



Ministerio
del Ambiente

Instituto
Geofísico del Perú



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

ESTUDIO DE ZONIFICACIÓN SISMO-GEOTÉCNICA DEL ÁREA URBANA DE MORROPÓN



Lima - Perú

2020

ESTUDIO DE ZONIFICACIÓN SISMO-GEOTÉCNICA DEL DISTRITO DE MORROPÓN

**Provincia de Morropón - Departamento de Piura
(Características dinámicas del suelo)**

Responsable del Proyecto

Dr. Hernando Tavera

Desarrollo del Proyecto

Dra. Isabel Bernal Esquía

MSc. Juan Carlos Gómez Avalos

Personal Participante

Juan Carlos Villegas Lanza	Liliana Torres Velarde
Segundo Ortiz Yovera	Jesús Huarachi Berroa
Mariana Vivanco Manrique	Kelly Pari Rondón
Pilar Vivanco López	Wilfredo Sulla Huilca
Héctor Lavado Sánchez	Javier Oyola Coral
Gustavo Namay Poncca	José Millones Jáuregui
Henry Salas Vásquez	Manuel Medina Gonzales

Apoyo Técnico

Marisol Enríquez Huamán
Esther Campos Córdova
Augusto Cárdenas Ausejo
Roberth Yupanqui Zelada

RESUMEN EJECUTIVO

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 actividades la “Caracterización Geomorfológica, Geológica, Geodinámica y Geotécnica” y “Generación de Estudios Territoriales de Peligros Sísmicos” obteniéndose como resultado final, mapas temáticos (geomorfología, geología, geodinámica, tipos de suelos y capacidad portante y zonificación sísmica) del área urbana de distrito de Morropón, Provincia de mismo nombre, Departamento de Piura. El estudio permite conocer el Comportamiento Físico y Dinámico del Suelo a partir de la recolección de información y aplicación de métodos sísmicos, geofísicos, geológicos, geomorfológicos y geotécnicos.

Los resultados obtenidos para en el distrito de Morropón han permitido identificar la existencia de ocho (8) tipos de suelos que corresponden a: Grava bien graduada con grava arcillosa y arena (GW-GC) con capacidad portante alta (> 3.0 kg/cm²), grava arcillosa (GC) con capacidad portante baja (1.00 a 2.00 kg/cm²), arena mal graduada (SP) con capacidad portante baja (1.00 a 2.00 kg/cm²), arena mal graduada con arena Limosa (SP-SM) con capacidad portante baja (1.00 a 2.00 kg/cm²), arena limosa (SM) con capacidad portante muy baja (< 1.00 kg/cm²), arena arcillosa (SC) con capacidad portante muy baja (< 1.00 kg/cm²), limos inorgánicos (ML) con capacidad portante muy baja (< 1.00 kg/cm²), arcillas inorgánicas (CL) con capacidad portante muy baja (< 1.00 kg/cm²).

Los resultados obtenidos para el área urbana de Morropón han permitido identificar, considerando lo indicado en la Norma sismorresistente E.030, la existencia de dos (2) zonas correspondientes a suelos Tipo S1 y S4, que comprenden a suelos muy rígidos y excepcionales. Aproximadamente el 90% del área de estudio presenta suelos que responden a periodos que varían entre 0.1 y 0.3 segundos con amplificaciones relativas mayores a 3 veces, en la zona centro, sur y suroeste del área urbana, por la ciudadela deportiva, plaza de armas y centro de salud de Morropón; asimismo, hacia el extremo norte, en un sector del AA.HH. Santa Rosa. El suelo está constituido principalmente por arenas y limos, que se encuentran saturados principalmente en el AA.HH. Divino Niño. (a 5 metros de profundidad) y parcialmente saturados hacia el AA.HH. 9 de octubre y extremo sur de AA.HH. Capitán Quiñonez.

El Mapa de Zonificación Geofísica - Geotécnica para el área urbana de Morropón se constituye como información primaria a ser utilizada por ingenieros civiles y arquitectos para el diseño y construcción de estructuras apropiadas para cada uno de los tipos de suelos



identificados en este estudio. Asimismo, como herramienta de gestión de riesgo a ser utilizado por las autoridades locales y regionales.



CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO	3
PRIMERA PARTE: ESTUDIO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO.....	9
1. INTRODUCCIÓN.....	9
2.- OBJETIVOS	10
2.1 Objetivo general.....	10
2.2 Objetivo específico	10
3. METODOLOGÍA.....	10
4. ANTECEDENTES	11
4.1.- Recopilación de la información	11
5.- ASPECTOS GENERALES.....	14
5.1.- Ubicación y accesibilidad	14
5.2 Población	14
5.3 Clima.....	14
5.4.- Hidrografía.....	16
6. CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA, GEOLÓGICA Y GEODINÁMICA.....	16
6.1 Geomorfología	16
6.1.1 Modelo digital de elevación (MDE)	17
6.1.2 Pendientes.....	17
6.1.2.1 Clasificación del grado de pendientes	18
6.1.3 Unidades geomorfológicas.....	18
B. Procesos.....	19
6.2 Geología	24
6.2.1 Geología Local.....	25
6.3 Geodinámica Superficial.....	28
6.3.1 Inundación	29
6.3.3 Elementos expuestos	32
7. ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA.....	33
7.1 Exploraciones a cielo abierto (calicatas, norma ASTM 420).....	35
7.1.1 Densidad del suelo in-situ (Norma ASTM D1556).....	35
7.2 Exploraciones con posteadora manual.....	36
7.3 Ensayo de penetración dinámica ligera-LDPT (norma DIN 4094).....	37
7.4 Resultados de los ensayos del laboratorio.	39



7.4.1 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos SUCS en la ciudad de Morropón	39
7.5 Ensayo de corte directo (Norma STM D-3080)	42
7.5.1. Capacidad de carga portante	42
7.5.1.1 Tipos de capacidad de carga portante.....	45
8. DISCUSIONES	46
SEGUNDA PARTE: GEOFÍSICA Y ZONIFICACIÓN SISMOGEO TÉCNICA	47
1.- INTRODUCCIÓN	47
1.1.- Objetivos.....	48
1.2.- Área de estudio	49
1.2.1.- Antecedentes.....	51
1.3.- Condiciones locales de Sitio	52
1.4.- Zonificación, Norma Técnica E.030	53
2.- METODOLOGÍA Y DATOS	55
2.1.- Método de Razones Espectrales (H/V)	55
2.1.1.- Procesamiento y análisis	59
2.2.- Método de Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW).....	59
2.2.1.- Procesamiento y análisis	62
2.3.- Método de Tomografía de Resistividad Eléctrica (ERT)	63
2.3.1.- Procesamiento y análisis	66
3.- RESULTADOS	67
3.1.- Razones espectrales (H/V)	67
3.1.1.- Frecuencias Predominantes	67
3.1.2.- Periodos dominantes.....	73
3.2.- Perfiles de MASW	75
3.3.- Perfiles de Tomografía Eléctrica.....	79
4. ZONIFICACIÓN GEOFÍSICA DE LOS SUELOS.....	83
4.1. Integración de resultados	83
4.2. Mapa de Zonificación Geofísica	85
9. CONCLUSIONES.....	87
10. RECOMENDACIONES	89
11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	90



RELACIÓN DE FIGURAS

- Figura 01: Mapa de geología regional del cuadrángulo de Piura, el área de estudio se ubica en el rectángulo en rojo, Fuente: INGEMMET, 1999 (versión digital).
- Figura 02: Ubicación de estación meteorológica Montegrande.
- Figura 03: Columna cronolitoestratigráfica de la zona de estudio.
- Figura 04: 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)
- Figura 05: Delimitación de elementos expuestos ante la ocurrencia de inundaciones en la localidad de Morropón.
- Figura 06: Formación de suelos, (Adaptado de Gonzáles de Vallejo, 2002)

RELACIÓN DE CUADROS

- Cuadro 01: Registro de temperaturas en la ciudad de Morropón
- Cuadro 02: Determinación de geofomas en la ciudad de Morropón en base a sus características físicas y su origen
- Cuadro 03: Población estimada de la localidad expuesta a eventos de origen natural
- Cuadro 04: Viviendas de la localidad expuestas a eventos de origen natural (se consideró la delimitación del área de influencia de la inundación realizada en el capítulo de geodinámica)
- Cuadro 05: Ubicación de calicatas
- Cuadro 06: Resultado de densidades in - situ
- Cuadro 07: Ubicación de posteos y clasificación de suelos SUCS
- Cuadro 08: Ubicación de ensayos de penetración dinámica ligera (DPL) y parámetros obtenidos
- Cuadro 09: Clasificación SUCS de los suelos de las ocho (07) calicatas elaboradas en la ciudad de Morropón
- Cuadro 10: Capacidad de carga portante de las muestras extraídas en la ciudad de Morropón
- Cuadro 11: 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.

RELACIÓN DE TABLAS

- Tabla 01: Rangos de pendientes del terreno

RELACIÓN DE ANEXOS

- Anexo 01: Perfiles Sísmicos MASW
- Anexo 02: Perfiles de Tomografía Eléctrica ERT
- Anexo 03: Levantamiento fotogramétrico
- Anexo 04: Elementos expuestos
- Anexo 05: Planos
 - P-01 Ubicación
 - P-02 Elevaciones
 - P-03 Pendientes
 - P-04 Geomorfología
 - P-05 Geología
 - P-06 Geodinámica
 - P-07 Ubicación de ensayos geotécnicos
 - P-08 Tipo De Suelos (SUCS)
 - P-09 Capacidad portante



Anexo 04: Modelamiento Hidrometeorológico extremo en el distrito de Morropón

Anexo 05: Geotecnia

Correlación N° DPL – SPT / Capacidad portante

- Fichas geotécnicas

- ✓ Fichas de Logueo de Calicatas
- ✓ Fichas de Densidad de Campo
- ✓ Fichas de Ensayos de Penetración Dinámica Ligera-DPL
- ✓ Ficha de Logueo de Posteos
- ✓ Fichas de Análisis Granulométrico
- ✓ Fichas de Correlación DPL-SPT
- ✓ Fichas de Cálculo de Carga Portante



PRIMERA PARTE: ESTUDIO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO

1. INTRODUCCIÓN

La Caracterización Geológica Geotécnica del distrito de Morropón se desarrolló como parte del informe Zonificación Sísmica Geotécnica del distrito en mención (dinámica de los suelos de cimentación), para ello se realizó el cartografiado geológico, geomorfológico y geodinámico en el distrito de Morropón escala 1:15 000 en un área de 1090 hectáreas (ha) (área urbana y agrícola, apoyados en imágenes obtenidas mediante el uso del Sistema de Aeronaves Pilotadas a Distancia (RPAS) del área de estudio, lo que permitió obtener curvas de nivel con equidistancia de 5 m. Así mismo, se realizó la zonificación de los suelos apoyados en ensayos geotécnicos con la finalidad de determinar las propiedades físico-mecánica de los suelos, estos consistieron en exploraciones a cielo abierto (calicatas), ensayos de densidad de campo in situ, ensayos de Penetración Dinámica Ligera (DPL) y auscultaciones con posteadora manual (escala 1: 10 000).

Los estudios en conjunto citados anteriormente permiten identificar zonas susceptibles ante la ocurrencia de eventos naturales tales como: movimientos en masa (huaycos, deslizamientos, caída de rocas, entre otros) e inundaciones generados por fenómenos hidrometeorológicos (precipitaciones extremas “Niño costero”) que puedan afectar la seguridad física del distrito en mención.

La información proporcionada en el presente informe servirá como material de apoyo a las instituciones de primera línea (gobiernos regionales, municipalidades, entre otros) para ejecutar las medidas correctivas en apoyo a la Gestión del Riesgos de Desastres.



2.- OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Realizar la zonificación de suelos con sus respectivas capacidades portantes en base a sus características físico-mecánicas obtenidas de los ensayos de laboratorio y determinar las áreas expuestas a peligros por eventos geodinámicos presentes en la ciudad de Morropón, con el fin de contribuir al desarrollo y planificación urbana preventiva en la ejecución de proyectos futuros.

2.2 Objetivo específico

Realizar el cartografiado geológico, geomorfológico, geodinámico y ensayos geotécnicos en la ciudad de Morropón a escala 1:15 000

Determinar las propiedades físico-mecánicas de los suelos de la ciudad de Morropón (centro urbano y área de expansión urbana), en laboratorio y calcular sus respectivas capacidades portantes para realizar los mapas de tipos de suelos y capacidad portante a escala 1:10 000.

3. METODOLOGÍA

Para realizar el informe geológico-geotécnico del Morropón, se dividió en 2 fases: gabinete y campo, que se describen a continuación

Gabinete:

Las actividades realizadas incluyeron la revisión de imágenes satelitales WorView-2 con resolución 0.5 m del servidor Digital Globe, año 2010) con la finalidad de delimitar la zona de estudio, así como la recopilación de información geológica regional y local existente (boletines geológicos, informes técnicos, entre otros).

Campo:

Cartografiado geológico, geomorfológico, geodinámico a escala 1:15000, para lo cual se utilizó la ortofoto del área de estudio obtenida a través del RPAS (Anexo 01).

Se realizaron exploraciones geotécnicas que incluye la ejecución de 08 calicatas, 06 densidades de campo, 11 DPL y 10 auscultaciones manuales (posteos), Así mismo, las muestras extraídas 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, la información recopilada en gabinete, así como la obtenida en campo y resultados de laboratorio se procesó y analizó para la elaboración del presente informe.

4. ANTECEDENTES

En este capítulo se ha realizado la recopilación de informes técnicos en donde se describe la ocurrencia de eventos naturales (inundaciones, deslizamientos, huaycos, sismos, entre otros) afectaron la seguridad física del distrito en mención, del mismo modo se ha realizado la recopilación técnica de informes de suelos e información geológica regional del área de estudio, datos que serán discutidos en el Capítulo 8 junto con los resultados del obtenidos en el presente informe.

4.1.- Recopilación de la información

- **CENEPRED, 2017 INFORME DE EVALUACIÓN DE RIESGO POR INUNDACIÓN PLUVIAL EN EL CENTRO POBLADO DE MORROPÓN, DISTRITO MORROPON, PROVINCIA MORROPON, 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 EVALUACION GEOLÓGICA DE LAS ZONAS AFECTADAS POR EL NIÑO CISTERO 2017 EN LA REGIÓN PIURA**

Señala que, en 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 INUDACION AFECTA PROVINCIA DE MORROPON PIURA**

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 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

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. Figura 01



5.- ASPECTOS GENERALES

En este capítulo se describe la ubicación, datos de población, clima e hidrografía del área de estudio:

5.1.- Ubicación y accesibilidad

Morropón es uno de los diez distritos que conforman la provincia de del mismo nombre, en la región de Piura, en las coordenadas UTM: 614207 E y 9426605 N, a una altura de 114 m.s.n.m. Limita por:

Norte: con los distritos de Chulucanas y Santo Domingo.

Sur: con el distrito de Buenos Aires.

Este: con el distrito de Santa Catalina de Mossa.

Oeste: con los distritos de Chulucanas y La Matanza.

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).

La información socioeconómica del distrito de Morropón se encuentra descrita en el Anexo 02

5.2 Población

Según el último censo del año 2017 (INEI), la población del distrito de Morropón cuenta con 15, 239 habitantes, que representa el 9.4 % del total de habitantes en la provincia del mismo nombre (162, 027).

5.3 Clima

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 02, de 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, Cuadro 01, 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

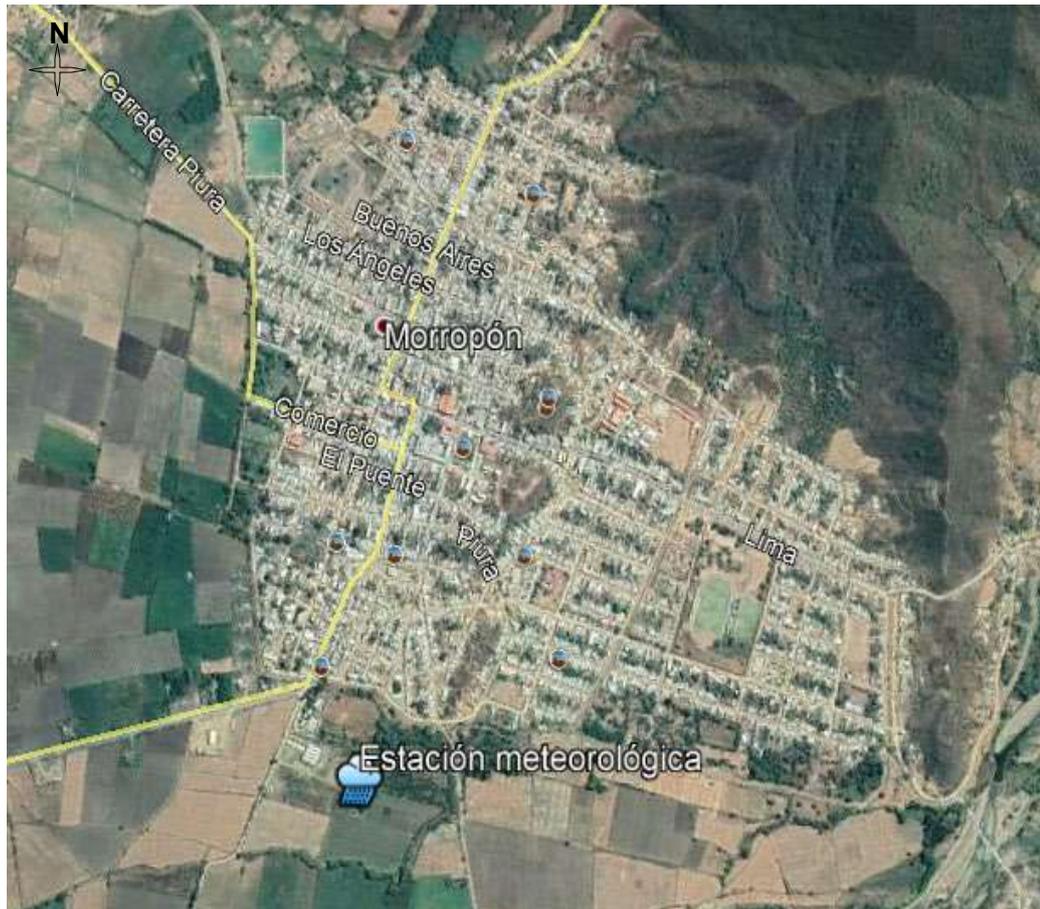


Figura 02: Ubicación de estación meteorológica Morropón.

Cuadro 01: 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

SD (Sin Datos), Fuente: SENAMHI, 2019.

5.4.- Hidrografía

El área de estudio está ubicada en la subcuenca Las Gallegas, que 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, 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.

6. CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA, GEOLÓGICA Y GEODINÁMICA

En este capítulo se describen las geoformas, unidades litoestratigráficas identificadas en el área de estudio, así mismo, se identifican zonas que fueron o pueden ser afectadas por eventos geodinámicos tales como movimientos en masa (flujos, deslizamientos, entre otros) e inundaciones, finalmente se realiza un modelado de inundaciones para determinar el caudal de inundación e identificar qué áreas pueden ser afectadas ante dicho evento.

6.1 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 existente en la ciudad de Morropón, en relación a su origen. Previamente, para la digitalización del plano geomorfológico se han elaborado los planos: Modelo Digital de Elevación (MDE) y Pendientes (Planos P-02 y P-03) mediante herramientas computacionales SIG, que permiten caracterizar y delimitar las unidades geomorfológicas del terreno (geoformas), éstas fueron verificadas y validadas durante el trabajo de campo en la ciudad de Morropón, Plano P-04.

6.1.1 Modelo digital de elevación (MDE)

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

Para la elaboración del MDE de la ciudad 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.

En base al MDE elaborado de la ciudad de Morropón, se ha reconocido que las zonas altas comprenden elevaciones de 323 a 360 m.s.n.m que corresponde al 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 de Morropón presenta elevación de 140 m.s.n.m, al noreste de Morropón el caserío San Luis presenta elevaciones de 173 m.s.n.m.

6.1.2 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 de la ciudad 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.



6.1.2.1 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 – (Fidel, 2006), Tabla 01:

Tabla 01: Rangos de pendientes del terreno

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

Fuente: Fidel et al., (2006)

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°.

6.1.3 Unidades geomorfológicas

Estas geoformas están compuestas por materiales que presentan una génesis propia que explica la dinámica de cómo se formaron y características físicas que conforman un relieve (forma, altura, pendiente, drenaje, textura de vegetación, color, etc., que las diferencian entre sí.

En conclusión, las geoformas son generadas por procesos geodinámicos de tipo endógeno (internos) y exógenos (externos) que dan lugar a relieves positivos y negativos.



A. Características físicas

Las características físicas de la forma, 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.

B. Procesos

Los agentes modeladores como el agua, el viento, temperatura, entre otros, desencadenan diversos procesos externos tales como: intemperismo, meteorización, erosión, transporte y depositación generando diferentes geoformas, clasificándose de acuerdo a su origen en depositacional, denudacional (erosional). 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 la ciudad Morropón se cartografiaron 07 geoformas tales como: montañas, colinas, lomas, penillanura, terraza, llanura de inundación y lecho fluvial, Cuadro 02 y Plano P-04.



Cuadro 02: Determinación de geofomas 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		
Drenaje	rectangular		
Pendiente	<35°		
Altura	<300 m		
Geometría	alargada		
Drenaje	dendrítico		
Pendiente	< 35		
Altura	<300		
Geometría	cónica		
Drenaje	dendrítico		
Pendiente	5_20		Deposicional
Geometría	abanico		
Drenaje	paralelo		
Pendiente	<5°		
Geometría	alargada		
Drenaje	paralelo		
Pendiente	<5°		
Geometría	alargada		
Drenaje	paralelo		
Fuente IGP 2019			

-Montaña



Elevaciones topográficas con alturas mayores a 300 m, cuyas pendientes 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. Foto 01.



Foto 01: Geoforma Montaña (interlineado amarillo) en el distrito de Morropón

-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, en épocas de precipitaciones extremas (evento Niño) el caudal supera la capacidad de embalse e impide el acceso a otros poblados, en el 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 del río en mención. Foto 02.



Foto 02: Río Las Gallegas, principal régimen fluvial en el distrito de Morropón

-Loma



Es un área de relieve semi ondulado en la cima, 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 la cima, 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.

-Penillanura

Geoforma de origen depositacional sobre el cual se desarrolla en casco urbano de Morropón, en época de precipitaciones extrema (evento Niño) es afectada por inundaciones pluviales. Foto 03.



Foto 03: 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 (aumento y descenso) del río, en la zona de estudio esta unidad ha sido formada por la dinámica del río Las Gallegas en época de precipitaciones que genera el aumento del caudal (transporte y depositación de sedimentos). Foto 04.



Foto 04: Llanura de inundación ubicada al margen izquierdo del río Las Gallegas

-Terraza

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). Foto 05. Esta geoforma se ha identificado a ambos márgenes del río Las Gallegas y Corrales





Foto 05: terrazas ubicadas a ambas márgenes del río Corales, ocupadas por sembríos (zonas agrícolas).

6.2 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 litoestratigráficas. 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 (proceso 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 depende de los diversos minerales que constituyen las rocas lo que determina también su naturaleza 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 el 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, caídas 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 que permiten explicar el cómo, cuándo y que procesos actuaron en el desplazamiento de las rocas y materiales que constituyen los suelos sobre los que se asienta la zona estudiada.

6.2.1 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 depósito 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), Figura 03.

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.

Figura 03: Columna cronolitoestratigráfica de la zona de estudio.

-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. Foto 06.



Foto 06: 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 geofoma loma entre los ríos Las Gallegas y Corrales. Foto 07.

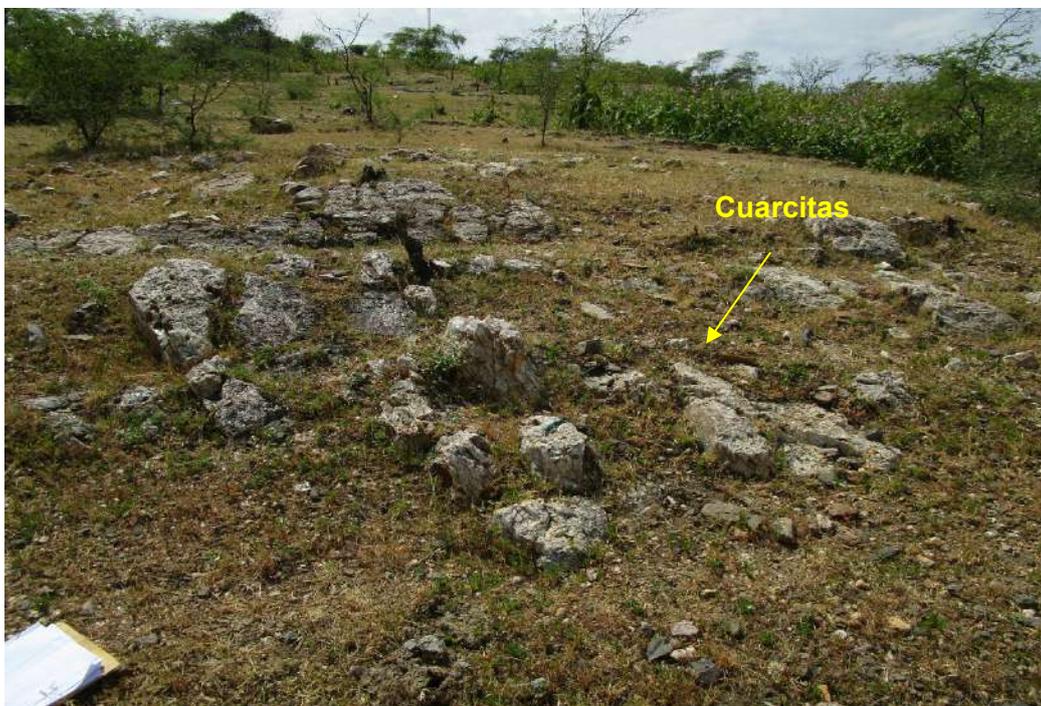


Foto 07: Cuarcitas de la Formación Rio Seco que afloran en el distrito de Morropón.



-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. Foto 08.

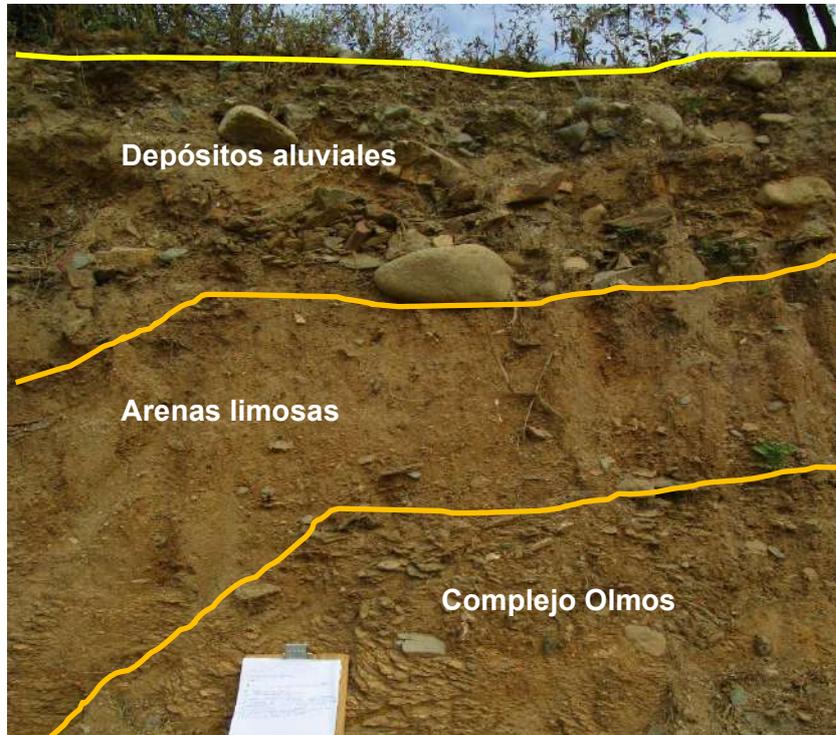


Foto 08: En la parte superior del perfil litoestratigráfico se evidencian el deposito aluviales conformados por cantos rodados (subangulosos a subredondeados) en matriz areno limosa arcillosa suprayase a la roca (esquistos) del complejo Olmos

-Depósitos aluviales fluviales (Qr- al-fl)

Depósitos recientes conformados por clastos subredondeados a redondeados con matriz limo arcillosa arenosa 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 geofoma 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 ambas márgenes del lecho fluvial y dentro del cauce del río en mención. Foto 09.





Foto 09: Depósitos fluviales ubicados a ambas márgenes del río Las Gallegas y dentro del cauce del mismo.

6.3 Geodinámica Superficial

Comprende todos aquellos eventos geodinámicos producto de la interacción de procesos geológicos (internos y externos) que originan cambios físicos, químicos y/o morfológicos que dan como producto eventos que modifican el actual relieve.

Es importante recalcar que, analizar factores como la litología permite explicar el origen de los materiales que constituyen las geoformas (colinas, lomas, entre otras) y en las cuales se generan procesos como meteorización y erosión que contribuyen a la ocurrencia de eventos geodinámicos.

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: Flujos de detritos e inundación.

En la ciudad de Morropón se ha identificado dos tipos de eventos geodinámicos, plano 06:



6.3.1 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, entre ellos se tiene: Pampa La Hacienda, caserío Bocanegra, caserío El Ingenio, así mismo, afecta extensas áreas de cultivo.

Inundación pluvial

Es la acumulación del agua por saturación del material en superficie, 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, lo cual afecto a los sectores:

- 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 Campo Santo (cementerio)
- Calle Los Angeles
- 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, Foto 10, de propiedad del Sr. Segundo Augusto Juárez Pacherras.
- AA.HH. Duberli Lopez Escalona
- Colegio Semillero Miguel Grau
- Sector Santa Isabel





Foto 10: 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

Como medidas de emergencia ante 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.

Se ha realizado el modelamiento de inundaciones, Anexo 04, donde se ha determinado el umbral de inundación del río La Gallega en el distrito de Morropón y estimar las áreas inundables ante la ocurrencia de un evento hidrometeorológico extremo en el distrito en mención. Figura 04.



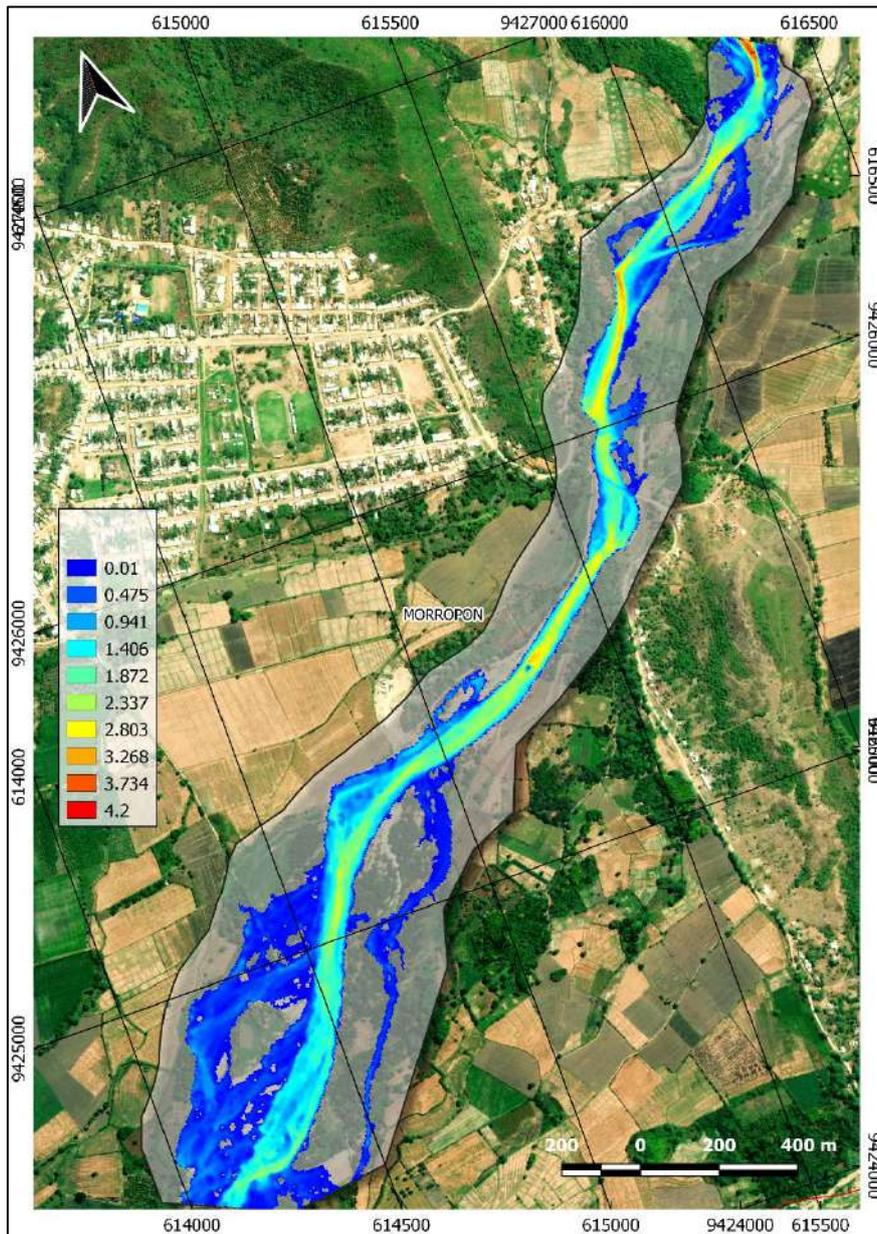


Figura 04: Alturas máximas alcanzadas ante la ocurrencia de un evento hidrometeorológico extremo correspondiente a un periodo de retorno de 100 años (Caudal pico: 232.35 m³/s)



6.3.3 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, los cuales son: Población y vivienda. Las cantidades de estos elementos, son estimaciones resultantes de la relación entre el área de influencia del peligro en mención y la ocupación del sector urbano.

Cuadro 03: Población estimada de la localidad expuesta a eventos de origen natural

Evento geodinámico	Población expuesta
Inundaciones	1100

Cuadro 04: Viviendas de la localidad expuestas a eventos de origen natural (se consideró la delimitación del área de influencia de la inundación realizada en el capítulo de geodinámica)

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. Figura 05.



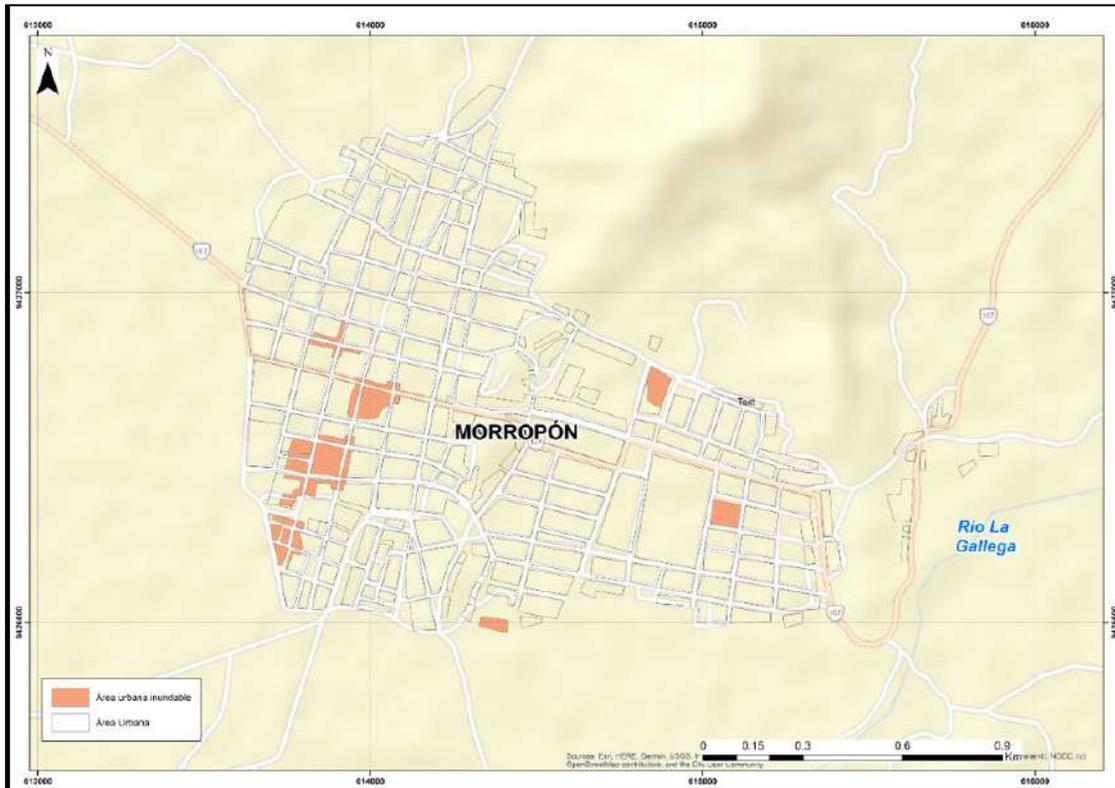


Figura 05: Delimitación de elementos expuestos ante la ocurrencia de inundaciones en la localidad de Morropón.

7. ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA

Los suelos son materiales no consolidados conformados por minerales, materia orgánica, agua y aire entre sus poros; generados a partir de la alteración de la roca madre por agentes atmosféricos mediante procesos de meteorización y erosión hasta formar una cobertura de variado espesor de sedimentos, que posteriormente fueron transportados y depositados en las partes bajas de las cuencas hidrográficas, sobre los cuales se asientan las áreas urbanas.

En el diagrama líneas abajo se indica el origen de los suelos, Figura 06.



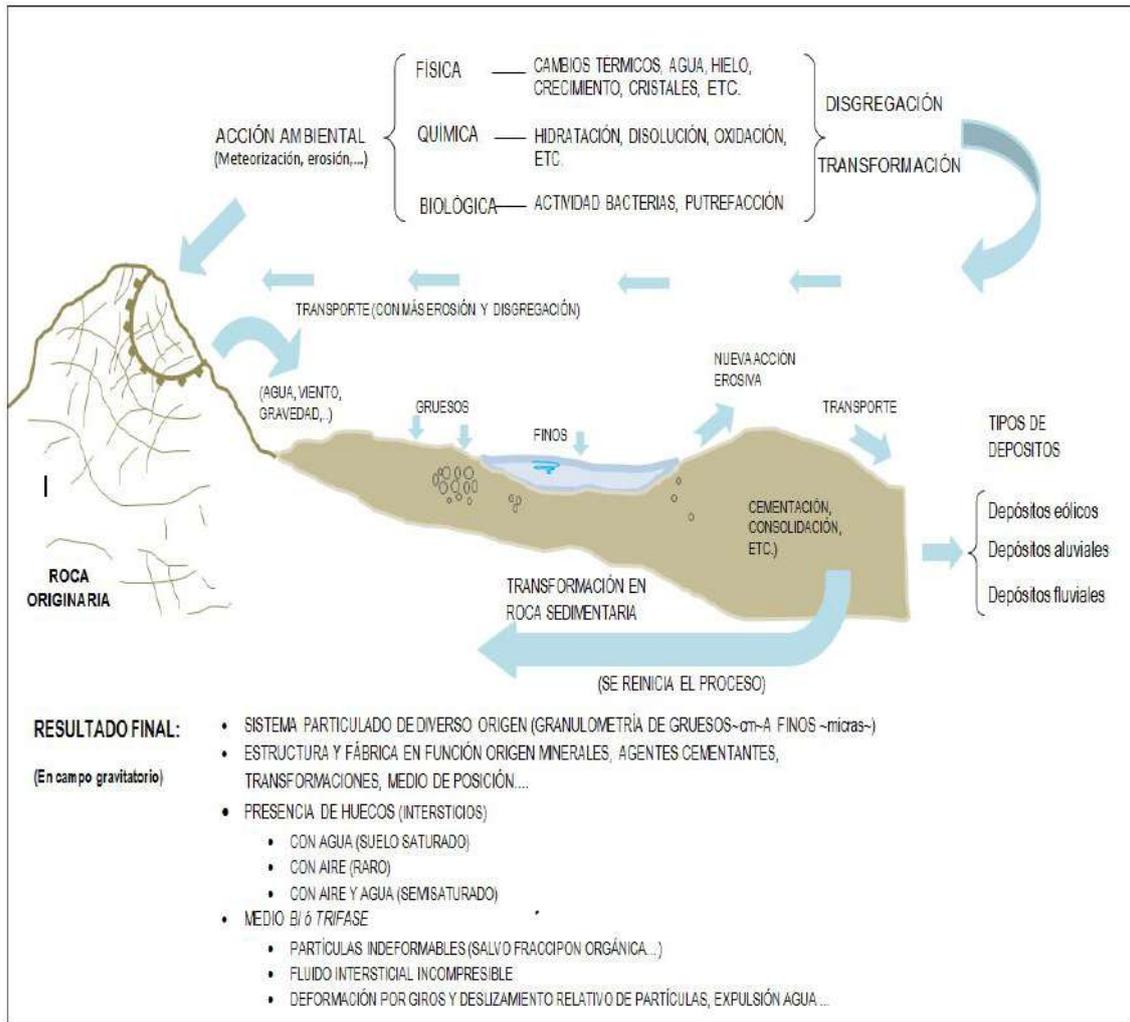


Figura 06: Formación de suelos, (Adaptado de Gonzáles de Vallejo, 2002)

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.

Para la zonificación geotécnica en suelos, se hizo uso del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) a partir de las características granulométricas, la carta de plasticidad de Casagrande, tipo de depósito, consistencia o densidad relativa, permeabilidad y parámetros de resistencia (capacidad de carga portante de los materiales).

En la ciudad de Morropón, se realizó el estudio geotécnico que consistió en la elaboración de 08 calicatas, 06 densidad de campo, 10 posteos y 11 ensayos de penetración dinámica ligera



(DPL), indicadas en el Plano P-07. Las muestras extraídas (08) se analizaron en el laboratorio de mecánica de suelos del IGP y para validar los resultados 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:

7.1 Exploraciones a cielo abierto (calicatas, norma ASTM 420)

Es un método de exploración directo que consiste en realizar una excavación en el terreno para la observación y descripción del suelo. Estas exploraciones se realizaron aproximadamente a 3.00 m de profundidad, a fin de describir los estratos que lo conforman (Anexo de geotecnia - fichas de descripción), así como, extraer muestras disturbadas las cuales fueron identificadas y almacenadas en bolsas herméticas con capacidad de 5 kg aproximadamente. Las excavaciones realizadas se localizan en las siguientes coordenadas UTM, Cuadro 05 y Plano P-07.

Cuadro 05: Ubicación de calicatas

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.

Donde: N.P. = No presenta

7.1.1 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 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 Morropón calibrada del cono de densidad. Este ensayo se realiza en el estrato muestreado mediante el método del cono de arena, a fin de obtener el grado de compactación o consistencia y el contenido de humedad del mismo 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 clastos o materiales gruesos de diámetro mayor a 1 ½ pulgada (38 mm).

En el Cuadro 06 se presentan los resultados de las densidades in situ de las 06 calicatas de los 08 totales, debido a que no todas presentan las condiciones para realizar el ensayo de densidad y la ficha de densidad se ha adjuntado en los Anexos de Geotecnia.

Cuadro 06: Resultado de densidades in - situ

CÓDIGO DE CALICATA	MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	DENSIDAD HÚMEDA (gr/cm ³)	DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	CONTENIDO DE HUEMDAD (%)
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

A partir de los resultados obtenidos en el ensayo de densidad de campo y laboratorio, los suelos de cimentación en la ciudad de Morropón presentan rangos de densidad entre 1.35 y 1.75 gr/cm³ para suelo húmedo y entre 1.31 y 1.54 gr/cm³, es decir, los materiales identificados en las calicatas corresponden arenas, limos y arcillas, de acuerdo a la referencia de la Tabla A del Anexo Geotecnia.

7.2 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 5 a 6 m, a fin de obtener muestras del suelo. En cada una de las perforaciones se llevó a cabo una detallada descripción de los tipos de suelos encontrados, si bien es cierto, las muestras extraídas se obtienen trituradas y completamente alteradas, sin embargo, sirven para conocer el tipo de

suelo y contenido de humedad que presenta. Una de las restricciones para la ejecución de este ensayo, es en presencia de gravas y gravillas (la cuchara saca muestra se entrampan con este tipo de suelos).

La distribución de las exploraciones se efectuó entre los puntos de las calicatas, con la finalidad de abarcar toda el área de estudio, para obtener una mejor zonificación de los suelos de la ciudad de Morropón. La ubicación y resultados obtenidos se muestran en el Cuadro 07, mientras que el registro de perforaciones se describe en el Anexo de Geotecnia.

Cuadro 07: Ubicación de posteos y clasificación de suelos SUCS

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

Donde: N.P =No Presenta

7.3 Ensayo de penetración dinámica ligera-LDPT (norma DIN 4094)

El DPL es un equipo de campo de registro continuo donde se contabiliza y registra el "N", que es el número de golpes dados por un martillo de 10 Kg., el cual se deja caer por gravedad desde una altura de 0.50 m (medida desde la parte superior del tambor de acero), para hincar una varilla de acero de 1.0 m de longitud en cuyo extremo inferior se encuentra una punta cónica de 60°. Este proceso se repite para profundizar tramos de 10 cm, con la finalidad de estimar el ángulo de fricción de suelos específicos, que ayudarán a calcular mediante fórmulas empíricas la capacidad portante (resistencia al corte) de los suelos de cimentación en Kg/cm², además, se puede tener las propiedades de compacidad de los suelos.

La ventaja del instrumento es que es un equipo muy práctico y se puede transportar fácilmente, sin embargo, se restringe su aplicación a terrenos arenosos, areno-arcillosos y limo-arenosos, no recomendables a utilizarse en gravas, fragmentos gruesos, conglomerados y



terrenos rocosos. Por otro lado, los ensayos de DPL deben ubicarse a inmediaciones de una o dos calicatas donde se tienen suelos conocidos con la finalidad de conocer la resistencia al corte de los distintos estratos. La ficha del ensayo se adjunta en el Anexo de Geotecnia.

En el Cuadro 08, se indica la ubicación de los ensayos de Penetración Dinámica Ligera (DPL) realizados en las inmediaciones de la ciudad de Morropón, registrándose el número de golpes y el ángulo de fricción interna calculado en base a los parámetros de compacidad y densidad relativa según la fórmula de Meyerhof (1956).

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

Dónde:

Φ = Ángulo de fricción interna

Dr=Densidad relativa

Cuadro 08: 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



La compacidad relativa y consistencia de suelos se infiere a partir de la Tabla B del Anexo 03. Según los parámetros obtenidos, se establece que en 06 de los 11 ensayos se alcanzó una profundidad mayor a 1.00 m., y en 05 sólo se penetró 0.20 m. en promedio, debido a la presencia de materiales granulares constituidos por clastos angulosos o subangulosos de diámetro superior a 1 ½". Por otro lado, los suelos identificados en los DPL 02, 13 y 10 presentan compacidad baja y se ubican en los extremos Sureste y Noroeste de la ciudad de Morropón y las media identificados en los DPL 01, 05, y 09 se localizan dentro del casco urbano de la ciudad, se incrementa aún más en las nuevas expansiones urbanas de la ciudad, al noreste de la misma.

7.4 Resultados de los ensayos del laboratorio.

Los ensayos realizados a las muestras se realizaron en base a las normas establecidas por la American Society for Testing Materials ASTM, cuyos resultados se describen a continuación:

7.4.1 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos SUCS en la ciudad de Morropón

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, separadas con la malla N° 4.

En base a la información geotécnica recopilada de estudios anteriores, así como, de los resultados de las exploraciones (calicatas, posteos y DPL), realizados en la ciudad de Morropón, y de los ensayos de laboratorio Mecánica de Suelos (granulometría y límites Atterberg) efectuados a las muestras extraídas, descritos en el Anexo de Geotecnia - Resultados de Laboratorio, se han identificado 04 tipos de suelos, Cuadro 09 y Plano P-08.

- Suelo tipo GC

Grava con arcillas, predominan el diámetro promedio entre 2 mm y 64 mm. Este material se caracteriza porque no retienen agua debido a los espacios existentes entre partículas (huecos intersticiales), con contenido de humedad de 4%, constituidos por suelos de compacidad media. Abarcan el 1 % aproximadamente del área de estudio y se identificó en la calicata CMP-01 al este de Morropón.

- Suelo tipo GW-GC

Grava bien graduada con arcillas y arenas, con contenido de humedad de 6.50 %, constituidos por suelos de compacidad media a alta. Abarcan el 7 % aproximadamente del área de estudio y se identificó en la calicata CMP-08 al noreste de Morropón (zona de expansión).



- **Suelo tipo SP**

Arena mal graduada, predominan el diámetro promedio de 0.075 mm grano fino, constituidos por suelos de compacidad media baja. Abarcan el 4 % aproximadamente del área de estudio y se identificó en los posteos 6 y 10, al noreste de Morropón.

- **Suelo tipo SM**

Arena limosa, con contenido de humedad entre 2 y 5 %, 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, al sur, suroeste y noroeste de Morropón.

- **Suelo tipo SC**

Arena arcillosa, constituidos por suelos de compacidad media. Abarcan el 2 % aproximadamente del área de estudio y se identificó en el posteo 8, al este de Morropón (zona de quebrada).

- **Suelo tipo SP – SM**

Arena mal graduada con limo y grava, con contenido de humedad de 2% en promedio, constituyen 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 al suroeste de Morropón.

- **Suelo tipo ML**

Limos inorgánicos, no presentan plasticidad, con contenido de humedad de 6.90%, constituyen suelos de compacidad baja. Abarcan el 5 % de la zona de estudio y se identificaron en la calicata CMP-06 al noroeste de Morropón.

- **Suelo tipo CL**

Arcillas inorgánicas de plasticidad baja de 6% con contenido de humedad de 12.83 %, constituyen 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.



Cuadro 09: Clasificación SUCS de los suelos de las ocho (08) calicatas elaboradas en la ciudad de Morropón

CÓDIGO 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 LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE PLÁSTICO		
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

Donde: N.P. = No presenta



7.5 Ensayo de corte directo (Norma STM D-3080)

Este ensayo permite determinar la resistencia al esfuerzo cortante 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).

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

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

Es la máxima presión ejercida por una cimentación transmitida a un suelo sin que se produzcan asentamientos excesivos, es decir, que la presión de la cimentación no sea mayor a la portante, manteniendo el mismo factor de seguridad especificado en la Norma E 0.50 de diseño de cimentación.

Los resultados de capacidad de carga portante de las 08 muestras de suelos extraídas en la ciudad de Morropón se presentan en el Cuadro 10.



Cuadro 10: Capacidad de carga portante de las muestras extraídas en la ciudad 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		

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

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 Cuadro 11.

Cuadro 11: 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		

De los resultados citados anteriormente y tomando en cuenta la Tabla 03 – Anexo Geotecnia, se ha determinado que, la zona urbana de la ciudad de Morropón en su mayoría ha sido construida con cimentaciones de 1.00 m de profundidad. Ante ello, se ha clasificado los suelos con la siguiente capacidad de carga portante.

7.5.1.1 Tipos de capacidad de carga portante

En la localidad de Morropón se han identificado los siguientes tipos de capacidad de carga portante:

A) Capacidad portante muy baja

Comprende rangos de capacidad portante menores a 1.00 kg/cm², se encuentran representado por los tipos de suelos, tales 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. de profundidad. Representan el 83% de los suelos de cimentación de la ciudad de Morropón.

B) Capacidad portante media

Comprende rangos de capacidad portante entre 2.00 a 3.00 kg/cm², se encuentran representado por los tipos de suelos, tales como: Grava arcillosa (GC) y arena mal graduada con limo y grava (SP-SM) hasta una profundidad de 1.00 m. de profundidad. Representan el 10% de los suelos de cimentación de la ciudad de Morropón.

C) Capacidad portante alta

Comprende rangos de capacidad portante mayor a 3.00 kg/cm², se encuentran representado por los tipos de suelos, tales como: Grava bien graduada con arcilla y arena (GW-GC) hasta una profundidad de 1.00 m. de profundidad. Representan el 7% de los suelos de cimentación de la ciudad de Morropón.



8. DISCUSIONES

- Estudios regionales (geología del cuadrángulo de Morropón 11 d, a escala 1: 100,000) describe que el casco urbano de Morropón, así como zonas aledañas al río Las Gallegas están conformados por Depósitos fluviales, en el cartografiado realizado a escala local 1: 15 000, se identificó Depósitos aluviales (casco urbano de Morropón) conformados por arenas limosas, arcillosas y limos con presencia de clastos, asimismo se identificó depósitos aluvio fluviales conformados por cantos rodados de forma subangulosa a subredondeados y clastos angulosos con matriz limosa ubicados al noreste de Morropón, finalmente los depósitos fluviales corresponden al lecho fluvial del río Las Gallegas y se reconocen a ambos márgenes del río en mención. Así mismo, el trabajo a escala local contribuye a complementar y/o afinar información no registrada a escala regionales.



SEGUNDA PARTE: GEOFÍSICA Y ZONIFICACIÓN SISMOGEO TÉCNICA

1.- INTRODUCCIÓN

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

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 Máncora, 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.

Tambo Grande, 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 sacudimiento del suelo, puesta en evidencia con los daños observados post-sismo en el departamento 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.

Los estudios de Zonificación Geofísica – 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 información sísmica, tsunamis, geofísica, geológica, geodinámica, geomorfológica y geotécnica. 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 adecuadas para cada tipo de suelo.

Finalmente, remarcar que los Mapas de Zonificación Geofísica – 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.- Objetivos

El principal objetivo del presente estudio es obtener el Mapa de Zonificación Geofísica – Geotécnica (Comportamiento Dinámico del Suelo) para el área urbana del distrito de Morropón, provincia del mismo nombre y departamento de Piura, ver Figura 1. Asimismo, es de interés que las autoridades locales y regionales dispongan de un documento técnico que les ayude en el desarrollo y ejecución de proyectos orientados a la gestión del riesgo de desastres ante la ocurrencia de sismos, lo cual conlleva a mejorar la calidad de vida de sus pobladores, así como proyectar hacia el futuro una adecuada expansión urbana.



Figura 1. Vista panorámica de la Plaza de Armas y la Iglesia del área urbana de Morropón.

1.2.- Área de estudio

El ámbito de estudio corresponde al área urbana del distrito de Morropón, se encuentra al norte de la zona occidental del Perú y forma parte de los 10 distritos de la provincia de Morropón, departamento de Piura, ver Figura 2. Situado al este de la provincia de Piura, a una altitud promedio de 131 m.s.n.m., presenta una superficie plana (terrazza aluvial) rodeada de cerros y lomas de pendiente moderada con un drenaje natural hacia el río Piura, tal como se muestra en la Figura 2. 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.

El cartografiado y mapa base para este estudio es de 1:10000, tiene un área total de 3.0 km² y la población beneficiada con el presente estudio es de 15,239 habitantes (INEI, 2017).

Según la historia sísmica en Piura, en los años 1814, 1912, 1953, 1963 y 2014 (documentado por Silgado, 1978, Sieberg, 1930 y Tavera, 2016), estos distritos fueron afectados por sismos de gran magnitud que sacudieron los suelos con gran intensidad y como consecuencia causó daños materiales y personales en diversas localidades de esta región.



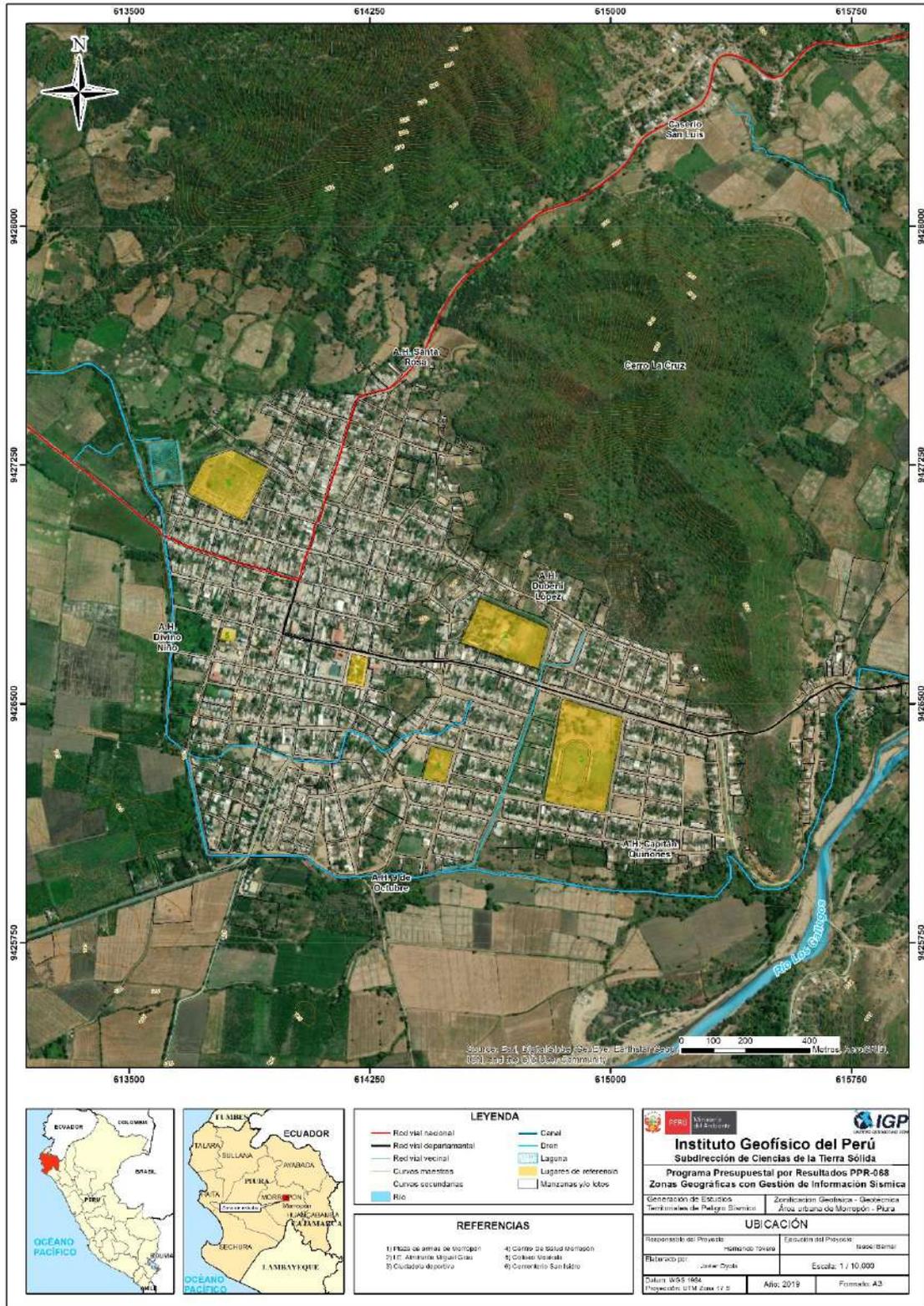


Figura 2. Ubicación del área de estudio.

1.2.1.- Antecedentes

La historia sísmica del Perú ha mostrado que su borde occidental presenta un alto índice de ocurrencia de eventos sísmicos y de acuerdo a su magnitud, muchos de ellos han producido daños importantes en ciudades y localidades distribuidas cerca de la zona costera. La ocurrencia de efectos secundarios como asentamientos, licuación de suelos, derrumbes, caídas de roca y tsunamis propiciaron el incremento de pérdidas humanas y materiales en el área epicentral (Silgado, 1978; Dorbath et al., 1990; Tavera y Buforn, 2001).

Por otro lado, a partir de los años 80, muchas de las ciudades costeras han soportado procesos continuos de migración por la población proveniente de las provincias del interior del país y, debido a la falta de un adecuado ordenamiento territorial y desarrollo sostenible de ciudades, la población inmigrante ha ocupado áreas de alto riesgo ante la ocurrencia de peligros como los sismos, tsunamis, deslizamientos y otros efectos secundarios. A estas condiciones se suma el hecho de que las viviendas fueron construidas de manera inadecuada, sin seguir criterios de ordenamiento territorial y, mucho menos, respetando lo indicado en la norma E.030 de Diseño Sismorresistente. Asimismo, en algunas ciudades las viviendas se asientan en laderas de cerros, ríos, cauces de quebradas secas y zonas de terrazas inundables sin medir su vulnerabilidad e incrementando el riesgo en dichas áreas.

A partir del año 2012 y dentro del Programa Presupuestal por Resultados N°068 “Reducción de la Vulnerabilidad y Atención de Emergencias por Desastres”, el Instituto Geofísico del Perú (IGP) viene realizando estudios de Zonificación Geofísica-Geotécnica para las diferentes áreas urbanas que se encuentran ubicadas en su mayoría a lo largo de la costa del Perú.

Para el área urbana de Morropón, se ha recopilado estudios anteriores referentes a la geología, geotécnica, sísmica y geofísica realizados por diversos investigadores e instituciones. Entre los principales documentos técnicos consultados, se tiene:

En el 2019. PNUD y CENEPRED presentan el estudio “**Plan de prevención y reducción de riesgo de desastres de la provincia de Morropón 2019-2021**”, indican que existe un crecimiento poblacional acelerado y un desarrollo urbano no planificado. Consideran que el área de estudio se encuentra afectado por sismo de intensidad VIII según la escala de Mercalli modificada. Asimismo, los fenómenos de origen hidrometeorológico más recurrentes son las inundaciones.

En el 2017, CENERPRED realiza el estudio “**Informe de evaluación de Riesgo por inundación pluvial en el Centro Poblado Morropón, distrito Morropón, Provincia de Morropón, departamento de Piura**”. 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.

En el 2014, el IGP mediante el proyecto de cooperación con el Banco Mundial presenta el estudio **“Re-evaluación del peligro sísmico probabilístico para el Perú”**, considerando que el Perú se encuentra en una región altamente sísmica se realiza el estudio de peligro sísmico con bases sísmicas actualizadas. Se definen nuevas fuentes sismogénicas y se genera los mapas de aceleración horizontal (PGA), los resultados muestran que Morropón presenta aceleraciones de hasta 340 gals para un periodo de retorno de 500 años.

En 1999, el INRENA presenta el proyecto **“Estudio de prospección geofísica con fines de reconocimiento hidrogeológica para la casa de Asilo de Ancianos de la provincia de Morropón – Piura”**, cuyo objetivo es de 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.

1.3.- Condiciones locales de Sitio

En la actualidad, es ampliamente conocido que las condiciones locales de sitio son uno de los principales factores responsables de los daños que se producen en cualquier tipo de edificación durante la ocurrencia de sismos severos. Este factor es fuertemente dependiente de las características físicas y dinámicas del suelo. 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. Diversos estudios muestran, que los suelos ante la incidencia de ondas sísmicas asociadas a movimientos débiles y/o fuertes, responden de acuerdo con las condiciones locales, pudiendo estos modificar el contenido frecuencial de las ondas y/o generar amplificaciones de las ondas sísmicas (Hartzell, 1992; Beresnev et al., 1995; Bard 1995; Lermo y Chávez-García, 1993, 1994 a, b; Bard y Sesame, 2004; Bernal, 2006; 2018).

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 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.

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 que debe constituirse como el documento más importante en las tareas y programas de gestión del riesgo ante la ocurrencia de sismos.

1.4.- Zonificación, Norma Técnica E.030

En el Perú, la construcción de obras civiles de cualquier envergadura debe considerar lo establecido por la Norma Técnica E.030 "Diseño Sismorresistente" del Reglamento Nacional de Edificaciones, modificada según Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda. Básicamente, esta norma considera los perfiles de suelos en función de sus propiedades físicas, tomando en cuenta la velocidad promedio de propagación de las ondas de corte, o alternativamente, 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.
- **Perfil Tipo S_3 : Suelos Blandos**, corresponden suelos flexibles con velocidades de propagación de onda de corte V_s menor o igual a 180 m/s.
- **Perfil Tipo S_4 : Condiciones Excepcionales**, corresponde a suelos excepcionalmente flexibles y los sitios donde las condiciones geológicas y/o topográficas son particularmente desfavorables, en los cuales se requiere efectuar un estudio específico para el sitio. Será determinado con un Estudio de Mecánica de Suelos (EMS).



Tabla 1: 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

La velocidad de propagación de ondas de corte para los primeros 30 metros (Vs30) se determina con la siguiente fórmula:

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

Dónde:

d_i = espesor de cada uno de los estratos n.

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

Para este estudio, la Zonificación Geofísica - Geotécnica de las áreas urbanas se realiza en función de las características mecánicas, físicas y dinámicas de los suelos que conforman el terreno de cimentación del área de estudio y de las consideraciones dadas por la Norma E.030. En tal sentido y de acuerdo con los estudios realizados por el Instituto Geofísico del Perú (IGP), se establece la existencia de 4 zonas cuyas características son:

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

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

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

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

- Zona IVa: Depósitos eólicos, fluviales, marinos y/o suelos pantanosos.
- Zona IVb: Zonas de topografía irregular, susceptibles a generar derrumbe, flujos detríticos.
- Zona IVc: Depósitos de relleno sueltos, desmontes heterogéneos, rellenos sanitarios.

Esta zonificación condiciona el tipo de estructura que se debe construir; es decir, el 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.



2.- METODOLOGÍA Y DATOS

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

2.1.- Método de Razones Espectrales (H/V)

El método de razones espectrales (H/V) fue propuesto por Nakamura (1989) para caracterizar la respuesta dinámica del suelo y en algunos casos, estimar su amplificación, ante la sollicitación sísmica. El método hace uso de registros de vibración ambiental que contienen información sobre las características físicas de los suelos en sus primeras decenas de metros por debajo de la superficie. Debe entenderse que la variación de las propiedades físicas de cada capa estratigráfica superficial, de diferente espesor, geometría y composición litológica, causaran o no, la amplificación de las ondas sísmicas incidentes a la ocurrencia de un sismo de gran magnitud.

La adquisición de datos en campo se realizó durante 2 días del mes de marzo del 2019. Durante este periodo se recolectaron 100 registros de vibración ambiental utilizando sensores Lennartz y registradores CityShark II (Figura 3). Los puntos de adquisición de datos se distribuyen espacialmente formando una grilla de puntos en el área urbana y zonas de expansión, con intervalos de 200 metros en promedio. Cada registro de vibración ambiental tiene una duración de 15 minutos, lo cual permite disponer de buena cantidad de datos para su posterior análisis.

En la Figura 4, 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).

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 5).



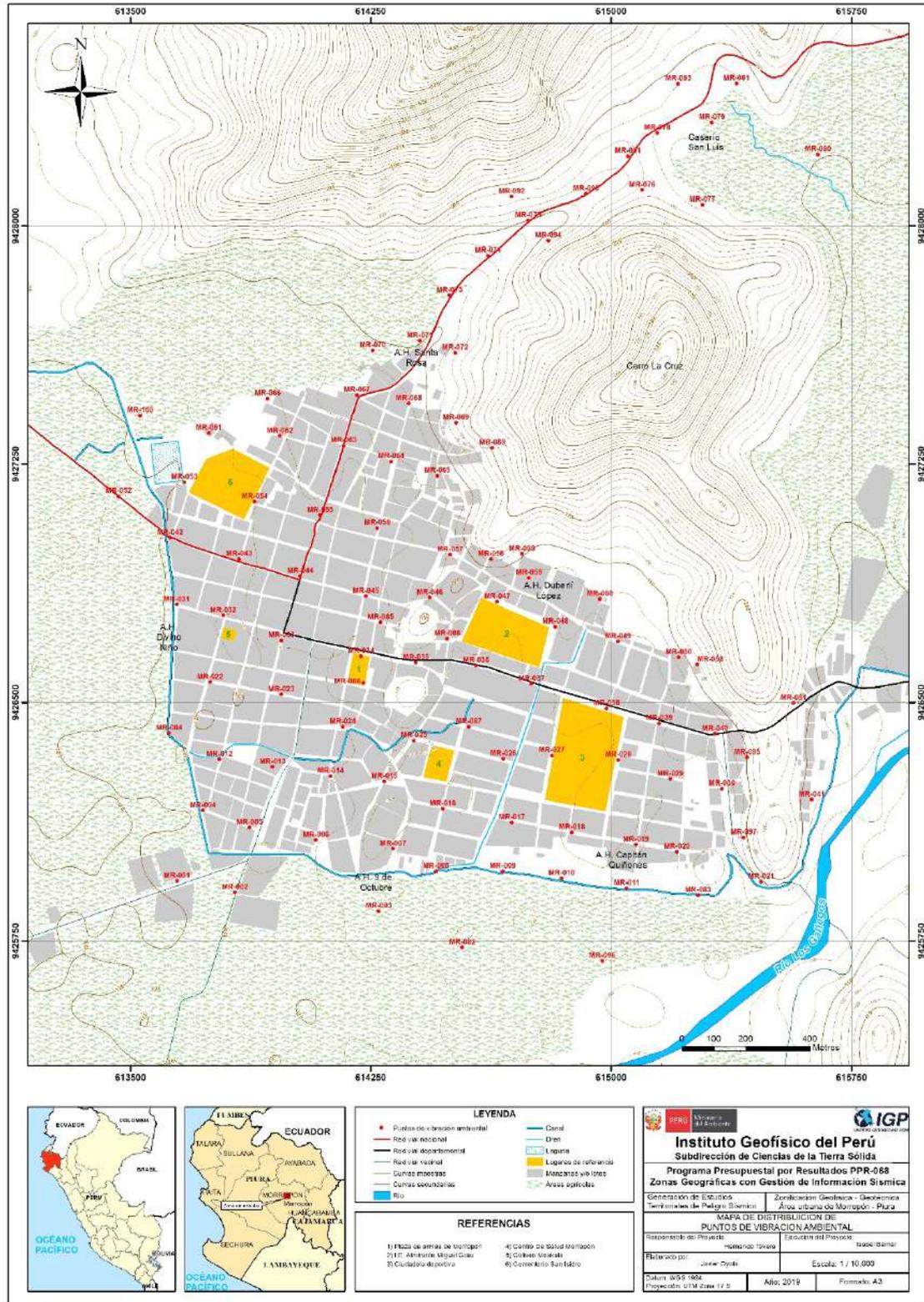


Figura 3. Distribución espacial de los puntos de registros de vibración ambiental del área urbana de Morropón.

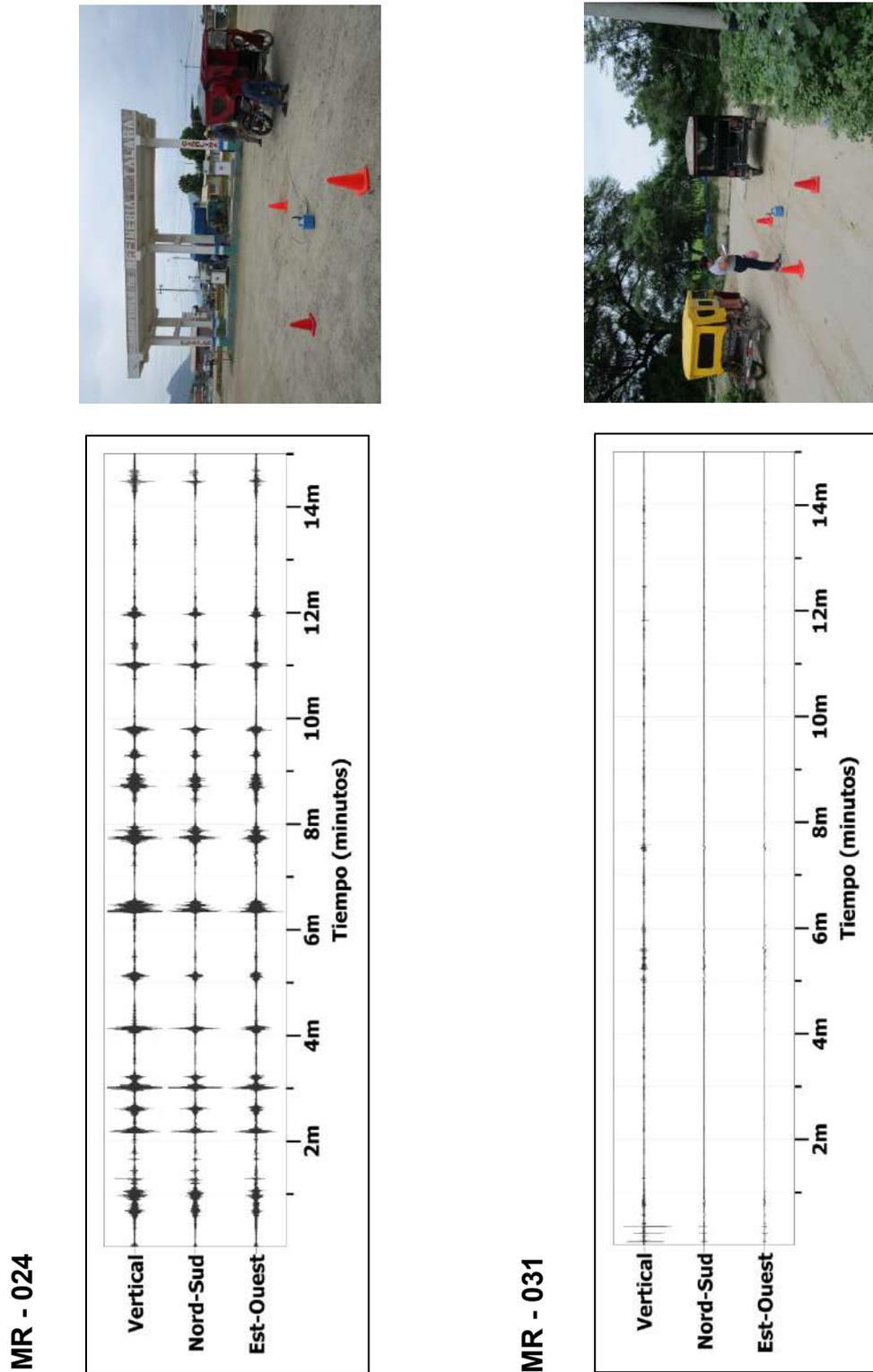


Figura 4. Disposición del equipo sísmico para la adquisición de los registros de vibración ambiental. Ejemplos de registros obtenidos sobre una zona con ruido transitorio (MR-024) y otro con ruido de fondo constante (MR-031). Obsérvese las diferentes amplitudes de la señal registrada en cada punto.



Zonificación Sísmica - Geotécnica
ÁREA URBANA DE MORROPÓN
Frecuencias predominantes del Suelo

MR-014

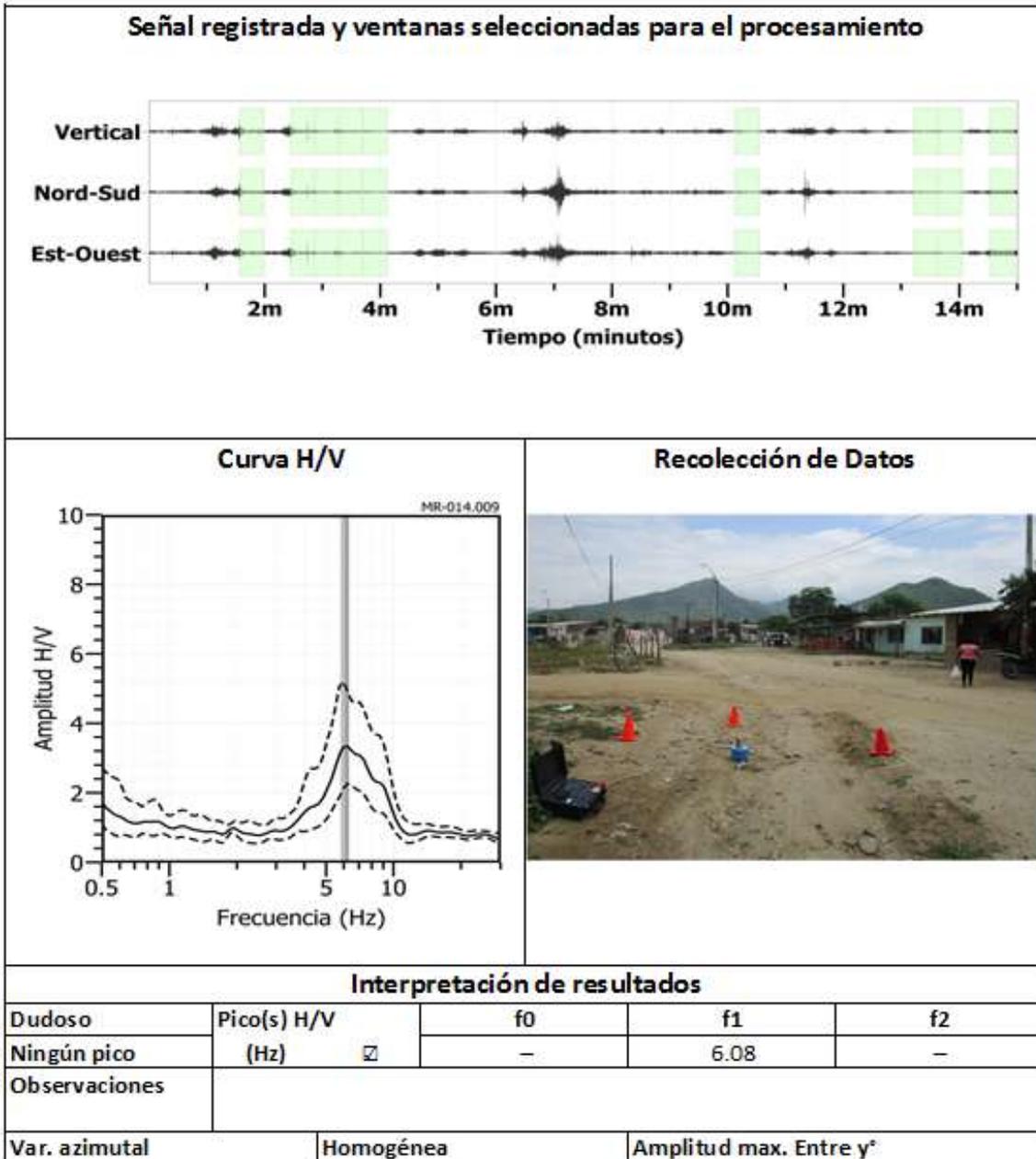


Figura 5. Ejemplo de la ficha H/V para el punto MR-014 en la cual se recopila la información registrada y analizada. Arriba, señal registrada; Medio; razón espectral (H/V) en línea gruesa y su desviación estándar en líneas discontinuas y Abajo resultados.



2.1.1.- Procesamiento y análisis

Para el análisis de la información sísmica se debe considerar los siguientes criterios: 1) Las frecuencias predominantes menores a 1.0 Hz corresponden a vibraciones generadas por el oleaje del mar y/o cambios meteorológicos (periodos muy largos); 2) Las bajas frecuencias o periodos largos son debidas a la presencia de depósitos profundos; y 3) Las frecuencias altas o periodos cortos son debidos a depósitos superficiales blandos y de poco espesor (SESAME, 2006; Bernal, 2006).

En la Figura 5, 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.

2.2.- Método de 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 (Vs) 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.

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 7 arreglos lineales MASW codificadas como LS01-MR, ... y LS07-MR (ver Tabla 2). La distribución espacial de estas líneas se muestra en la Figura 6. 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 7, se muestra como ejemplo el registro obtenido considerando un golpe con martillo a 3 metros al final del arreglo lineal.



Tabla 2. 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		



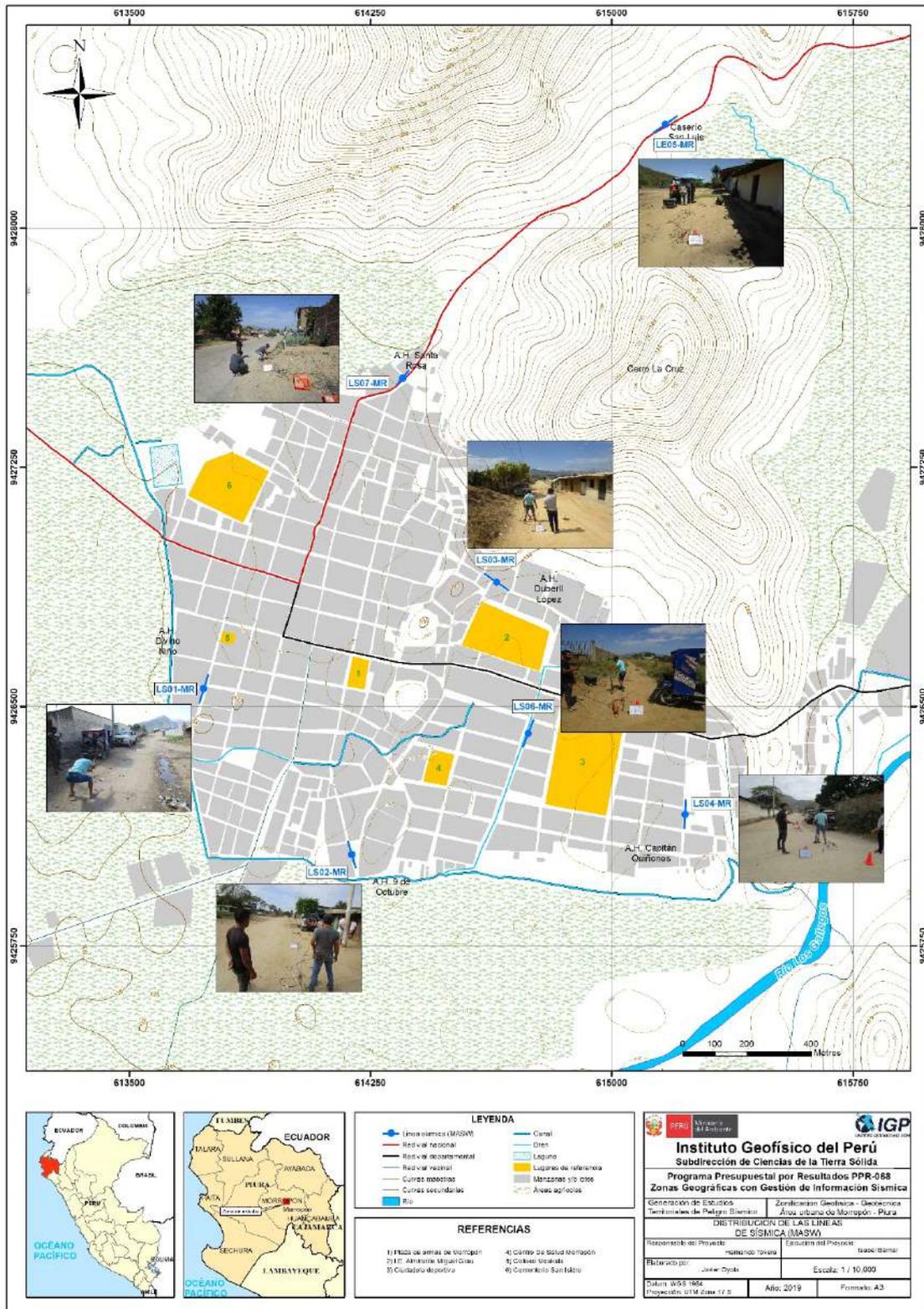


Figura 6. Distribución espacial de los ensayos MASW codificadas como LS01-MR, ..., LS07-MR en el área urbana de Morropón.

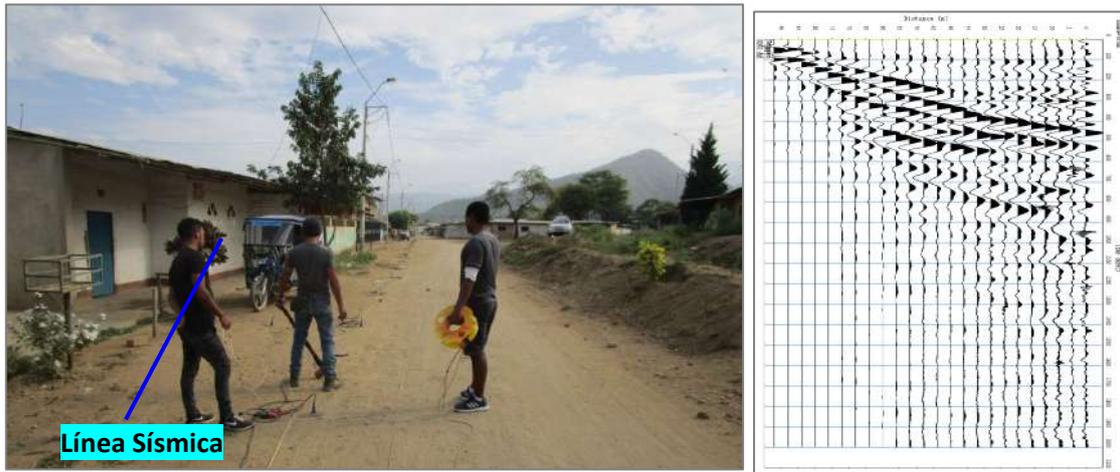


Figura 7. Disposición del equipo para la adquisición del registro sísmico.

2.2.1.- Procesamiento y análisis

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 Vs en una dimensión (1D), tal como se muestra en la Figura 8.

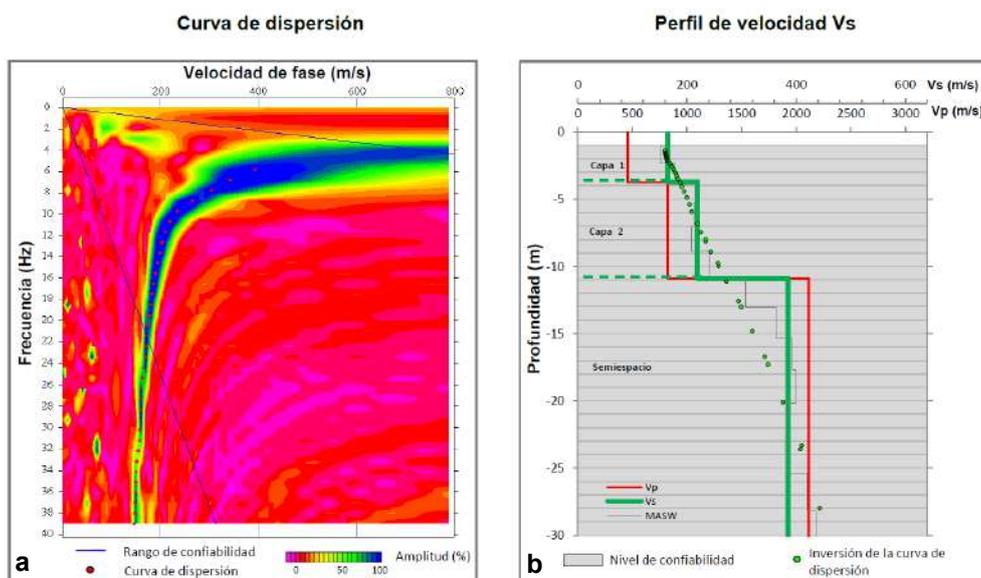


Figura 8. a) Curva de dispersión y b) perfil de velocidad obtenido a partir del ensayo MASW.



Para su 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 3. Asimismo, los valores obtenidos son representados con colores a fin de facilitar su interpretación.

Tabla 3. 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

2.3.- Método de 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, de sales disueltas en las fracturas de las rocas o en la porosidad del suelo.

Los datos recolectados en campo corresponden al registro de valores de resistividad obtenidos en 05 líneas de ERT distribuidas en la zona de estudio, tal como se observa en la Figura 9. 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. 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		



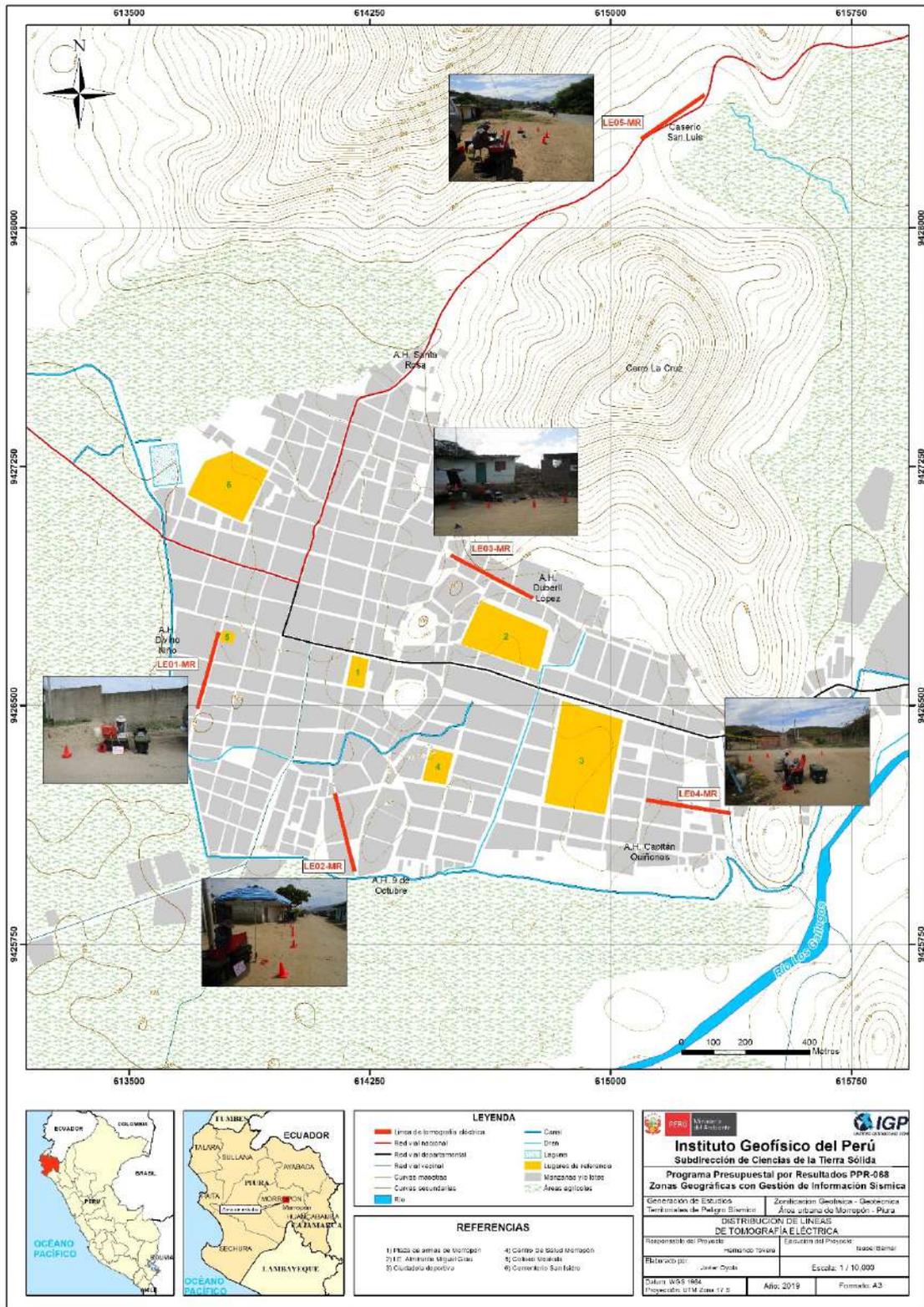


Figura 9. Distribución espacial de las líneas de tomografía eléctrica codificadas como LE01-MR, ... LE05-MR en el área urbana de Morropón.



2.3.1.- Procesamiento y análisis

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 geoelectricos 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



3.- RESULTADOS

La correlación de los resultados obtenidos con el procesamiento y análisis de los datos recolectados en campo y la aplicación de diversos métodos geofísicos, ha permitido llegar a los siguientes resultados:

3.1.- Razones espectrales (H/V)

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 en el área urbana de Morropón.

3.1.1.- Frecuencias Predominantes

- **La frecuencia predominante F_0** , según la Figura 10, fluctúa principalmente entre 3.0 a 12.0 Hz, distribuyéndose de manera uniforme en toda el área urbana. En la Figura 11, se muestra ejemplos de razones espectrales característicos de la zona.

-Para la zona céntrica

En la Figura 11, 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 obtienen 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, que conforme nos acercamos al 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, generado localmente.

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



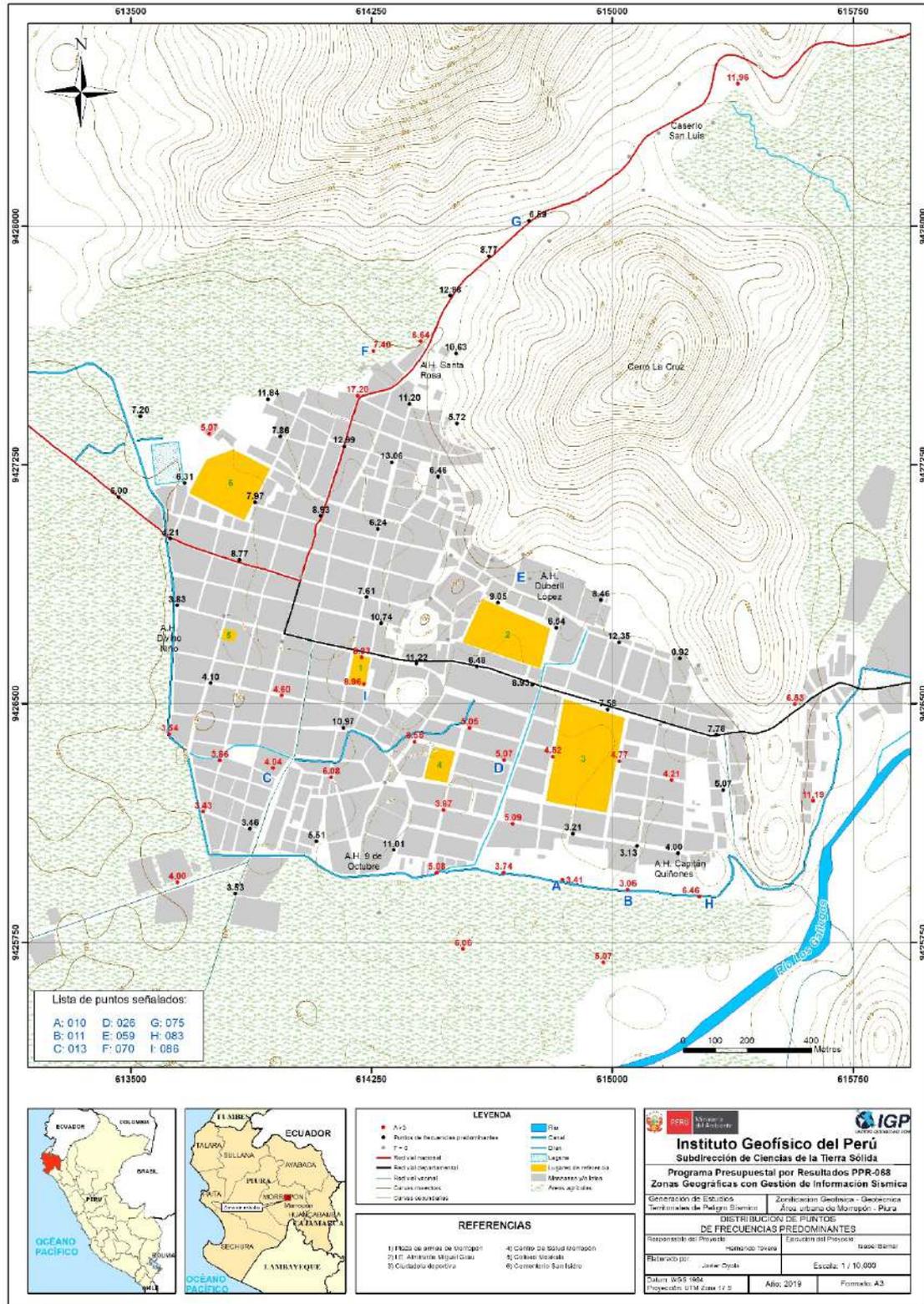
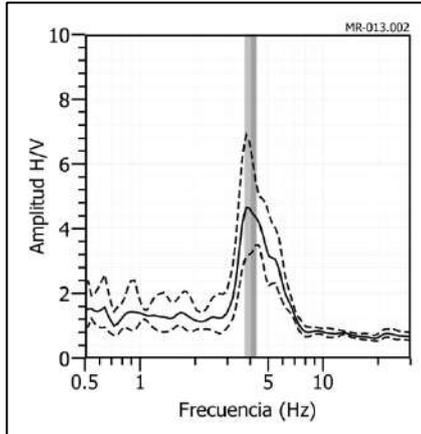
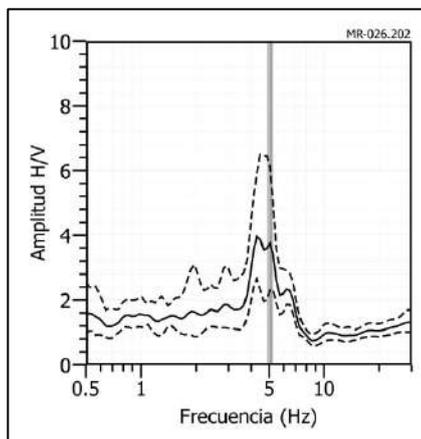


Figura 10. Distribución espacial de las frecuencias predominantes (Fo). Los valores en rojo corresponden a puntos con amplificaciones mayores a 3 veces. Las letras corresponden a los puntos cuyas razones espectrales son analizadas en el informe.

MR - 13



MR - 26



MR - 86

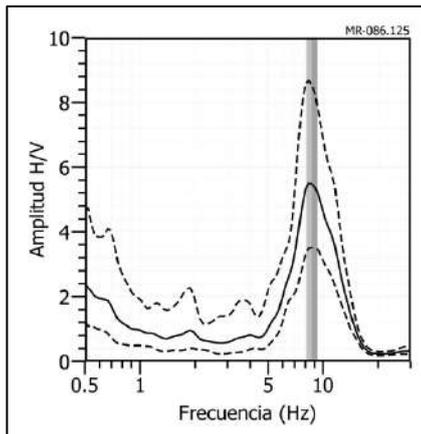
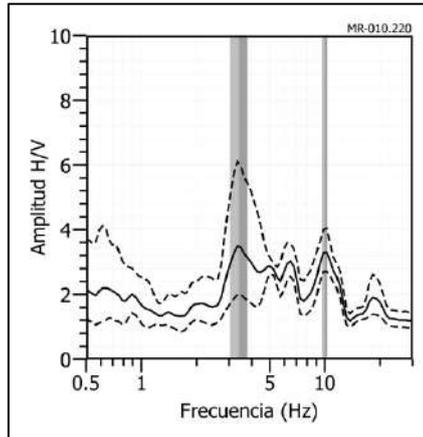


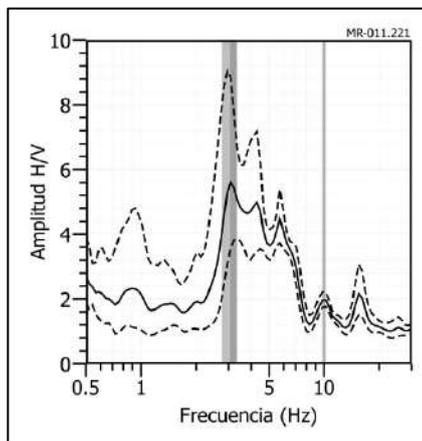
Figura 11. Ejemplos de razones espectrales (H/V): Para los puntos MR-13(C), MR-26 (D) y MR-86(I), realizados en el centro de la ciudad. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.



MR - 10



MR - 11



MR - 83

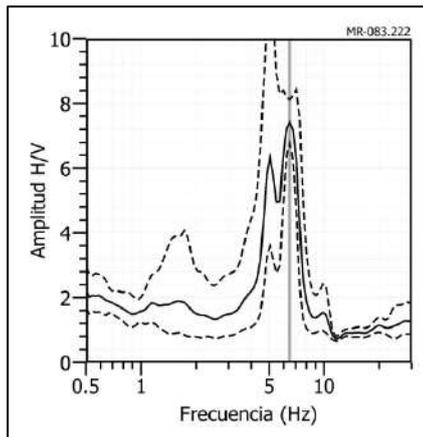
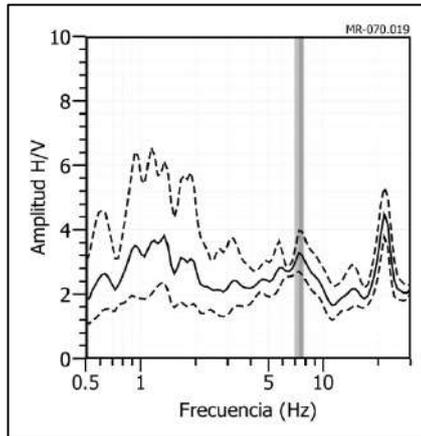


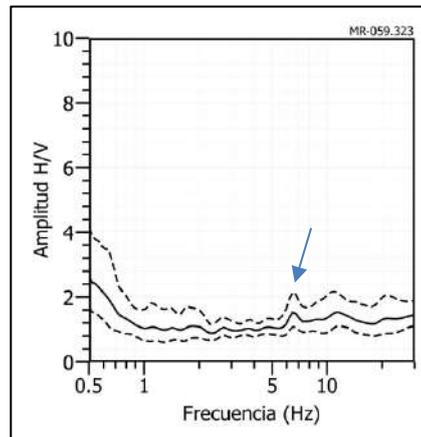
Figura 11. ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V): Para los puntos MR-10(A), MR-11(B) y MR-83(H), realizados al sur del A.H Capitán Quiñones próximos al canal de agua. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises,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



MR - 70



MR - 59



MR - 75

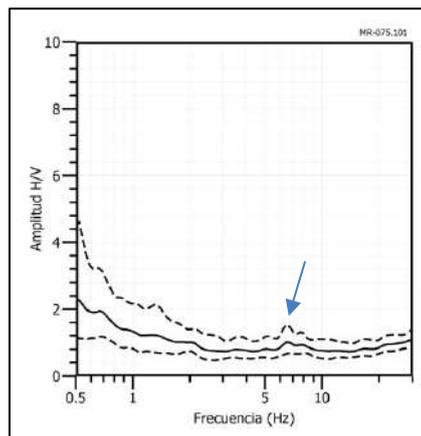


Figura 11. ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V): Para los puntos MR-70(F), MR-59(E) y MR-75 (G), realizados en extremo NE del área de estudio, en los AA.HH. Santa Rosa, Duberti López y próximo al caserío San Luis, respectivamente. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.



3.1.2.- Periodos dominantes

Los valores de frecuencias fueron transformados a periodos dominantes a fin de construir el mapa de isoperiodos. En la Figura 12, 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 corresponden 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 local hacia el extremo SO del área de estudio (A.H. Divino Niño) y al SE, hacia el extremo sur del A.H. Capitán Quiñones donde 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 una capa superficial con espesores de entre 7 y 9 metros al norte del área urbana y 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.



Estudio de Zonificación Sismo-geotécnica del distrito de Morropón

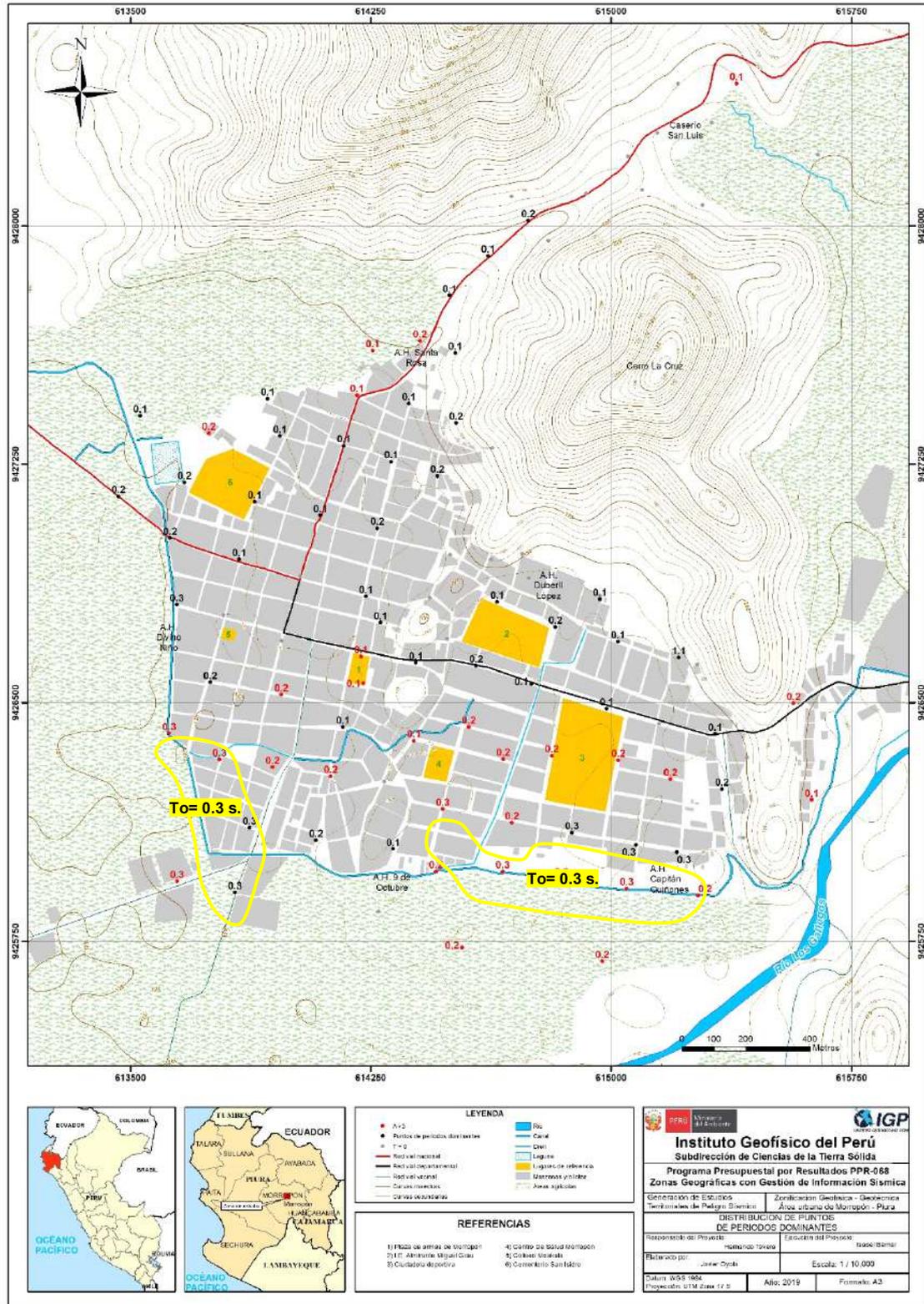


Figura 12. Mapa de la distribución espacial de los valores de periodos dominantes.

3.2.- Perfiles de MASW

En el área de estudio se realizaron 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 6, se presenta el mapa con la ubicación de las líneas y en la Figura 13, los resultados obtenidos para la línea LS01-MR. Para el resto de los perfiles, ver Anexo I.

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 velocidad V_s de 165 m/s corresponde a suelo blando, la segunda capa, con velocidad V_s de 219 m/s y espesor de 7 metros considera suelo moderadamente rígido. El semi-espacio presenta velocidades $V_s > 385$ m/s, corresponde a suelo rígido.

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, ambos 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 velocidad V_s de 323 m/s considera suelo moderadamente rígido, la segunda capa, con velocidad V_s de 534 m/s y espesor de 10 metros corresponde a suelo muy rígido. El semi-espacio presenta velocidades $V_s > 904$ m/s, lo cual considera roca moderadamente dura.

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 velocidad V_s de 223 m/s lo cual considera suelo moderadamente rígido. El semi-espacio presenta velocidades $V_s > 431$ m/s, corresponde a suelo rígido.

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 velocidad V_s de 206 m/s y la segunda capa, con velocidad V_s de 314 m/s y cuyo espesor es de 7 metros, ambas capas consideran a suelos moderadamente rígidos. El semi-espacio presenta velocidades $V_s > 439$ m/s, corresponde a suelo rígido.

Línea sísmica LS06-MR: Ubicada próximo a la Ciudadela deportiva. Se identifica dos capas sísmicas: la primera de 7 metros de espesor, con velocidad V_s de 191 m/s el cual considera suelo moderadamente rígido, la segunda capa, con velocidad V_s de 387 m/s y espesor de 13 metros corresponde a suelo rígido. El semi-espacio presenta velocidades $V_s > 560$ m/s, considera a roca muy rígida.



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 velocidad Vs de 375 m/s corresponde a suelo rígido, la segunda capa, con velocidad Vs de 565 m/s y espesor de 8 metros considera suelo rígido. El semi-espacio presenta velocidades Vs > 843 m/s, corresponde a roca moderadamente dura.

En la Tabla 6, se muestra el resumen de la información obtenida, la velocidad de ondas de corte Vs, su espesor y la velocidad Vs30.

Tabla 6. Valores de espesor y Vs de los perfiles sísmicos obtenidos para el área de estudio.

Línea Sísmica	Superficie \longrightarrow Profundidad						VS30 (m/s)
	N° DE CAPA						
	1		2		Semi-espacio		
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)
 Roca dura (Vs > 1500 m/s)



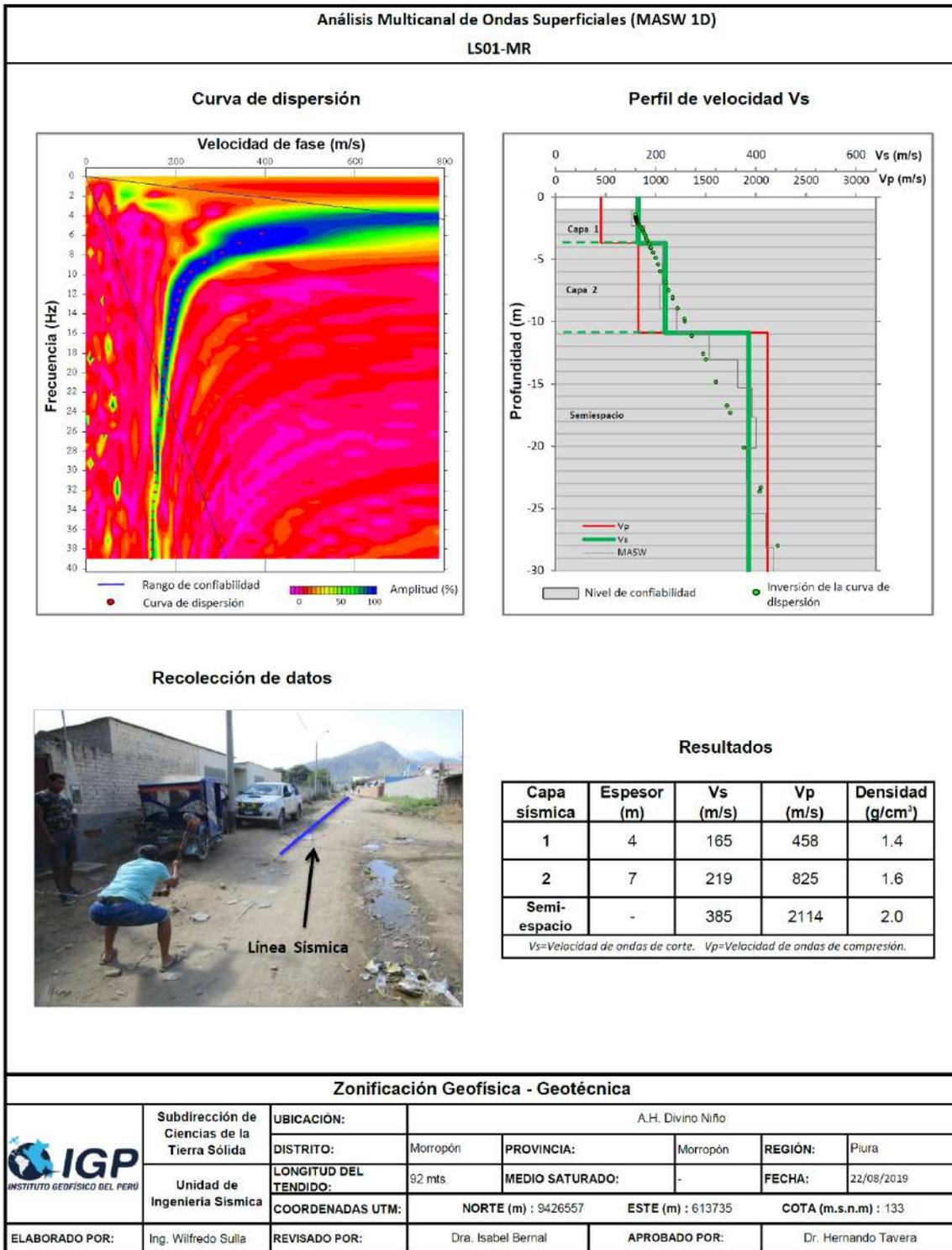


Figura 13. Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo lineal LS01-MR.

Según los resultados obtenidos con el método sísmico (Figura 14) se define principalmente 2 y 3 capas sísmicas y un semi-espacio (Tabla 6) hasta una profundidad confiable de 30 metros, identificándose en superficie tres tipos de suelo; el primero caracterizado por **(1) suelos blandos** con velocidades menores a 200 m/s y espesores entre 4 a 7 metros, que se distribuye 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, hacia el NO del área de estudio, A.H. Duberlí López y extremo norte A.H. Capitán Quiñonez, ver Figuras 14 y 15. Y hacia el extremo NE del área de estudio predominan **suelos rígidos** (caserío San Luis).



Figura 14. Características de los suelos en superficie en el distrito de Morropón.



Figura 15. Distribución de la línea LS06 en el A.H. Capitán Quiñonez sobre suelos moderadamente rígidos.



3.3.- Perfiles de Tomografía Eléctrica

Se realizaron 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 9, se presenta el mapa con la ubicación de las líneas, en las Figuras 16, 17 y 18 imágenes con la disposición de las diferentes líneas y en la Figura 19, los resultados obtenidos para la línea LE01-MR. Para el resto de los perfiles, ver Anexo II.

La línea **LE01-MR** realizada al extremo oeste del área urbana, por el A.H. Divino Niño (según la Figura 9). Se identifica el predominio de valores muy bajo resistivos ($<20 \Omega.m$), indica que el suelo presenta humedad y cuyo contenido aumenta en profundidad asociándose a la presencia de terrenos de cultivo próximos. De manera puntual, en profundidad aparecen valores medianamente resistivos (de 100 a 500 $\Omega.m$) lo que sugiere la existencia de material característico de suelos conglomerados y rocas, tal como se muestra la Figura 16.

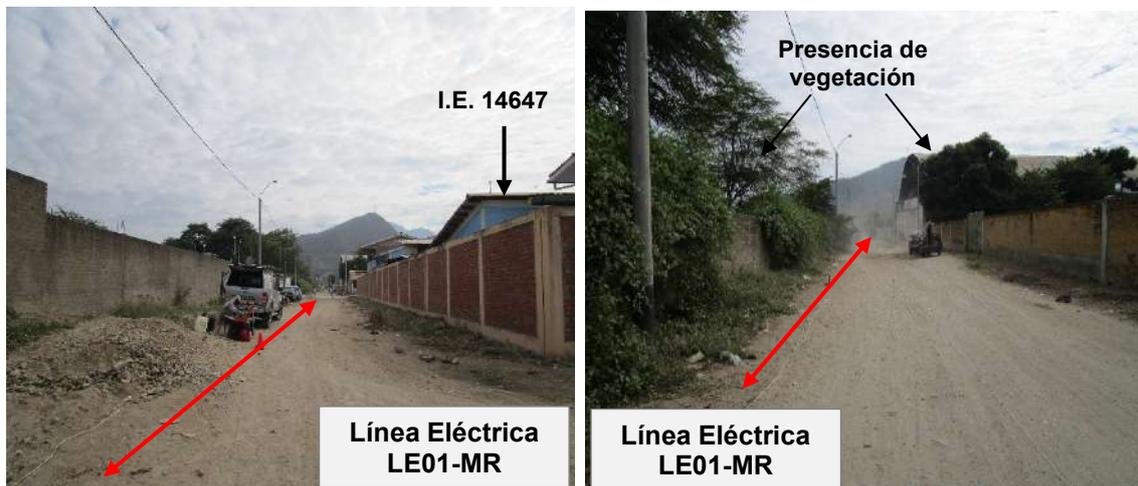


Figura 16. Vista de la línea eléctrica LE01-MR.

En esta línea **LE02-MR**, realizada en la zona sur del área de estudio, próximo al A.H. 9 de Octubre (según la Figura 9), predominan los valores bajo a muy bajo resistivos ($<100 \Omega.m$), se asocia a depósitos cuaternarios como limos, arcillas y arenas, con contenido de humedad por influencia de los terrenos de cultivo, y aproximadamente a 20 metros de profundidad se observan valores medianamente resistivo a muy resistivos ($>100 \Omega.m$) y corresponderían a rocas metamórficas (Figura 17).

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 ($<100 \Omega.m$), se asocia a depósitos aluviales, con alto contenido de humedad por influencia del río Piura, en profundidad se observan valores medianamente resistivos (100 a 500 $\Omega.m$), que pueden asociar a la presencia de rocas metamórficas (Figura 17).

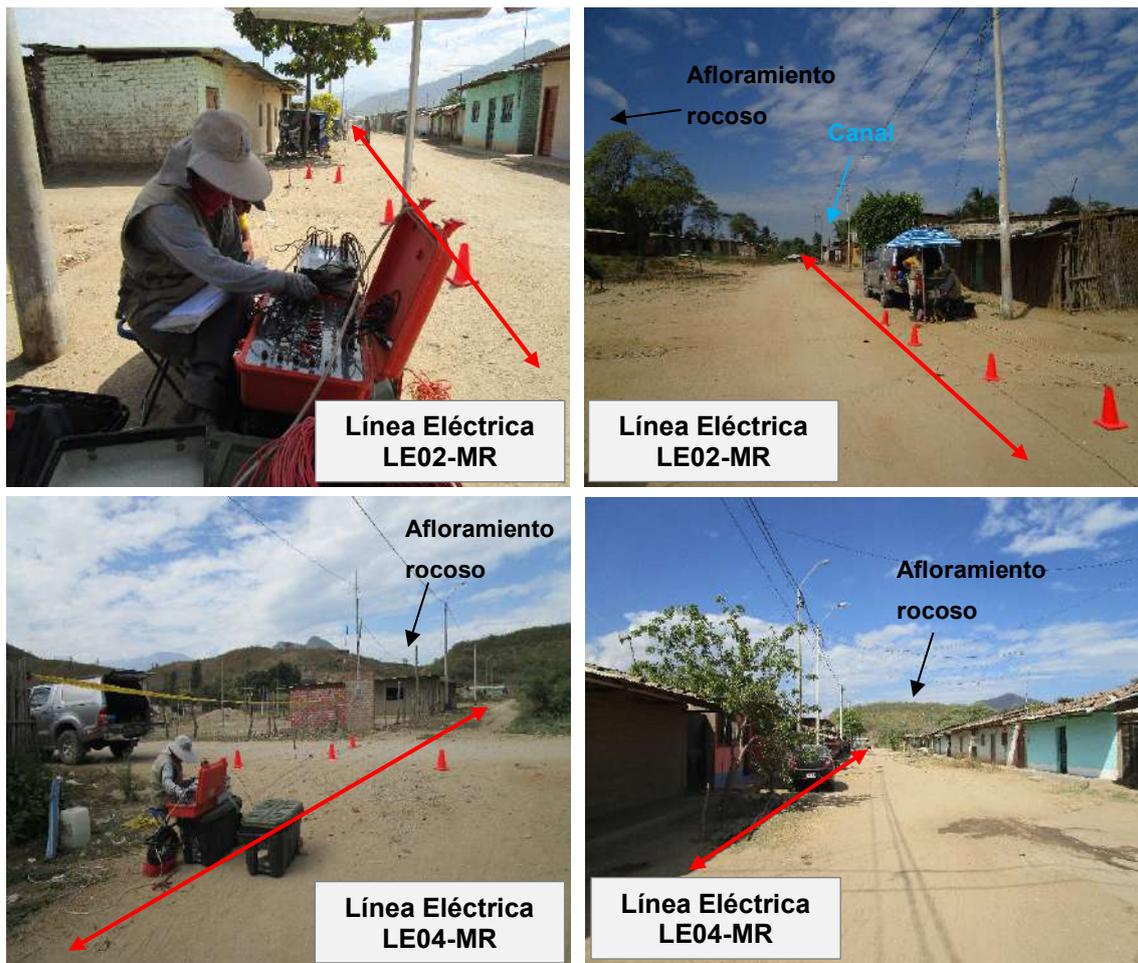


Figura17. Vista de la línea eléctrica LE02-MR y LE04-MR.

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 (según la Figura 9). Se identifica el predominio de valores bajo a muy bajo resistivos ($<100 \Omega.m$) desde superficie, 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 terrenos de cultivo próximos. En profundidad se presentan valores resistivos a medianamente resistivo ($>100 \Omega.m$) por su proximidad al cerro La Cruz se debe considerar afloramientos rocosos de roca metamórfica, ver Figura 18.



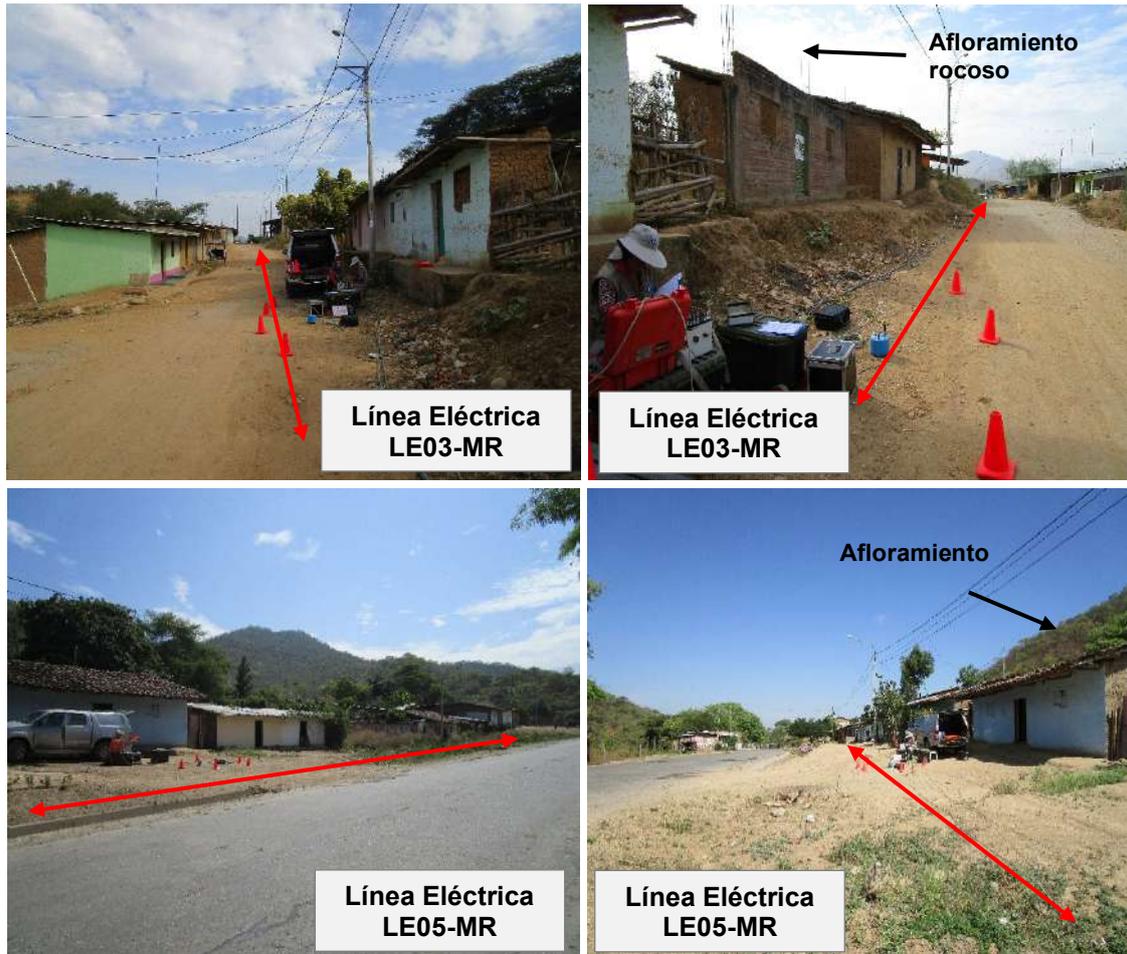


Figura18. Vista de la línea eléctrica LE03-MR y LE05-MR.

En Morropón, los cortes geoelectrónicos evidencian la presencia de suelos saturados, principalmente en el A.H. Divino Niño. Los niveles de saturación se presentan desde la superficie, debido a la influencia de los terrenos de cultivo, el cual está caracterizado por arcillas y limos que permiten el almacenamiento de agua y conserven la humedad en el medio. A diferencia de lo obtenido en los AA.HH. 9 de Octubre y Capitán Quiñonez, que presentan suelos parcialmente saturado por la influencia del río Piura, y están constituidos por gravas, arenas y arcillas. A partir de 20 metros de profundidad se presentan suelos no saturados, donde predominan las rocas metamórficas (cerro La Cruz).



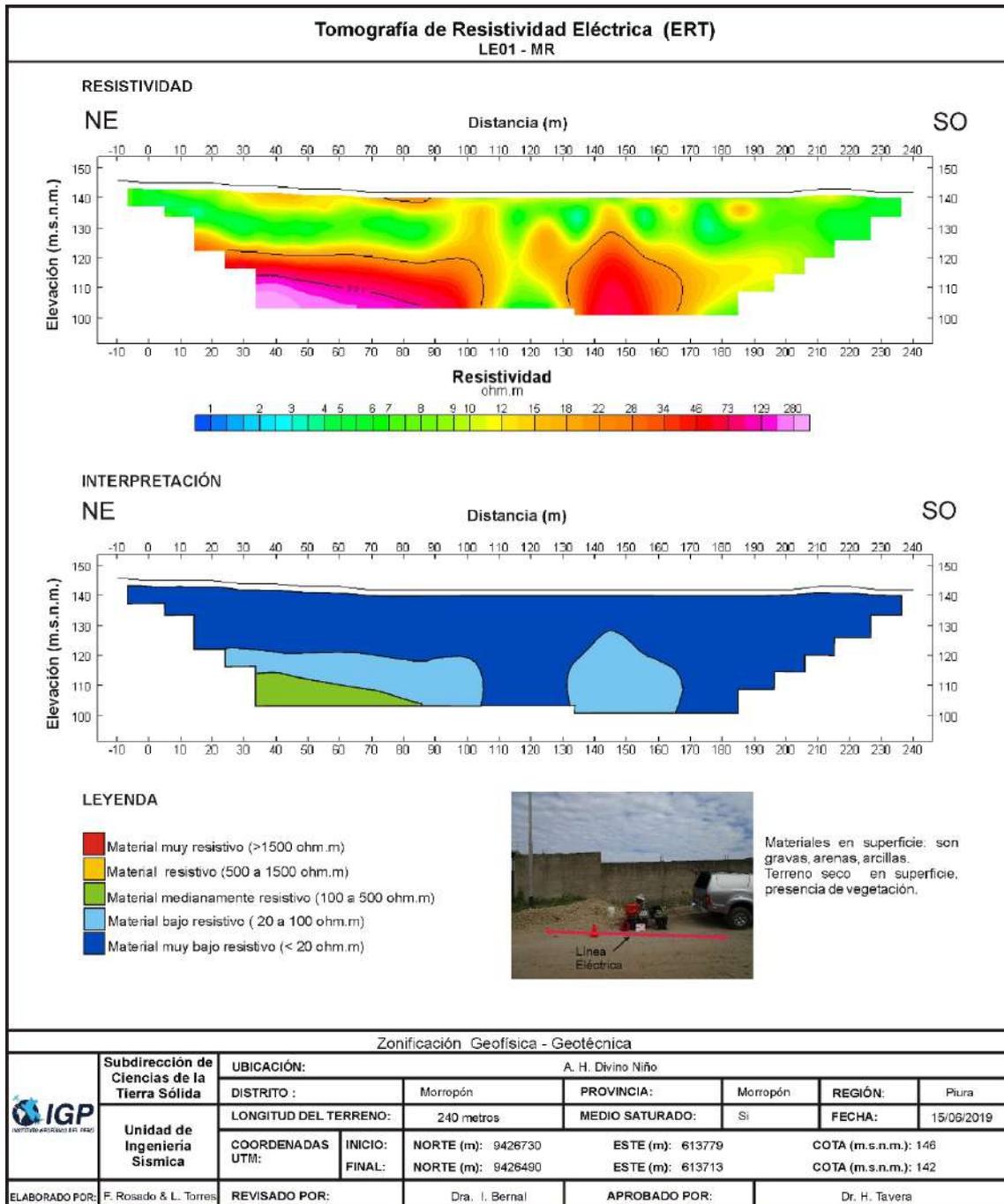


Figura 19. Resultado de tomografía de resistividad eléctrica para la línea LE01-MR.

4. ZONIFICACIÓN GEOFÍSICA DE LOS SUELOS

El mapa de zonificación Geofísica se realiza considerando la correlación de la información generada con la aplicación de las técnicas geofísicas y geotécnicas; así como, con los aspectos geológicos, geomorfológicos y geodinámicos que presenta la zona en estudio. 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.

4.1. Integración de resultados

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

En general el suelo responde a periodos de entre 0.1 y 0.3 segundos, cuya distribución es variada (Figura 19), 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 se distribuyen los periodos de 0.1 y 0.2 segundos, en los sectores próximos al cerro La Cruz (A.H. Durberlí López, A.H. Santa Rosa y por el caserío San Luis). De acuerdo con el análisis sísmico, el suelo superficial de características blandas ($V_s = 165$ m/s) y moderadamente rígidas ($V_s = 223$ m/s) con espesores que varían de entre 7 y 11 metros, se emplazan hacia el sur y suroeste de Morropón. Sin embargo, hacia el norte se identifican suelos moderadamente rígidos ($V_s > 191$ m/s) de menor espesor, correlacionada con los periodos bajos. Estos resultados son coherentes con la distribución de los periodos identificados en el área de estudio. En la Figura 19, se observa la correlación geofísica, hacia el sur y suroeste (punto "a") y hacia el norte (punto "b").

De forma 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 y se encuentran influenciados por la humedad que proviene del canal de regadío. Además, llega a inundarse durante el periodo de lluvias intensas y/o el Fenómeno de El Niño. Asimismo, hay un 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, el suelo al estar constituido principalmente de arenas y en menor proporción de limos y acillas, sumado a la existencia de saturación en niveles superficiales y a la ocurrencia de un evento sísmico de gran magnitud próximo a esta región, aumenta la probabilidad de generarse mayores amplificaciones (grandes sacudimientos) y procesos de licuación, principalmente al sur y suroeste del área de estudio. Por lo cual es necesario e indispensable que esta información sea considerada como base para nuevos proyectos de la GRD y en la toma de decisiones.



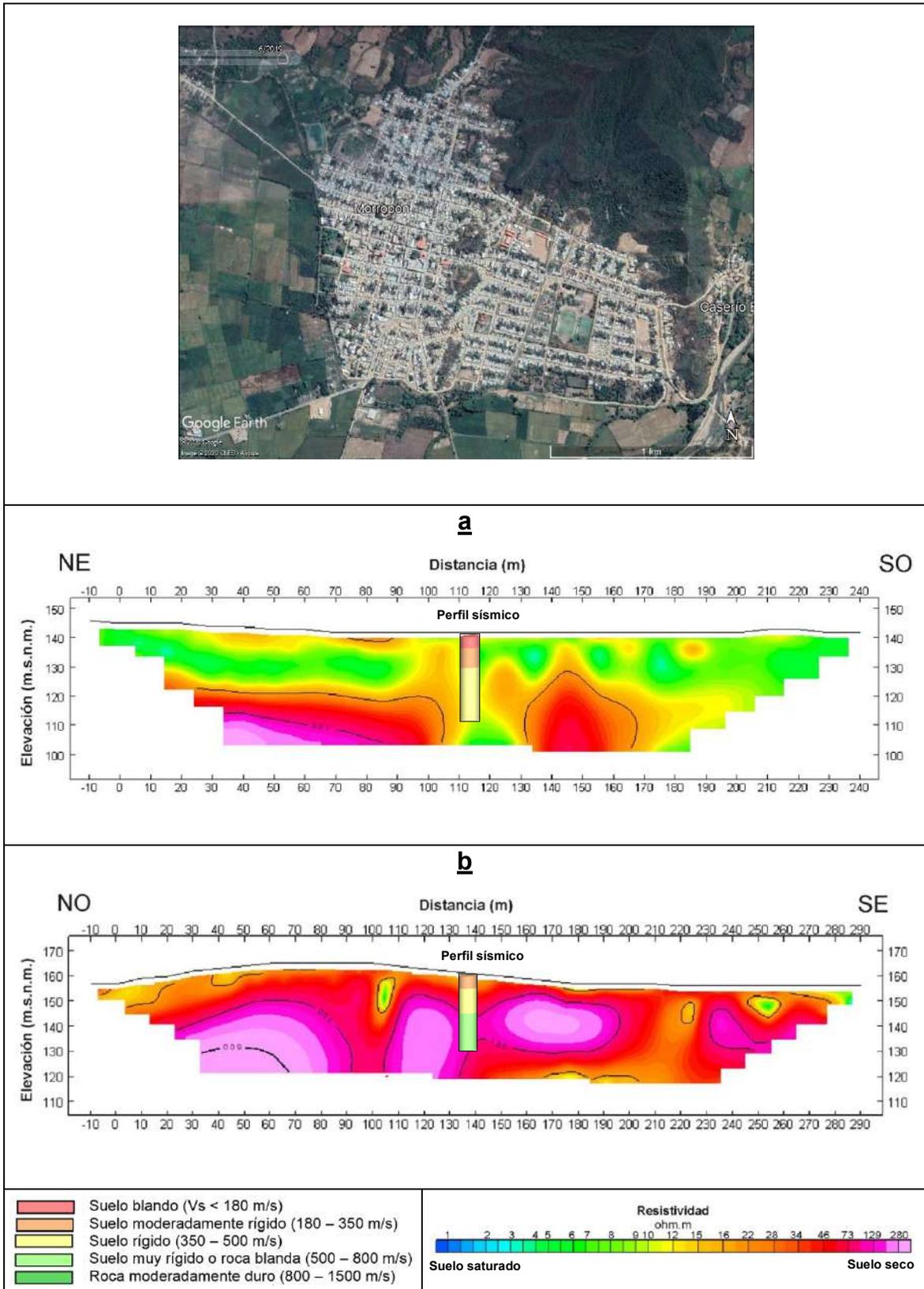


Figura 19. Correlación de los ensayos geofísicos, periodos dominantes, tipo de suelo y grado de saturación.



4.2. Mapa de Zonificación Geofísica

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. Las características dinámicas del suelo y sus propiedades mecánicas han permitido identificar en el área de estudio, considerando los indicado en la Norma Técnica de Construcción Sismorresistente E.030, la existencia de suelos de Tipo S1 y S4. Estos tipos de suelo corresponden a las Zonas I y IV respectivamente, donde predominan periodos de 0.1 y 0.3 segundos.

Para el área urbana de Morropón, se propone la siguiente zonificación Geofísica - Geotécnica (Figura 20).

- ZONA I: *Considera suelos constituidos por estratos de arenas, limos y arcillas (depósitos de aluviales) distribuidos a nivel superficial. Presenta velocidades de ondas de corte Vs de 240 m/s en promedio para la capa superficial y de hasta 900 m/s a la profundidad investigada de 30 metros, con periodos de vibración natural que varían entre 0.1 y 0.3 segundos, ambos definen la existencia de suelos Tipo S1, cuyo comportamiento es modernamente rígidos a rígido (NTE.030). Los suelos presentan bajo nivel freático y una capacidad de carga admisible de entre 1.0 a 3.0 Kg/cm² hasta un metro de profundidad. Esta zona comprende el 95 % del área de estudio y se ubica en toda el área urbana de Morropón, ver Figura 20.*

Las líneas inclinadas en rojo delimitan áreas donde los suelos presentan amplificaciones relativas mayores a 3 veces, sugiriendo que el mayor sacudimiento del suelo a la ocurrencia de un sismo 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 inclinadas en negro delimitan áreas de muy baja amplificación.

- ZONAS II y III: *En el área de estudio no se identificó suelos de Tipo S2 y S3, los cuales responden a periodos mayores a 0.3 y 0.6 segundos.*

- ZONA IV: *Esta zona corresponde a suelos cuyas características físicas y dinámicas son excepcionales, por lo que su comportamiento comprende a suelos Tipo S4 de la norma sismorresistente peruana; se subdivide en:*

- Zona IVb: *Corresponde a zonas de topografía irregular, susceptibles a generar derrumbes además de producirse flujo de detritos y caída de rocas. Son aquellos sectores inestables que presentan pendientes mayores a 15°, constituidos por material poco consolidado susceptible a generar flujo de detritos en periodos de lluvias intensas, estos sectores corresponden a los flancos del cerro La Cruz y de las lomadas que afloran en el área urbana, ver Figura 20.*



Estudio de Zonificación Sismo-geotécnica del distrito de Morropón

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.

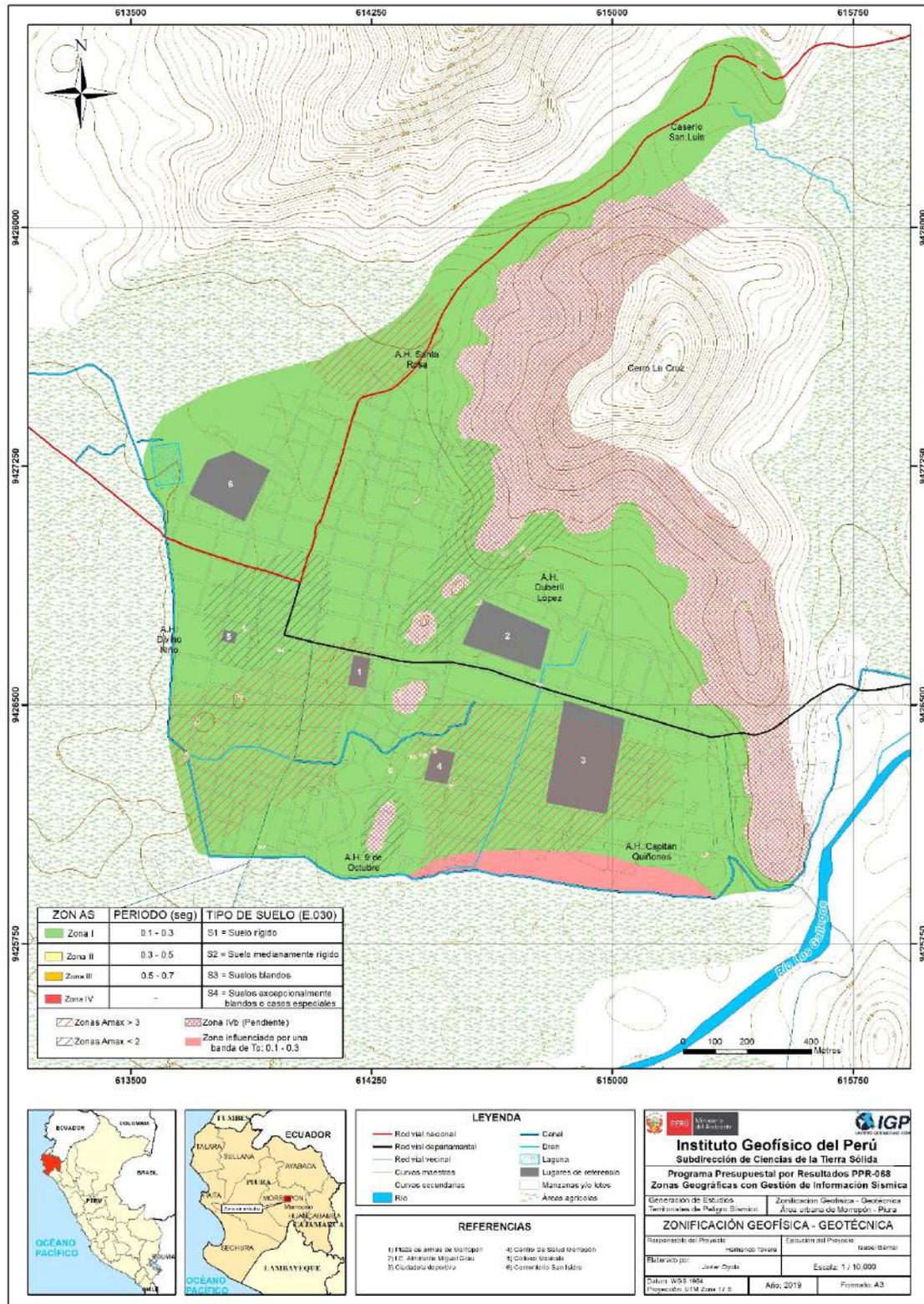


Figura 20. Mapa de Zonificación Geofísica – Geotécnica del área urbana de Morropón.

9. CONCLUSIONES

- Morropón se caracteriza por presentar siete unidades geomorfológicas como son: Montañas, colina, lomas, penillanura, terraza, llanura de inundación y lecho fluvial, el casco urbano de Morropón se asienta sobre la penillanura conformado por depósitos aluviales constituidos por arenas y limos que cubren al basamento rocoso conformado por esquistos y pizarras (rocas metamórficas) que presentan esquistosidad (rotura en planos paralelos o laminados). Los eventos geodinámicos reconocidos en la zona de estudio son las inundaciones fluviales por aumento del caudal del río Las Gallegas que interrumpe caminos y accesos a los sectores de Pampa La Hacienda, caserío Bocanegra, Maray, distritos de Santa Catalina de Mossa y Santo Domingo, aislándolos y, afecta 23.2 hectáreas de cultivo (arroz, palta, plátano, entre otros) a ambos márgenes del río, e inundaciones pluviales, que afectan las infraestructuras físicas (viviendas, centros educativos, áreas recreacionales, entre otros) del casco urbano del distrito en mención.
- En base a los resultados de los ensayos geotécnicos y del laboratorio se ha determinado que los tipos de suelos presentes en la ciudad de Morropón son ocho (08), entre los que se tienen: Grava bien graduada con arcilla y arena (GW-GC) con compacidad media a alta y capacidad portante alta ($> 3.00 \text{ kg/cm}^2$), Grava arcillosa (GC) arena mal graduada (SP) y arena con limos y grava (SP-SM), con compacidad media a baja, así como capacidad portante ($2.00 - 3.00 \text{ kg/cm}^2$), finalmente, arena arcillosa (SC), arena limosa (SM), limos inorgánicos (ML) y arcilla inorgánica (CL), los cuales presentan compacidad muy suelta y capacidad portante muy baja ($< 1.00 \text{ kg/cm}^2$).
- Los suelos del distrito de Morropón responden principalmente a frecuencias de entre 3.0 y 12.0 Hz con amplificaciones de hasta 3 veces. Las más altas amplificaciones, se presentan en la zona centro, sur y suroeste del área urbana, por la ciudadela deportiva, plaza de armas y centro de salud de Morropón; asimismo, hacia el extremo norte, en un sector del A.H. Santa Rosa. Y las más bajas amplificaciones, en el flanco suroeste y noreste del Cerro La Cruz y hacia el extremo Oeste, por el coliseo Moskala.
- El periodo del suelo (T_0) 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). Y 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 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 espesores de la capa sedimentaria 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 en los extremos suroeste y suroeste del área de estudio.

- De los resultados obtenidos con el método sísmico, 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 se distribuyen por el A.H. Divino Niño y 9 de Octubre. (2) **suelos moderadamente rígidos** presenta velocidades V_s entre 191 a 323m/s y espesor variable de entre 9 a 5 metros se distribuyen hacia el NO del área de estudio, A.H. Duberlí López y extremo norte A.H. Capitán Quiñonez. (3) **suelos rígidos**, presente 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, clasifica el área de estudio en dos tipos de suelo; con velocidades V_{s30} de entre 285 a 395 m/s y de 576 a 634 m/s, que corresponde a suelos medianamente rígidos a rígidos.
- En Morropón, se identifica 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 sus 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 de Tipo S1 y S4.



10. RECOMENDACIONES

- Descolmatación de drenajes en el casco urbano de Morropón, así mismo, se recomienda el revestimiento de canales y/o drenes para evitar infiltración en el terreno y que posteriormente generen asentamientos.
- Ejecución de un sistema de drenaje superficial que integren calles afectadas por inundación pluvial y que se conecten a un punto de descargue final.
- Se debe tener en cuenta que los suelos en la ciudad de Morropón presentan dos características importantes, la primera es que están conformados por arenas mal graduadas, arenas limosas arenas con limos y gravas, arcillas inorgánicas y limos inorgánicos de compacidad relativa muy sueltas a sueltas mientras que, la segunda es la capacidad portante de los mismos, la cual es muy baja, esto podría contribuir a la ocurrencia de asentamientos y licuación de suelos por la presencia de nivel freático superficial como es el caso de los alrededores de la cancha deportiva pavimentada al extremo suroeste de Morropón.



11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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, Nº 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 Cohesionalless Soils. Journal of the Soils Mechanics and Foundations División, ASCE, Vol 82 N°SM1, Proc. Paper 886, Jan. 1956, pp-19.
- Ministerio de Economía y Finanzas, (2017) - Informe de seguimiento y Gestión a la Inversión Pública.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2015) - <http://renac.mtc.gob.pe/inventariovial/default2.aspx>.
- Nakamura Y. (1989). A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. Quaterly Report Railway Tech. Res. Inst., 30-1, 25-30.



- Norma Técnica de edificaciones E.030. 2018. Aprobada por Decreto Supremo N° 011-2006-VIVIENDA, modificada por Decreto Supremo N° 003-2016-VIVIENDA.
- Orellana, E. (1982). Prospección geoelectrica en corriente continua. Madrid: Ediciones Paraninfo.
- Palacios, O, (1994) - Geología de los cuadrángulos Paita 11-a, Piura11-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.
- Tarbuck, 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.
- Zinck, J. & Valenzuela, C., (1990) – Soil geographic database: structure and application examples. ITC Journal, 1990(3), 270-294



ANEXO I

Perfiles Sísmicos MASW



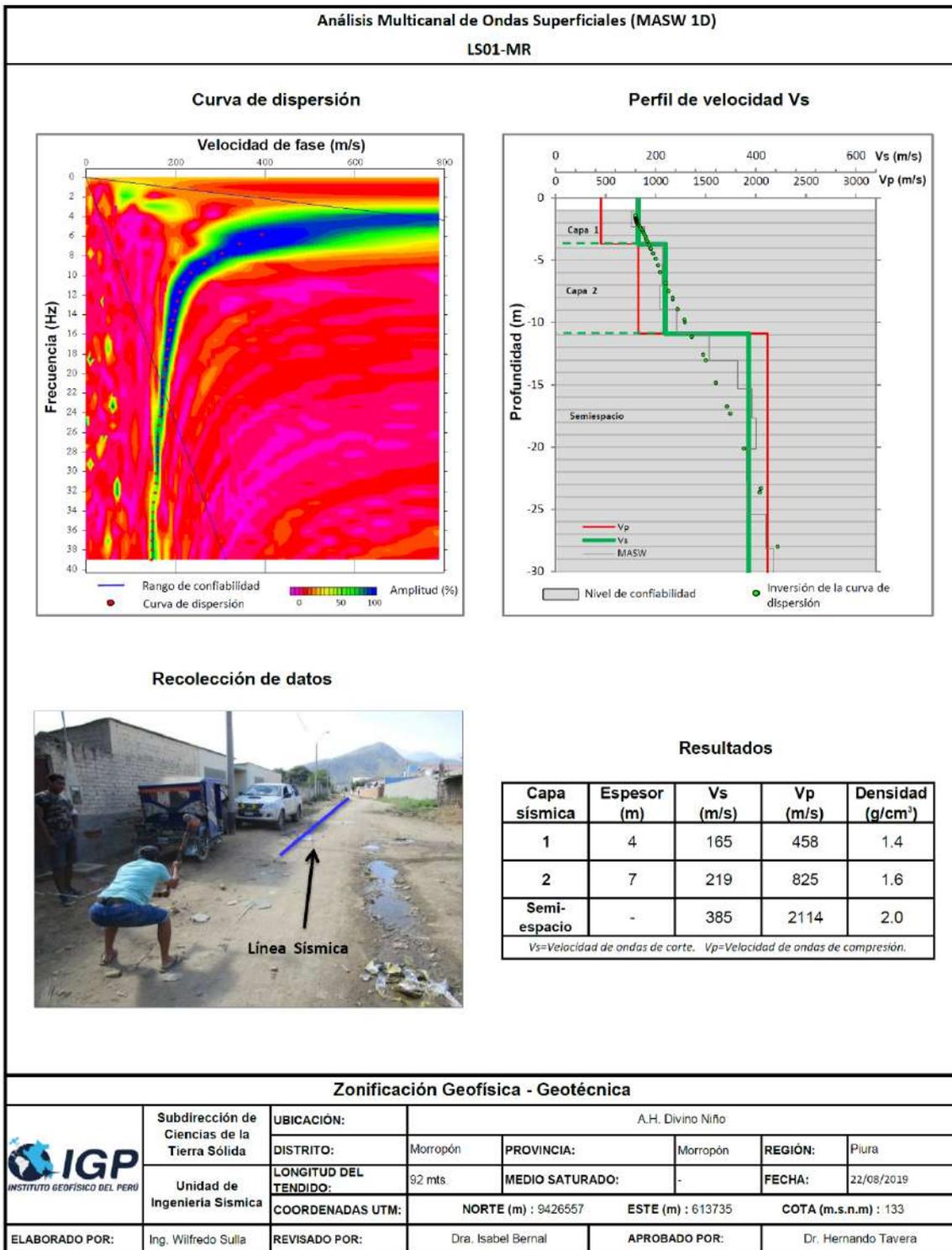


Figura 13. Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo sísmico LS01-MR.

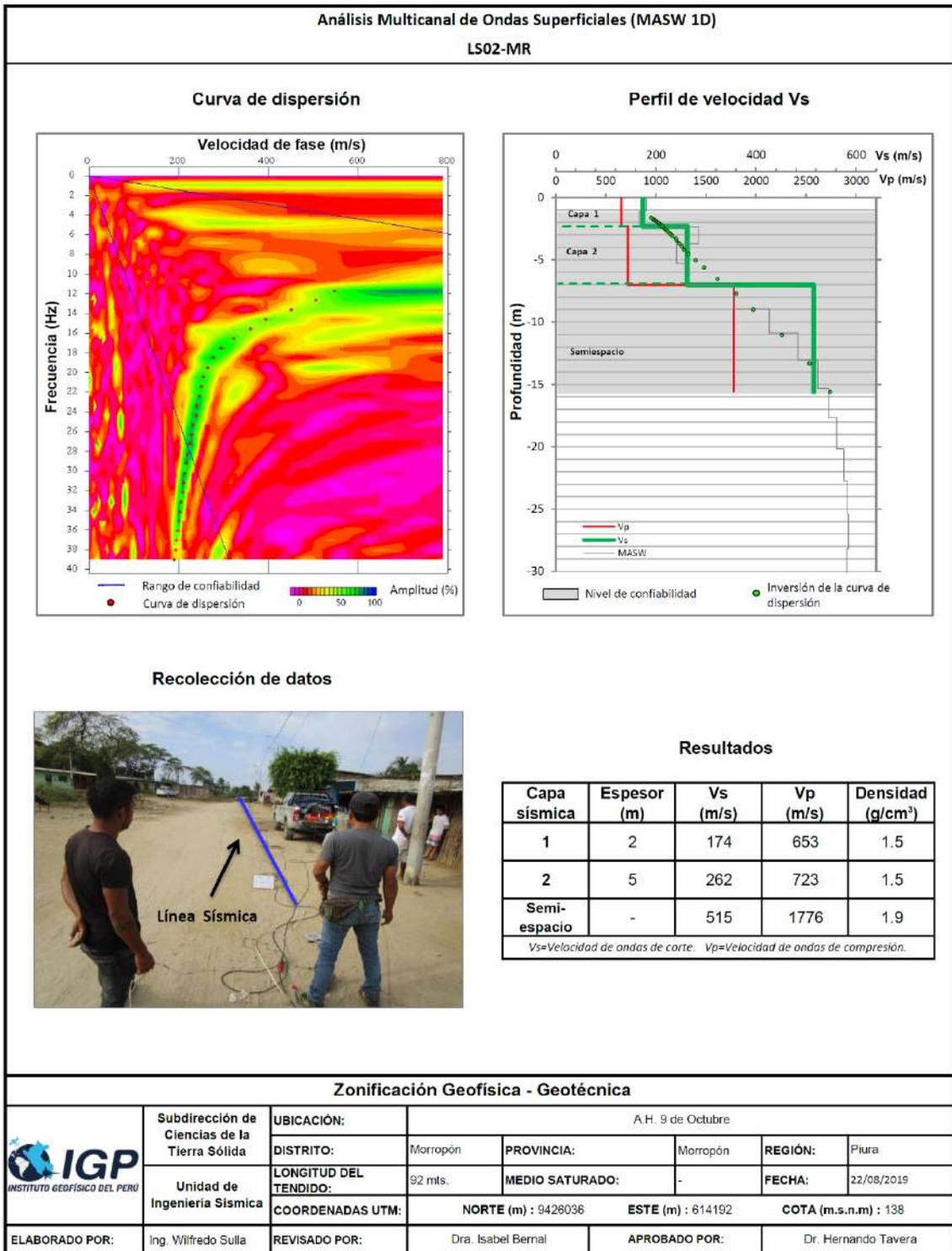


Figura 13. ...Continuación.../ Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo sísmico

LS02-MR.



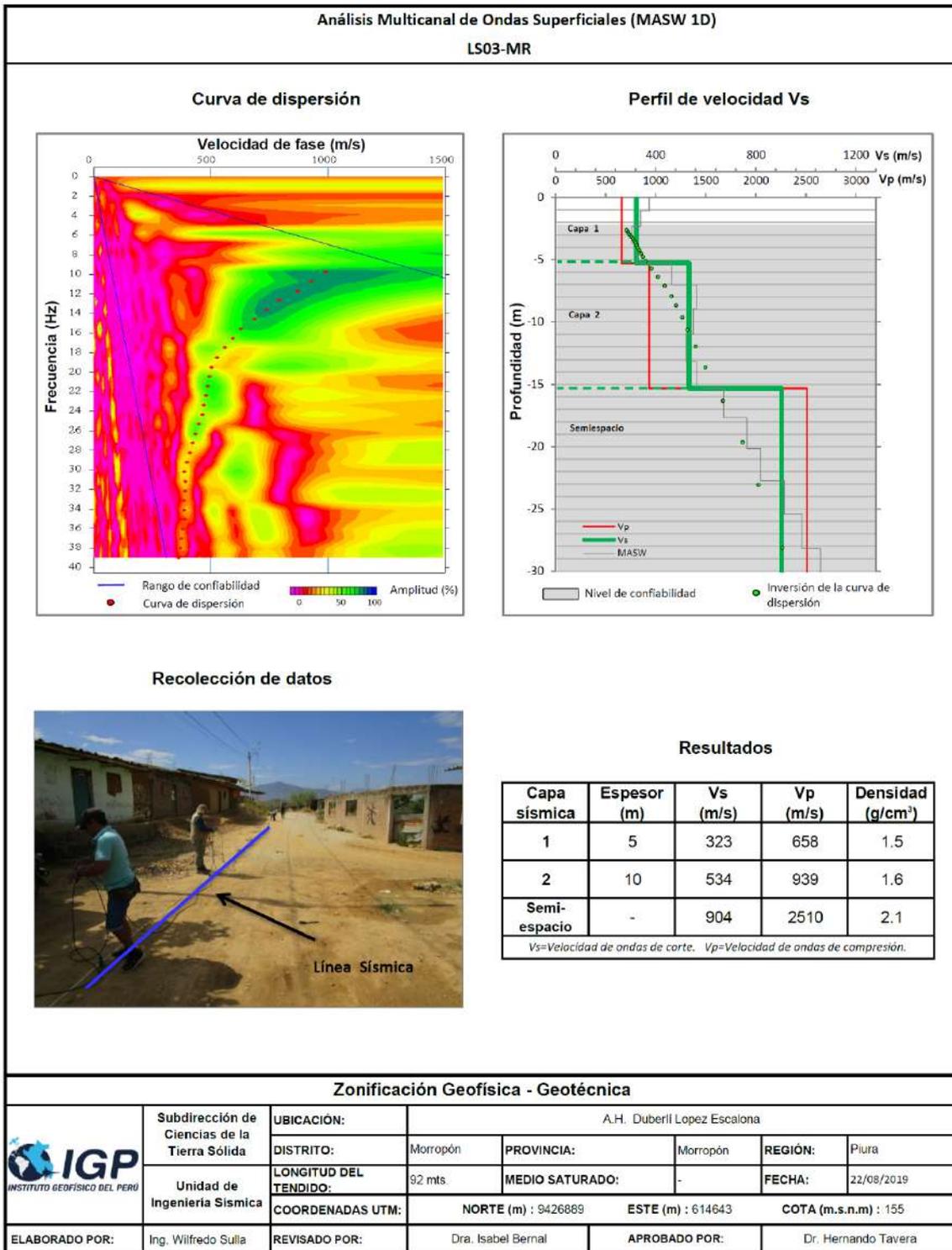


Figura 13. ...Continuación.../ Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo sísmico

LS03-MR.



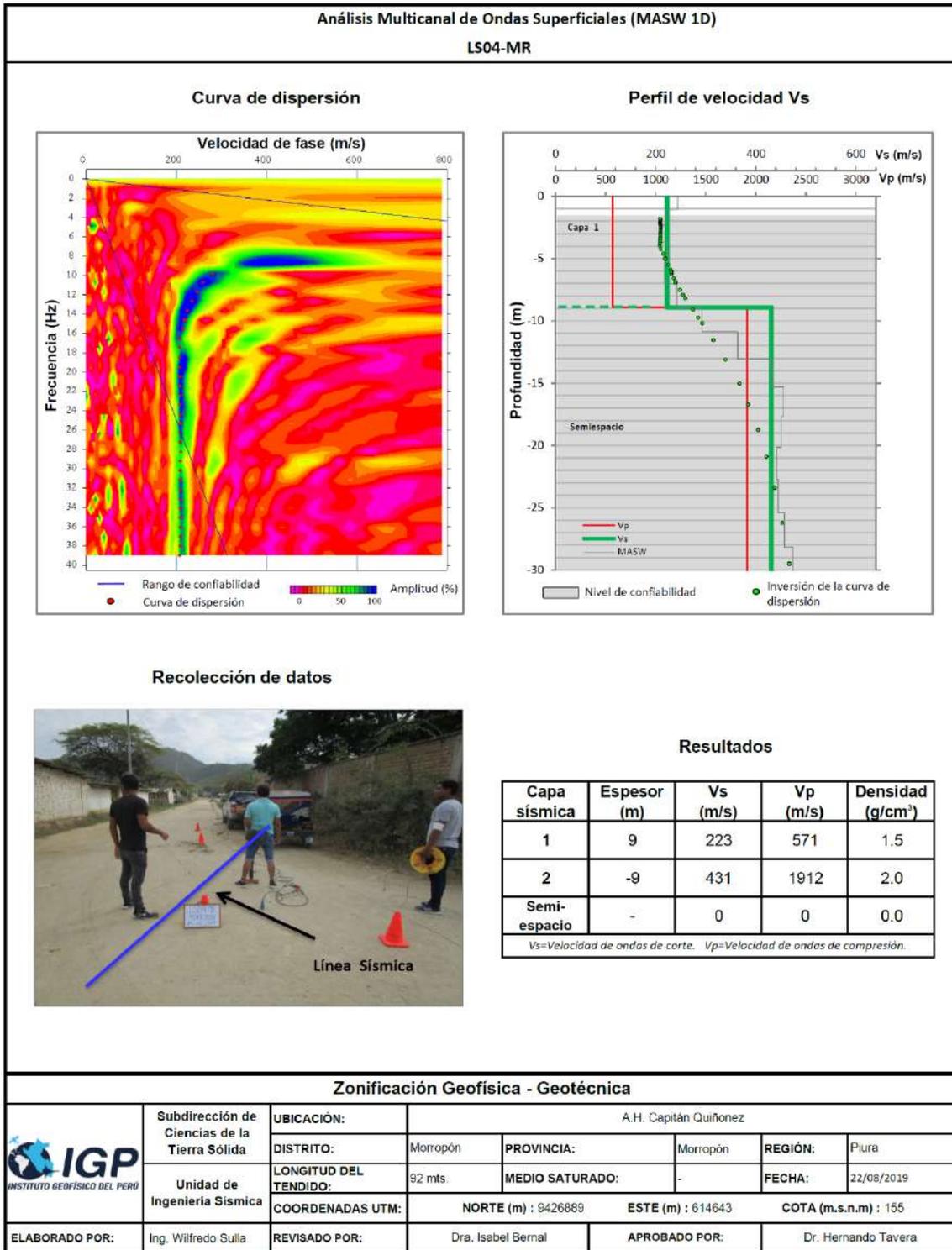


Figura 13. ...Continuación.../ Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo sísmico

LS04-MR.



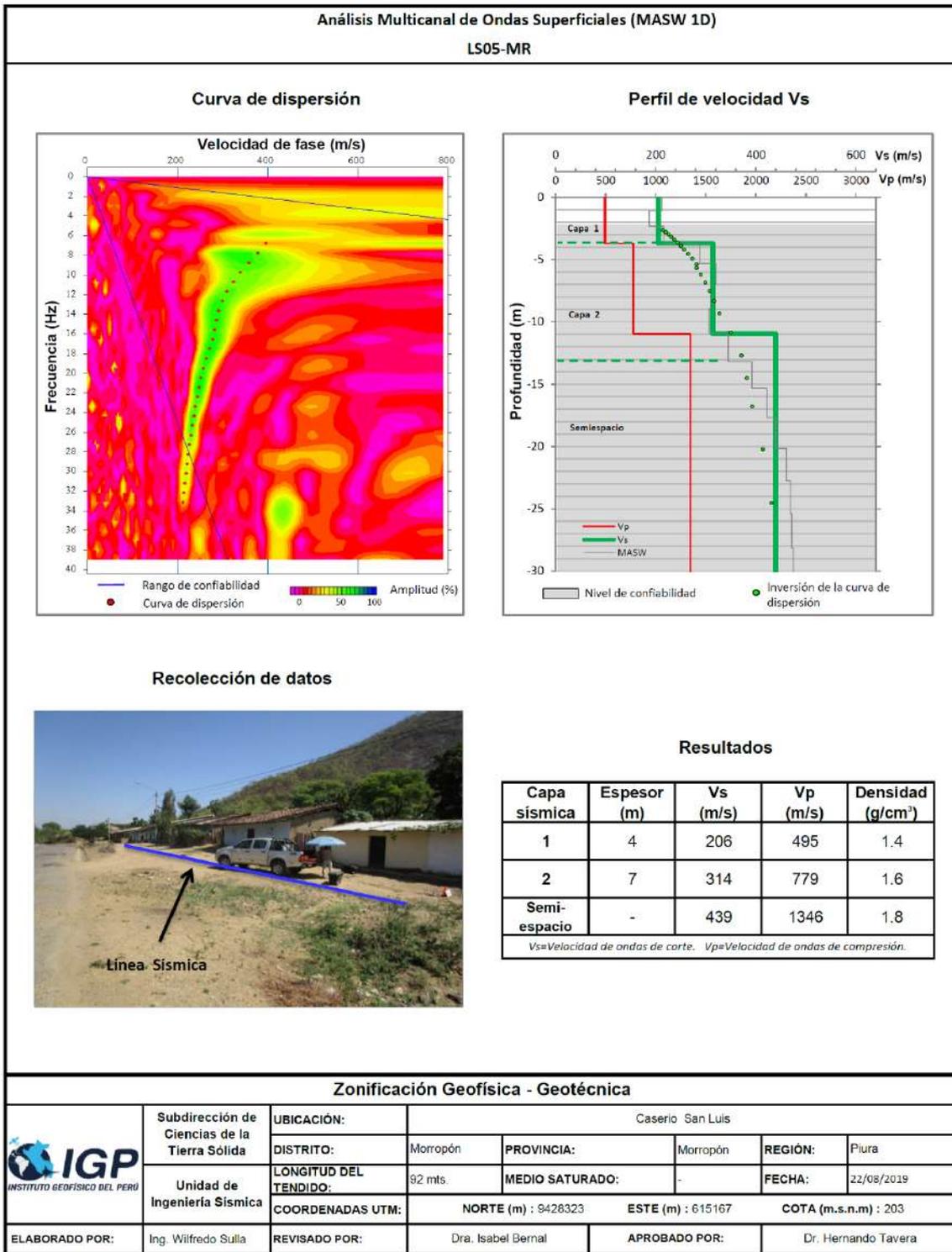


Figura 13. ...Continuación.../ Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo sísmico

LS05-MR.



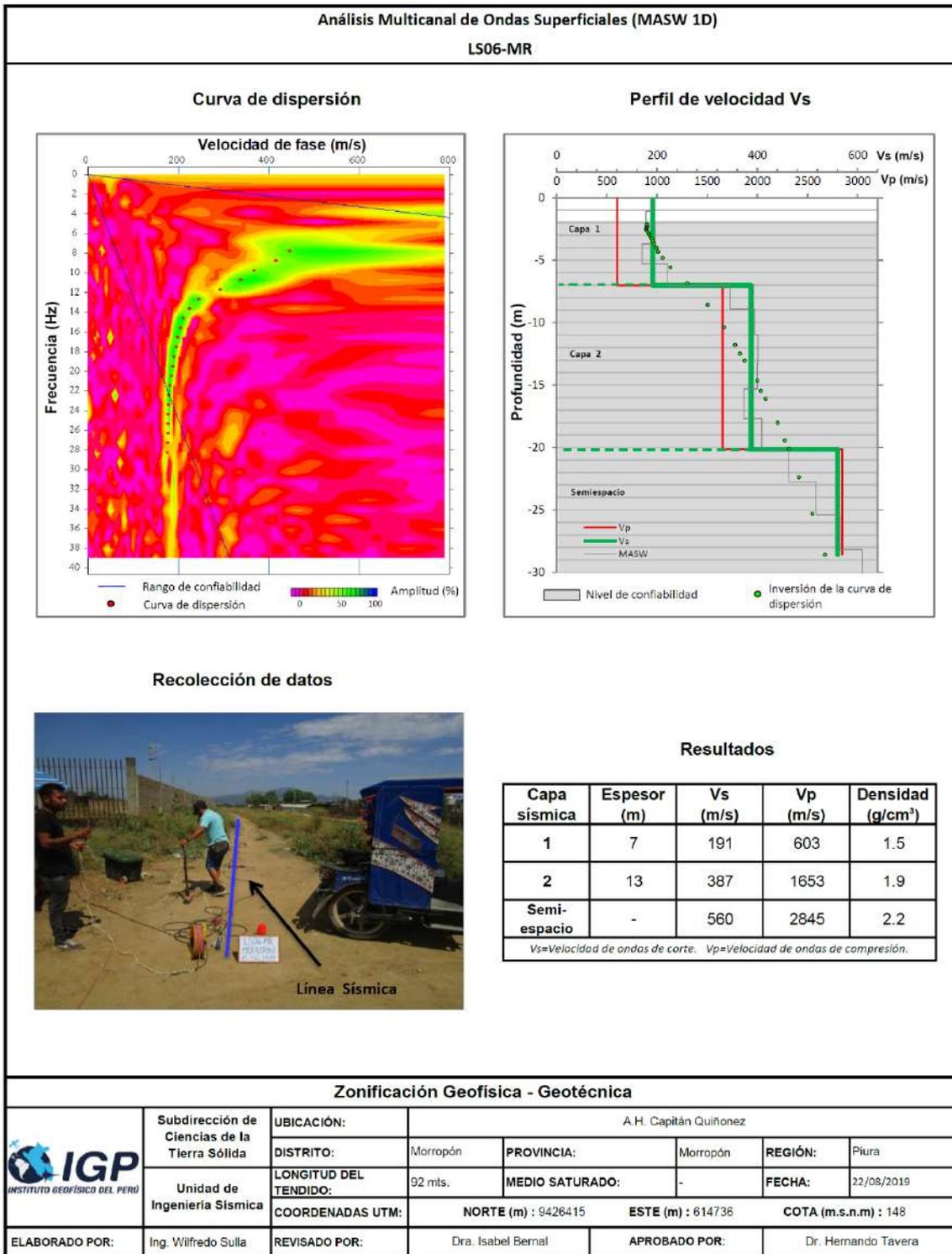


Figura 13. ...Continuación.../ Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo sísmico

LS06-MR.



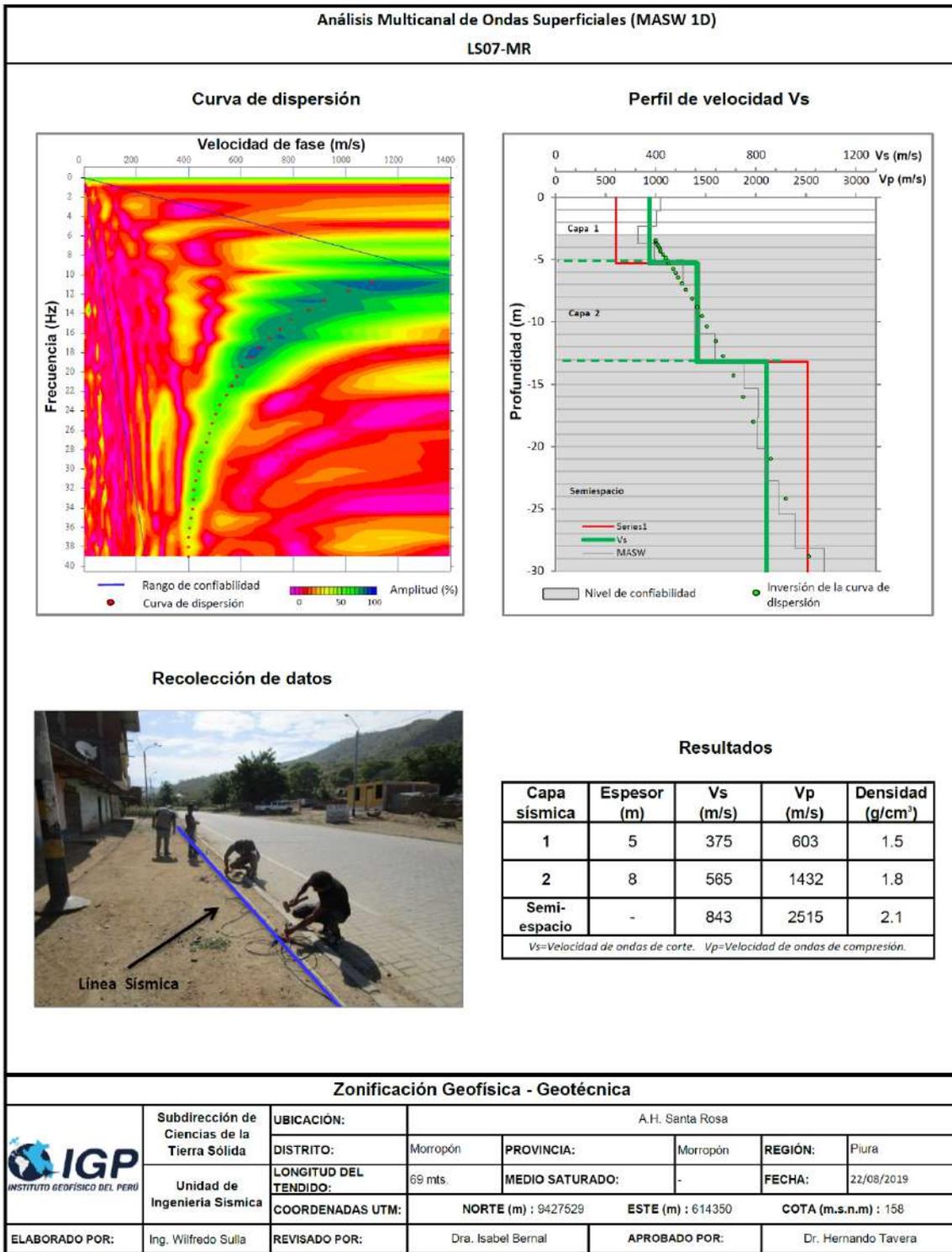


Figura 13. ...Continuación.../ Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo sísmico

LS07-MR.



ANEXO II

Perfiles de Tomografía Eléctrica ERT



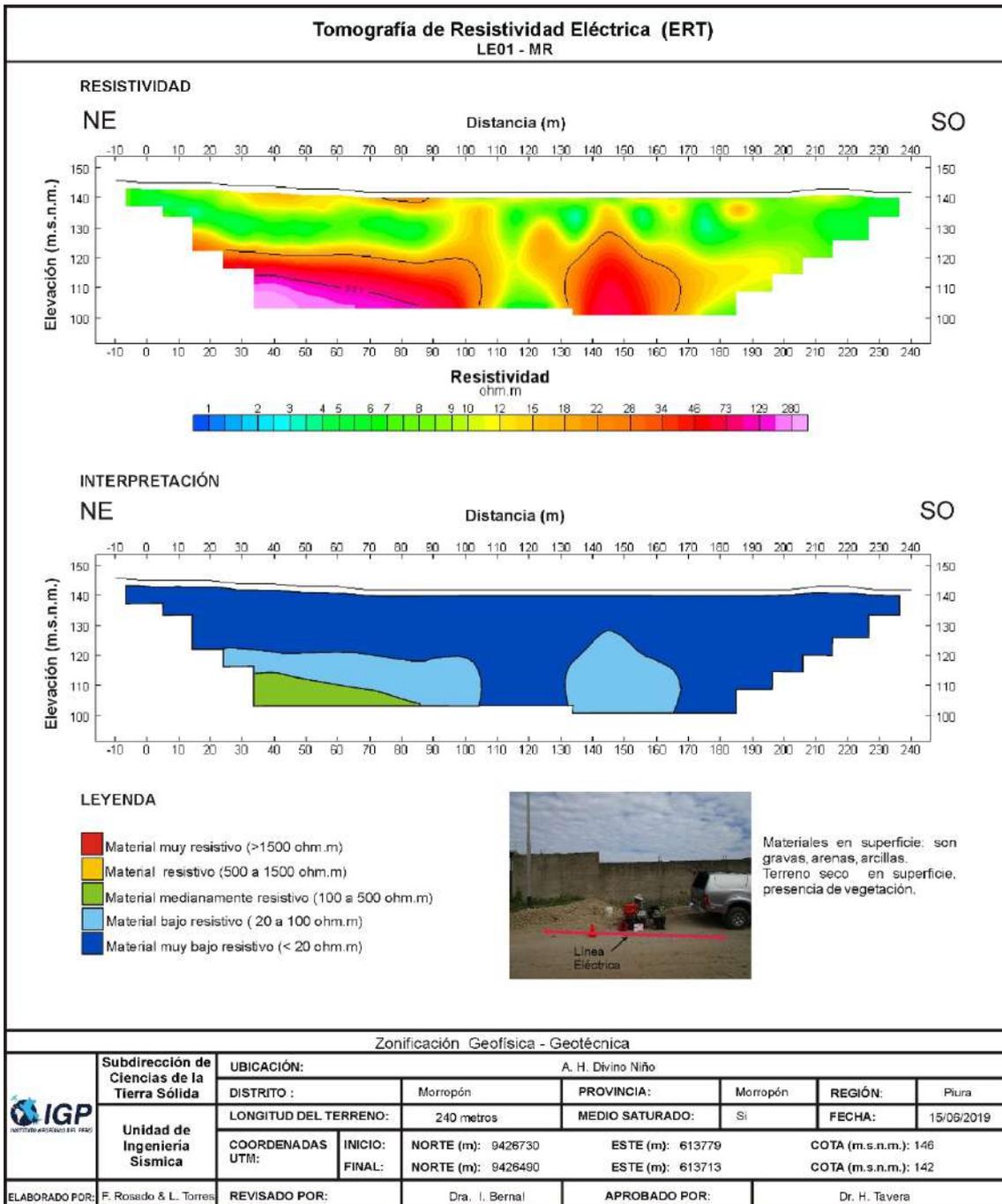


Figura 19. Resultado de tomografía de resistividad eléctrica para la línea LE01-MR.

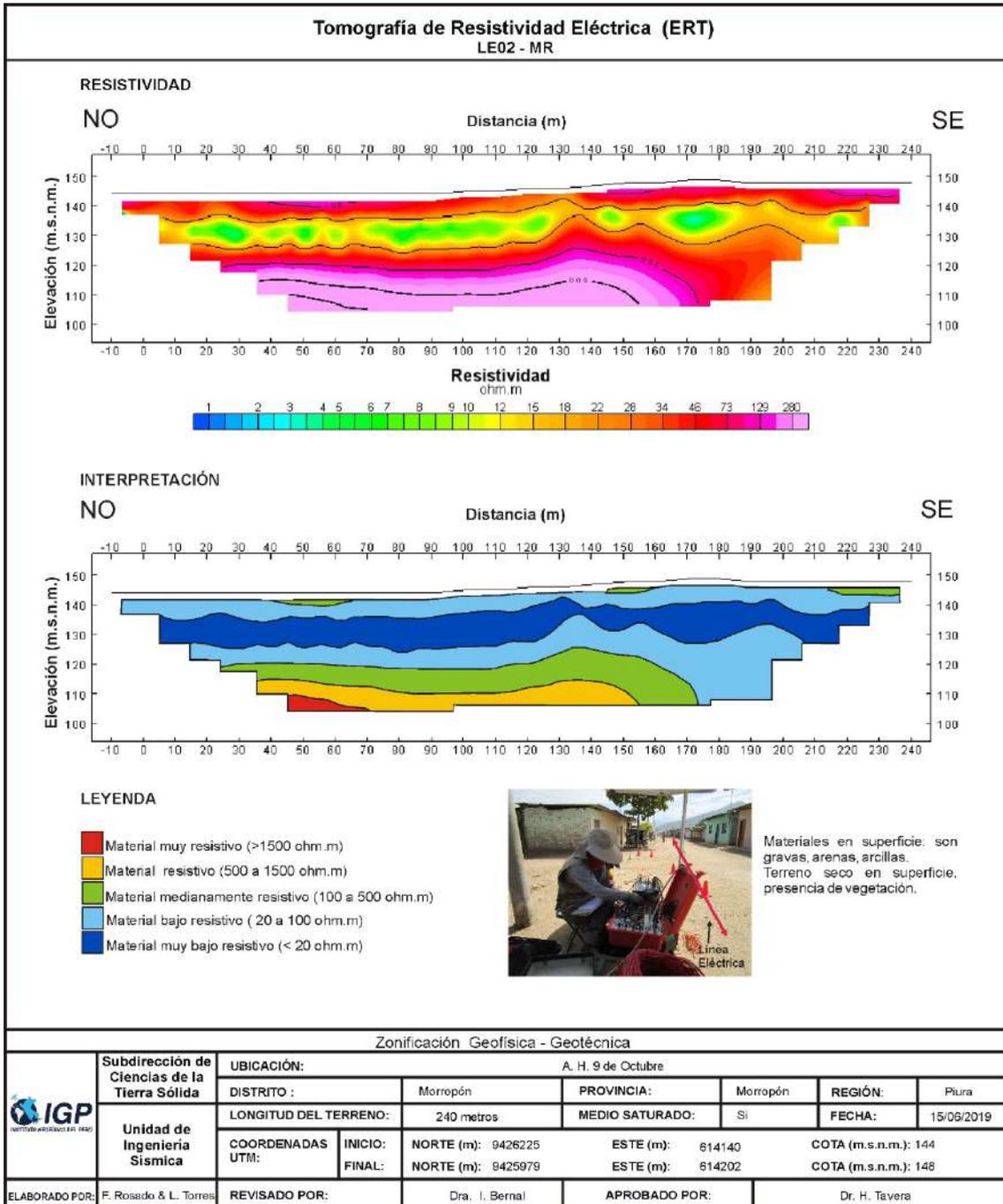


Figura 19. ...Continuación.../ Resultado de tomografía de resistividad eléctrica para la línea LE02-MR.

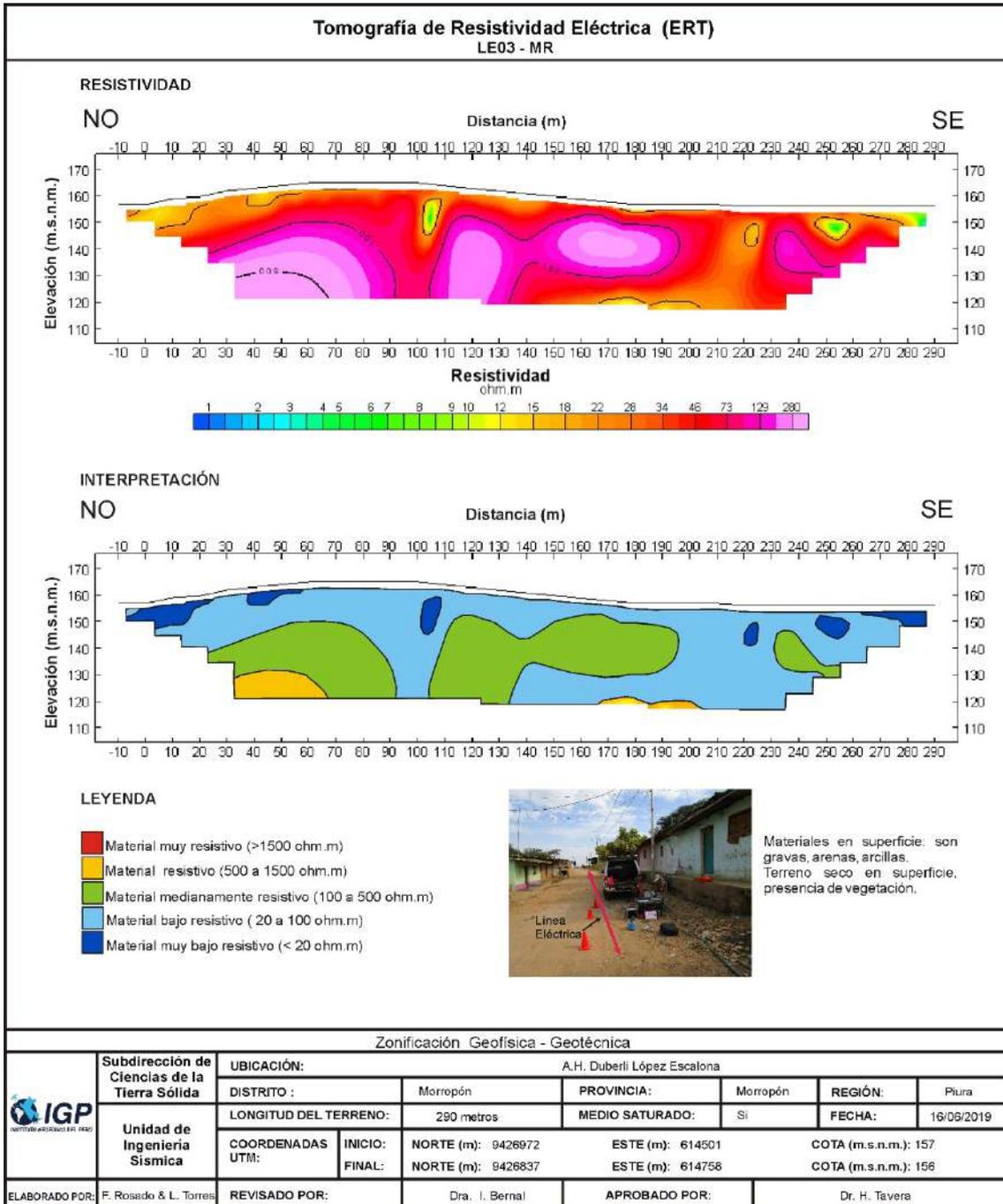


Figura 19. ...Continuación.../ Resultado de tomografía de resistividad eléctrica para la línea LE03-MR.

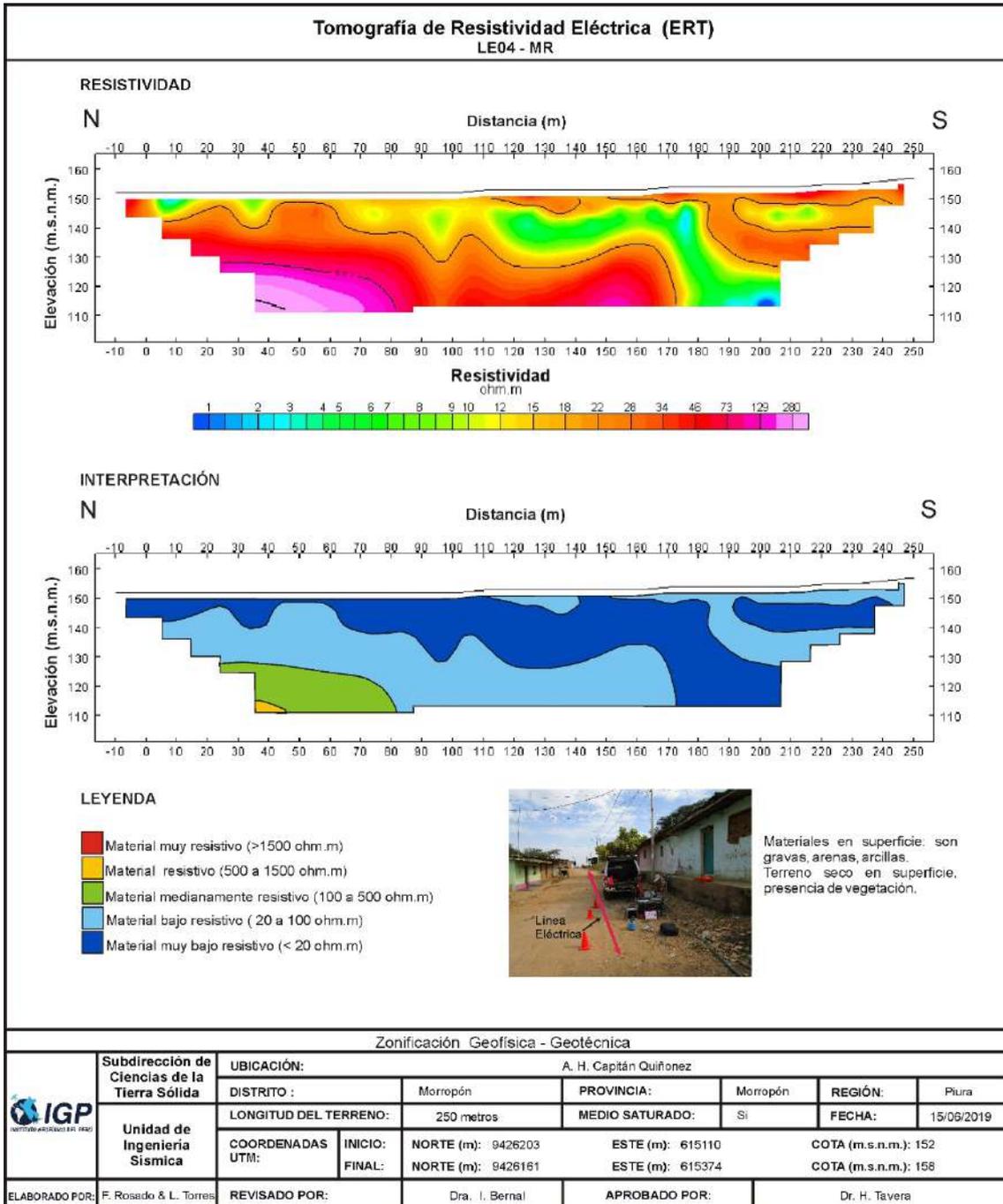


Figura 19. ...Continuación.../ Resultado de tomografía de resistividad eléctrica para la línea LE04-MR.

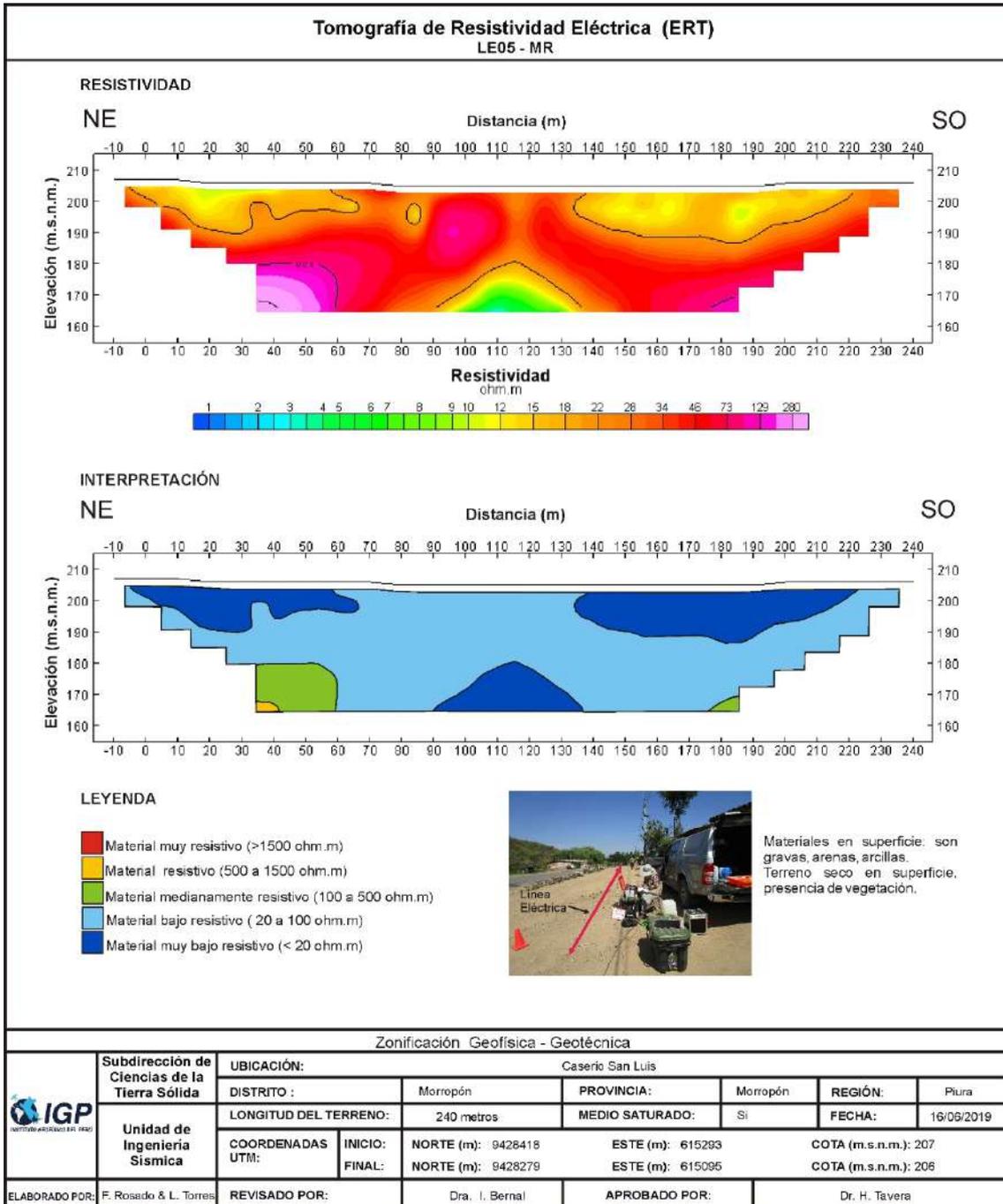


Figura 19. ...Continuación.../ Resultado de tomografía de resistividad eléctrica para la línea LE05-MR.