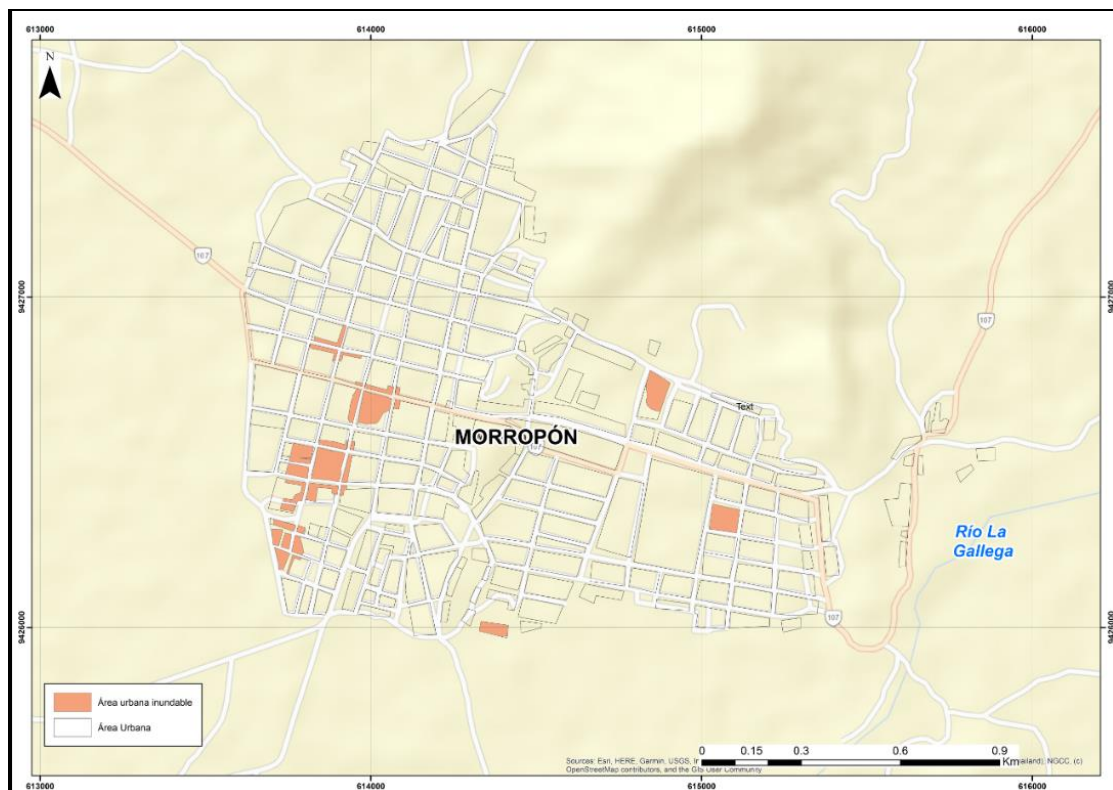


Figura 17: Delimitación de elementos expuestos ante la ocurrencia de inundaciones en la localidad de Morropón.

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, que posteriormente han sido transportados y redepositados en las partes bajas de las cuencas hidrográficas, 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 granulométricas y los límites plásticos, mientras que, la capacidad de carga admisible de los materiales (arcillas, limos, arenas, gravas y clastos) se encuentra condicionada a las características litológicas de las rocas pre-existentes y la dinámica con que fueron depositados. En el diagrama líneas abajo se indica el origen de los suelos (Figura 18).

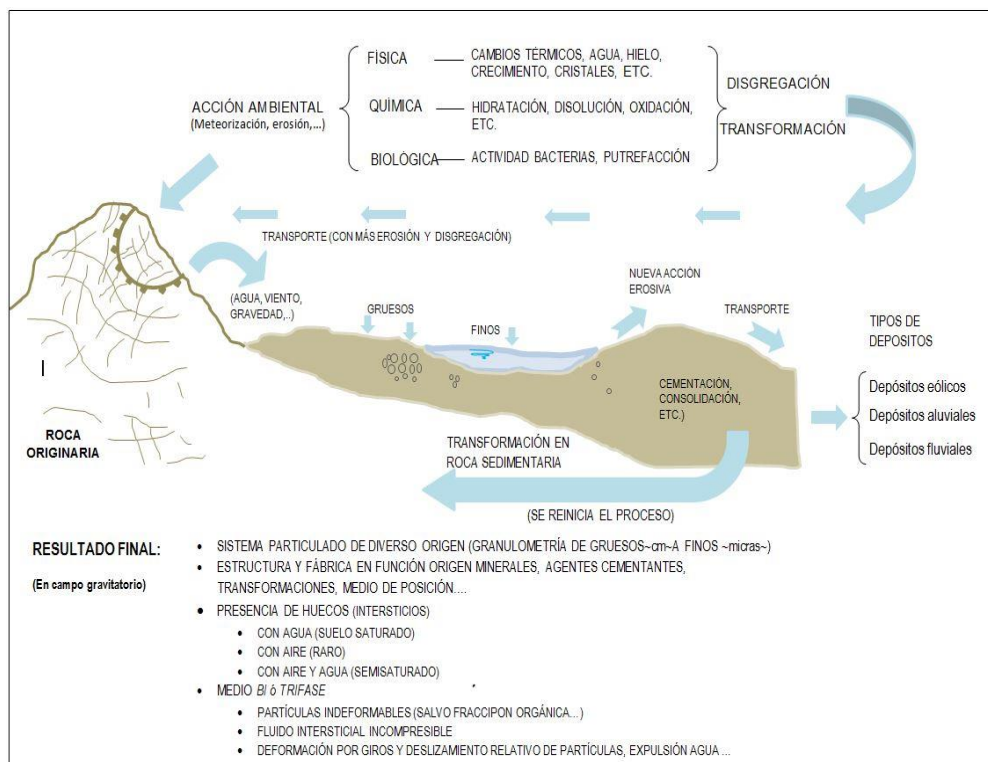


Figura 18: Formación de suelos, (Adaptado de Gonzáles de Vallejo, 2002).

La geotecnia es la rama de la geología aplicada a la ingeniería que se encarga del estudio de las propiedades físicas y mecánicas de los suelos de cimentación antes mencionados, en condiciones estáticas mediante la aplicación de técnicas de exploración (calicatas, auscultaciones, perforaciones, ensayos de DPL, SPT, etc.); por ello la clasificación del suelo es de suma importancia para la elaboración de modelos geotécnicos y el diseño de cimentaciones en un terreno específico (Figura 19).

En el área urbana de Morropón, se realizó el estudio geotécnico que consistió en la elaboración de ocho (08) calicatas, seis (06) densidad de campo, diez (10) posteos y once (11) ensayos de penetración dinámica ligera (DPL) (Figura 19). Las muestras extraídas ocho (08) se analizaron en el laboratorio de mecánica de suelos del IGP y para validar los resultados tres (03) muestras representativas se enviaron a un laboratorio certificado, con la finalidad de determinar la composición granulométrica, plasticidad, corte directo y realizar el cálculo de la capacidad portante de los suelos de cimentación.

A continuación, se detallan las técnicas de exploración geotécnica:

5.1. Exploraciones a cielo abierto (calicatas, Norma ASTM D 420)

Es un método de exploración directo que consiste en realizar una excavación en el terreno para la observación del suelo a cierta profundidad (aproximadamente 3.00 m.), a fin de describir los estratos que lo conforman, así como, extraer muestras en bolsas herméticas con capacidad de 5 Kg. en promedio, para la realización de ensayos y análisis (Tabla 6).

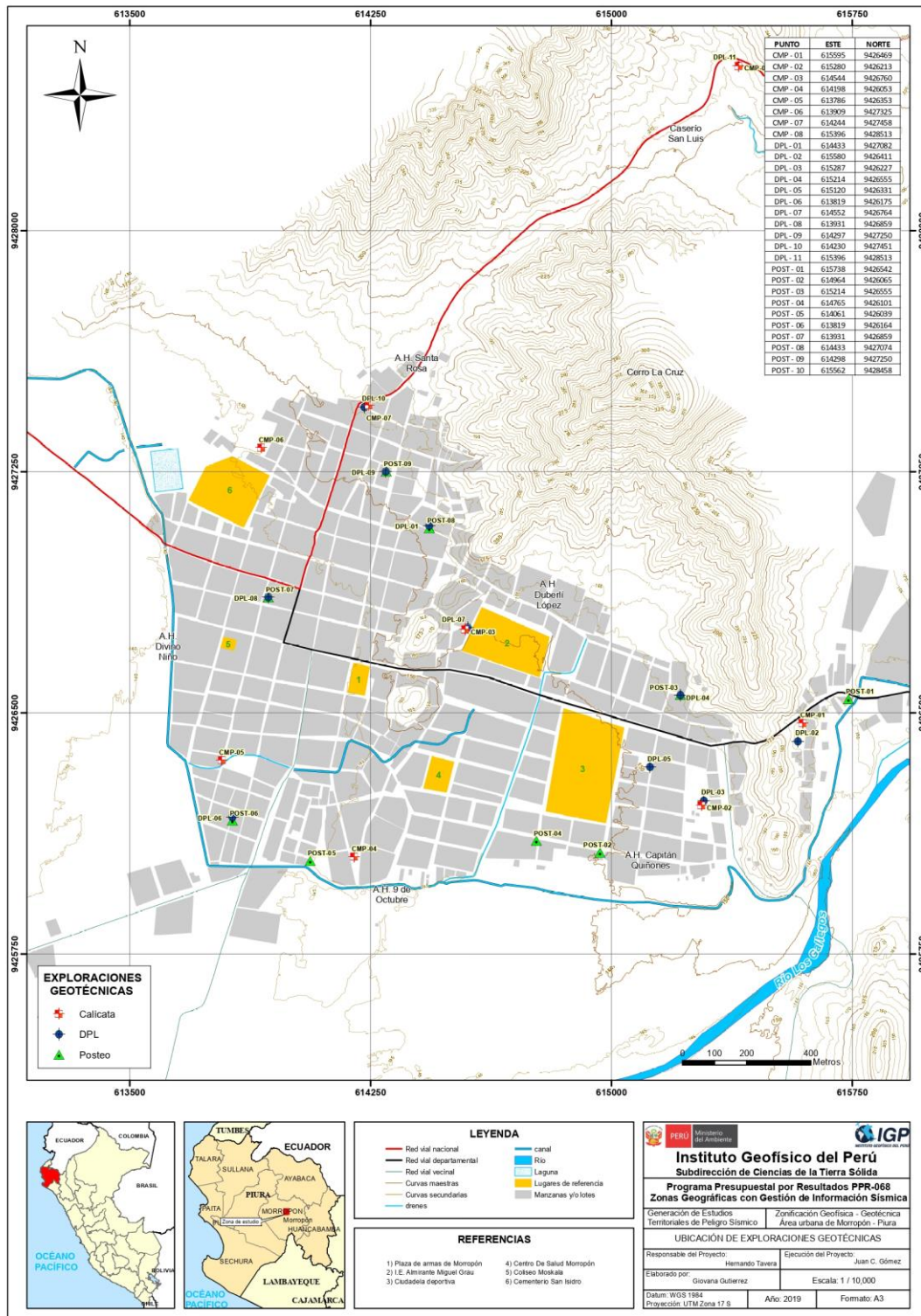


Figura19: Mapa de ubicación de exploraciones geotécnicas para el área urbana de Morropón y alrededores.

Tabla 6: Coordenadas UTM para las calicatas realizadas en el área urbana de Morropón (NP= No presenta)

CÓDIGO DE CALICATA	COORDENADAS UTM		ELEVACIÓN (m.s.n.m.)	PROFUNDIDAD (m)	NIVEL FREÁTICO A (m)
	ESTE (m)	NORTE (m)			
CMP - 01	615595	9426469	172 m	2.10	N.P.
CMP - 02	615280	9426213	145 m	2.20	N.P.
CMP - 03	614544	9426760	145 m	2.20	N.P.
CMP - 04	614198	9426053	146 m	2.10	N.P.
CMP - 05	613786	9426353	140 m	2.30	2.20
CMP - 06	613909	9427325	133 m	2.30	N.P.
CMP - 07	614244	9427458	140 m	2.70	N.P.
CMP - 08	615396	9428513	205 m	2.00	N.P.

5.1.1. 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 través de un orificio de 10 a 12 cm de profundidad, realizado en el interior de la calicata, 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 llevar a cabo un ensayo de densidad de campo, haciendo uso del método del cono de arena, a fin de obtener el grado de compactación o consistencia y el contenido de humedad del suelo en condiciones naturales, 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 7 se presenta los resultados obtenidos para los valores de las densidades para las seis (06) calicatas de las ocho (08)

totales, debido a que no todas presentan las condiciones para realizar el ensayo de densidad. Las fichas se encuentran en los Anexos.

Tabla 7: Resultados obtenidos del ensayo de densidades in - situ

CÓDIGO DE CALICATA	MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	DENSIDAD HÚMEDA (gr/cm ³)	DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	CONTENIDO DE HUENDAD (%)
CMP - 01	MP-01	2.10	1.56	1.50	4.15
CMP - 02	MP-02	2.20	1.35	1.31	2.57
CMP - 03	MP-03	2.20	1.62	1.54	4.96
CMP - 04	MP-04	2.10	1.48	1.45	2.07
CMP - 05	MP-05	2.30	---	---	5.14
CMP - 06	MP-06	2.30	1.63	1.52	6.90
CMP - 07	MP-07	2.70	1.75	1.51	13.47
CMP - 08	MP-08	2.00	N.S.R.	N.S.R	12.25

Según los resultados obtenidos, los suelos en el área urbana de Morropón presentan rangos de densidad de humedad entre 1.35 a 1.75 gr/cm³; es decir, los materiales identificados en las calicatas corresponden a arenas, limos y arcillas.

5.2. Exploraciones con posteadora manual

Se define posteadora como un barredor manual en forma de “T” que permite realizar sondeos exploratorios (perforaciones) en suelos blandos (arcillas y arenas) hasta una profundidad de 6 m., a fin de obtener muestras del suelo. Las muestras extraídas se obtienen trituradas y completamente alteradas; sin embargo, sirven para conocer el tipo de suelo y contenido de humedad que presenta. Se hace mención, que la posteadora presenta restricciones en suelos con presencia de gravas y gravillas (la cuchara saca muestra se entrapa en este tipo de suelos).

Estas exploraciones fueron realizadas entre los puntos de las calicatas, tratando de cubrir el área de estudio, con la finalidad de

obtener una mejor zonificación de los suelos del área urbana de Morropón. En la Tabla 8 se muestran los resultados obtenidos y ubicación geográfica (Tabla 8).

Tabla 8: Ubicación de posteos y clasificación de suelos SUCS. (N.P= No Presenta).

CÓDIGO DE POSTEO	COORDENADAS UTM		ELEVACIÓN (m.s.n.m.)	PROFUNDIDAD (m)	TIPO DE SUELO	NIVEL FREÁTICO (m)
	ESTE (m)	NORTE (m)				
POST-01	615738	9426542	159 m	1.00	SM y SP	N.P
POST-02	614964	9426065	144 m	0.80	SM	N.P.
POST-03	615214	9426555	165 m	0.10	SM	N.P
POST-04	614765	9426101	142 m	0.70	SM	N.P
POST-05	614061	9426039	137 m	0.50	SM	N.P
POST-06	613819	9426164	132 m	2.30	SP-SM	N.P
POST-07	613931	9426859	124 m	0.30	SM	N.P
POST-08	614433	9427074	151 m	0.70	SC-SM	N.P
POST-09	614298	9427250	143 m	2.00	SM	N.P
POST-10	615562	9428458	201m	1.50	SP-SM	N.P

5.3. Ensayo de penetración dinámica ligera - DPL (Norma DIN 4094)

El DPL es un equipo de campo con registro continuo dónde se contabiliza y registra el “N”, que es el número de golpes dados por un martillo de 10 Kg. Este martillo se deja caer por gravedad desde una altura de 0.50 m., medida en la parte superior del tambor de acero, para profundizar tramos cada 10 cm. a través de una punta cónica de 60° que se encuentra en el extremo inferior. Este ensayo permite estimar el ángulo de fricción de suelos específicos, que ayudarán a calcular, mediante fórmulas empíricas, la capacidad portante (resistencia al corte) de los suelos en Kg/cm², además, se puede conocer las propiedades de compacidad de los suelos.

La ventaja del instrumento es que es un equipo muy práctico y se puede transportar fácilmente. Por otro lado, este ensayo es aplicable a terrenos arenosos, areno-arcillosos y limos arenosos, no recomendable a

utilizarse en gravas, fragmentos gruesos, conglomerados y terrenos rocosos.

La Tabla 9, indica la ubicación de los ensayos de penetración dinámica ligera (DPL) realizados en las inmediaciones del área urbana de Morropón. Asimismo, el número de golpes y el ángulo de fricción interna es calculado en base a los parámetros de compacidad (correlación del valor de N) establecida por Terzaghi y Peck 1973 y densidad relativa según la fórmula de Meyerhof (1956)

$$\Phi = 25^\circ + 0.15 * D_r$$

Dónde:

Φ = Ángulo de fricción interna

D_r = Densidad relativa

Tabla 9: Ubicación de ensayos de penetración dinámica ligera (DPL) y parámetros obtenidos.

CÓDIGO DE DPL	COORDENADAS UTM		ELEV. (m.s.n.m.)	PROF. (m)	N° DE GOLPES	ϕ
	ESTE (m)	NORTE (m)				
DPL-01	614433	9427082	151	1.20	40	38.5
DPL-02	615580	9426411	144	2.80	13	31.1
DPL-05	615120	9426331	139	2.70	21	33.6
DPL-06	613819	9426175	132	2.80	9	29.6
DPL-09	614297	9427250	148	2.50	29	35.7
DPL-10	614230	9427451	205	2.60	14	31.4

En general, la profundidad alcanzada vario desde 2.80 metros, hasta 0.20 metros debido a la presencia de materiales granulares constituidos por clastos angulosos o subangulosos de diámetro superior a 1 ½".

5.4. Clasificación de suelos SUCS

El Sistema SUCS abarca suelos granulares y finos, diferenciados por la cantidad de material que pasa la malla N° 200 (Juárez & Rico, 2005); mientras que, entre los granulares se encuentran dos grupos tales como gravas y arenas.

En base a la información geotécnica, se han identificado para el área urbana de Morropón la existencia de 04 (cuatro) tipos de suelos, que han sido agrupados haciendo uso del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). En la Figura 20 se muestra el mapa clasificación de suelos y en la Tabla 10, los valores obtenidos para los parámetros físicos que definen cada tipo de suelo.

- **Suelo tipo GC:** Compuesto por grava con arcillas con diámetros promedio entre 2 mm y 64 mm. Este material se caracteriza porque no retienen agua debido a los espacios existentes entre partículas (huecos intersticiales), y por ello su humedad es de 4%; además de estar constituidos por suelos de compacidad media. Abarcan el 1 % aproximadamente del área de estudio y están presentes en la calicata CMP-01 ubicada en dirección este del área urbana de Morropón.

- **Suelo tipo GW-GC:** Constituido por gravas bien graduadas con arcillas y arenas. Presentan un contenido de humedad de 6.50 %, y están constituidos por suelos de compacidad media a alta. Abarcan el 7 % aproximadamente del área de estudio y se identificó en la calicata CMP-08 ubicada en el extremo noreste de Morropón (zona de expansión).

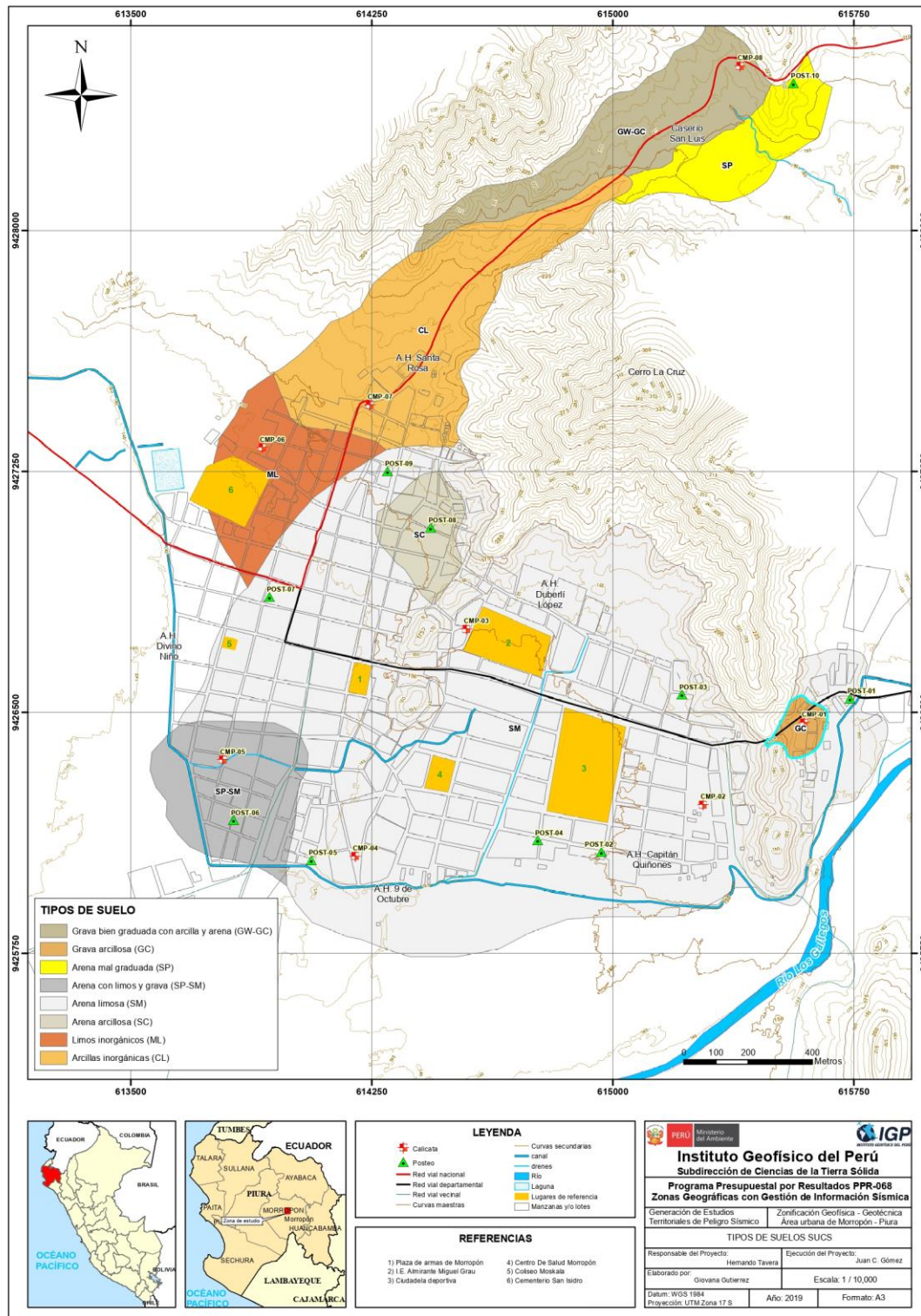


Figura 20: Mapa de tipos de Suelos (SUCS) para el área urbana de Morropón y alrededores.

Tabla 10: Clasificación SUCS de los suelos de las ocho (08) calicatas elaboradas en el área urbana de Morropón. N.P=No presenta.

CODIGO DE CALICATA	PROFUNDIDAD (m)	PRESENCIA DE AGUA		GRANULOMETRÍA (%)			LÍMITES ATTERBERG (%)			CLASIFICACIÓN SUCS	DESCRIPCIÓN
		NIVEL FREÁTICO A (m)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	GRAVAS (>4.76 mm)	ARENAS (>0.074 mm, <4.76 mm)	FINOS (<0.074 mm)	LÍMITE LIQUIDO	LÍMITE PLASTICO	ÍNDICE PLASTICO		
CMP - 01	2.10	N.P	4.15	41.23	33.10	25.67	28.50	N.P	N.P	GC	Grava arcillosa
CMP - 02	2.20	N.P	2.57	1.20	52.00	46.81	33.00	29.30	3.70	SM	Arena limosa
CMP - 03	2.10	N.P	4.96	2.50	63.90	33.62	36.00	N.P	N.P	SM	Arena limosa
CMP - 04	2.10	N.P	2.07	0.50	67.80	31.66	27.00	N.P	N.P	SM	Arena limosa
CMP - 05	2.30	2.20	5.14	6.89	85.21	7.90	19.81%	N.P	N.P	SP-SM	Arena mal graduada con limo y grava
CMP - 06	2.30	N.P	6.90	8.20	40.00	51.86	32.50	N.P	N.P	ML	Limos inorgánicos
CMP - 07	2.70	N.P	13.47	21.22	4.15	56.02	29.68	19.86	9.82	CL	Arcillas inorgánicas
CMP - 08	2.00	N.P	12.25	62.10	29.31	8.59	27.84	21.05	6.79	GW-GC	Grava bien graduada con arcilla y arena

- **Suelo tipo SP:** Constituido por arenas mal graduadas con diámetro promedio de 0.075 mm grano fino. Están constituidos por suelos de compacidad media baja. Abarcan el 4 % aproximadamente del área de estudio y se identificó en los posteos 6 y 10, ubicados en el extremo noreste del área urbana de Morropón.
- **Suelo tipo SM:** Conformado por arena limosa con contenido de humedad entre 2 y 5 %. Están constituidos por suelos de compacidad media. Abarcan el 64 % aproximadamente del área de estudio y se identificó en las calicatas CMP-02, 03 y 04, así como, en los posteos 1, 2, 3, 4, 5, 7 y 9, ubicados en los extremos sur, suroeste y noroeste del área urbana de Morropón.
- **Suelo tipo SC:** Compuesto por arena arcillosa y están constituidos por suelos de compacidad media. Abarcan el 2 % aproximadamente del área de estudio y se identificó en el posteo 8, ubicada al este del área urbana de Morropón (zona de quebrada).
- **Suelo tipo SP – SM:** Compuesto por arena mal graduada con limo y grava, con contenido de humedad de 2% en promedio. Están constituidos por suelos de compacidad media a baja, no presentan plasticidad. Abarcan el 6 % de la zona de estudio y se identificaron en la calicata CMP-05 ubicada al suroeste del área urbana de Morropón.
- **Suelo tipo ML:** Compuestos por limos inorgánicos, no presentan plasticidad. Presentan contenido de humedad de 6.90% y están constituidos por suelos de compacidad baja. Abarcan el 5 % de la zona de estudio y se identificaron en la calicata CMP-06 ubicada al noroeste del área urbana de Morropón.

- **Suelo tipo CL:** Compuestos por arcillas inorgánicas de plasticidad baja de 6% y contenido de humedad de 12.83 %. Están constituidos por suelos de compacidad baja. Abarcan el 11 % de la zona de estudio y se identificó en el casco urbano al noroeste de Morropón en la calicata CMP- 07, I.E. Hernán Mogollón Oyola

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 fatigas y/o deformaciones (esfuerzos verticales y horizontales) que simulen la que existe o existiría en el terreno producto de la aplicación de una carga. Esta resistencia al corte en los suelos 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 el área urbana de Morropón, los valores finales de la capacidad portante de los suelos están basados en datos de laboratorio de Mecánica de Suelos, corroborados con datos teóricos de los parámetros de ángulo de fricción y cohesión de Terzaghi e información de DPL realizados en campo; además del uso de las fórmulas de falla general o local según el tipo de suelo.

5.5.1. Capacidad de carga portante ($q_{ad} = \frac{q_u}{F_s}$)

Se define como el esfuerzo máximo que puede ser aplicado a la masa de suelo, de tal forma que se cumplan los requerimientos básicos establecidos por la relación, entre la carga última y un factor de seguridad de 3, a la Norma Técnica peruana para el Diseño de Cimentaciones E.050). En las Tablas 11 se describe los resultados de

capacidad de carga portante para las siete (07) muestras de suelos analizadas (Figura 21).

Tabla 11: Capacidad de carga portante para las muestras extraídas en el área urbana de Morropón.

CÓDIGO DE MUESTRA	Capacidad de carga última (kg/cm ²)	Capacidad portante (Kg/cm ²)	Falla de corte
CMP - 01	8.66	2.89	Falla General
CMP - 02	1.41	0.47	Falla General
CMP - 03	1.69	0.56	Falla General
CMP - 04	1.54	0.51	Falla General
CMP - 05	8.86	2.95	Falla General
CMP - 06	1.36	0.45	Falla General
CMP - 07	1.36	0.45	Falla General
CMP- 08	17.40	5.80	Falla General
DIMENSIONES DE CIMENTACIÓN	Profundidad: 1.00 m y ancho:1.00		

Según los valores del ángulo de fricción corregido a partir de la correlación del “N” del DPL en función al del SPT y los datos de cohesión de los suelos obtenidos mediante el corte directo realizado en el laboratorio de Mecánica de Suelos, se determinó las capacidades portantes de los suelos investigados solo para los DPL que alcanzaron una profundidad de cimentación de 1.00 m (Tabla 12).

De acuerdo con los resultados obtenidos, la zona urbana de la ciudad de Morropón, en su mayoría, ha sido construida con cimentaciones de 1.00 m de profundidad, siendo su capacidad de carga portante la siguiente:

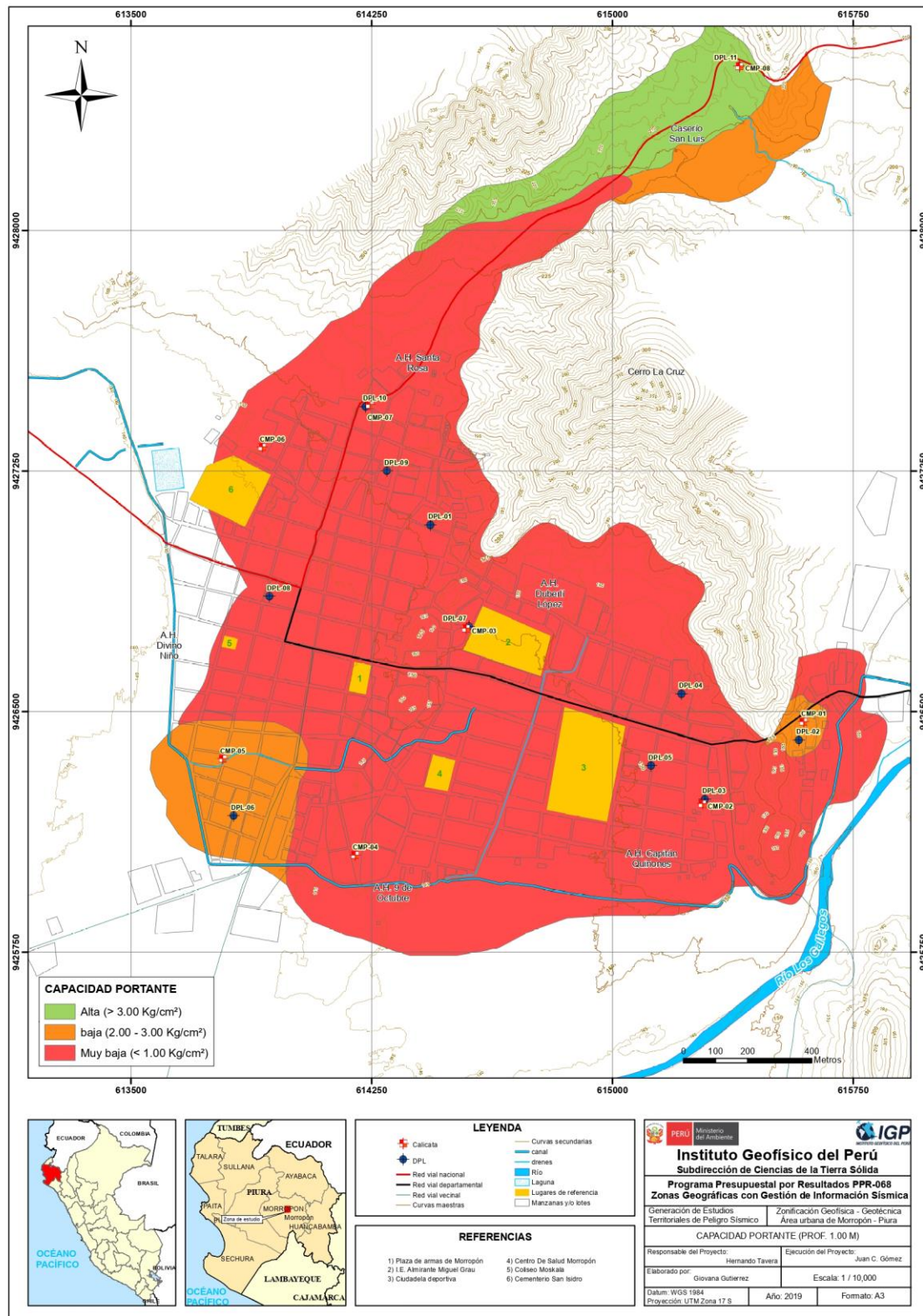


Figura 21: Mapa de capacidad portante para el área urbana de Morropón y alrededores.

Tabla 12: Capacidad de carga portante (Criterio de falla general y local) en base al ángulo de fricción corregido del N del DPL vs SPT y cohesión obtenida del ensayo de corte directo.

CÓDIGO DE DPL	Capacidad de carga última (kg/cm ²)	Capacidad portante (Kg/cm ²)	Tipo de corte
DPL – 01	4.93	1.64	Falla general
DPL – 02	4.75	1.58	Falla local
DPL – 05	3.73	1.24	Falla local
DPL – 06	1.08	0.36	Falla general
DPL – 09	8.60	2.87	Falla local
DPL – 10	5.93	1.98	Falla local
DIMENSIONES DE CIMENTACIÓN	Profundidad: 1.00 m y ancho:1.00		

- **Capacidad portante muy baja:** Comprende rangos de capacidad portante menores a 1.00 kg/cm² correspondiente a tipos de suelos como: arena mal graduada (SP), arena limosa (SM), arena arcillosa (SC) y arena con grava y limo (SP-SM), limos inorgánicos (ML) y arcillas inorgánicas (CL) hasta una profundidad de 1.00 m. Representan el 83% de los suelos de cimentación en el área urbana de Morropón.
- **Capacidad portante media:** Comprende rangos de capacidad portante entre 2.00 a 3.00 kg/cm² correspondiente a tipos de suelos como: Grava arcillosa (GC) y arena mal graduada con limo y grava (SP-SM) hasta una profundidad de 1.00 m. Representan el 10% de los suelos de cimentación en el área urbana de Morropón.
- **Capacidad portante alta:** Comprende rangos de capacidad portante mayor a 3.00 kg/cm² correspondiente a tipos de suelos como: Grava bien graduada con arcilla y arena (GW-GC) hasta una profundidad de 1.00 m. Representan el 7% de los suelos de cimentación en el área urbana de Morropón.

**CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA
DEL ÁREA URBANA DE MORROPÓN**

CONTENIDO

1.- METODOLOGÍA

1.1. Razones Espectrales H/V

1.1.1. Adquisición de datos

1.1.2. Procesamiento de datos

1.1.3. Análisis y resultados

1.2. Análisis Multicanal de ondas Superficiales MASW

1.2.1. Adquisición de datos

1.2.2. Procesamiento de datos

1.2.3. Análisis y resultados

1.3. Tomografía de Resistividad Eléctrica ERT

1.3.1. Adquisición de datos

1.3.2. Procesamiento de datos

1.4. Perfiles de Tomografía Eléctrica

2. ZONIFICACIÓN DE SUELOS

2.1. Integración de resultados

2.2. Mapa de Zonificación Sísmica

CONCLUSIONES

1. METODOLOGÍA

El estudio de Zonificación Geofísica - Geotécnica para el área urbana de Morropón se ha realizado con información geológica, geomorfológica y geotécnica recolectada en campo y con la aplicación de las metodologías geofísicas que a continuación se describen:

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.

1.1.1. Adquisición de datos

Los trabajos de campo permitieron recolectar 100 registros de vibración ambiental utilizando sensores Lennartz y registradores CityShark

II (Figura 1). Los puntos de adquisición de datos se distribuyeron espacialmente formando una grilla en el área urbana y zonas de expansión, con intervalos de 200 metros en promedio. Cada registro de vibración ambiental tuvo una duración de 15 minutos, lo cual permitió disponer de buena cantidad de datos para su posterior análisis.

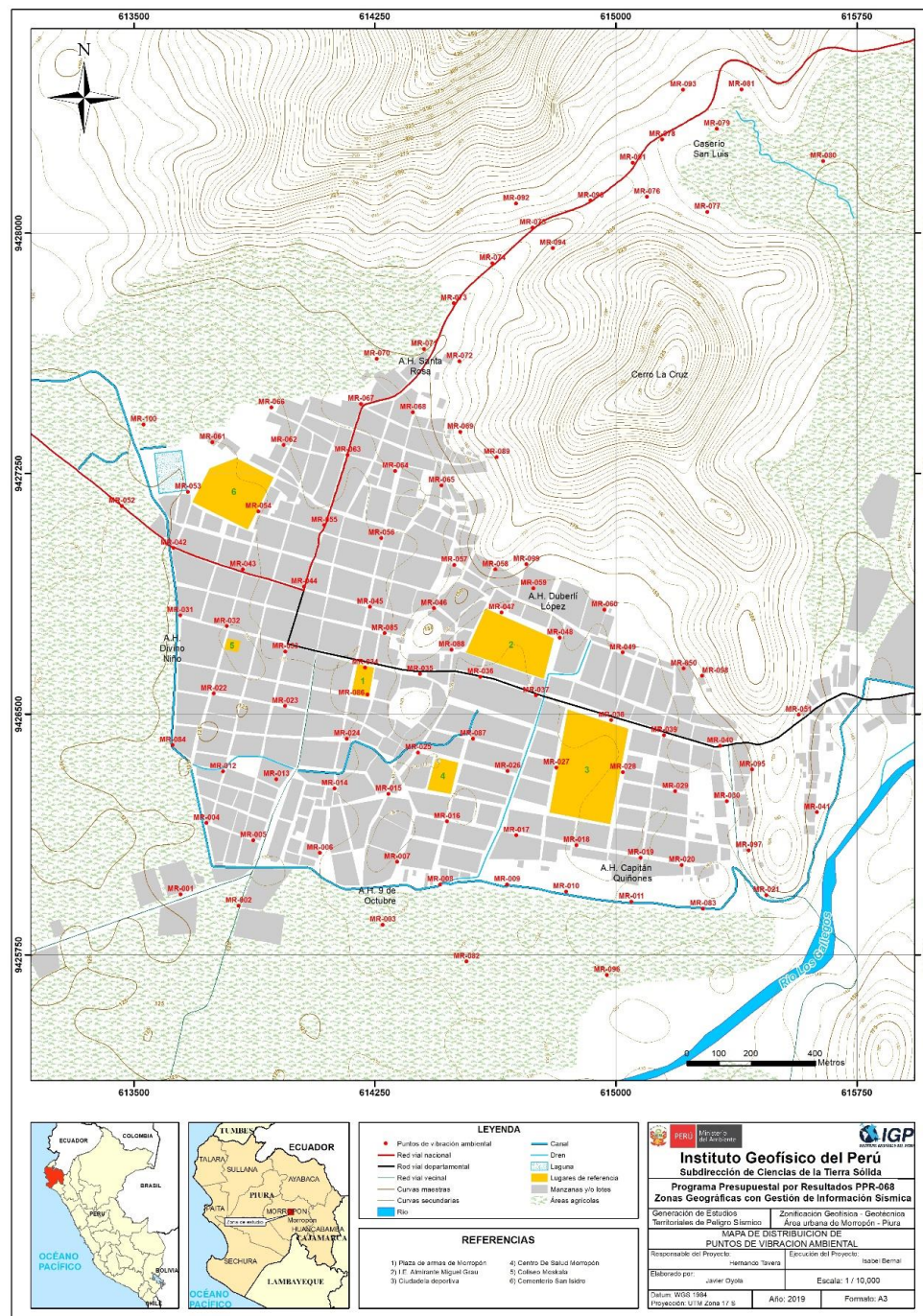


Figura 1: Distribución espacial de los puntos de registros de vibración ambiental del área urbana de Morropón.

En la Figura 2, se muestra la disposición del equipo sísmico durante el registro de información, además de ejemplos de registros de vibración ambiental para sus tres componentes (vertical, E-O y N-S).

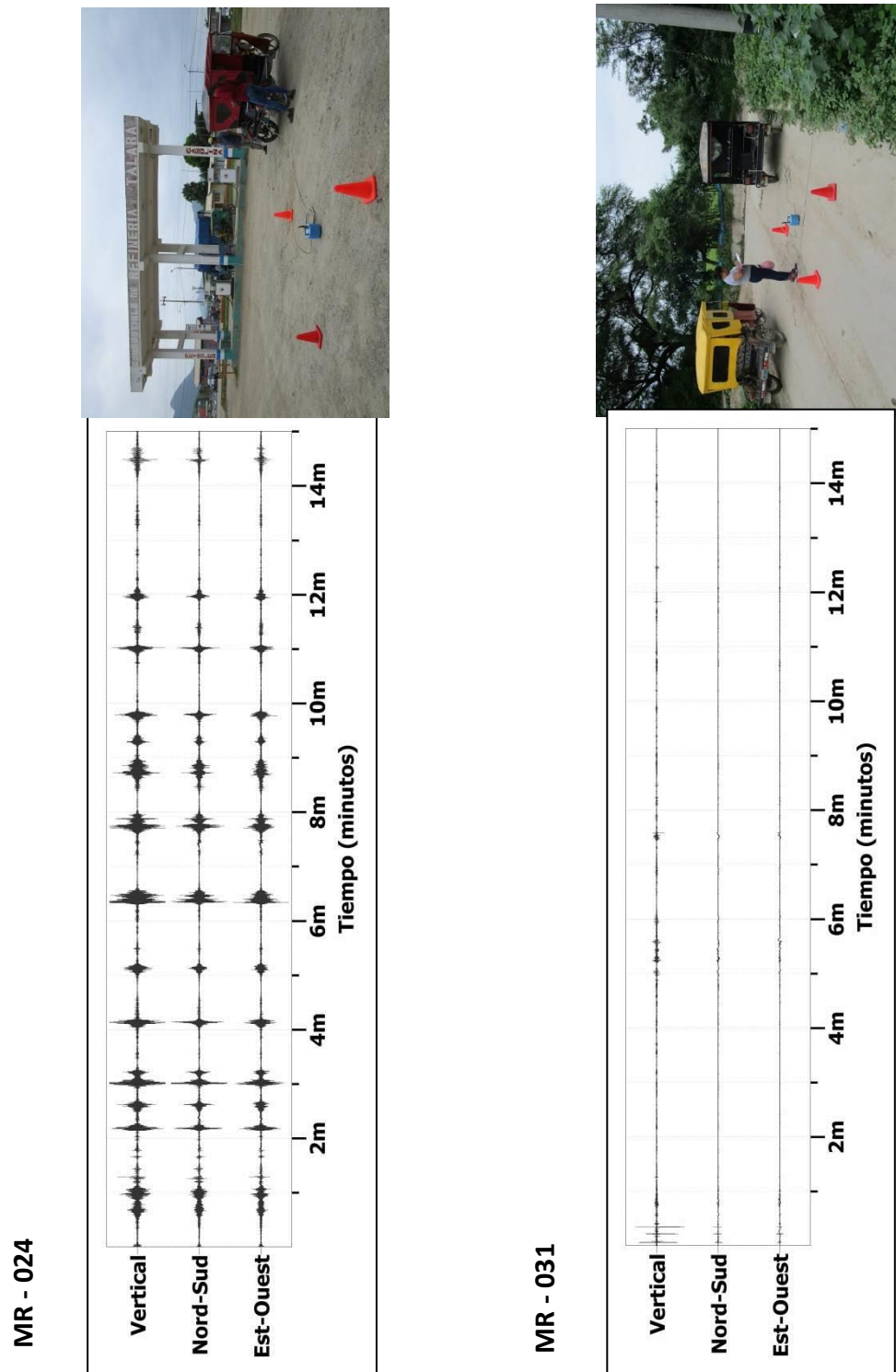


Figura 2: Disposición del equipo sísmico para la adquisición de los registros de vibración ambiental. Ejemplos de registros obtenidos sobre una zona con ruido transitorio (MR-024) y otro con ruido de fondo constante (MR-031). Obsérvese las diferentes amplitudes de la señal registrada en cada punto.

Para aplicar la técnica de razones espectrales H/V, se calcula la Transformada Rápida de Fourier para cada componente de registro a fin de obtener los cocientes espectrales y relacionar ambas componentes horizontales con la vertical (E-O/V; N-S/V). Finalmente, en cada espectro se procede a identificar la frecuencia predominante, para ello se considera picos y/o rangos con amplificaciones relativas de al menos 2 veces y que fluctúe en el rango de interés entre 0.5 a 20 Hz (Figura 3).

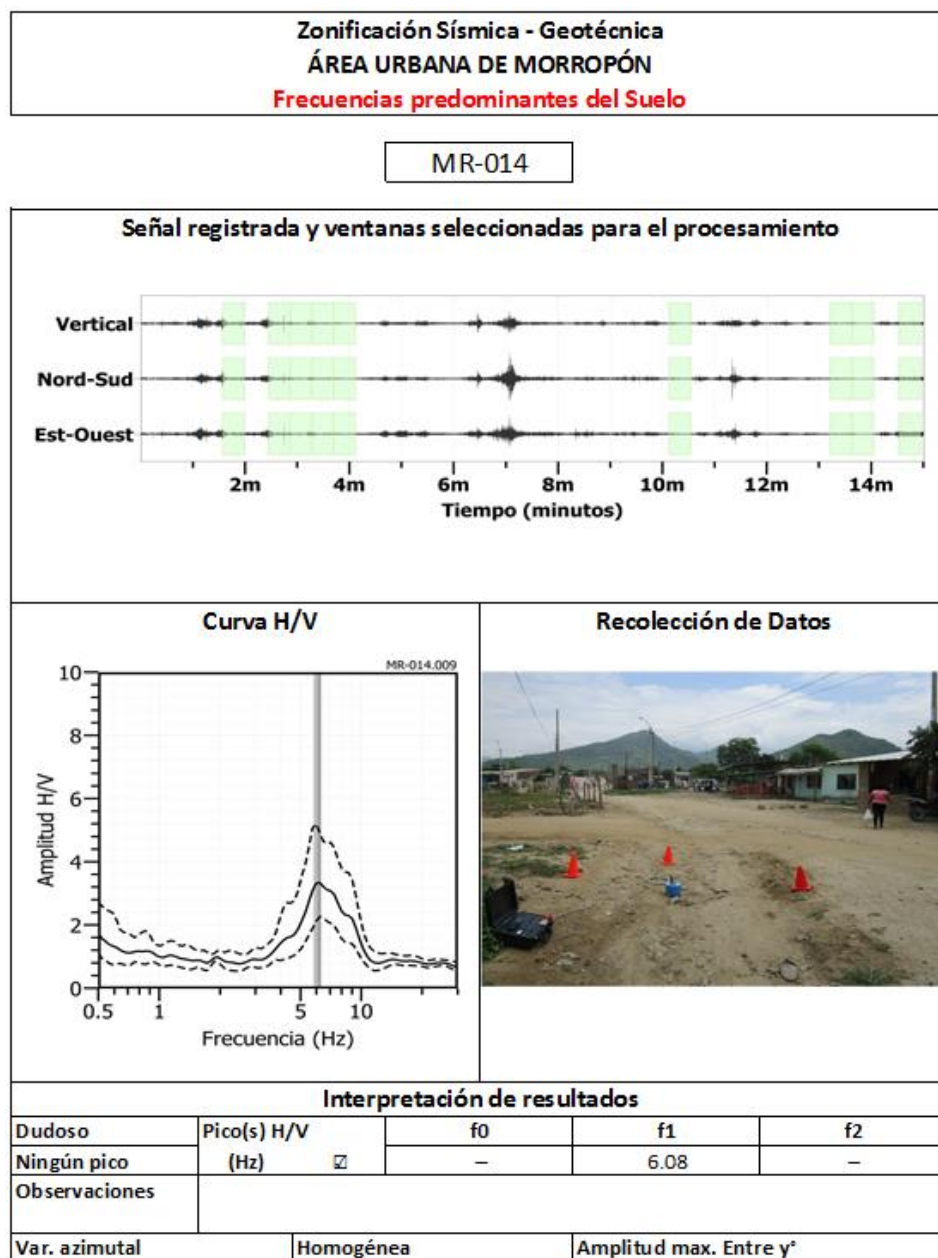


Figura 3: Ejemplo de la ficha H/V para el punto LA-133 en la cual se recopila la información registrada y analizada. Arriba, señal registrada; Medio; razón espectral (H/V) en línea gruesa y su desviación estándar en líneas discontinuas y Abajo resultados.

1.1.2. Procesamiento de datos

Para el análisis de la información sísmica se debe considerar los siguientes criterios:

- Las frecuencias predominantes menores a 1.0 Hz corresponden a vibraciones generadas por el oleaje del mar y/o cambios meteorológicos (periodos muy largos).
- Las bajas frecuencias o periodos largos son debidas a la presencia de depósitos profundos.
- Las frecuencias altas o periodos cortos son debidos a depósitos superficiales blandos y de poco espesor (SESAME, 2006; Bernal, 2006).

En la Figura 3, se muestra un ejemplo del análisis, procesamiento y resultados obtenidos para el punto MR-014. El registro es sectorizado en ventanas de 20 segundos y analizado individualmente, para luego obtener el promedio espectral para las curvas, y así identificar el rango de las frecuencias y/o periodos predominantes, que caracterizan al suelo bajo el punto de observación. También es visible el factor de amplificación del suelo ante la incidencia de las ondas sísmicas.

1.1.3. Análisis y resultados

En el área urbana de Morropón, los suelos responden a frecuencias predominantes (F_0) mayores a 3.0 Hz, con diferentes amplificaciones. A continuación, se describe y analiza la distribución espacial de las frecuencias predominantes identificadas el área urbana de Morropón.

Frecuencias Predominantes

-La frecuencia predominante F_0 , según la Figura 4, fluctúa principalmente entre 3.0 a 12.0 Hz, distribuyéndose de manera uniforme en toda el área de estudio. En la Figura 5, se muestra ejemplos de razones espectrales característicos de la zona.

-Para la zona céntrica: En la Figura 4, se muestra ejemplos de razones espectrales característicos para los puntos MR-13(C), MR-26(D) y MR-86(I), ubicados próximos a la Plaza de Armas, donde se identifica un pico a frecuencias 4.0, 5.0 y 8.9 Hz con amplificaciones de 4.5, 3.8 y 5.5 veces respectivamente. El punto I, ubicado a pocos metros de la Plaza, al presentar mayor frecuencia y amplificación, sugiere que los suelos a nivel superficial presentan baja consistencia y que conforme tienden hacia el A.H. 9 de Octubre, estos suelos tienen mayor espesor.

-Hacia el extremo SE: Se obtiene las razones (H/V) para los puntos MR-10(A), MR-11(B) y MR-83(H), ubicados al sur del A.H. Capitán Quiñones próximos al canal de agua, donde se identifica bandas de frecuencias que van de 3.0-10 Hz, 3.0-6.0 Hz y 4.5-7.0 Hz con amplificaciones de hasta 3.5, 5.6 y 7.3 veces respectivamente. Estos resultados evidencian que, en este sector predominan suelos complejos por responder en una banda de frecuencias y presentar elevadas amplificaciones.

-Hacia el extremo NE: Se obtienen las razones espectrales (H/V) para los puntos MR-70(F), MR-59(E) y MR-75 (G), ubicados en el flanco SO y NO del cerro La Cruz, en los AA.HH. Santa Rosa, Duberti López y próximo al caserío San Luis, donde se identifica un pico a 7.4, 6.5 y 6.4 Hz con amplificaciones menores a 2 veces. Estos resultados son coherentes con la geomorfología de la zona; es decir, en las cercanías de cerro, el espesor del suelo disminuye y presenta mayor consistencia evidenciado por las bajas amplificaciones. Sin embargo, el punto F ubicado en el A.H.

Santa Rosa, presenta curvas de razones espectrales muy dispersas a bajas frecuencias y la presencia de un segundo pico a muy altas frecuencias (20 Hz), sugiriendo la presencia de suelos húmedos y un alto nivel de ruido.

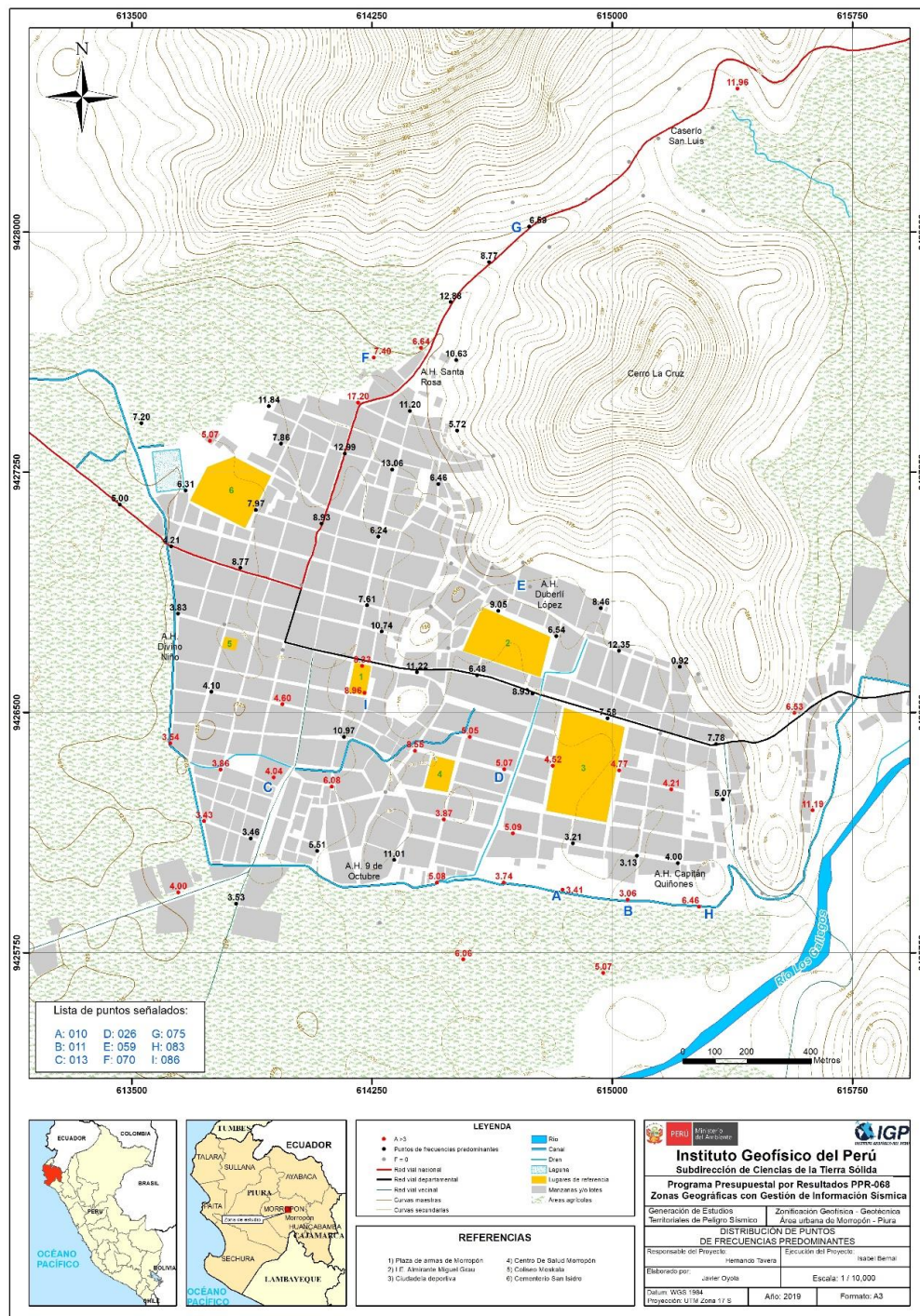
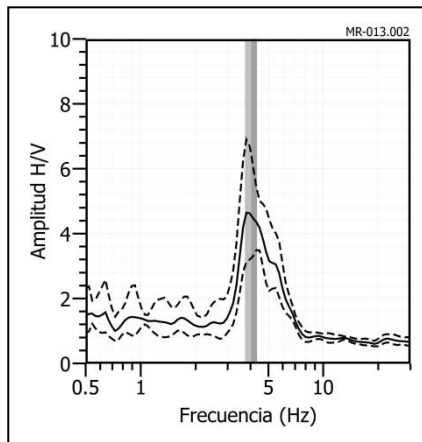
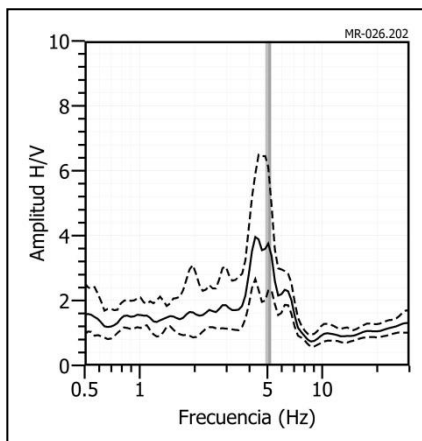


Figura 4: Distribución espacial de las frecuencias predominantes (F_0). Los valores en rojo corresponden a puntos con amplificaciones mayores a 3 veces. Las letras corresponden a los puntos cuyas razones espectrales son analizadas en el informe.

MR - 13



MR - 26



MR - 86

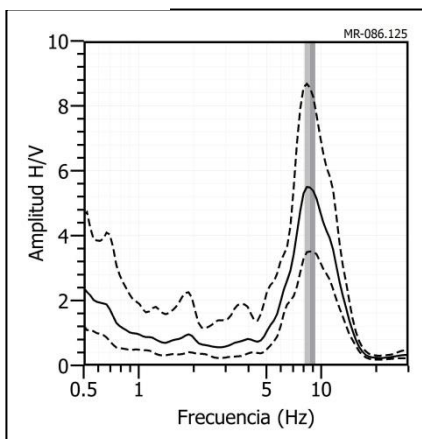
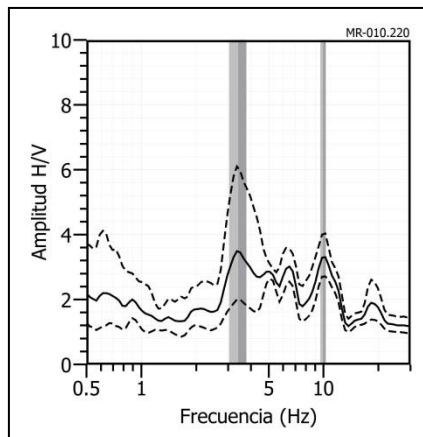
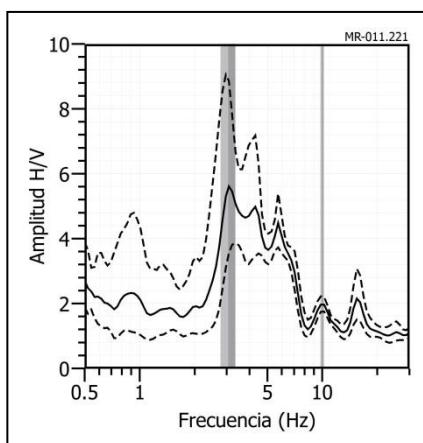


Figura 5: Ejemplos de razones espectrales (H/V): Para los puntos MR-13(C), MR-26 (D) y MR-86(I), realizados en el centro de la ciudad. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

MR - 10



MR - 11



MR - 83

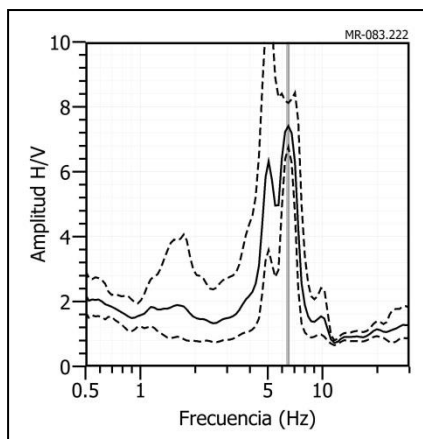
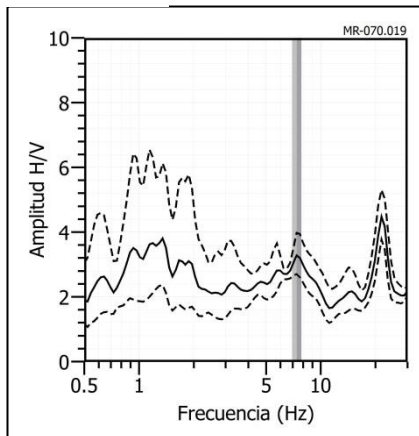
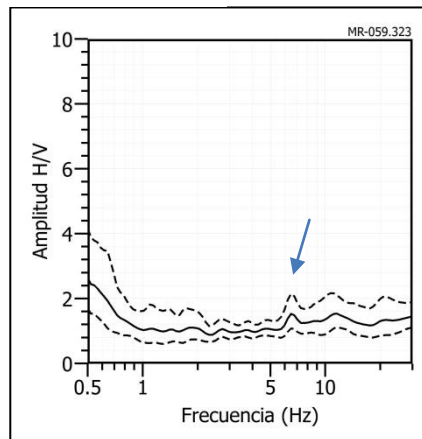


Figura 5: ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V): Para los puntos MR-10(A), MR-11(B) y MR-83(H), realizados al sur del A.H Capitán Quiñones próximo al canal de agua. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

MR - 70



MR - 59



MR - 75

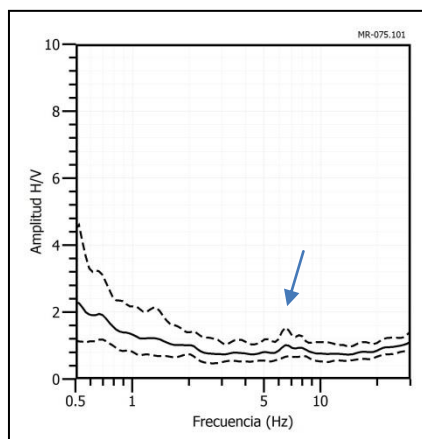


Figura 5: ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V): Para los puntos MR-70(F), MR-59(E) y MR-75 (G), realizados en extremo NE del área de estudio, en los AA.HH. Santa Rosa, Duberti López y próximo al caserío San Luis, respectivamente. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

En general, estos resultados sugieren la presencia de suelos con menor consistencia hacia las zonas centro, sur y suroeste del área urbana de Morropón y con mayor consistencia hacia su extremo norte.

- Periodos dominantes

Los valores de frecuencias fueron transformados a periodos dominantes a fin de construir el mapa de isoperiodos. En la Figura 6, se muestra la distribución espacial de los periodos (T_0) de respuesta del suelo que varían entre 0.1 y 0.3 segundos, los valores en rojo corresponden a puntos con amplificaciones mayores a 3 veces y los puntos en gris a puntos donde no sobresalió ningún periodo. Los periodos de 0.1 a 0.2 segundos, se distribuyen en gran parte del área de estudio (por el A.H. 9 de Octubre, A.H. Duberlí López, plaza de Armas, el cementerio, el coliseo y A.H. Santa Rosa) y los de 0.3 segundos, se distribuyen de manera puntual hacia el extremo SO (A.H. Divino Niño) y SE del área de estudio. Finalmente, hacia el extremo sur del A.H. Capitán Quiñones, sobresale una banda de periodos que fluctúa entre 0.1-0.3 segundos.

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 300 m/s y 350 m/s para las ondas de corte (V_s) y periodos de 0.1 y 0.2 segundos, se estima la presencia de una capa superficial con espesores de entre 7 y 9 metros hacia el norte del área urbana; mientras que, para periodos de 0.3 segundos, espesores de 15 a 18 metros al suroeste del área urbana. Los resultados de este análisis sugieren que la capa superficial del suelo presenta mayor espesor hacia el extremo sur del área de estudio.

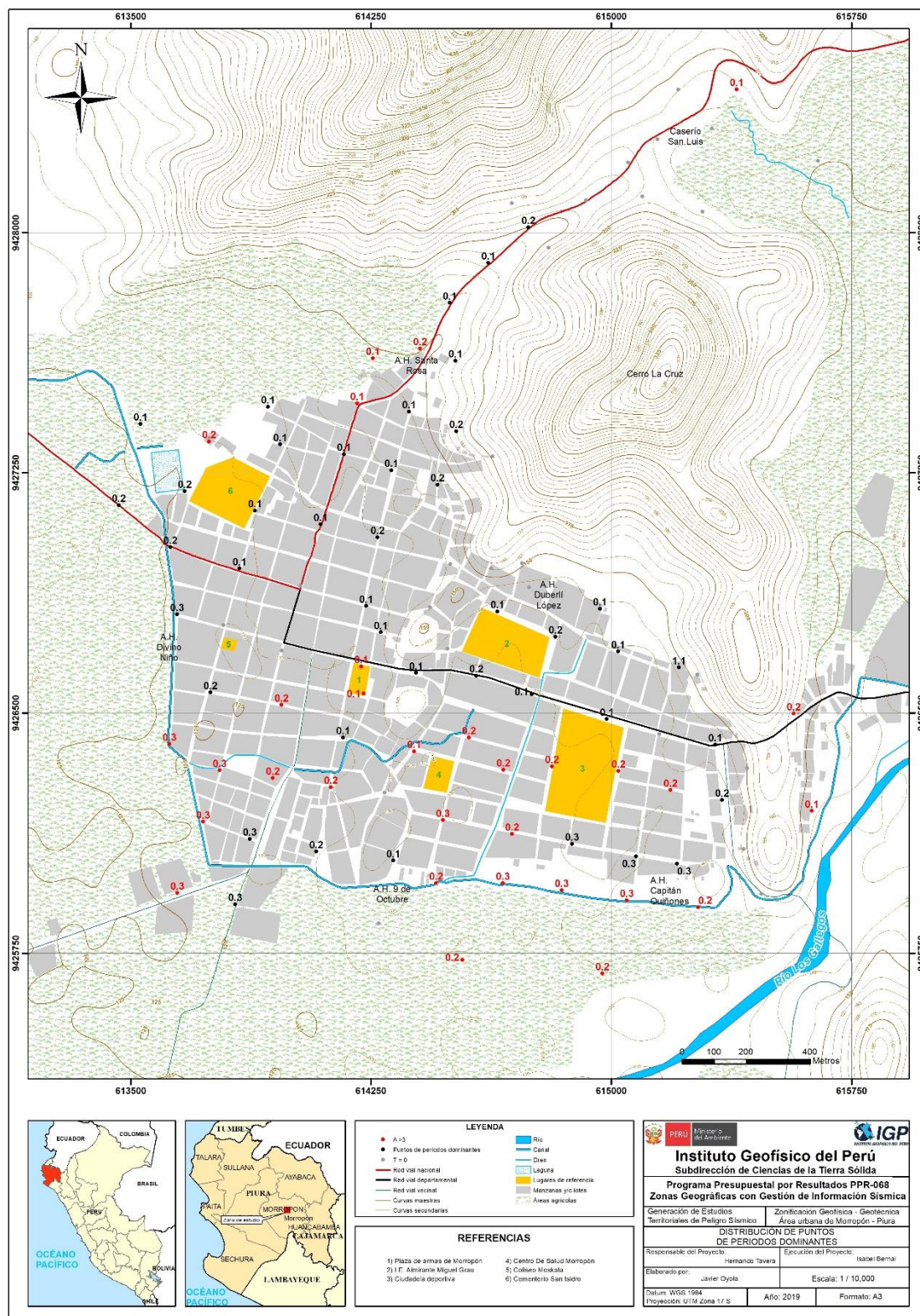


Figura 6. Mapa de la distribución espacial de los valores de periodos dominantes.

1.2. Análisis Multicanal de ondas Superficiales MASW

El método sísmico de MASW permite determinar la estratigrafía del subsuelo bajo un punto, conocer los espesores de las capas y la velocidad de propagación de las ondas de corte (V_s) en el subsuelo. Este método permite analizar la dispersión de ondas superficiales (ondas Rayleigh) generadas por una fuente de energía impulsiva y registrada por arreglos lineales de estaciones sísmicas.

1.2.1. Adquisición de datos

Para el registro de datos, según la técnica MASW se sigue el procedimiento y se utiliza un equipo sísmico modelo GEODE de Geometrics con 24 sensores o geófonos de baja frecuencia (4.5 Hz). Como fuente de impacto y/o energía para generar las ondas sísmicas se utiliza un martillo de 20 lb. Los parámetros de registro, tales como la geometría del tendido y el espaciamiento entre geófonos, fueron variables ya que dependió de la geomorfología de la zona de estudio y de la accesibilidad a los puntos seleccionados.

En el área urbana de Morropón se realizaron siete (07) arreglos lineales MASW codificadas como LS01-MR, ... y LS07-MR, y cuya distribución espacial se muestra en la Figura 7 y sus valores en la Tabla 1. Durante los trabajos de campo, los datos y/o sismogramas eran visualizados a fin de verificar su calidad de registro y los niveles de ruido de fondo. En la Figura 8, se muestra como ejemplo el registro obtenido considerando un golpe con martillo a 3 metros al final del arreglo lineal.

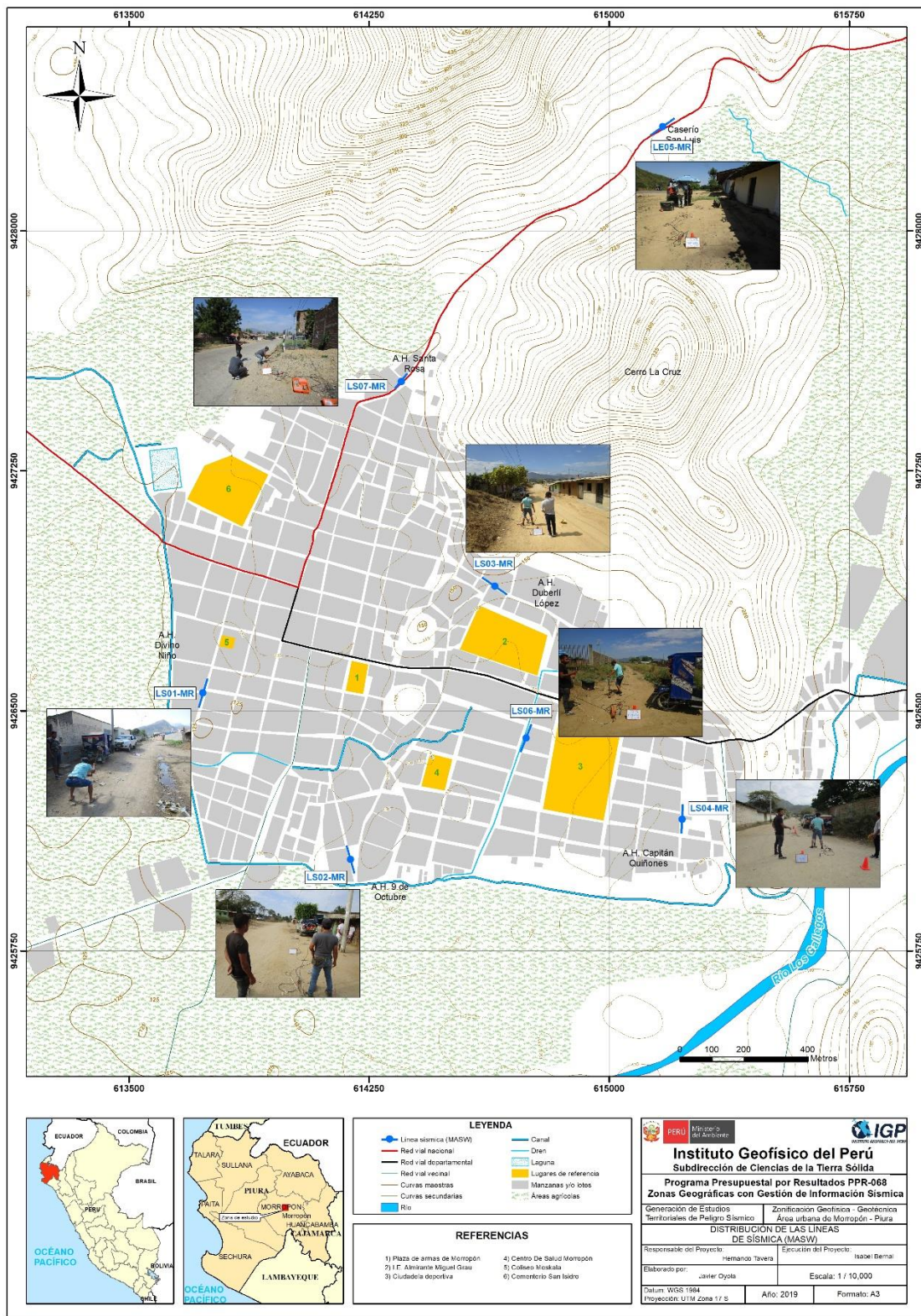


Figura 7: Distribución espacial de los ensayos MASW codificados como LS01-MR, ..., LS07-MR en el área urbana de Morropón.

Tabla 1. Coordenadas y características de los arreglos lineales MASW realizados en Morropón.

Arreglo lineal MASW	Este (m)	Norte (m)	Cota (m.s.n.m.)	Espaciamiento entre geófonos (m)	Longitud total (m)
LS01-MR	613718	9426510	134	4	92
	613745	9426601	133		
LS02-MR	614179	9426079	136	4	92
	614204	9425992	136		
LS03-MR	614603	9426917	153	4	92
	614680	9426863	154		
LS04-MR	615225	9426116	136	4	92
	615230	9426208	200		
LS05-MR	615204	9428352	200	4	92
	615129	9428299	202		
LS06-MR	614757	9426459	149	4	92
	614723	9426371	149		
LS07-MR	614369	9427554	158	3	69
	614330	9427507	162		



Figura 8: Disposición del equipo de adquisición de registro sísmico.

1.2.2. Procesamiento de datos

-Procesamiento: Se procedió a aplicar la transformada rápida de Fourier (FFT) a los registros sísmicos obtenidos para cada punto de disparo (Reynolds, 2011), para luego tener como resultado, la imagen de dispersión de ondas que relaciona la velocidad de fase de las ondas

superficiales con la frecuencia. Una vez obtenidas las curvas de dispersión, son sometidas de forma individual a un proceso de inversión a fin de obtener los perfiles de velocidad V_s en una dimensión (1D), tal como se muestra en la Figura 9.

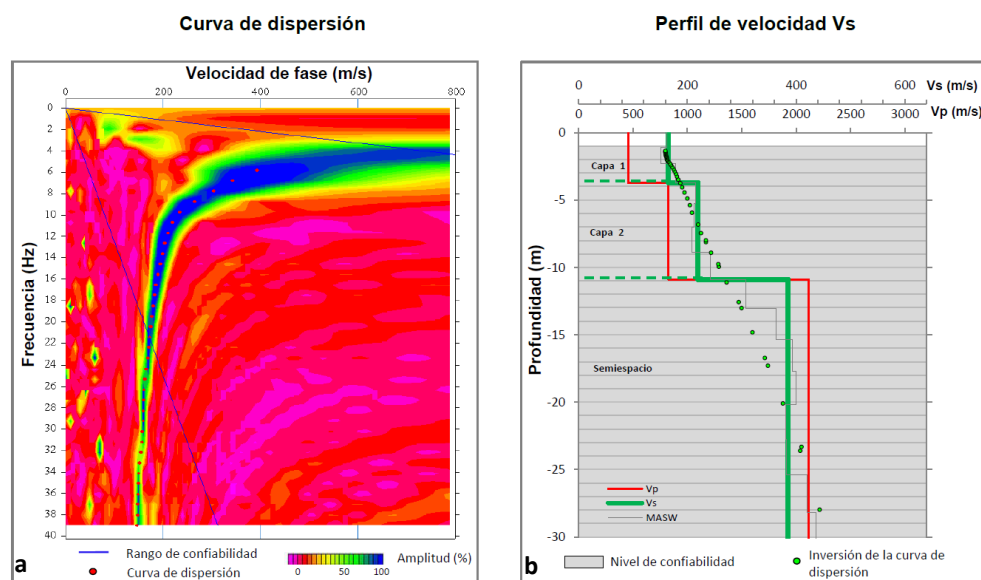


Figura 9: a) Curva de dispersión y b) perfil de velocidad obtenido a partir del ensayo MASW.

-Interpretación: Para el análisis, se considera la clasificación de suelos según la Norma E.030 (2018). En este caso, el rango de velocidades para los perfiles de suelo S1 y S2, se subdividen a fin de considerar dos clasificaciones adicionales, ver Tabla 2. Asimismo, los valores obtenidos son representados con colores a fin de facilitar su interpretación.

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

Clasificación de los perfiles de Suelo				
N°	Vs	Norma E.030		Descripción
1	< 180 m/s	S ₃	Suelo blando	Suelo blando
2	180 m/s a 350 m/s	S ₂	Suelo medianamente rígido	Suelo moderadamente rígido
3	350 m/s a 500 m/s			Suelo rígido
4	500 m/s a 800 m/s	S ₁	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	S ₀	Roca dura	Roca dura

1.2.3. Análisis y resultados

Perfiles de MASW

En el área de estudio se realizaron siete (07) arreglos lineales a fin de identificar las velocidades de ondas de corte V_s confiables hasta los 30 metros de profundidad. En la Figura 7, se presenta el mapa con la ubicación de las líneas y en la Figura 10, los resultados obtenidos para la línea LS01-MR. Para el resto de los perfiles, ver Anexos.

Línea sísmica LS01-MR: Ubicada al oeste de Morropón, en el A.H. Divino Niño. Se identifica dos capas sísmicas: la primera de 4 metros de espesor con velocidades V_s de 165 m/s correspondiente a suelos blandos. La segunda capa, con velocidades V_s de 219 m/s y espesor de 7 metros considera suelos moderadamente rígidos. El semi-espacio presenta velocidades $V_s > 385$ m/s y corresponden a suelos rígidos.

Línea sísmica LS02-MR: Ubicada al sur, en el A.H. 9 de Octubre. Se identifica dos capas sísmicas: la primera de 2 metros de espesor con velocidades V_s de 180 m/s y la segunda capa, de 5 metros de espesor con velocidades V_s de 262 m/s, ambas correspondiendo a suelos blandos a moderadamente rígido. El semi-espacio presenta velocidades $V_s > 515$ m/s, corresponde a suelo muy rígido.

Línea sísmica LS03-MR: Ubicada al noreste del área urbana, en el A.H. Duberlí López Escalona. Se identifica dos capas sísmicas: la primera de 5 metros de espesor con velocidades V_s de 323 m/s correspondiente a suelos moderadamente rígidos. La segunda capa con velocidades V_s de 534 m/s y espesor de 10 metros correspondiente a suelos muy rígidos. El semi-espacio presenta

velocidades $V_s > 904$ m/s correspondiendo a rocas moderadamente duras.

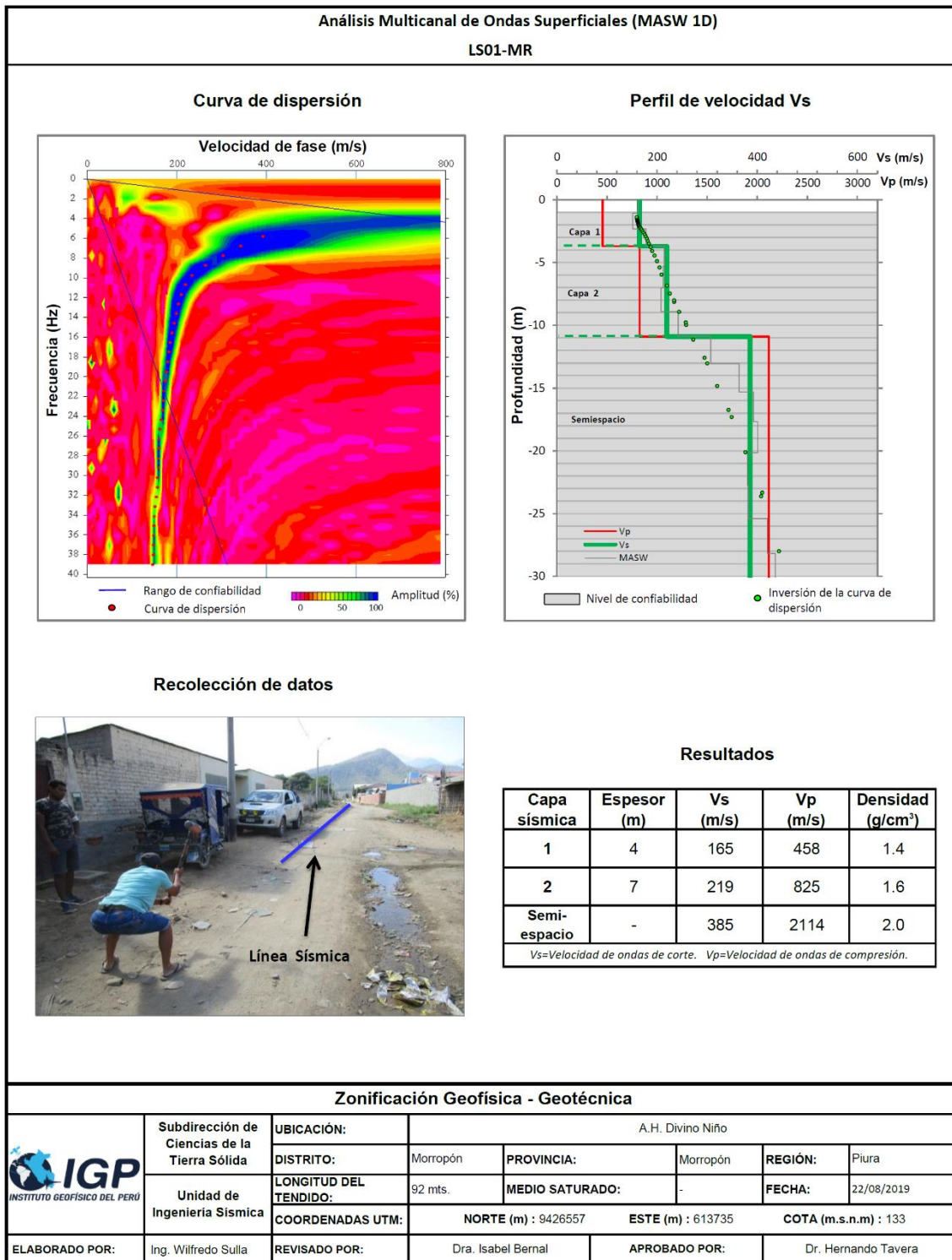


Figura 10. Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo lineal LS01-MR.

Línea sísmica LS04-MR: Ubicada al sureste del área de estudio, en el A.H. Capitán Quiñonez. Se identifica una capa sísmica de 9 metros de espesor con velocidades V_s de 223 m/s correspondiente a suelos moderadamente rígidos. El semi-espacio presenta velocidades de $V_s > 431$ m/s correspondiendo a suelos rígidos.

Línea sísmica LS05-MR: Ubicada al norte del área urbana, en el Caserío San Luis. Se identifica dos capas sísmicas: la primera de 4 metros de espesor con velocidades V_s de 206 m/s y la segunda capa, con velocidades V_s de 314 m/s y espesor de 7 metros; ambas capas consideran a suelos moderadamente rígidos. El semi-espacio presenta velocidades de $V_s > 439$ m/s correspondiente a suelos rígidos.

Línea sísmica LS06-MR: Ubicada próximo a la Ciudadela deportiva. Se identifica dos capas sísmicas: la primera de 7 metros de espesor con velocidades V_s de 191 m/s correspondiente a suelos moderadamente rígidos. La segunda capa, con velocidades V_s 387 m/s y espesor de 13 metros correspondiente a suelos rígidos. El semi-espacio presenta velocidades $V_s > 560$ m/s, correspondiente a rocas muy rígidas.

Línea sísmica LS07-MR: Ubicada al norte del área urbana, en el A.H. Santa Rosa. Se identifica dos capas sísmicas: la primera de 5 metros de espesor con velocidades V_s de 375 m/s correspondiente a suelos rígidos. La segunda capa, con velocidades V_s de 565 m/s y espesor de 8 metros correspondiente a suelos rígidos. El semi-espacio presenta velocidades $V_s > 843$ m/s, correspondiente a rocas moderadamente duras.

En la Tabla 3, se muestra el resumen de la información obtenida, la velocidad de ondas de corte V_s , su espesor y las velocidades V_{s30} .

Tabla 3. Valores de espesor y V_s de los perfiles sísmicos obtenidos para el área de estudio.

Superficie		Profundidad					
Línea Sísmica	N° DE CAPA						
	1		2		Semi-espacio		VS30 (m/s)
	Vs (m/s)	Esp. (m)	Vs (m/s)	Esp. (m)	Vs (m/s)	Esp. (m)	
LS01-MR	165	4	219	7	385	-	285
LS02-MR	174	2	262	5	515	-	395
LS03-MR	323	5	534	10	904	-	576
LS04-MR	223	9	431	-	-	-	334
LS05-MR	206	4	314	7	439	-	349
LS06-MR	191	7	387	13	560	-	336
LS07-MR	375	5	565	8	843	-	634

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)

dura (Vs > 1500 m/s)

Según los resultados obtenidos (Figura 11), se define la presencia de 2 y 3 capas sísmicas y un semi-espacio (Tabla 3) hasta una profundidad de 30 metros: (1) la primera caracterizada por suelos blandos con velocidades menores a 200 m/s y espesores entre 4 a 7 metros, presentes en el A.H. Divino Niño; (2) suelos moderadamente rígidos con velocidades de 200 a 300 m/s y espesores de 7 a 9 metros, presentes hacia el NO del área de estudio, A.H. Duberlí López y extremo norte A.H. Capitán Quiñonez (Figuras 11 y 12). Finalmente, hacia el extremo NE del área de estudio predominan suelos rígidos (caserío San Luis).

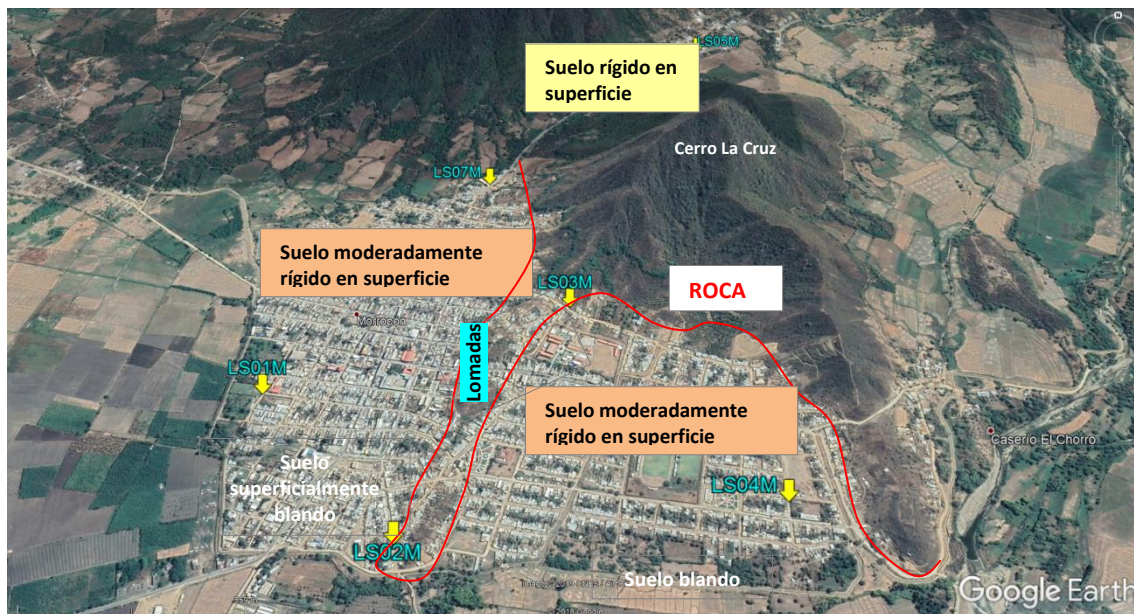


Figura 11. Características de los suelos en superficie en el distrito de Morropón.

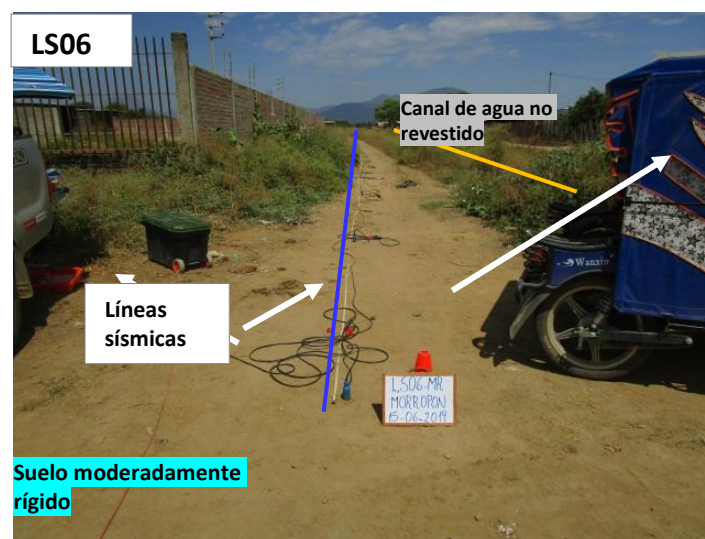


Figura 12: Distribución de la línea LS06 en el A.H. Capitán Quiñonez sobre suelos moderadamente rígidos.

1.3. Tomografía de Resistividad Eléctrica ERT

El ensayo de ERT permite determinar las variaciones de resistividad y conductividad eléctrica en las rocas y suelos para conocer su grado de saturación. En general, los materiales que conforman el subsuelo

muestran ciertos rangos de resistividad (ρ) al paso de la corriente eléctrica, y que pone en evidencia el contenido de agua y de sales disueltas en las fracturas de las rocas o en la porosidad del suelo.

13.1. Adquisición de datos

Los datos recolectados en campo corresponden al registro de valores de resistividad obtenidos en cinco (05) líneas de ERT distribuidas en la zona de estudio. El instrumental utilizado en campo corresponde a un Equipo de Resistividad / IP Syscal Pro de marca Iris Instruments. En la Tabla 4, se detalla las características de las líneas de ERT realizadas en la localidad de Morropón y en la Figura 13 su distribución espacial. Para la instalación de los equipos y los tendidos de los cables para la adquisición de los datos, en algunos sectores se tuvieron limitaciones de acceso y de espacio

Tabla 4: Coordenadas y características del ensayo ERT realizados en Morropón.

Línea Eléctrica	Este (m)	Norte (m)	Cota (m.s.n.m)	Espaciamiento entre electrodos (m)	Longitud total (m)
LE01-MR	9426730	613779	146	10	240
	9426490	613713	142		
LE02- MR	9426225	614140	144	10	240
	9425979	614202	148		
LE03- MR	9426972	614501	157	10	290
	9426837	614758	156		
LE04- MR	9426203	615110	152	10	250
	9426161	615374	158		
LE05- MR	9428418	615293	207	10	240
	471195	9493671	96		

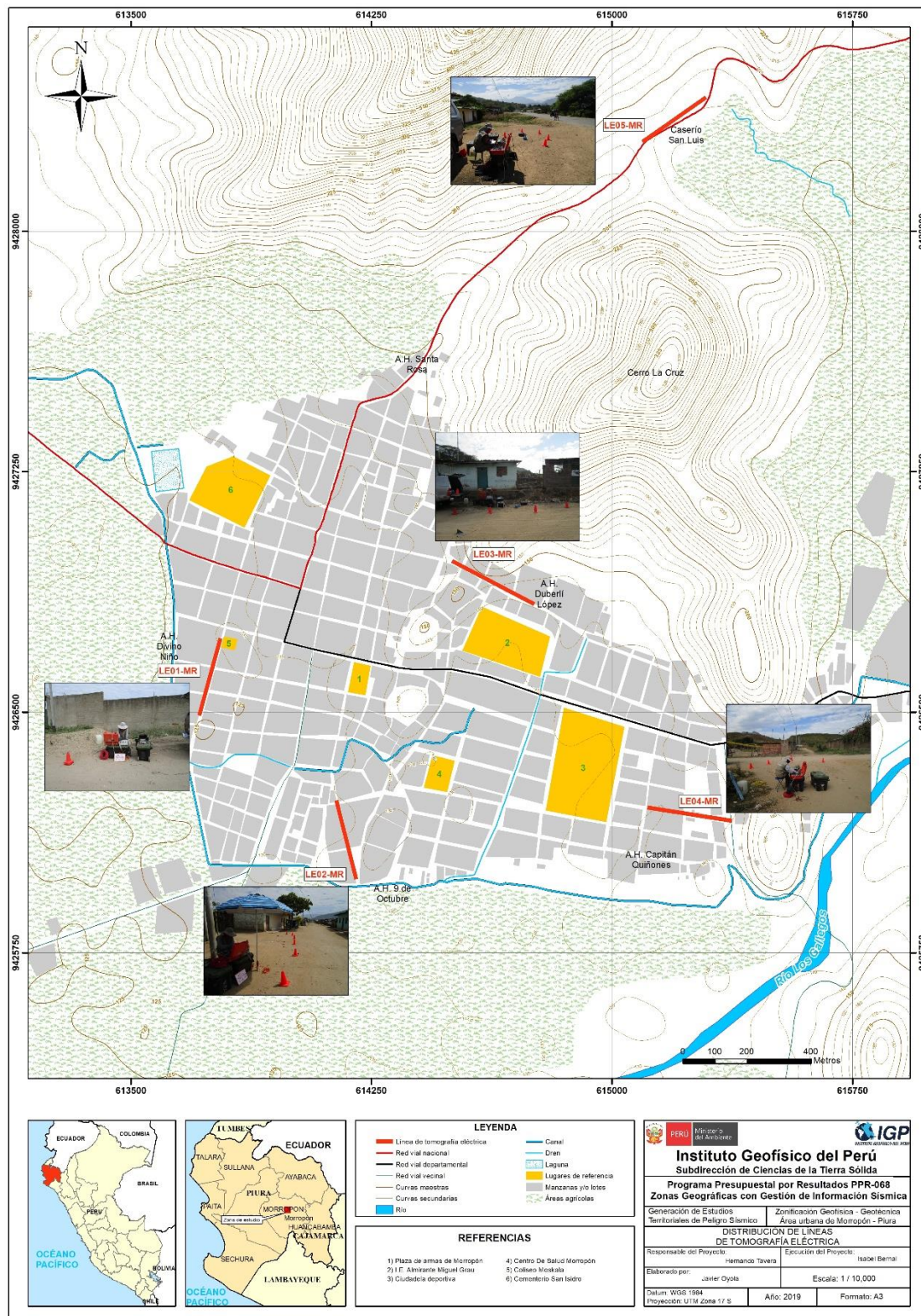


Figura13. Distribución espacial de las líneas de tomografía eléctrica codificadas como LE01-MR, ... LE05-MR en el área urbana de Morropón.

1.3.2. Procesamiento de datos

Para realizar el procesamiento de los datos recolectados en campo, se selecciona aquellos con ausencia de ruidos que puedan alterar los resultados a obtenerse. Seguidamente, son corregidos por efectos de topografía usando algoritmos de inversión de datos geoeléctricos y de procesamiento de imágenes.

Para el análisis de los resultados se debe tener en cuenta que son varios los factores que influyen en las características de los suelos (grado de saturación, porosidad y forma del poro, salinidad del fluido, tipo y composición de la roca, temperatura y procesos geológicos que afectan a los materiales); es decir, el incremento de fluidos en el terreno se verá reflejado por una disminución en los valores de resistividad. En la Tabla 5, se presentan algunos valores de Resistividad relacionados a los distintos tipos de suelos y rocas.

Tabla 5: Valores de resistividad de suelos y rocas presentes en la naturaleza (UNC, 2000).

Basamento. Roca sana con diaclasas espaciadas	>10000 Ωm
Basamento. Roca fracturada	1500-5000 Ωm
Basamento. Roca fracturada saturada con agua corriente	100-2000 Ωm
Basamento. Roca fracturada saturada con agua salada	50-100 Ωm
Gravas parcialmente saturadas	500-2000 Ωm
Gravas saturadas	300-500 Ωm
Arenas parcialmente saturadas	400-700 Ωm
Arenas saturadas	100-200 Ωm
Limos parcialmente saturados	100-200 Ωm
Limos saturados	20-100 Ωm
Limos saturados con agua salada	5-15 Ωm
Arcillas parcialmente saturadas	20-40 Ωm
Arcillas saturadas	5-20 Ωm
Arcillas saturadas con agua salada	1-10 Ωm
Ceniza volcánica seca	1000-2000 Ωm
Ceniza volcánica húmeda	300-1000 Ωm
Ceniza volcánica saturada	100-300 Ωm

1.4. Perfiles de Tomografía Eléctrica

Se realizaron cinco (05) líneas de tomografía eléctrica en el área urbana de Morropón, a fin de conocer el grado de saturación del suelo

mediante los valores de resistividad. En la Figura 13, se presenta el mapa con la ubicación de las líneas, en las Figuras 14, 15 y 16 imágenes con la disposición de las diferentes líneas y en la Figura 17, los resultados obtenidos para la línea LE01-MR. Para el resto de los perfiles, ver Anexos.

La línea LE01-MR realizada al extremo oeste del área urbana, por el A.H. Divino Niño (Figura 13). Se identifica el predominio de valores muy bajo-resistivos ($<20 \Omega.m$), lo que indica que el suelo presenta humedad y cuyo contenido aumenta en profundidad asociándose a la presencia de terrenos de cultivo. De manera puntual, en profundidad aparecen valores medianamente resistivos (de 100 a 500 $\Omega.m$), lo que sugiere la existencia de suelos conformados por conglomerados y rocas, tal como se muestra la Figura 14.

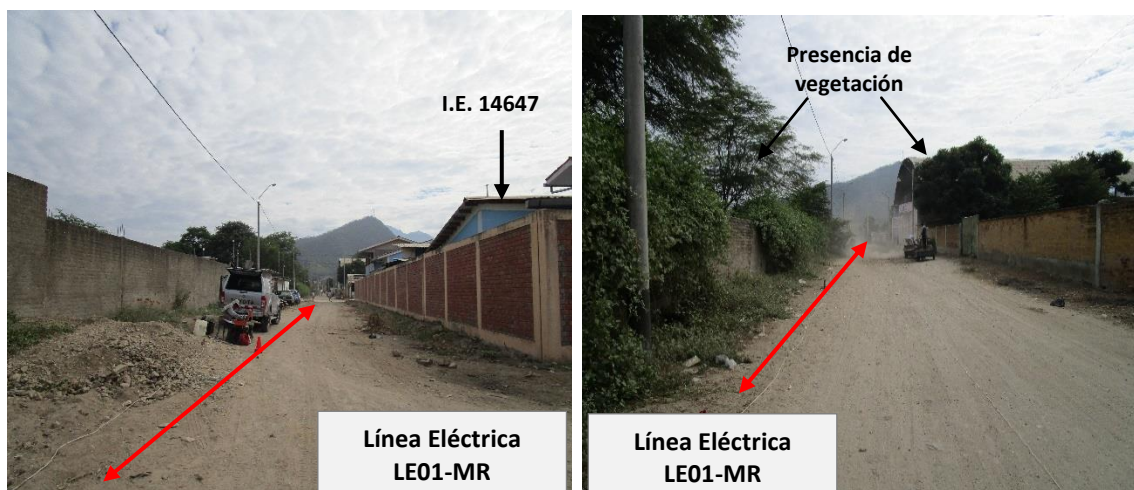


Figura 14: Vista de la línea eléctrica LE01-MR.

En esta línea LE02-MR, realizada en la zona sur del área de estudio, próximo al A.H. 9 de Octubre, predominan los valores bajo a muy bajo resistivos ($<100 \Omega.m$) que se asocian a depósitos cuaternarios como limos, arcillas y arenas con contenido de humedad por influencia de los terrenos de cultivo. Asimismo, a una profundidad de 20 metros se

observan valores medianamente resistivos a muy resistivos ($>100 \Omega.m$) y corresponderían a rocas metamórficas (Figura 15).

En la línea LE04-MR, realizada en la zona sur del área de estudio, por el A.H. Capitán Quiñonez, predominan los valores bajo a muy bajo resistivos ($<100 \Omega.m$) que se asocian a depósitos aluviales, con alto contenido de humedad por influencia del río Piura. Asimismo, en profundidad se observan valores medianamente resistivos (100 a 500 $\Omega.m$), que pueden asociarse a la presencia de rocas metamórficas (Figura 15).

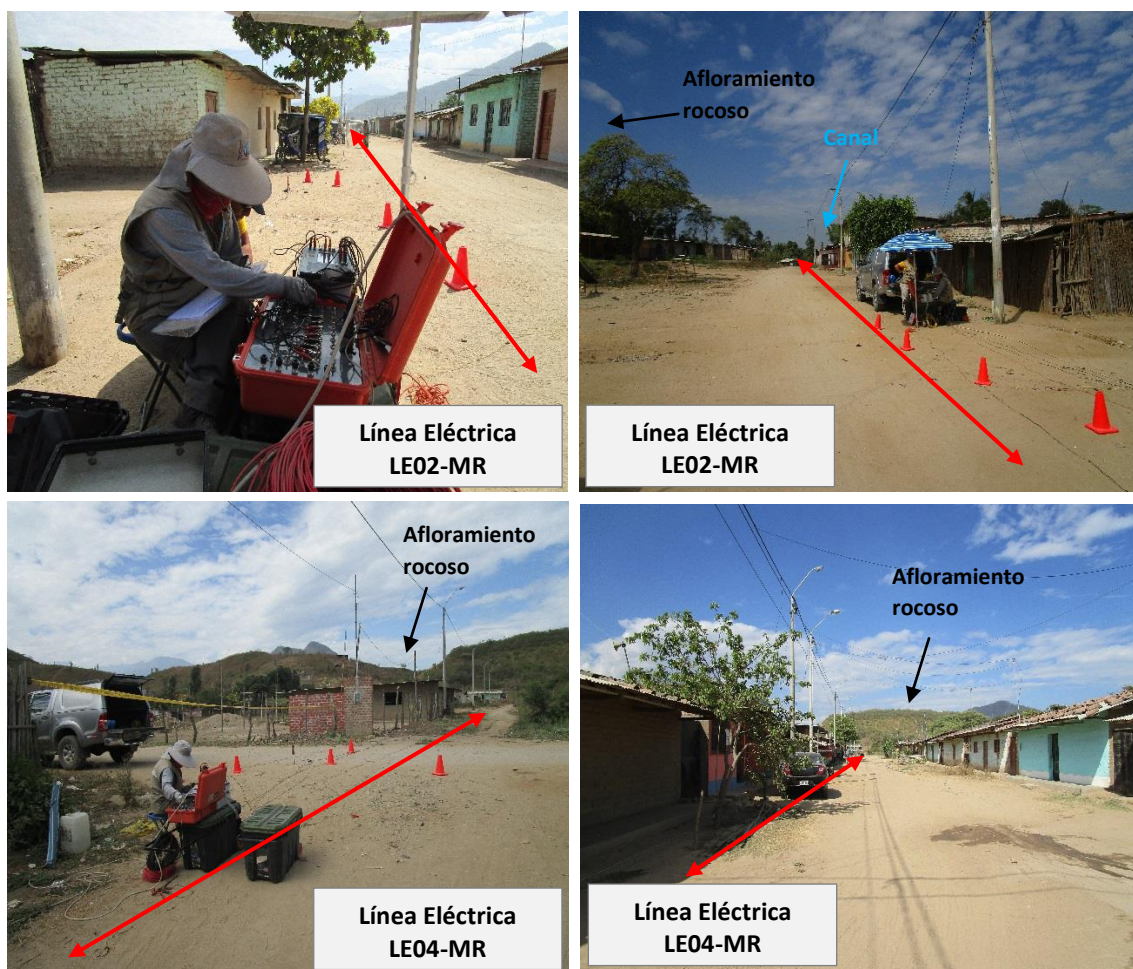


Figura 15: Vista de la línea eléctrica LE02-MR y LE04-MR.

En las líneas LE03-MR y LE05-MR realizadas en la zona este y al extremo norte del área de estudio, por el A.H. Duberli López y el Caserío

San Luis, se identifica desde la superficie, el predominio de valores bajo a muy bajo resistivos ($<100 \Omega.m$) sugiriendo la presencia de suelos moderadamente húmedos asociados a depósitos de arcillas, areniscas cuarzosas y rocas poco consolidados y a la presencia de quebradas y la proximidad a terrenos de cultivo. En profundidad se presentan valores resistivos a medianamente resistivo ($>100 \Omega.m$) por su proximidad al cerro La Cruz donde se tiene la presencia de afloramientos rocosos de roca metamórfica (Figura 16).

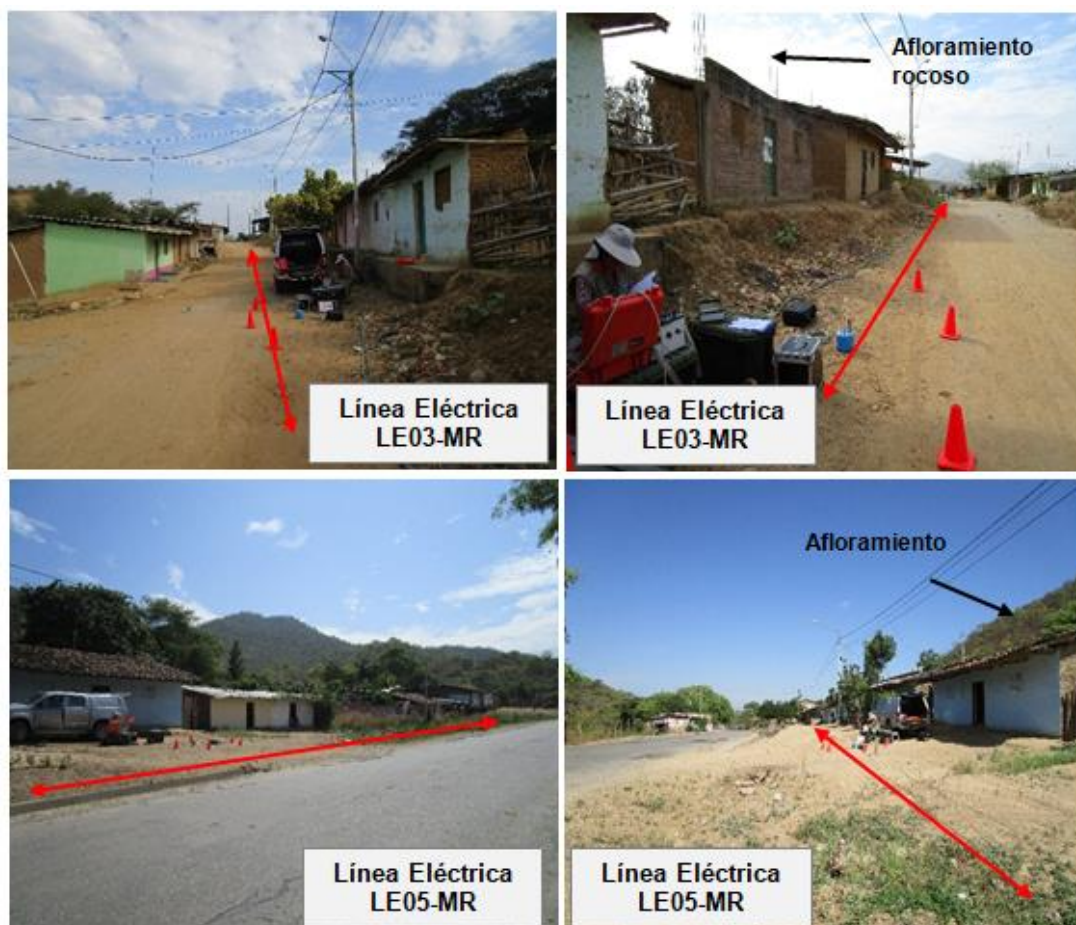


Figura 16. Vista de la línea eléctrica LE03-MR y LE05-MR.

En general, en el área urbana de Morropón los cortes geoelectricos evidencian la presencia de suelos saturados, principalmente en el A.H. Divino Niño. Estos niveles de saturación se presentan desde la superficie, debido a la influencia de los terrenos de cultivo y porque el suelo está compuesto por arcillas y limos que

permiten el almacenamiento de agua y conservan la humedad. Contrariamente, en los AA.HH. 9 de Octubre y Capitán Quiñonez los suelos constituidos por gravas, arenas y arcillas están parcialmente saturados por la influencia del río Piura. Asimismo, a partir de los 20 metros de profundidad, los suelos no están saturados debido al predominio de rocas metamórficas, tal como ocurre en Cerro La Cruz (Figura 17).

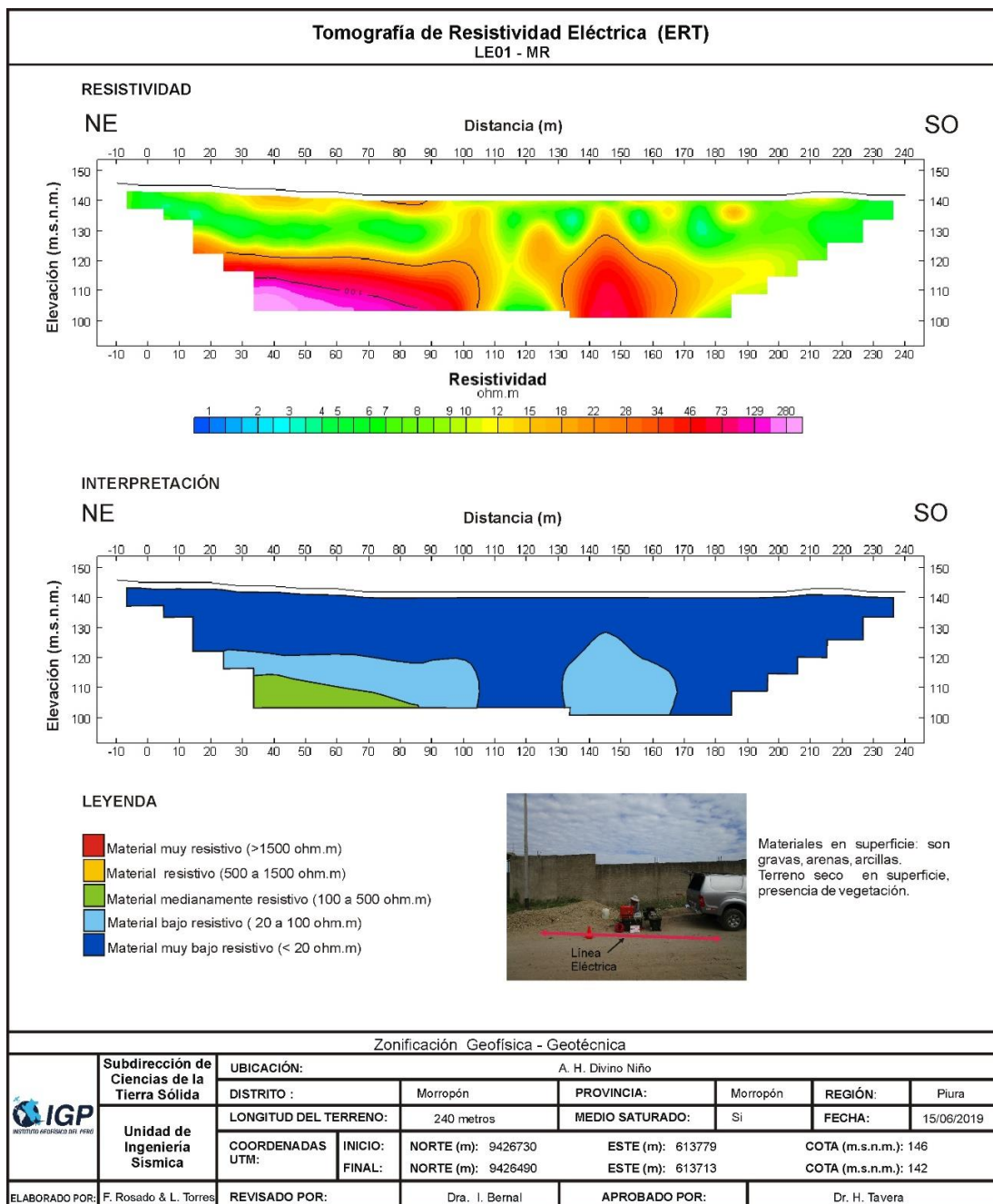


Figura 17: Resultado de tomografía de resistividad eléctrica para la línea LE01-MR.

2.- ZONIFICACIÓN DE SUELOS

El mapa de zonificación Geofísica – Geotécnica se realiza considerando la correlación de la información generada con la aplicación de las técnicas geofísicas y geotécnicas; así como la geología, geomorfología y geodinámica. Finalmente, con 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.

2.1.- Integración de resultados

El área urbana de Morropón se encuentra a una altura promedio de 131 m.s.n.m., presenta una superficie casi plana con pendientes bajas a moderadas, rodeada de cerros y lomadas hacia su extremo norte, condiciones geomorfológicas que influyen en los resultados.

En general, en el área urbana los suelos responden a periodos de entre 0.1 y 0.3 segundos (Figura 18): los periodos de 0.3 segundos predominan hacia el sur y suroeste del área urbana (A.H. Divino Niño y A.H. Capitán Quiñones) y conforme se tiende hacia su extremo norte, están presentes los periodos de 0.1 y 0.2 segundos, específicamente en los sectores próximos al cerro La Cruz (A.H. Durberlí López, A.H. Santa Rosa y por el caserío San Luis). En el área urbana las capas superficiales de características blandas ($V_s = 165$ m/s) y moderadamente rígidas ($V_s = 223$ m/s) presentan espesores que varían entre 7 y 11 metros, especialmente en los extremos sur y suroeste de Morropón. Sin embargo, en dirección norte, la capa de suelos moderadamente rígidos ($V_s > 191$ m/s) presenta menor espesor, coherente con los periodos bajos. En la Figura 18, se muestra la correlación entre los resultados obtenidos con los

diferentes métodos geofísicos: hacia el sur y suroeste (perfil “a”) y hacia el norte (perfil “b”).

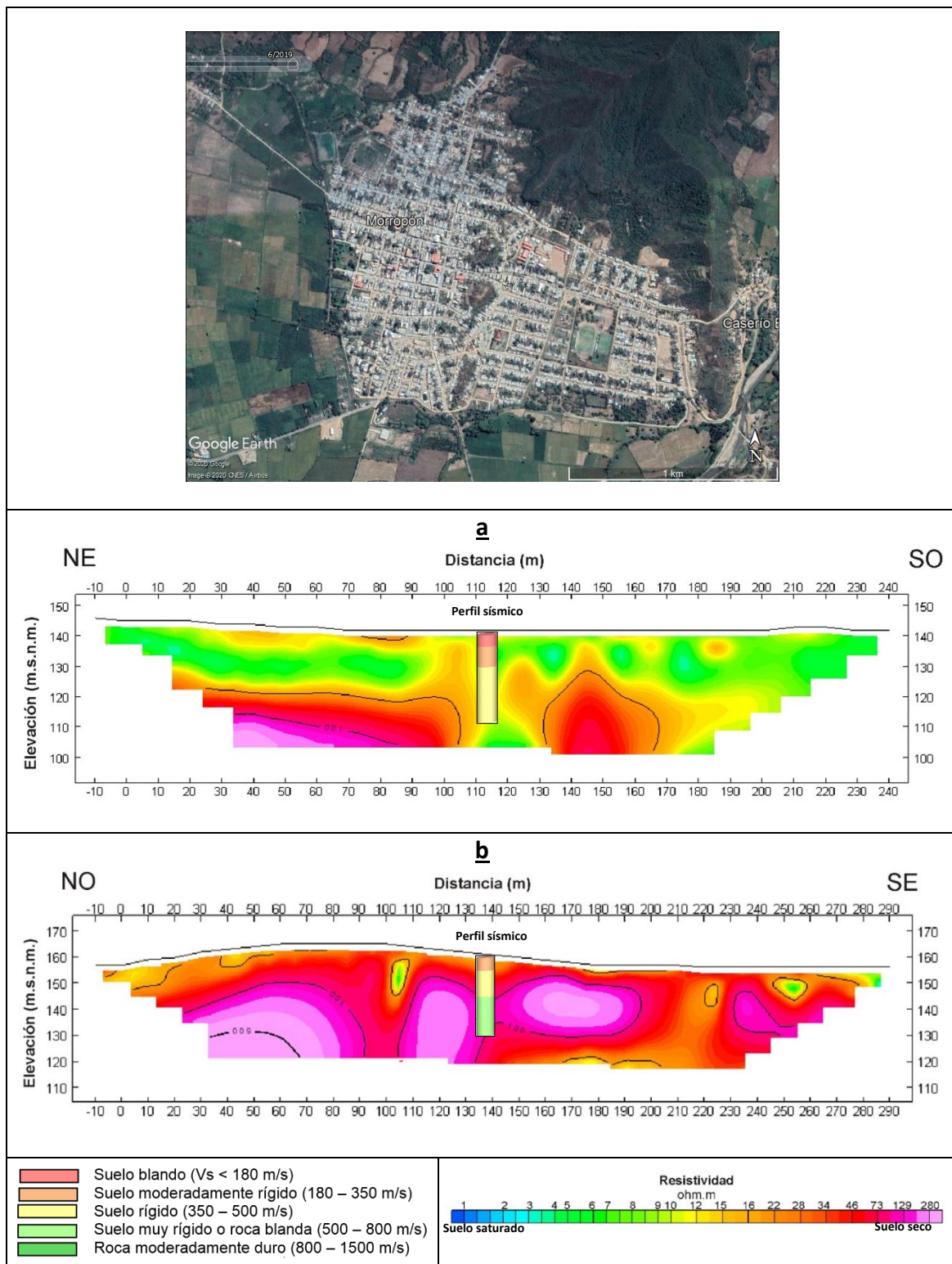


Figura 18: Correlación de los ensayos geofísicos, periodos dominantes, tipo de suelo y grado de saturación.

De manera puntual, los suelos que se emplazan por el A.H. Capitán Quiñonez, muestran una respuesta dinámica compleja, esto se debe a que inicialmente fueron áreas de cultivo que se encuentran influenciados por la humedad que proviene del canal de regadío. Además, durante el periodo de lluvias intensas y/o el Fenómeno de El Niño llegan a inundarse con facilidad. Aquí se tiene el predominio de suelos saturados desde niveles próximos a la superficie (5 metros), principalmente hacia el extremo sur y suroeste del área de estudio (A.H. Divino Niño y A.H. Capitán Quiñonez).

En general, los suelos al estar constituidos principalmente de arenas y en menor proporción de limos y acillas, sumado a la saturación a niveles superficiales y a la posible ocurrencia de eventos sísmicos de gran magnitud, tienen una alta probabilidad de desarrollar procesos de licuación de suelos, principalmente al sur y suroeste del área de estudio. En este escenario, es necesario e indispensable que esta información sea considerada como base para nuevos proyectos y en la toma de decisiones.

2.2. Mapa de Zonificación

El mapa de Zonificación Geofísica - Geotécnica para el área urbana de Morropón, se elabora en función de la integración de los resultados obtenidos del análisis geofísico y geotécnico. Asimismo, las características dinámicas del suelo y sus propiedades mecánicas han permitido identificar en el área de estudio, considerando lo indicado en la Norma Técnica de Construcción Sismorresistente E.030, la existencia de suelos de Tipo S1 y S4; los mismos que corresponden a las Zonas I y IV.

Para el área urbana de Morropón, se propone la siguiente zonificación Geofísica - Geotécnica (Figura 19).

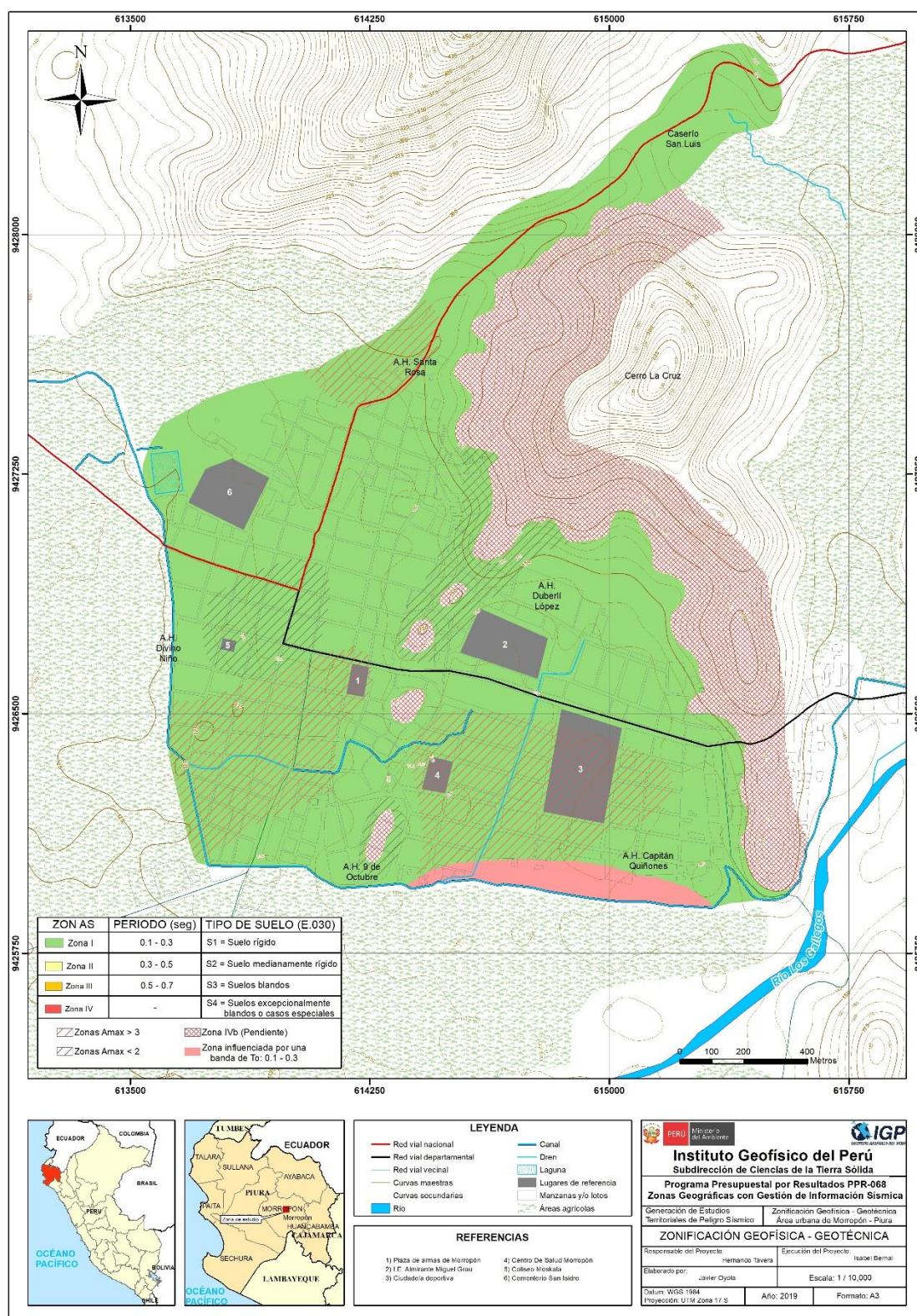


Figura 19: Mapa de Zonificación Geofísica – Geotécnica del área urbana de Morropón.

- **ZONA I:** Considera suelos constituidos por estratos de arenas, limos y arcillas (depósitos de aluviales) distribuidos a nivel superficial. Presenta en promedio velocidades de ondas de corte V_s de 240 m/s para la capa superficial y de 900 m/s a la profundidad de 30 metros. Los periodos de vibración natural del suelo varían entre 0.1 y 0.3 segundos, ambos definen la existencia de suelos Tipo S1 y cuyo comportamiento es modernamente rígido a rígido (NTE.030). Los suelos presentan bajo nivel freático y una capacidad de carga admisible entre 1.0 a 3.0 Kg/cm² hasta un metro de profundidad. Esta zona comprende el 95 % del área de estudio y sobre ella, se encuentra toda el área urbana de Morropón.

Las líneas rojas inclinadas delimitan a las áreas donde los suelos presentan amplificaciones relativas mayores a 3 veces. De ocurrir un sismo, el mayor sacudimiento del suelo se presentará principalmente al sur y suroeste del área de estudio (A.H. Divino Niño, A.H. Capitán Quiñones, la Ciudadela Deportiva, A.H. Santa Rosa y la Plaza de Armas). Las líneas negras inclinadas, delimitan las áreas de muy baja amplificación.

- **ZONAS II y III:** En el área de estudio no se identificó suelos de Tipo S2 y S3.
- **ZONA IV:** Considera suelos con características físicas y dinámicas excepcionales, por lo que su comportamiento comprende a suelos Tipo S4, que para una mejor descripción se subdivide en:
 - **Zona IVb:** Corresponde a zonas de topografía irregular constituidos por material poco consolidado susceptible que en periodos de lluvias intensas son susceptibles a generar derrumbes, flujos de detritos y caída de rocas. Estos sectores presentan pendientes mayores a 15° como los flancos del cerro La Cruz y las lomadas que afloran en 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 el área urbana de Morropón, ha permitido llegar a las siguientes conclusiones:

- Los suelos del distrito de Morropón responden principalmente a periodos (T_0) que varían entre 0.1 y 0.3 segundos, predominando los periodos de 0.1 a 0.2 segundos, en la zona céntrica del área de estudio (A.H. 9 de Octubre, A.H. Duberlí López, plaza de Armas, el cementerio, el coliseo y A.H. Santa Rosa). Los periodos de 0.3 segundos, se distribuyen de manera sectorizada al suroeste y sureste del área de estudio (AA.HH. Divino Niño y Capitán Quiñones). Mediante la relación $T_0=4H/V_s$, y asumiendo velocidades de 300 m/s y 350 m/s para las ondas de corte (V_s) y periodos de 0.1 y 0.2 segundos, se estima la presencia de una capa superficial con espesores de entre 7 y 9 metros al norte del área urbana y para periodos de 0.3 segundos, se estima una capa con espesores de 15 a 18 metros al suroeste del área urbana. Estos resultados sugieren que la capa superficial del suelo presenta mayor espesor en los extremos suroeste y suroeste del área de estudio.
- En el área urbana de Morropón predominan en superficie tres tipos de suelo; (1) suelos blandos con valores V_s que varían entre 165 a 174 m/s y espesores entre 2 a 4 metros, presentes en el A.H. Divino Niño y 9 de Octubre. (2) suelos moderadamente rígidos con V_s entre 191 a 323m/s y espesores variable entre 9 a 5 metros, presentes hacia el NO del área de estudio, A.H. Duberlí López y extremo norte A.H. Capitán Quiñonez. (3) suelos rígidos presentes en el caserío San Luis y sectores emplazados próximos al cerro La Cruz.

- Los valores de velocidad promedio calculados para los primeros 30 metros de profundidad (V_{s30}), según la norma E030-2018, define para el área de estudio la presencia de dos tipos de suelo con velocidades V_{s30} entre 285 a 395 m/s y de 576 a 634 m/s; es decir, suelos medianamente rígidos a rígidos.
- En el área urbana de Morropón, se identifica la presencia de suelos saturados, principalmente en el A.H. Divino Niño (a 5 metros de profundidad) y parcialmente saturados hacia el A.H. 9 de octubre y extremo sur de A.H. Capitán Quiñonez.
- Los resultados obtenidos para el área urbana de Morropón a partir de las características físicas y dinámicas del suelo, han permitido identificar, de acuerdo con las consideraciones indicadas en la Norma de Construcción Sismorresistente E.030, la existencia de suelos Tipo S1 y S4.

BIBLIOGRAFÍA

- 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 (2004) The SESAME project: an overview and main results. 13 World Conference on Earthquake Engineering Vancouver, B.C., Canada August 16, 2004 Paper No. 2207
- 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, México. Tesis de Maestría en Ciencias, UNAM, pag. 130.
- Bernal, I., Tavera, H., Sulla, W., Arredondo, L., & Oyola, J. (2018). Geomorphology characterization of Ica basin and its influence on the dynamic response of soils for urban seismic hazards in Ica, Peru. International Journal of Geophysics, 2018, article ID 9434251, 12. <https://doi.org/10.1155/2018/9434251>
- 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.
- Cahill & Isacks (1992) - Seismicity and shape of the subducted Nazca Plate. Journal Geophys. Res., 97, 17503-17529.
- CENEPRED, 2017 Informe De Evaluación De Riesgo Por Inundación Pluvial En El Centro Poblado De Morropón, Distrito Morropon, Provincia Morropon, Departamento De Piura
- CENEPRED y PENUD. (2019). Plan de prevención y reducción de riesgo de desastres de la provincia de Morropón 2019 – 2021. Pág. 74.

- CENEPRED. (2017). Informe de evaluación de riesgo por inundación pluvial en el centro poblado Morropón, distrito de Morropón, provincia de Morropón, departamento de Piura. Pag. 88.
- Crespo V., C., (2004) - Mecánica de Suelos y Cimentaciones, 5ta edición.
- COEN-INDECI (Informe N° 62), 2017-INFORME N° 855-21/12/2017
- CISMID, (2016) - Densidad de campo. Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres. Laboratorio Geotécnico.
- Chow, V., T., Maidment, D., R., & Mays, L., W., (1994) - Hidrología Aplicada Bogotá, McGrawHill, pág. 584.
- De Marco, Pietro, (2002) - Corrección del índice de resistencia a la penetración. Caracas: Universidad Central de Venezuela, 2002. 315 p.
- Diario El Comercio, (2015) – Máncora pierde el 70% de su humedal debido a invasiones
- 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.
- 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.
- GITS-Grupo de Investigación de Transporte de Sedimentos.
- 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.

- Hartzel, S. H. (1992). Site response estimation from earthquake data. Bull. Seism. Soc. Am. 82, 2308-2327
- Howie D., & Sy, (2003) - A method for correlating large penetration test (LPT) to standard penetration test (SPT) blow counts.
- Hutchinson, J., N., (1968) - Mass Movement. In the Enciclopedia of Geomorphology (Fairbridge, R.W., ed., Reinhold Book Corp., New York). 668-696 p.
- 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.
- INEI. (2007). Censo Nacional 2007: XI de Población y VI Vivienda. Lima-Perú. INEI. Recuperado de <http://censos.inei.gob.pe/cpv2007/tabulados/#>
- INEI. (2017). Censo Nacional 2017: XII de Población, VII Vivienda y III de comunidades indígenas. Lima- Perú. Inei. Recuperado de <http://censos.inei.gob.pe/cpv2017/tabulados/#>
- INDECI, 2016, Informe De Emergencia N° 06/04/2016/Coen-Indeci/15:40 Horas Inundación Afecta Provincia De Morropón Piura
- INGEMMET, 2017 Informe Técnico N° A6765 Evaluacion Geológica De Las Zonas Afectadas Por El Niño Cistero 2017 En La Región Piura
- INRENA. (1999). Estudio de prospección geofísica con fines de reconocimiento hidrogeológica para la casa de Asilo de Ancianos de la provincia de Morropón – Piura. Pag. 14.
- Juárez, E., y Rico, A. (2005) - Fundamentos de la Mecánica de Suelos. Segunda Edición. Limusa S.A. México D.F.
- Jica (Agencia de Cooperación Internacional Japonesa- Ministerio de Agricultura, (2012) Hidrología de Máximas avenidas del río Chira, Apéndice - 5
- 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. *Quarterly 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 geoeléctrica en corriente continua*. Madrid: Ediciones Paraninfo.
- Palacios, O, (1994) - Geología de los cuadrángulos Paita 11-a, Piura 11-b, Talara 10-a , Sullana 10-b, Lobitos 9-a, Quebrada Seca 9-b, Zorritos 8-b, Tumbes 8-c y Zarumilla 7-c. Serie A: Carta Geológica Nacional. Boletín N° 54. Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico-INGEMMET.
- Park, C.B. (2015). Data acquisition. Retrieved 23 June, 2015, from <http://www.masw.com/DataAcquisition.html>

- 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.*, 5 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.
- Reyes, L, (1987) *Geología De Los Las Playas 9c, La Tina 9 D, Las Lomas 10 C, Ayabaca 10d, San Antonio 10 E, Chulucanas 11c, Morropon 11d, Huancabamba 11 E, Olmos 12 D, Pomahuaca 12 E. Serie A: Carta Geológica Nacional. Boletín N° 39. Geología – Instituto Geológico, Minero Y Metalúrgico-Ingemmet*
- Reynolds, J.M. (2011). *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, 2nd ed., 712 pp.
- Rojas, L., E., L., (2010) - *Cuencas Sedimentarias del Noroeste Peruano Geología Talara. Informe Universidad Nacional De Ingeniería.*
- Rivera, P., A., (2013) - *Proyecto: Mejoramiento y ampliación del parque Grau del balneario de Máncora, provincia de Talara, departamento de Piura, estudio de Preinversión a nivel de perfil. Municipalidad Distrital de Máncora.*
- 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
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), (2018). <http://www.senamhi.gob.pe/>

- 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.
- Sepúlveda, S.A., (2000) - Metodología de Evaluación del Peligro de Flujos de Detritos en Ambientes Montañosos. Revista Comunicaciones, Departamento de Geología, Universidad de Chile, No.51, p. 3-28.
- Seed HB, Tokimatsu K, Harder LH & Chung R., (1984) - "The influence of SPT procedures in soil liquefaction resistance evaluations," Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, Report No. EERC 84-15.
- 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.
- Silgado, E (1978) Historia de sismos más notables ocurridos en el Perú (1513-1974) primera edición digital, noviembre 2012.
- Suárez, D., J., (1998) – Estabilidad de Taludes en Tropicales. Instituto de Investigación sobre erosión y deslizamientos. Colombia. Ed. Ingeniería de Suelos Ltda. 550 p.
- Tar buck, 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.
- 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.
- Yamunaque, F., L., E., (1991) - Microzonificación y Lineamientos de Planeamiento Urbano de la Ciudad de Talara para la Mitigación de Desastres.

ANEXO

La información en formato digital y considera el Informe Técnico. "Zonificación Geofísica – Geotécnica del área urbana de Morropón"; y en carpetas, los siguientes mapas y figuras:

.-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 admisible
- Mapas

.-Información Geofísica

- Perfiles Sísmicos (MASW)
- Secciones Geo eléctricas (ERT)
- Mapas