

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

Zonas Geográficas con Gestión de Información Sísmica



ZONIFICACIÓN GEOFÍSICA – GEOTÉCNICA DEL ÁREA URBANA DE MANCORA

Instituto Geofísico del Perú

Presidente Ejecutivo: Hernando Tavera

Director Científico: Danny Scipion

Autores

Isabel Bernal

Caracterización Geofísica del área urbana de Máncora

Juan Carlos Gomez

Caracterización Geológica y Geotécnica del área urbana de Máncora

Equipo de Evaluación Geológica y Geotécnica: Segundo Ortiz Yovera / Pilar Vivanco López / Víctor Alarcón Cervantes / Mariana Vivanco Manrique / Héctor Lavado Sánchez / Giovana Gutiérrez Medina / Belinia Baez Castro

Equipo de Evaluación Sísmica y Geofísica: Kelly Pari Rondón / Liliana Torres Velarde / Fabiola Rosado Moscoso / Luz Arredondo García / Wilfredo Sulla Huilca / Javier Oyola Coral / Jorge Salas Coral

Personal de apoyo Augusto Cárdenas Ausejo/ Roberth Yupanqui Zelada

Personal administrativo: Marisol Enríquez Huamán/ Esther Campos Córdova

Este Informe ha sido producido por:

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

ZONIFICACIÓN GEOFÍSICA – GEOTÉCNICA DEL ÁREA URBANA DE MÁNCORA

**Distrito de Máncora - Provincia de Talara
Región de Piura**

RESUMEN

En el marco del Programa Presupuestal por Resultados N°068: Reducción de la Vulnerabilidad y Atención de Emergencias por Desastres se ejecutó el proyecto “Zonas Geográficas con Gestión de Información Sísmica”, el mismo que tuvo como una de sus actividades la “Generación de Estudios Territoriales de Peligros Sísmicos” obteniéndose como resultado final la Zonificación Geofísica - Geotécnica de las áreas urbanas de Máncora (Distrito de Máncora), La Arena (distrito de La Arena), La Unión (distrito La Unión), Morropón (Distrito Morropón), Talara (Distrito Pariñas), Querecotillo (Distrito Querecotillo), Las Lomas (Distrito de Las Lomas) y Tambogrande (Distrito de Tambogrande). Estos estudios permiten conocer el Comportamiento Dinámico de los suelos a partir de la recolección de datos de campo utilizando técnicas geofísicas, sísmicas, geológicas y geotécnicas.

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

INDICE

RESUMEN

ÍNDICE

PARTE 1: Introducción

1. Introducción

1.1. Objetivo

1.2. Historia

1.3. Accesibilidad y clima

1.4. Economía

1.5. Estudios Previos

2. Condiciones locales de sitio

2.1. La Norma Técnica E.030

PARTE 2: Caracterización geológica y geotécnica del área urbana de Máncora

PARTE 3: Caracterización geofísica del área urbana de Máncora

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS: Los mapas temáticos, resultados geotécnicos y geofísicos están contenidos en los Anexos.

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 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 las siguientes ciudades (Figura 1):

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

De acuerdo a la historia sísmica del Perú, la región norte ha sido afectada en varias oportunidades por eventos sísmicos de variada magnitud que han generado altos niveles de sacudimiento del suelo, puesta en evidencia con los daños observados post-sismo en el región Piura (Silgado, 1978; Tavera et al. 2016). Al ser los sismos cíclicos, es de esperarse que, en el futuro las mismas ciudades y/o áreas urbanas sean afectadas por nuevos eventos sísmicos con la misma o mayor intensidad. Entonces, no es tan importante el tamaño del sismo, sino la intensidad del sacudimiento del suelo, la educación de la población y la calidad de las construcciones.

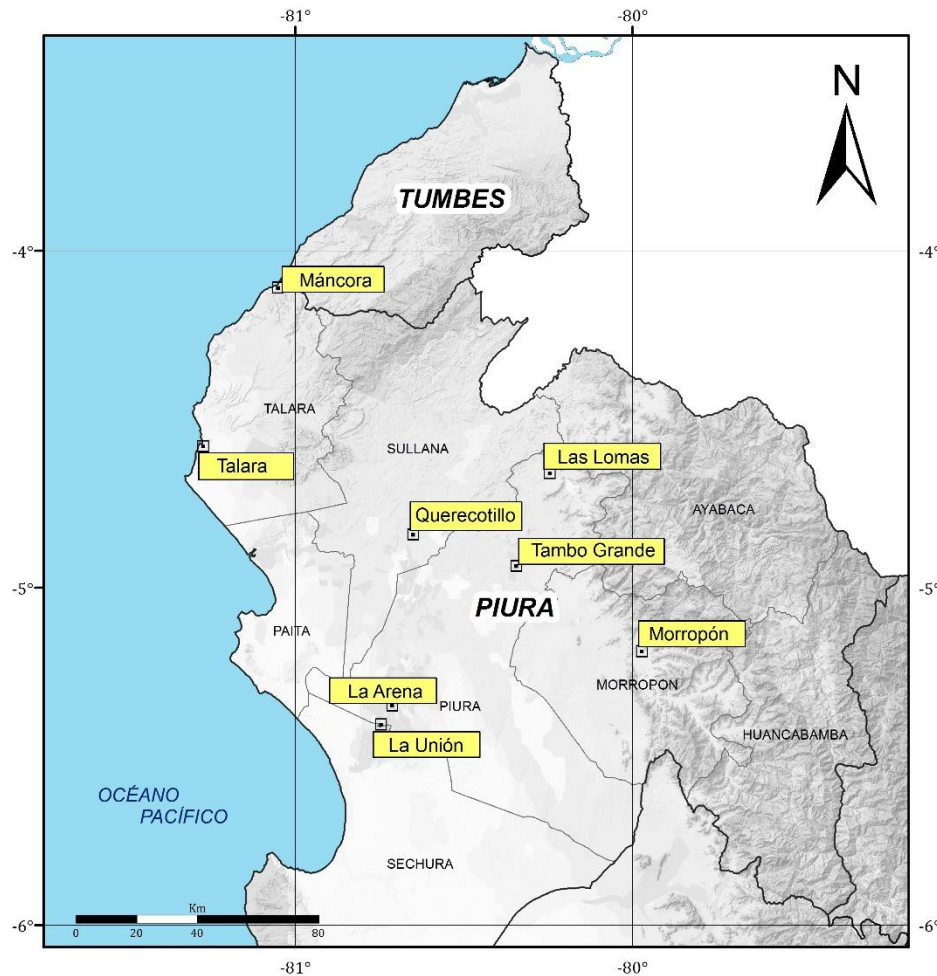


Figura 1: Distribución espacial de las ciudades en las cuales se realizaron los estudios de Zonificación Geofísica – Geotécnica de suelos.

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 datos sísmicos, geofísicos, geológicos, y geotécnicos. Los resultados que se obtienen permiten comprender que no hay suelo malo y que solamente se debe considerar el diseño y la construcción de viviendas y estructuras adecuadas para cada tipo de suelo. Dentro de este contexto, la población del área urbana de Máncora debe comprender que existen tres (3) reglas para construir una casa sismorresistente (www.acerosarequipa.com):

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

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

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

Es importante, remarcar que los Mapas de Zonificación 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 a cumplir en este estudio es obtener el mapa de Zonificación Geofísica - Geotécnica para el área urbana de Máncora, provincia de Morropón, región de Piura, a partir de la integración de los resultados obtenidos con diferentes estudios considerando datos sísmicos, geofísicos, geológicos y geotécnicos. Asimismo, es de interés del presente estudio que las autoridades dispongan de un documento técnico que les ayude en el desarrollo y ejecución de proyectos orientados a la gestión del ordenamiento territorial y desarrollo sostenible de la ciudad.

1.2. Historia

Máncora tiene una historia que se remonta al 14 de noviembre del siglo XX, fecha en que fue fundada (Figura 2). Los primeros asentamientos humanos de Máncora se encontraron en la quebrada Fernández, los vestigios encontrados aquí datan de 5 a 9 mil años antes de Cristo y son considerados como los más antiguos de la región Piura. Otras culturas que también poblaron Máncora son la cultura Chincha y por supuesto el Imperio Incaico.



Figura 2: Vista panorámica del municipio del área urbana de Máncora.

Según Néstor Martos Garrido, la terminación 'ura' significa 'lugar al lado del agua' en el lenguaje Tallán; y dado que el nombre de Máncora pudo haber sido en un inicio el de Mancura, junto a otros nombres de lugares de la región como Piura, Sechura, etc., podrían tener cierta coincidencia pues todos se encuentran cerca de ríos o del mar. La cultura regional Tallán se desarrolló en esta región y fue denominada así por el imperio Incaico, pues la palabra Tallán haría referencia a los artesanos del lugar que trabajaban echados boca abajo sobre una banca.

Los españoles, en el transcurso de su estadía en el Perú, fueron los encargados de adaptar los nombres de los lugares. Según el mancorense

Leoncio Cirilo, el nombre de Mancura se volvió Máncora, Tumpi en Tumbes o Catac Ccaos en Catacaos, según el

1.3. Accesibilidad y Clima

La zona de estudio se ubica a 1165 km al norte de Lima, provincia de Talara, región Piura, en las coordenadas UTM 494025 E y 9546033 N, a una altura de 31 m s.n.m (Figura 3). Máncora está conformada por el Balneario (casco urbano), sectores Las Pocitas, Las Palmeras, El Bosque, Uno de Mayo, Nicaragua, La Primavera, Barrios Industrial, Seis de Febrero y Leticia, así como, AA.HH. Nuevo Máncora, Víctor Raúl y Diez de Abril.

Los principales accesos a Máncora son por vía terrestre, desde la ciudad de Lima hacia Piura por la carretera Panamericana Norte (en un recorrido de 1000 km), luego se continúa por en un recorrido de 165 km aproximadamente en un tramo en regular estado de conservación. La segunda vía, es la aérea, su acceso es por el aeropuerto internacional Montes, ubicado en un área aledaña a la base aérea “El Pato” de la Fuerza Aérea del Perú en la ciudad de Talara, en regular estado de conservación, luego se sigue por la carretera Panamericana Norte en un recorrido de 165 km aproximadamente.

Con respecto al clima, la estación meteorológica más cercana es la estación Hacienda Fernández, la cual se encuentra ubicada en las coordenadas geográficas 4° 10' 1" S 80° 57' 1" a una altura de 182 m s.n.m. en el distrito de Casitas, provincia Contralmirante Villar, región Tumbes, en la margen derecha de la quebrada Fernández y a 12 km al noreste del centro urbano de Máncora.

Esta estación no cuenta con datos disponibles en la web del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), por lo que se recurrió a otras fuentes como es el “Estudio de Preinversión a nivel de perfil”,

el cual indica que la ciudad de Máncora tiene una temperatura promedio de 26 °C con máximas de 35 °C a 40 °C. Asimismo, *WeatherSpark* señala que las precipitaciones máximas se presentan en los meses de febrero a marzo.

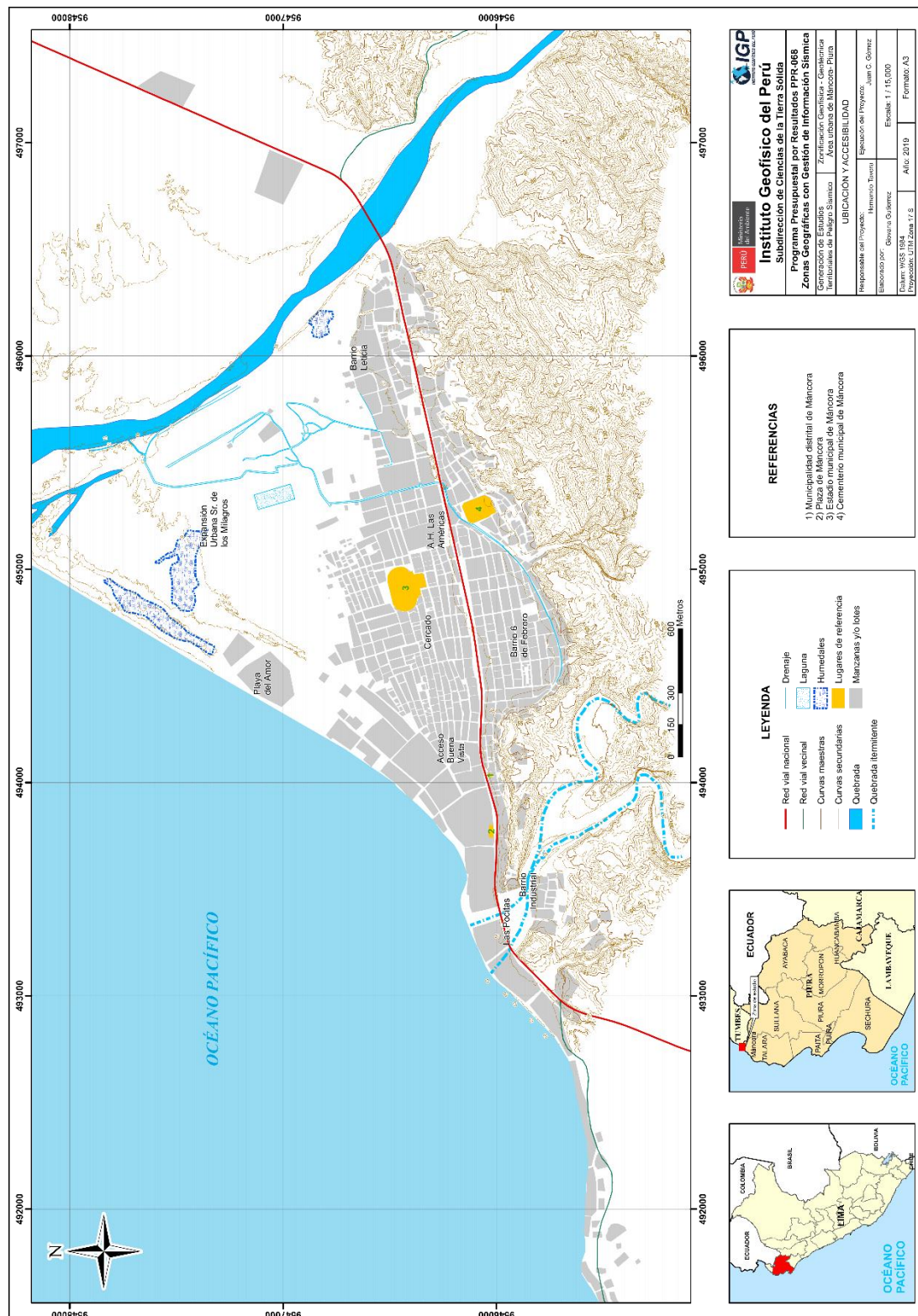


Figura 3: Mapa de ubicación geográfica del área urbana de Máncora.

1.4. Economía

Máncora es uno de los distritos más turísticos del Perú y su potencial económico está basado en la inversión privada, con la construcción de hoteles de lujo y difusión de la gastronomía. La economía también está basada en la pesca tradicional y responsable.

La pesca es la actividad económica más antigua en el Puerto de Máncora, antes del desarrollo Turístico en estas Playas: Actualmente, el desembarque de captura de pesca en el muelle de Máncora a lo largo de los últimos años, se ha caracterizado por las fuertes fluctuaciones que presenta, con tendencias a la disminución, lo que no permite una estabilidad económica y laboral para los pescadores. La producción del 2003 fue de 817 TM; sin embargo, el 2004 se registró una recuperación, desembarcándose 2,075 TM.

1.5. Estudios previos

Para el distrito de Máncora, se ha recopilado información sobre informes técnicos donde se describen la geología regional, ocurrencia de eventos naturales (inundaciones, deslizamientos, huaycos, sismos, entre otros) que afectaron la seguridad física del distrito en mención; así como, características físicas de los suelos con el fin de ser consideradas para cumplir con los objetivos del presente estudio; además de complementar los resultados a obtenerse. Entre los principales documentos técnicos consultados, se tiene:

- Diario el Comercio, (2019) – Piura: Siete familias salvan de morir tras deslizamiento de cerro Máncora. La nota periodística hace mención que siete familias se salvaron de morir aplastadas tras el deslizamiento de un cerro ocurrido en el distrito de Máncora, provincia de Talara, en la región Piura. El hecho sucedió el 17-03-19 pasadas las

4:00 p.m. en el sector Uno de Mayo, ubicado a solo cinco minutos del balneario. Las viviendas quedaron totalmente destruidas por el derrumbe. Si bien no se reportó que hubo heridos, las siete familias, incluidos menores de edad, perdieron todas sus pertenencias y decidieron buscar refugio en hogares de sus familiares.

Según el alcalde distrital, Alexander Ramírez, existen otras 14 familias en riesgo ante un nuevo derrumbe, las cuales esperan ser evacuadas a un espacio seguro. “El cerro sigue humedecido y por eso estamos previendo un local de usos múltiples para las familias que están en peligro”. Además, en el año 2017 hubo familias damnificadas por un deslizamiento en el cerro Los Incas, ubicado a tres kilómetros del sector Uno de Mayo. “Esas familias fueron reubicadas más adelante”, sostuvo. Otra zona vulnerable, con viviendas asentadas en la ladera de un cerro es Los Balcones, donde también urge evacuar familias (Figura 4).



Figura 4: Deslizamiento de cerro en Máncora, sector Uno de Mayo, provincia Talara, región Piura (Fuente: Diario El Comercio).

- INDECI, (2017) – Inundación afecta el distrito de Máncora – Piura. reporte complementario N° 194 – 23/03/2017. COEN – INDECI /12:00 horas (Reporte 1).Indica que “el 22 de marzo del 2017, a las

08:00 horas aproximadamente, a consecuencia de intensas precipitaciones pluviales registradas en la zona se activó las quebradas Cabo Blanco y Fernández que produjo una inundación que afectó viviendas, instituciones públicas y áreas de cultivo en el distrito de Máncora". DIARIO EL COMERCIO, (2015) – Máncora pierde el 70 % de su humedal debido a invasiones

En este diario se hace mención que "Del humedal de Máncora, ubicado en el balneario piurano del mismo nombre, casi no queda nada. Las construcciones ilegales, las aguas servidas y la acumulación de desmonte y basura han provocado la pérdida del 70% de esta zona. En un recorrido por la zona se comprobó que el humedal ha sido devastado. La debacle de esta zona protegida comenzó en 1998, cuando la albufera fue reduciéndose ante la construcción de edificaciones en el balneario". En la Figura 5 se muestra la comparación del estrechamiento de la albufera desde el año 2001 hasta el 2015.



Figura 5: Estrechamiento de la albufera, período 2011-2015.

- DHN, (2013) - Caracterización de la dinámica marina y perfil de cota en playa Máncora. Marina de Guerra del Perú, Dirección de Hidrografía y Navegación, Departamento de Oceanografía. El estudio indica que en el mes de marzo de 2012, se evidenció que el malecón presentaba colapsos y cimientos erosionados producto de la influencia del oleaje sobre las corrientes, pendiente de playa y transporte de sedimentos, además el mar no llegaba hasta estas zonas; sin embargo, en febrero de 2013, se menciona que en la zona al norte del malecón el agua llegó hasta los muros de contención y se notó una mayor erosión en la zona central (Figura 6). La playa actual presenta poca pendiente debido a la falta de reserva de arena (dunas) que son elementales para que se pueda proteger durante los temporales o épocas de mayor frecuencia de bravesas de mar, lo cual evita que las tasas de erosión sean mayores a las de la sedimentación en ciclos estacionales o interanuales; es decir, a lo largo de la costa. Máncora ha perdido en los dos últimos años entre 20 m a 40 m de playa frente al malecón municipal; mientras que, más al norte perdió 60 m de playa de arena debido a la erosión.



Figura 6: Mirador central afectado por oleaje (Fuente: DHN, 2013).

Finalmente, se concluye que las comparaciones de la Línea Alta de Marea (LAM), con estudios históricos muestran un desplazamiento de ésta hacia la zona costera, lo cual también es indicio de erosión, pues en julio de 2004 la playa era aproximadamente 40 m más ancha que en agosto de 2011 y 30 m más ancha en promedio que en febrero de 2013.

- Rivera, P., A., (2013) - Proyecto: Mejoramiento y ampliación del Parque Grau del balneario de Máncora, provincia de Talara, región Piura. Estudio de preinversión a nivel de perfil. municipalidad distrital de Máncora. Este proyecto tiene como fines el incremento del turismo y actividades ciudadanas, así como el aumento de la seguridad. Entre los aspectos socioeconómicos de la población, cuyos datos fueron obtenidos del censo 2007, se menciona que:

Según el censo 2007, la población fue de 10547 habitantes, lo que constituye el 63 % del total del región Piura. En el año 2012 fue de 12 203 habitantes y se estima que para el año 2022 la población se incrementará a 16,336 habitantes con una tasa creciente de 0.0296 %. Por otro lado, el 75.63% de las viviendas particulares poseen el servicio de agua, 72.6% poseen servicios higiénicos y el 78.8% poseen alumbrado público.

Además, según el análisis de peligros, el distrito de Máncora cita textualmente que *"la actividad pluvial en condiciones normales no causa daños; sin embargo, en eventos extraordinarios como el fenómeno El Niño, la periódica intensidad pluvial si causa daños; es decir, se presentan inundaciones (frecuencia Baja, intensidad Alta), lluvias intensas por efectos del fenómeno El Niño (frecuencia Baja, intensidad media), por otro lado, los sismos son de frecuencia e intensidad Baja"*.

En cuanto a los aspectos geológicos, se observan rocas sedimentarias, las cuales sufren una constante transformación física y química, cubiertos por los depósitos fluviales.

➤ Roja (2010) - Cuencas sedimentarias del noroeste peruano. Geología Talara. Informe Universidad Nacional de Ingeniería. En este informe se indica que el distrito de Máncora abarca 100.19 km², con una densidad poblacional de 105.3 hab/km² que se dedica principalmente al trabajo no calificado y, como segunda ocupación, al trabajo de servicio personales y vendedores de comercio-mercado. Según el estudio, las precipitaciones son escasas, solo durante épocas de la ocurrencia del fenómeno El Niño se presentan cursos hídricos temporales, en las quebradas que llegan a desembocar al mar: Fernández, La Huaquería, Conulsa, Cabo Blanco, Los Pasos y Del Camal.

En geología, a escala regional se hace mención acerca de la detección de fondos rocosos en la región del banco de Máncora constituidos por basalto con una base deformada por acción del tectonismo y con presencia de fallas geológicas expuestas a la columna de agua, así como zonas cubiertas por sedimentos de estructura homogénea y laminada. El banco de Máncora es un monte submarino a una profundidad entre 350 a 500 m., con pendientes abruptas que surgen desde el fondo de océano, formados cuando las plumas de magma caliente son empujadas hacia el exterior. Además, la zona se caracteriza por la presencia de fallas planas o lístricas que separan horst y graben. Esto se interpretó inicialmente (Figura 7), desde imágenes DEM (SRTM, Nasa), pero se completó con trabajos en campo, geológicos y geofísicos que mostraron que el estilo estructural para la parte norte de la cuenca Talara se encuentra dentro del marco

extensional en una cuenca de Antearco, con lineamientos NE-SW que se prolongan hacia el mar (Figuras 8 y 9). Las principales fallas son:

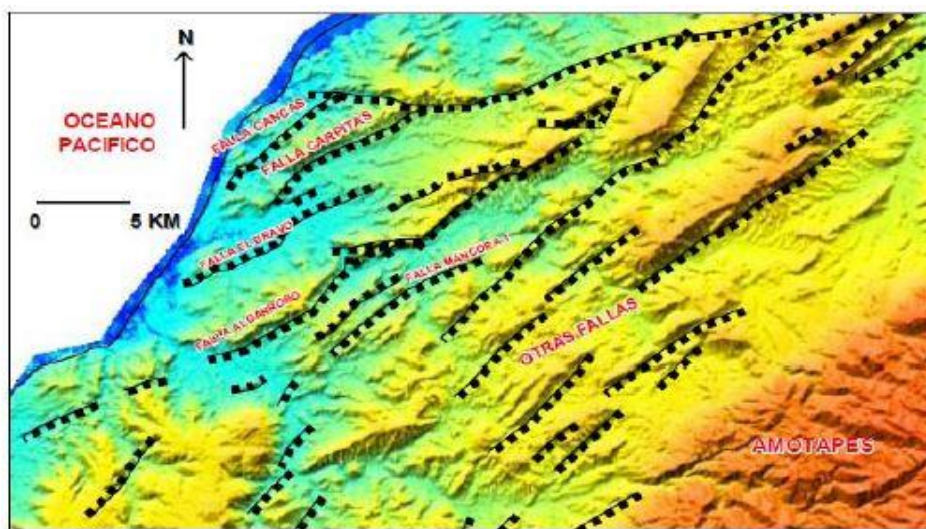


Figura 7: Imagen DEM (SRTM, Nasa) que visualiza las principales fallas en la región Máncora (área Carpiñas, parte norte de la cuenca Talara). En ella se observa fallas normales NE-SO características en el área de estudio.

Falla Máncora: Ubicada aproximadamente a 2.5 km al SE de la ciudad de Máncora. Tiene un rumbo aproximado NE-SO, con un grado de inclinación de 60°.

Otras fallas: existen dos fallamientos de rasgos importantes en las quebradas Seca y Máncora, dirección NE-SO. Estructuras tipo *rollover*, bloques basculados con dirección el E-SE y pliegue acomodado (interpretado a partir de los cambios de buzamiento) hacia los Amotapes.

- GORE-PNUD, (2003) – Diagnóstico socio económico y ambiental de la Zona Marino Costera – ZMC de la provincia de Talara. Gobierno Regional de Piura y programa de desarrollo de las Naciones Unidas. En este estudio se hace mención que Máncora es uno de los distritos más turísticos, cuyo potencial económico está basado en la inversión privada, con la construcción de hoteles de lujos y difusión de la

gastronomía. La economía también está basada en la pesca tradicional y responsable.

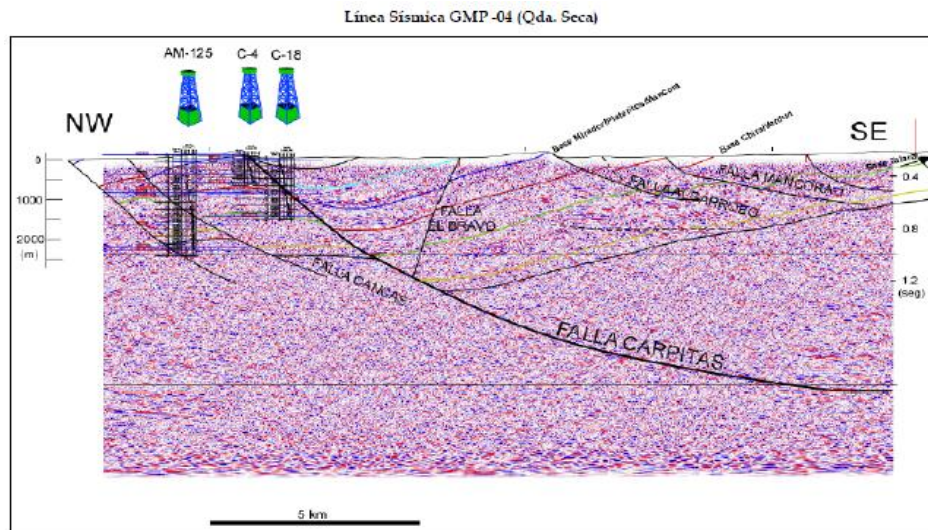


Figura 8: Interpretación de la sección sísmica GMP-04 calibrada a partir de sismogramas sintéticos y de información de superficie. A la derecha se tienen valores de profundidad en segundos y a la izquierda se tiene los valores de profundidad en metros. La línea amarilla es la base de Ostrea-Echio, la negra es la base de Mogollón y tope del Paleozoico.

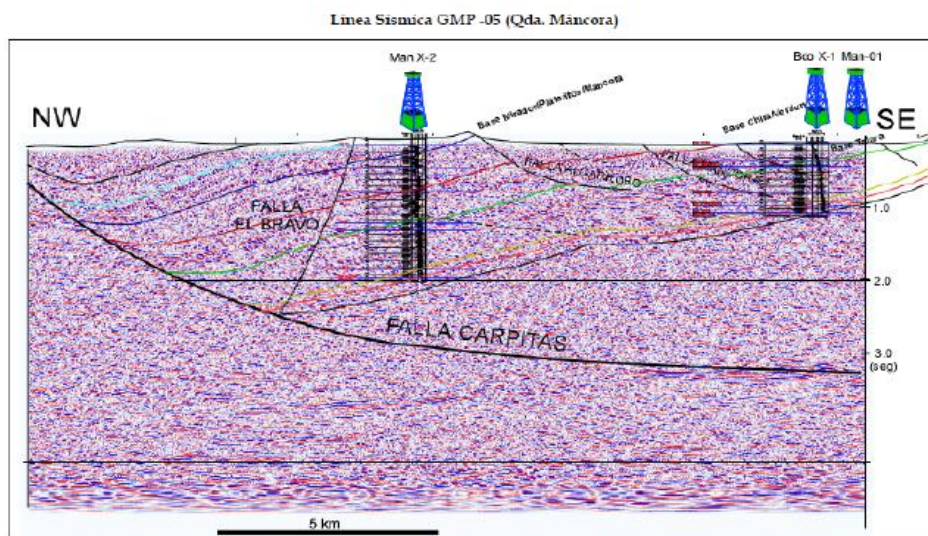


Figura 9: Interpretación de la sección sísmica GMP-05 calibrada a partir de sismogramas sintéticos y de información de superficie. A la derecha se tienen valores de profundidad en segundos y a la izquierda se tiene los valores de profundidad en metros. La línea amarilla es la base de Ostrea-Echio, la rosada es la base de Mogollón y la línea negra es la base de San Cristóbal y tope del Paleozoico.

En cuanto a geología, a escala 1:100,000, Máncora es considerado como un ecosistema marítimo costero de gran biodiversidad debido a su riqueza y formado por la confluencia de la corriente de Humboldt

(corrientes de aguas frías). Tiene una extensión de 600 km² y está conformado por rocas del tipo basalto cuya base ha sido deformada por tectonismo, con presencia de fallas geológicas expuestas a la acción marina y cubiertas por sedimentos de estructura homogénea o muy laminada.

En Máncora se encuentra ubicado un humedal, categorizado como albufera por el ANA, el cual ha sido estrechado, degradado por las edificaciones que se vienen construyendo, en algunos casos rellenando la albufera con desmonte o greda para edificar sobre la misma. Por otro lado, existe un deterioro paulatino de los diversos ecosistemas debido al crecimiento demográfico y descarga de diversos efluentes al mar al no contar con un relleno sanitario, pues muchas lagunas de oxidación se encuentran en estado obsoleto y/o los residuos sólidos son almacenados en botaderos a cielo abierto. Finalmente, el cambio climático se evidencia en la erosión en las playas de Máncora, por los fuertes oleajes.

➤ Palacios, (1994) - Geología de los cuadrángulos Paita 11-a, Piura 11-b, Talara 10-a, Sullana 10-b, Lobitos 9-a, quebrada seca 9-b, Zorritos 8-b, Tumbes 8-c y Zarumilla 7-c. Serie A: Carta Geológica Nacional. boletín N° 54. Geología – Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico-INGEMMET. En este boletín se describen las unidades litológicas aflorantes a escala 100, 000 en el área de estudio, cuyas edades oscilan desde el Ordovícico hasta el Cuaternario Reciente. Se ha cartografiado en el área de Máncora a la Formación Mirador (Temi), constituida por rocas de origen sedimentario-marino (conglomerado, areniscas y cuarcitas) y al Grupo Talara (Formación Chira – Verdún conformada por arenisca, lutitas bentoníticas laminares), ver Figura 10.

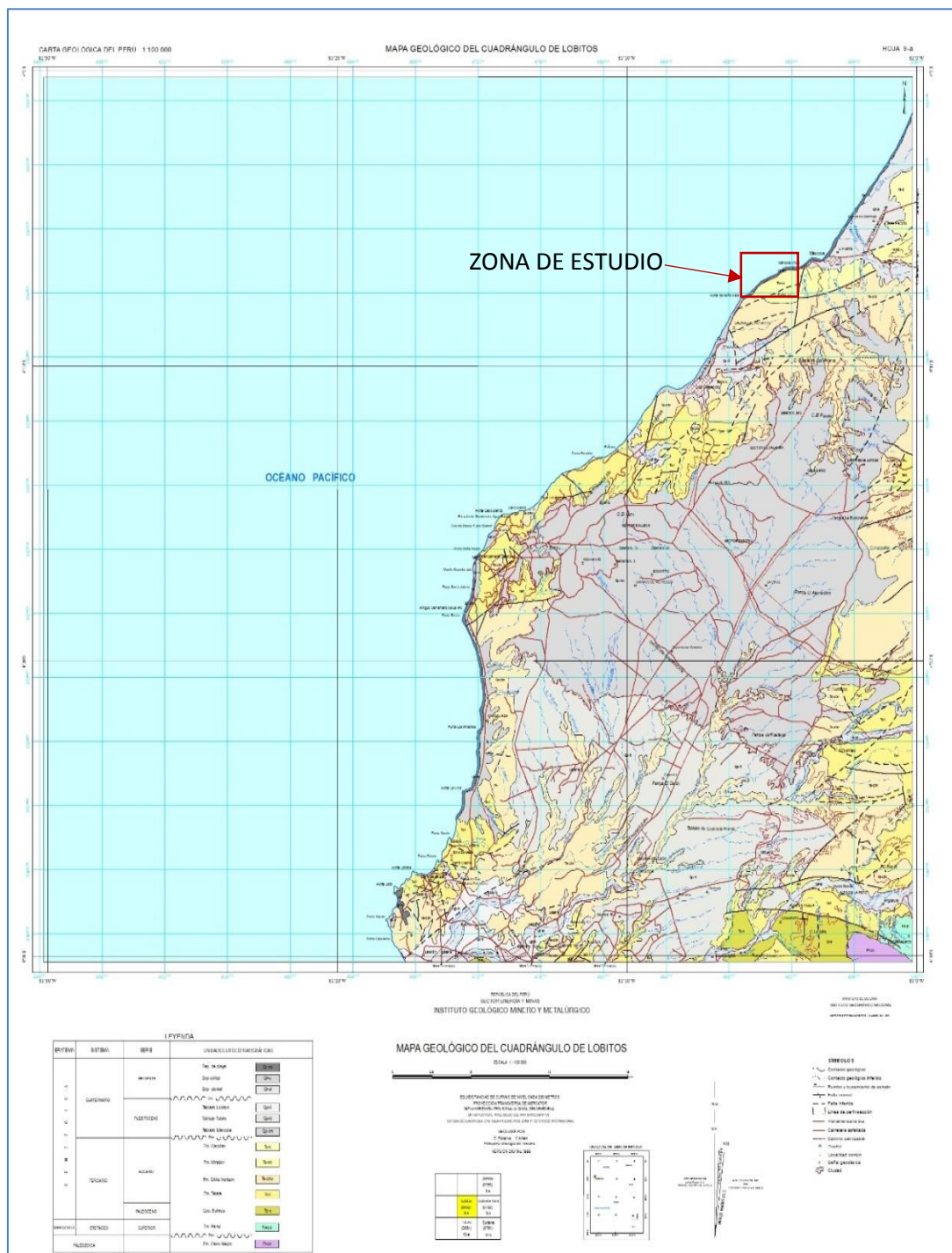


Figura 10: Mapa de Geología regional actualizado, el área de estudio comprende el cuadrado rojo. Fuente: INGEMMET (1999).

2. CONDICIONES LOCALES DE SITIO

En la actualidad, es ampliamente conocido que las condiciones locales de sitio son uno de los principales factores responsables de los daños que se producen en cualquier tipo de edificación durante la ocurrencia de sismos severos. Este factor es fuertemente dependiente de las características 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 geofísica-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 a sus condiciones locales, pudiendo estos modificar el contenido frecuencial de las ondas y/o generar amplificaciones de las ondas sísmicas (Hartzell, 1992; Beresnev et al., 1995; Bard 1995; Lermo y Chávez-García, 1993, 1994 a, b; Bard y Sesame, 2004; Bernal, 2006; 2018), ver Figura 11.

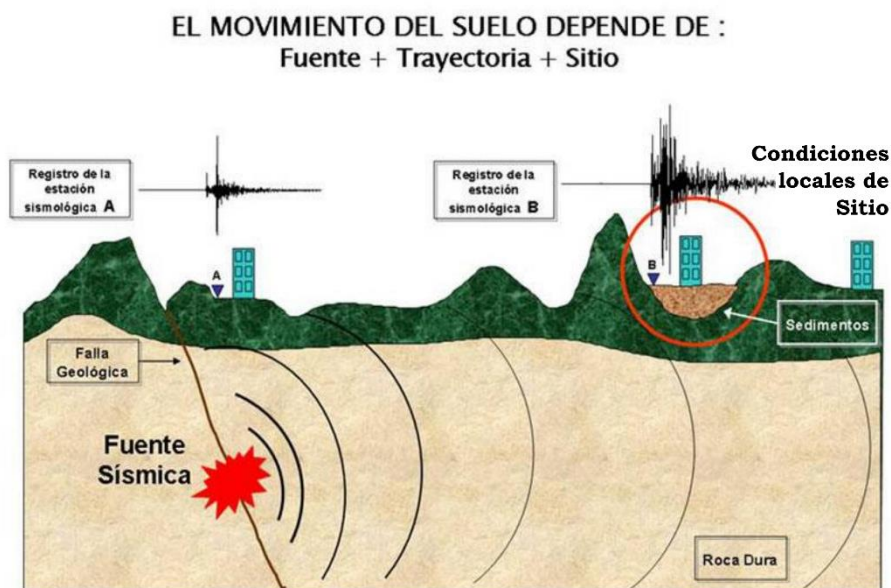


Figura 11: Las condiciones locales de sitio controlan la amplificación del sacudimiento del suelo, puesto en evidencia con la amplitud del registro sísmico obtenido sobre roca y sedimentos.

La metodología a seguir para lograr el mayor conocimiento sobre el comportamiento dinámico del suelo o efectos de sitio en regiones de moderada a alta sismicidad considera estudios geológicos, geomorfológicos, geotécnicos, sísmicos y geofísicos. Cada uno de estos campos de investigación proveen de información básica 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.

2.1. La norma Técnica E.030

En el Perú, la construcción de obras civiles de cualquier envergadura debe considerar lo establecido por la Norma Técnica E.030 “Diseño Sismorresistente” del Reglamento Nacional de Edificaciones, modificada según Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda. Básicamente, esta norma considera los perfiles de suelos en función de sus propiedades físicas, tomando en cuenta la velocidad promedio de propagación de las ondas de corte, o alternativamente, para suelos granulares, considera el promedio ponderado de los N60 obtenidos mediante un ensayo de penetración estándar (SPT), o el promedio ponderado de la resistencia al corte en condición no drenada para suelos cohesivos. De acuerdo a esto, se ha establecido la definición de 5 perfiles, tal como se indica en la Tabla 1.

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

Perfil Tipo S0: Roca Dura, corresponde a las rocas sanas con velocidades de propagación de ondas de corte (VS) mayor a 1500 m/s.

Perfil Tipo S1: 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 VS, entre 500 y 1500 m/s.

Perfil Tipo S2: Suelos Intermedios, son suelos medianamente rígidos, con velocidades de propagación de onda de corte VS entre 180 y 500 m/s.

Perfil Tipo S3: Suelos Blandos, corresponden suelos flexibles con velocidades de propagación de onda de corte VS menor o igual a 180 m/s.

Perfil Tipo S4: Condiciones Excepcionales, corresponde a suelos excepcionalmente flexibles y los sitios donde las condiciones geológicas y/o topográficas son particularmente desfavorables, en los cuales se requiere efectuar un estudio específico para el sitio. Será determinado con un Estudio de Mecánica de Suelos (EMS).

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

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

Dónde:

d_i = espesor de cada uno de los estratos n .

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

En 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 a 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.

CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA DEL AREA URBANA DE MÁNCORA

CONTENIDO

1. METODOLOGÍA

2. GEOMORFOLOGÍA

- 2.1. Modelo Digital de Elevación (MDE)
- 2.2. Pendientes
 - 2.2.1. Clasificación del grado de pendientes
- 2.3. Unidades geomorfológicas
 - 2.3.1. Abanico aluvial
 - 2.3.2. Lechos aluviales
 - 2.3.3. Playa
 - 2.3.4. Tablazo
 - 2.3.5. Terraza marina

3. GEOLOGÍA

- 3.1. Geología local
 - 3.1.1. Formación Chira Verdun (Te-chv)
 - 3.1.2. Formación Mirador (Te-mi)
 - 3.1.3. Depósitos Cuaternarios
- 3.2. Geología Estructural
 - 3.2.1. Falla

4. GEODINAMICA SUPERFICIAL

- 4.1. Inundación
- 4.2. Movimientos en masa
 - 4.2.1. Deslizamientos
 - 4.2.2. Flujos de detritos
- 4.3. Elementos expuestos

5. ASPECTOS GEOTÉCNICOS

- 5.1. Exploraciones a cielo abierto (Calicatas, Norma ASTM 420)**
 - 5.1.1. Densidad del suelo in-situ (Norma ASTM D1556)**
- 5.2. Exploraciones con posteadora manual (Norma ASTM D1452)**
- 5.3. Ensayos de penetración dinámica ligera DPL (Norma DIN 4094)**
- 5.4. Resultados de los ensayos de laboratorio**
 - 5.4.1. Sistema Unificado de Clasificación de suelos SUCS
(Norma ASTM-D4827)**
- 5.5. Ensayos de corte directo (Norma ASTM D-3080)**
 - 5.5.1. Capacidad de carga portante**

1. METODOLOGÍA

Para realizar la caracterización geológica y geotécnica de Máncora, se ha seguido la siguiente metodología:

Gabinete: Las actividades realizadas incluyeron la revisión de imágenes satelitales WorlView-2 con resolución 0.5 m del servidor Digital Globe (año 2010) a fin 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.

Se realizaron exploraciones geotécnicas que incluyeron 7 calicatas, 7 densidades de campo, 9 ensayos de Penetración Dinámica Ligera-DLP y 14 auscultaciones manuales (posteos).

Asimismo, las muestras extraídas fueron analizadas en el laboratorio de mecánica de suelos para determinar la humedad natural, límites de Atterberg, granulometría y corte directo (para obtener parámetros de cohesión y ángulo de fricción de los suelos), que servirán para el cálculo de la capacidad portante.

Finalmente, la información recopilada en gabinete, así como, en campo y los resultados de laboratorio, se procesaron y analizaron para la elaboración del informe final.

2. GEOMORFOLOGÍA

La geomorfología estudia las diferentes formas de relieve de la superficie terrestre (geoformas) y los procesos que las generan. Este relieve es el resultado de la interacción de fuerzas endógenas y exógenas; las primeras, actúan como creadoras de grandes elevaciones y depresiones producidas fundamentalmente por movimientos en masa de componente vertical; las segundas, como desencadenantes de una continua denudación que tiende a rebajar el relieve originado, estos últimos llamados procesos de geodinámica externa se agrupan en la cadena meteorización-erosión, transporte y sedimentación (Gutiérrez, 2008). El estudio de la geodinámica externa se efectúa en un sistema proceso respuesta, siendo el primero el agente creador (origen) y el segundo la geoforma resultante.

El término geoforma es un concepto genérico que designa todos los tipos de formas de relieve independientemente de su origen y dimensión (Zinck, 1988; Zinck & Valenzuela, 1990).

En este capítulo se describen las características físicas de las geoformas existentes en la ciudad de Máncora, en relación a su origen. Previamente, para la digitalización del plano geomorfológico se han elaborado los planos Modelo Digital de Elevación (MDE) y Pendientes 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 Máncora.

2.1. 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, (Felícísimo, 1994).

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

En base al MDE elaborado para el área urbana de Máncora, se ha reconocido que la zona urbana (sectores Las Pocitas, Las Palmeras, El Bosque, Nicaragua, La Primavera, Barrios Industrial, Seis de Febrero y Leticia, así como los AA.HH. Nuevo Máncora, Víctor Raúl y Diez de Abril) se asienta a alturas entre los 10 y 43 m.s.n.m., hacia el noreste (Sector 1 de Mayo, tablazos y acantilados) se encuentran las áreas ubicadas a mayores altitudes, entre los 73 y 173 m.s.n.m.

2.2. Pendientes

Es el ángulo del terreno que se expresa en grados o porcentajes. Este parámetro influye en la formación de los suelos y condiciona el proceso erosivo, pues 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 del mapa de pendientes para el área urbana de Máncora fue desarrollado a partir del MDE haciendo usos de herramientas de geoprocésamiento (área de influencia, construcción de modelos, análisis espacial, etc.) para diferenciar gráficamente los ángulos de inclinación del relieve en el área de estudio (Figura 2).

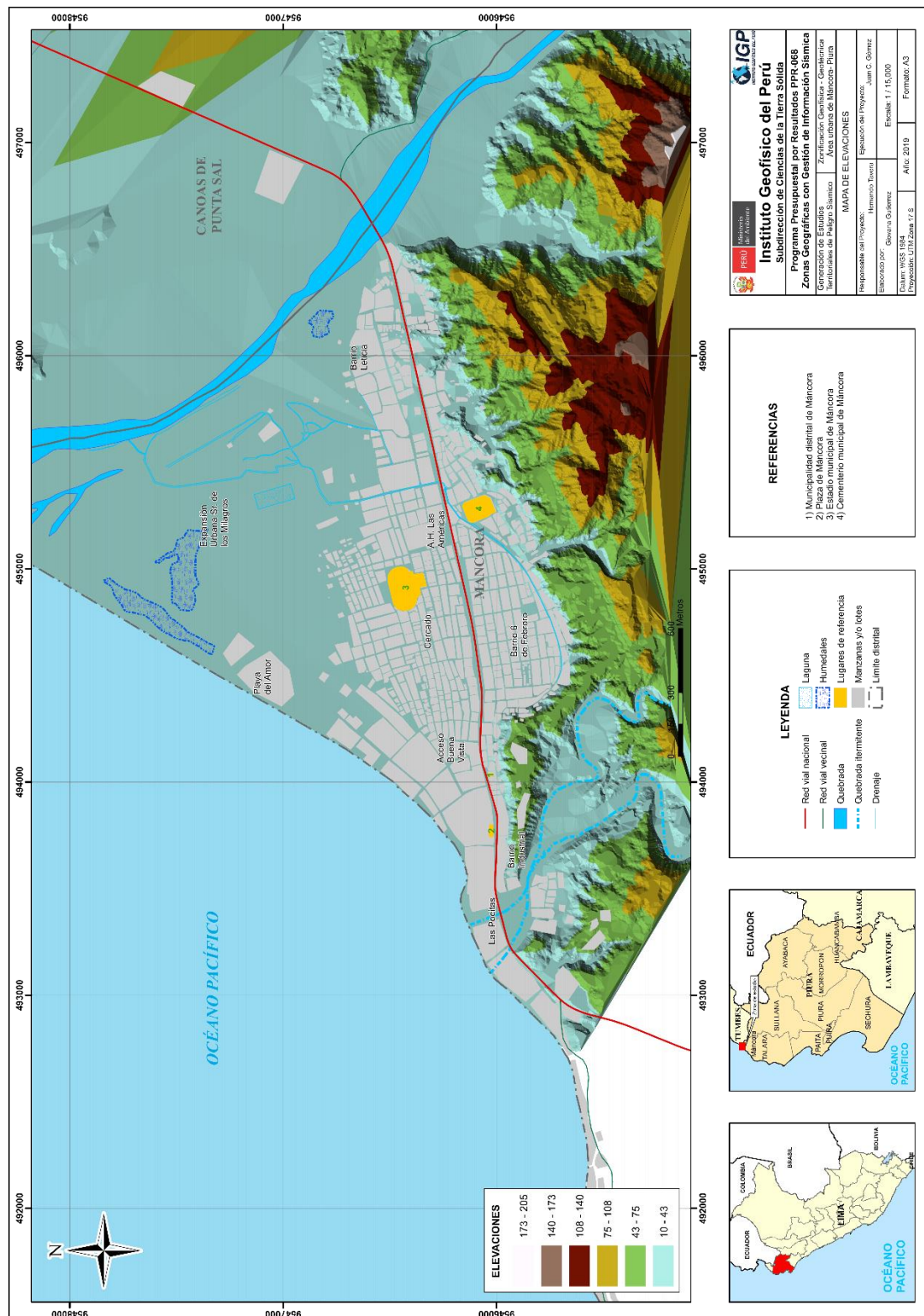


Figura 1: Mapa de modelo digital de elevación del área urbana de Máncora y alrededores.

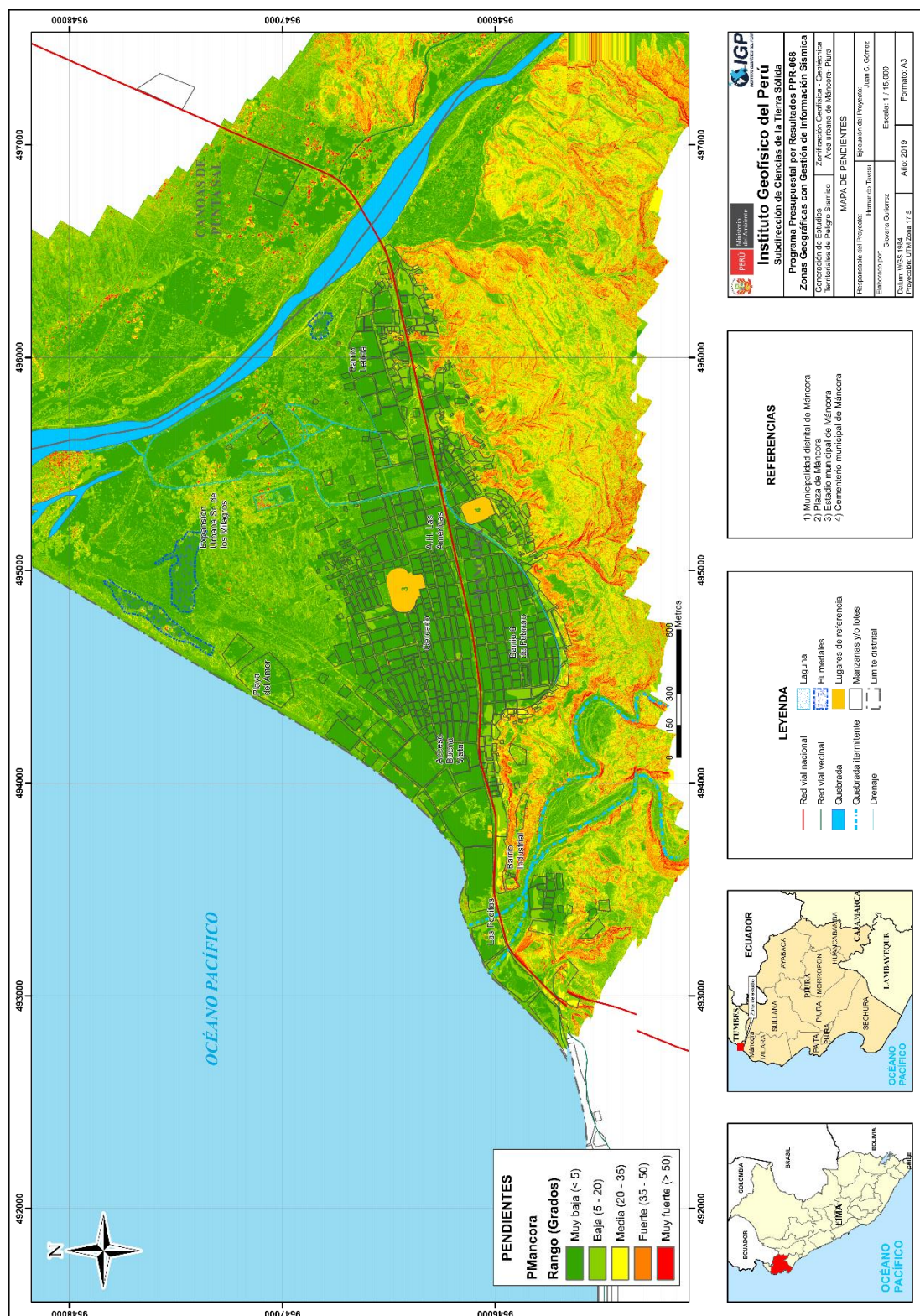


Figura 2: Mapa de pendientes del terreno del área urbana de Máncora y alrededores.

2.2.1. Clasificación del grado de pendientes

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

Tabla 1: Rangos de pendientes del terreno.

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

Fuente: Fidel et al., (2006)

La mayor parte del área urbana de Máncora se asienta sobre una terraza marina con pendientes menores $<5^\circ$, sin embargo, hacia el este se han identificado zonas cuyas pendientes superan los 20° .

2.3. 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.

Características físicas: Las características físicas de la forma, es decir, su relieve, expresa una combinación de parámetros como la pendiente, altura, geometría y drenaje (modificado de Pike et al, 2009). Estos

parámetros son directamente accesibles a la percepción visual proximal o distal, sea humana o instrumental.

Procesos: Los agentes modeladores como el agua, el viento, temperatura, entre otros, desencadenan diversos procesos externos tales como el intemperismo, meteorización, erosión, transporte y deposición generando diferentes geoformas, clasificándose de acuerdo a su origen en deposicional, 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 el área urbana de Máncora se cartografiaron 55 geoformas, tales como el abanico aluvial, lechos aluviales, playa, tablazos y terraza marina (Tabla 2 y Figura 3).

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

GEOMORFOLOGÍA PATRÓN					
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		PROCESO	UNIDAD GEOMORFOLÓGICA	ÁREA (HA)	ÁREA (%)
Pendiente	20° - 25°	Depositacional	Abanico aluvial	1350	45
Geometría	alargada				
Drenaje	dentrítico				
Pendiente	5°	Denudacional	Lecho aluvial	98	3
Geometría	alargada				
Drenaje	dentrítico				
Pendiente	<5°	Depositacional	Playa	42	2
Geometría	alargada				
Pendiente	>20°	Estructural	Tablazo	1356	45
Geometría	irregular				
Pendiente	< 5°	Estructural	Terraza marina	128	5
Geometría	irregular	Depositacional			

Fuente: Instituto Geofísico del Perú (IGP), 2019

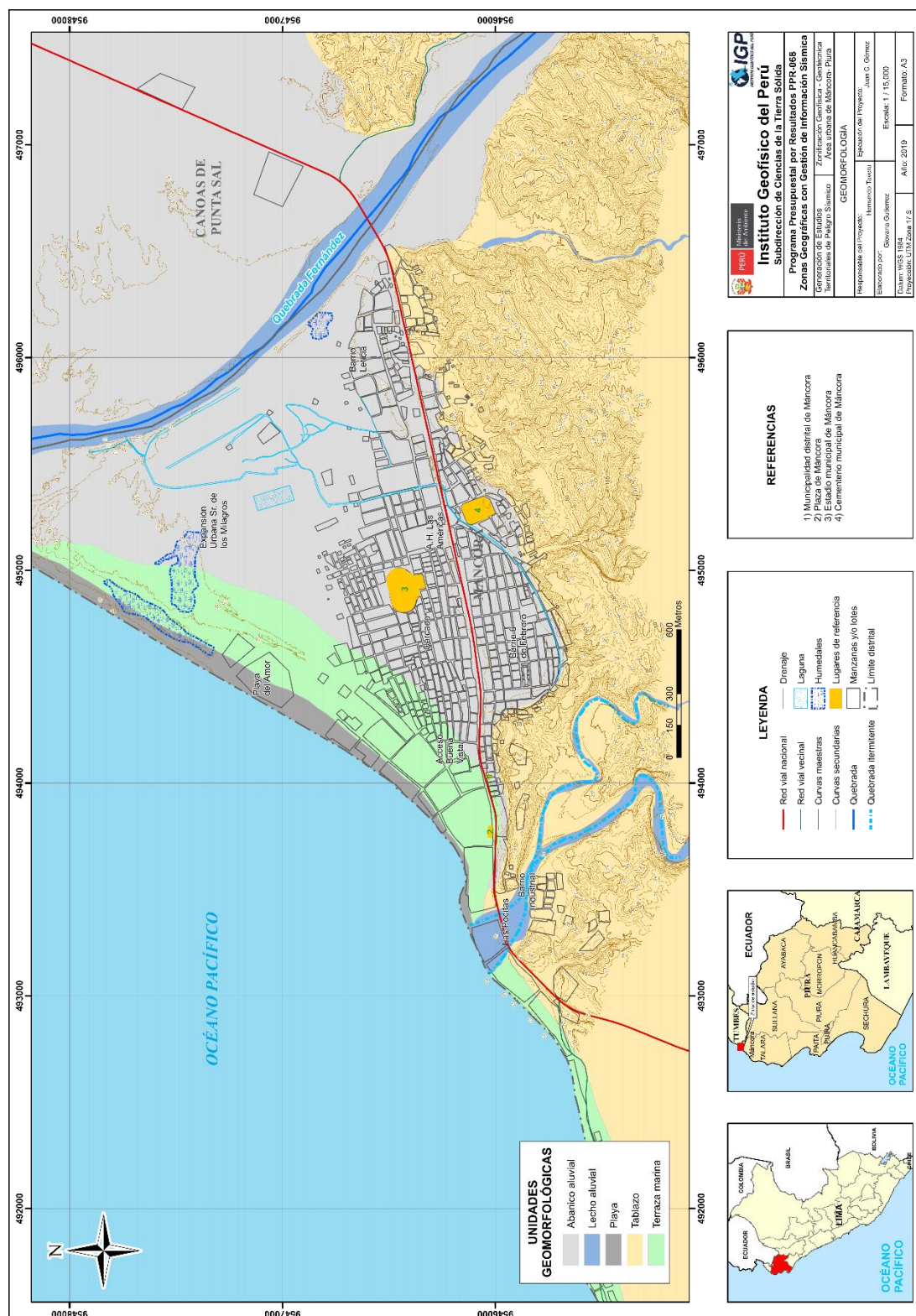


Figura 3: Mapa geomorfológico para el área urbana de Máncora y alrededores.

En el área de estudio se han reconocido las siguientes unidades geomorfológicas:

2.3.1. Abanico aluvial

Superficie ligeramente inclinada, cuyo relieve presenta pendientes menores a 12° , originada por corrientes de agua que fluyen rápidamente, hasta depositarse en zonas llanas conformando un cono o abanico. A la altura de la desembocadura, el ancho de su cauce alcanza los 2 km aproximadamente. Representa el 45% del área de estudio (Figura 4).



Figura 4: Abanico aluvial, sobre la cual se asienta el sector norte de Máncora.

2.3.2. Lechos aluviales

Conformado por el lecho de la quebrada Fernández, la cual presenta drenaje dendrítico.

Quebrada Fernández: Nace al noreste en el macizo de Los Amotapes donde recibe el nombre de quebrada Carrizo a una altura aproximada de 500 m.s.n.m. En su recorrido toma diferentes nombres como Quebrada La

Ventana, Grande y Madre del Agua, las que confluyen con las quebradas Manga Mocho y El Cardo para luego llamarse quebrada Fernández, toponimia por la cercanía al centro poblado de Fernández. Esta quebrada discurre en dirección este a oeste hasta desembocar en el mar.

El caudal es de régimen temporal y su cauce tiene un ancho que llega hasta 700 m; tiene una profundidad aproximada de 4 m y una pendiente muy suave de 1° , por lo que el mar ingresa en su cauce en una extensión de 2 km. Esta unidad representa el 3% del área de estudio (Figura 5).



Figura 5: Lecho aluvial de la quebrada Fernández

2.3.3. Playa

Son unidades formadas por la acción erosiva de las olas y posterior acumulación o acreción de sedimentos de arena, grava o mezcla de ambas, cuyo origen puede ser fluvial, erosión de los acantilados, sedimentos de fondo marino y eólico. En el área de estudio esta geoforma se observa a lo largo del litoral al noroeste del centro urbano (se extiende en 3 km y un ancho de 20 m, aproximadamente). Esta unidad representa el 2% del área de estudio (Figura 6).



Figura 6: Playa ubicada a 3 km al noroeste del centro urbano de Máncora

2.3.4. Tablazo

Es una terraza marina levantada durante el Pleistoceno. Su relieve es generalmente llano, aunque presenta ligeras ondulaciones producidas por la acción eólica y la disección de pequeñas quebradas, las cuales se activan solo en periodos lluviosos. Esta inclinada hacia el sureste y presenta una altura de 120 m, aproximadamente, entre los 180 y 300 m.s.n.m. Esta unidad representa el 45 % del área de estudio (Figura 7).

2.3.5. Terraza marina

Esta unidad es producto de cambios tectónicos (subsistencia de la costa) y variaciones del nivel del mar. Su relieve presenta ligeras ondulaciones producto de la erosión eólica y por el cruce de pequeñas quebradas que se activan solo en periodos lluviosos. Presenta un desnivel de 120 m, ubicándose de geometría escalonada levemente inclinada hacia el mar. Esta unidad se encuentra ubicada al este de la ciudad de Máncora sobre la cual

se expande la ciudad. Esta unidad representa el 5 % del área de estudio (Figura 8).

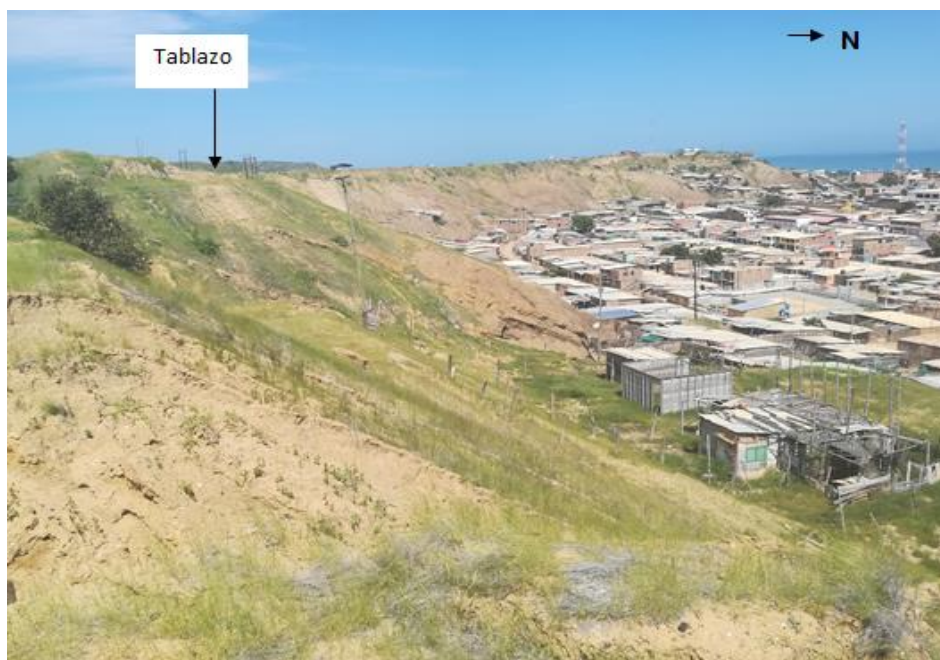


Figura 7: Tablazo que circunda la ciudad de Máncora.



Figura 8: Tablazo y terraza marina.

3. GEOLOGIA

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 deposición de rocas preexistentes (proceso de meteorización).

El intemperismo, asociado a los procesos de meteorización, es básicamente un proceso químico. Este proceso se desarrolla mediante la remoción de los elementos más pequeños de un cuerpo rocoso, remoción que produce espacios libres en el mismo cuerpo. Los espacios libres son rellenados por el agua, el cual actúa como un disolvente que penetra y acelera el proceso de desintegración. La roca se vuelve porosa, después se descompone en fragmentos cada vez más pequeños hasta que, al ser transportada y depositada, se convierte en suelo. Los procesos químicos son complejos y dependen de los diversos minerales que constituyen las rocas lo que determina también su 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; por ello 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 y 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 qué procesos actuaron en el desplazamiento de las rocas y materiales que constituyen los suelos sobre los que se asienta la zona estudiada.

3.1. Geología local

La zona de estudio está dominada por afloramientos de rocas de origen sedimentario-marino de la Formación Mirador, que conforman el basamento y cubiertos por depósitos Cuaternarios (Tabla 3 y Figura 9).

Tabla 3: Columna cronolitoestratigráfica de la zona de estudio.

SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS	SÍMBOLO	LITOLOGÍA
CENOZOICO	CUATERNARIO	Depósitos eólicos	Qh-e	Constituidos por arenas de grano medio a fino.
		Depósitos aluviales	Qh-al	Conformados por arenas de grano grueso a medio.
		Depósitos marinos	Qh-m	Conformados por arenas medias a gruesas con restos calcáreos.
		Formación Mirador	Te-mi	Conformada por conglomerados, cuarcitas en matriz arenosa y areniscas de grano grueso.
	EOCENO	Formación Chira-Verdum	Te-chv	Secuencia de areniscas de grano medio a grueso seguida de conglomerados redondeados y con intercalaciones de lutitas bentoníticas

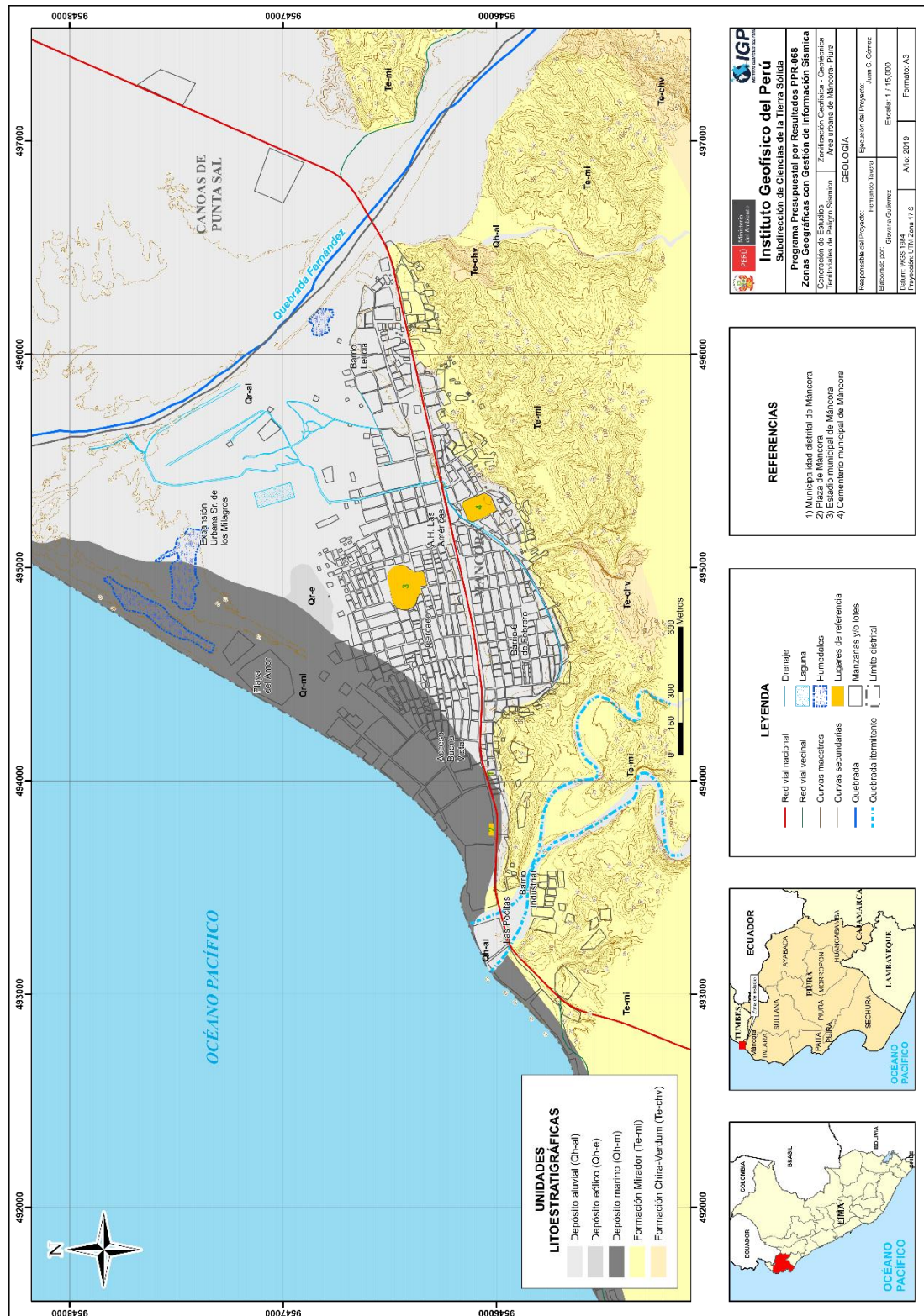


Figura 9: Mapa de geología local para el área urbana de Máncora y alrededores.

3.1.1. Formación Chira-Verdún (Te-chv)

Constituido por una secuencia clástica, intercalación de arenisca de grano medio a grueso con lutitas laminares bentoníticas de color verdoso, amarillentos a púrpuras. Esta formación aflora en el sector El Bendito al noreste del centro urbano de Máncora, margen izquierda de la quebrada Fernández (Figura 10).



Figura 10: Afloramientos de lutitas bentoníticas color verdosa a púrpura de la formación Chira-Verdún, margen izquierda de la quebrada Fernández.

3.1.2. Formación Mirador (Te-mi)

Conformado por conglomerados con cantos de $\frac{1}{2}$ " a 4" de diámetro, cuarcitas en matriz arenosa y areniscas de grano grueso, color gris oscuro en matriz limosa. Suprayacen a éstas las lutitas de color gris, marrón a amarillenta en estratificación delgada de 0.20 m, intercaladas con areniscas gris blanquecinas de grano medio, cuyos estratos presentan un espesor de 0.50 m. Además, se ha observado la presencia de material carbonatado (restos calcáreos), ver Figuras 11 y 12.



Figura 11: Conglomerados de $\frac{1}{2}$ " de diámetro de la formación Mirador, en la zona de Pocitas-Máncora



Figura 12: Corte en carretera Panamericana Norte. Afloramiento de rocas tipo lutitas de la formación Mirador.

3.1.3 Depósitos Cuaternarios

Suprayaciendo al sustrato rocoso, está conformado por rocas marino sedimentaria, se encuentran los depósitos Cuaternarios de edad Holocena. Entre los que mayor predomina en la zona de estudio, son los depósitos aluviales, eólicos y marinos.

➤ **Depósitos eólicos (Qh-e)**

Están conformados por arenas de grano medio a fino de color beige. Éstos son producto de la desintegración de rocas (areniscas) que conforman los tablazos y transportados por la acción de los vientos. Se han identificado en el AA.HH. Diez de Abril al norte del centro urbano de Máncora.

➤ **Depósitos aluviales (Qh-al)**

Están constituidos por bloques y clastos mayores a 1" de diámetro en matriz areno-arcillosa, de poca consolidación, transportados por la actividad de las quebradas que descienden del tablazo "cerro La Cruz" o han sido depositados en el abanico aluvial de la quebrada Fernández, así como en la quebrada La Pepa y Cabo Blanco, sobre la cual se asienta el 60 % del área urbana (Figuras 13 y 14).



Figura 13: Depósitos aluviales, quebrada Cabo Blanco.



Figura 14: Depósitos aluviales, quebrada La Pepa.

➤ **Depósitos marinos (Qh-m)**

Conformados por arenas medias a gruesas, color gris con presencia de material calcáreo (conchuelas). Se encuentran a lo largo del litoral, balneario de Máncora (playas Las Pocitas y Amor), ver Figura 15.



Figura 15: Depósitos marinos, playa Las Pocitas

3.2 Geología Estructural

Estudia las estructuras relacionadas a la deformación debido a los esfuerzos extensionales, compresivos o transcurrentes que originan una serie de estilos tectónicos en diferentes edades geológicas.

La zona de estudio presenta bloques por fallas de corrimiento y fallas de rocas debido a la tectónica Andina.

3.2.1 Falla

Una falla es una fractura en el terreno, sobre la cual se produce desplazamiento de un bloque rocoso con respecto a otro, el desplazamiento se da a lo largo de un plano denominado "plano de falla". Las fallas son producto de esfuerzos tectónicos (epirogénesis, orogenia, diastrofismo, tectónica de placas o cualquier otro tipo de desplazamiento de parte de la corteza). Una falla ocasiona discontinuidad de las estructuras geológicas. En el área de estudio se ha identificado este tipo de estructura a 800 m al este de Máncora, la cual permite el afloramiento de rocas de la formación Chira Verdún al mismo nivel de las rocas de la formación Mirador (Figura 16).



Figura 16: Falla que permite el afloramiento de rocas de la formación Chira-Verdún al mismo nivel de las rocas de la formación Mirador.

4. 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 incrementan la acción erosiva y son capaces de producir remoción de los materiales, (Brusi, 2013), como los flujos de detritos e inundación.

En el área urbana de Máncora se han identificado dos tipos de eventos geodinámicos, siendo sus características las siguientes (Figura 17):

4.1. Inundación

Producida por el desborde del cauce de las quebradas en épocas de incremento de las precipitaciones como ocurre durante el fenómeno “El Niño”. Las zonas de ocurrencia de inundación se han delimitado en la margen izquierda de la quebrada Fernández, lo cual afecta al área urbana (AA.HH. Diez de Abril, Nuevo Máncora, Los Cocales) hasta llegar al balneario de Máncora (Figura 18).

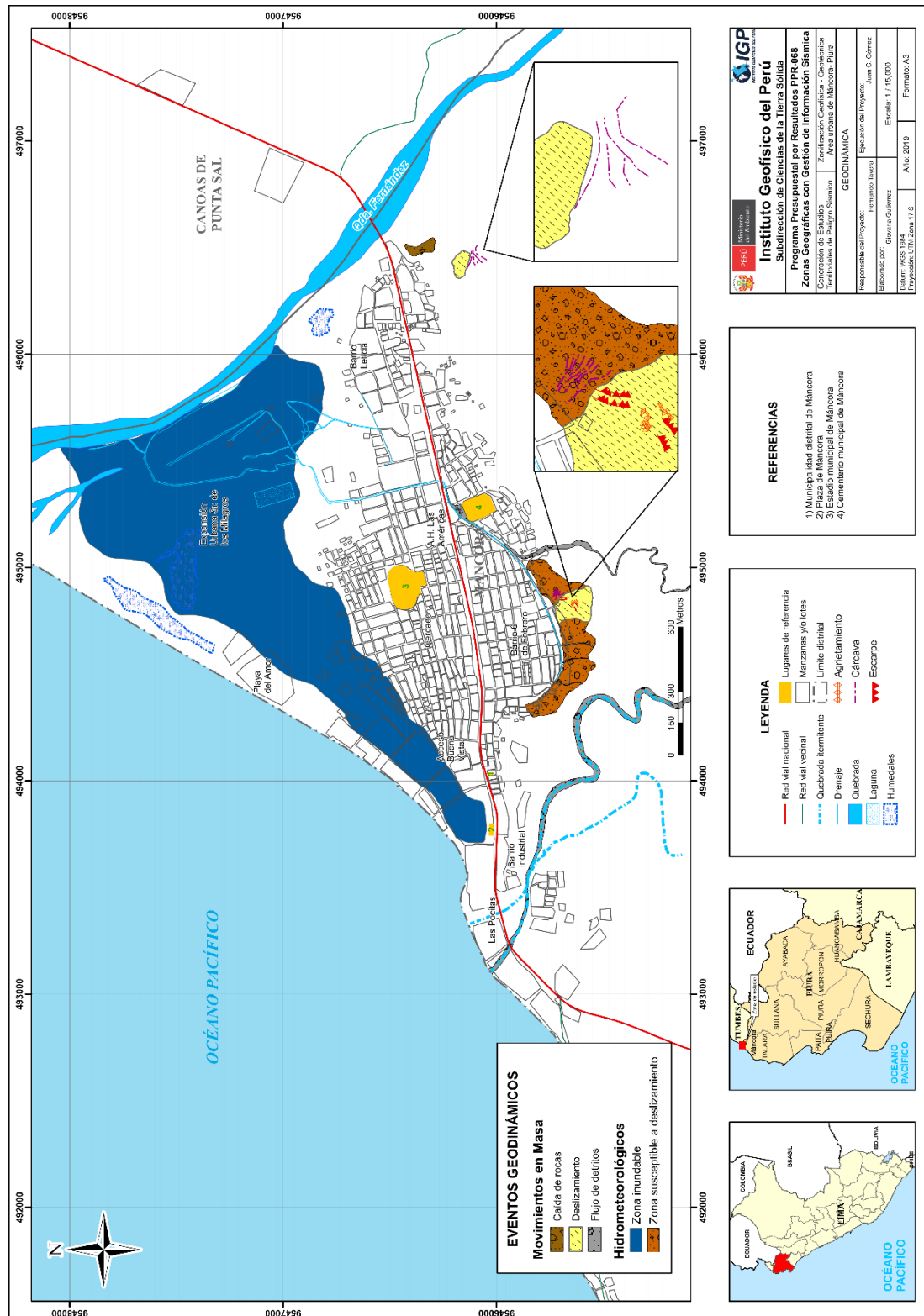


Figura 17: Mapa de eventos geodinámicos en el área urbana de Máncora y alrededores.

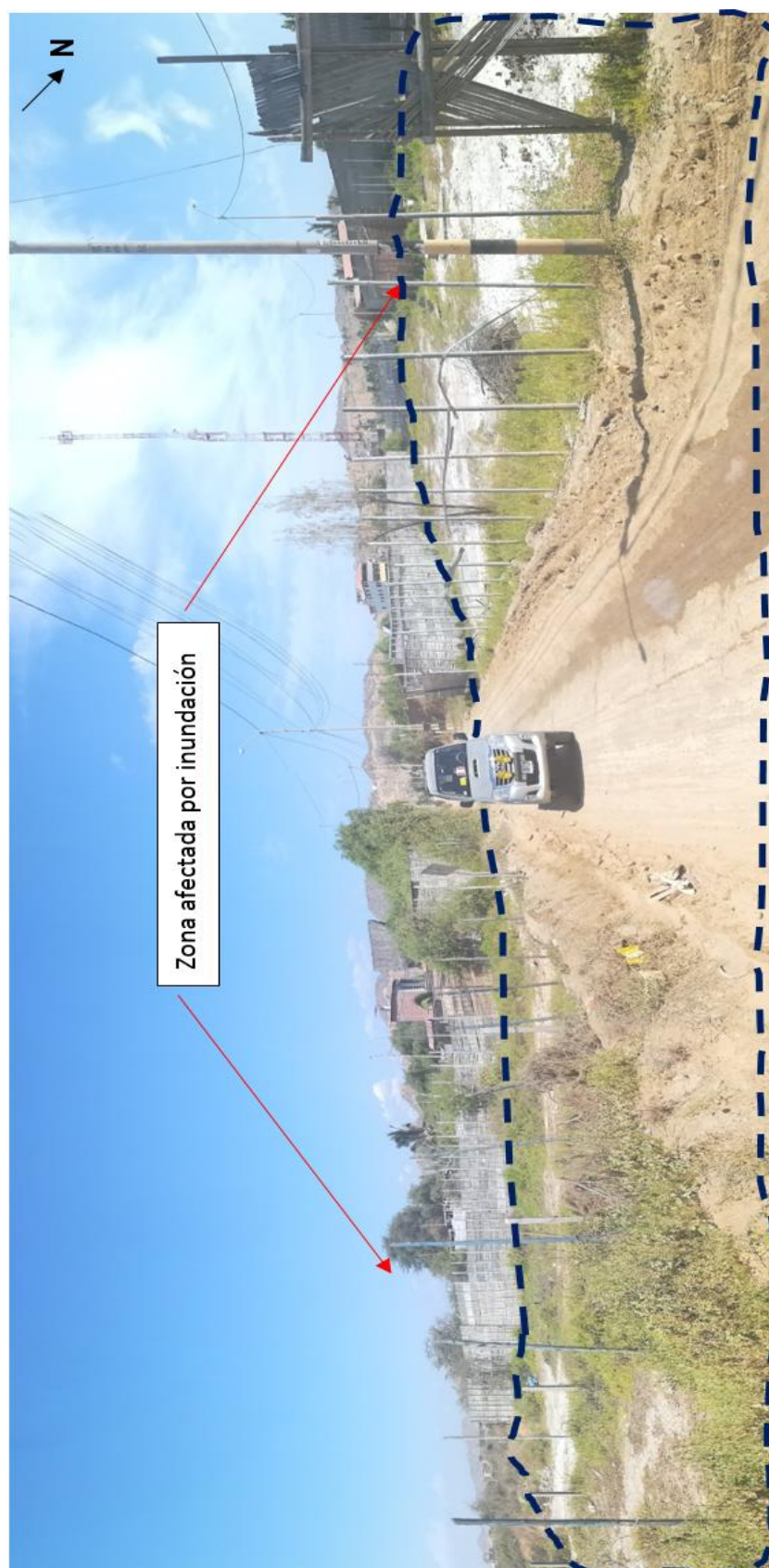


Figura 18: Zona afectada por activación de la quebrada Fernández, margen derecha.

4.2. Movimientos en masa

Son procesos en los que se movilizan materiales por la acción de la gravedad y pueden ser peligrosos (Bromhead, 1986). En el área urbana de Máncora y alrededores se han identificado los siguientes tipos de movimientos de masa:

4.2.1. Deslizamiento

Los deslizamientos se deben a la infiltración de las aguas de escorrentía en los taludes inestables que rodean a Máncora. En el sector Uno de Mayo se ha identificado este evento geodinámico de tipo rotacional, tal como el ocurrido el 17 de marzo del 2019 a horas 3:45 de la tarde en la ladera del Tablazo de Máncora, zona conocida como el “cerro La Cruz” y lo cual abarcó 0.25 ha del sector en mención y se estimó un total de 7 viviendas afectadas (Figura 19).

4.2.2. Flujos de detritos

Son eventos rápidos saturados, no plásticos, que ocurren principalmente confinados a un canal o cauce con pendiente pronunciada. En la zona de estudio los flujos de detritos se identificaron en el AA.HH. Víctor Raúl, debido a la confluencia de quebradas que descienden del tablazo y cuya canalización se estrecha de 9 m a 3 m aproximadamente, siendo el punto de referencia es el cementerio de Máncora. Estos flujos alcanzan una altura de 1 m, por lo cual ha sido necesaria la colocación de sacos con arena para evitar que el agua ingrese a las viviendas (Figura 20).



Figura 19: Deslizamiento de material del tablazo, Sector 1° de Mayo



Figura 20: Flujo de detritos en el AA.HH. Víctor Raúl

4.3. Elementos expuestos

En el área de estudio del distrito de Máncora 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 la 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 (Tablas 4 y 5).

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

Evento geodinámico	Población expuesta
Inundaciones	500

Tabla 5: 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	130

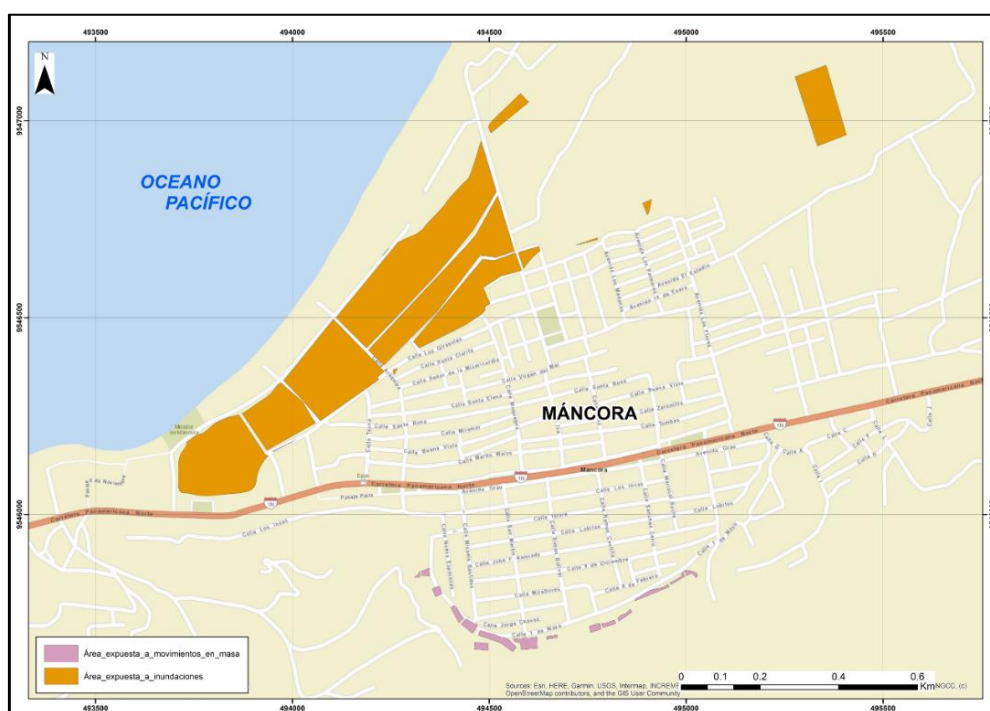


Figura 21: Delimitación de elementos expuestos ante la ocurrencia de inundaciones y movimientos en masa en la localidad de Máncora.

Haciendo uso de la superposición del área de influencia de los eventos geodinámicos, delimitados anteriormente, con el área urbana de Máncora, se reconocieron las infraestructuras de interés social (viviendas), expuestas al evento citado (Figura 21), información que debe ser considerada a efectos de reducir el riesgo a la cual se encuentra la población en estas zonas.

5. ASPECTOS GEOTÉCNICOS

Los suelos son materiales inconsolidados 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 han sido transportados y redepositados 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 22).

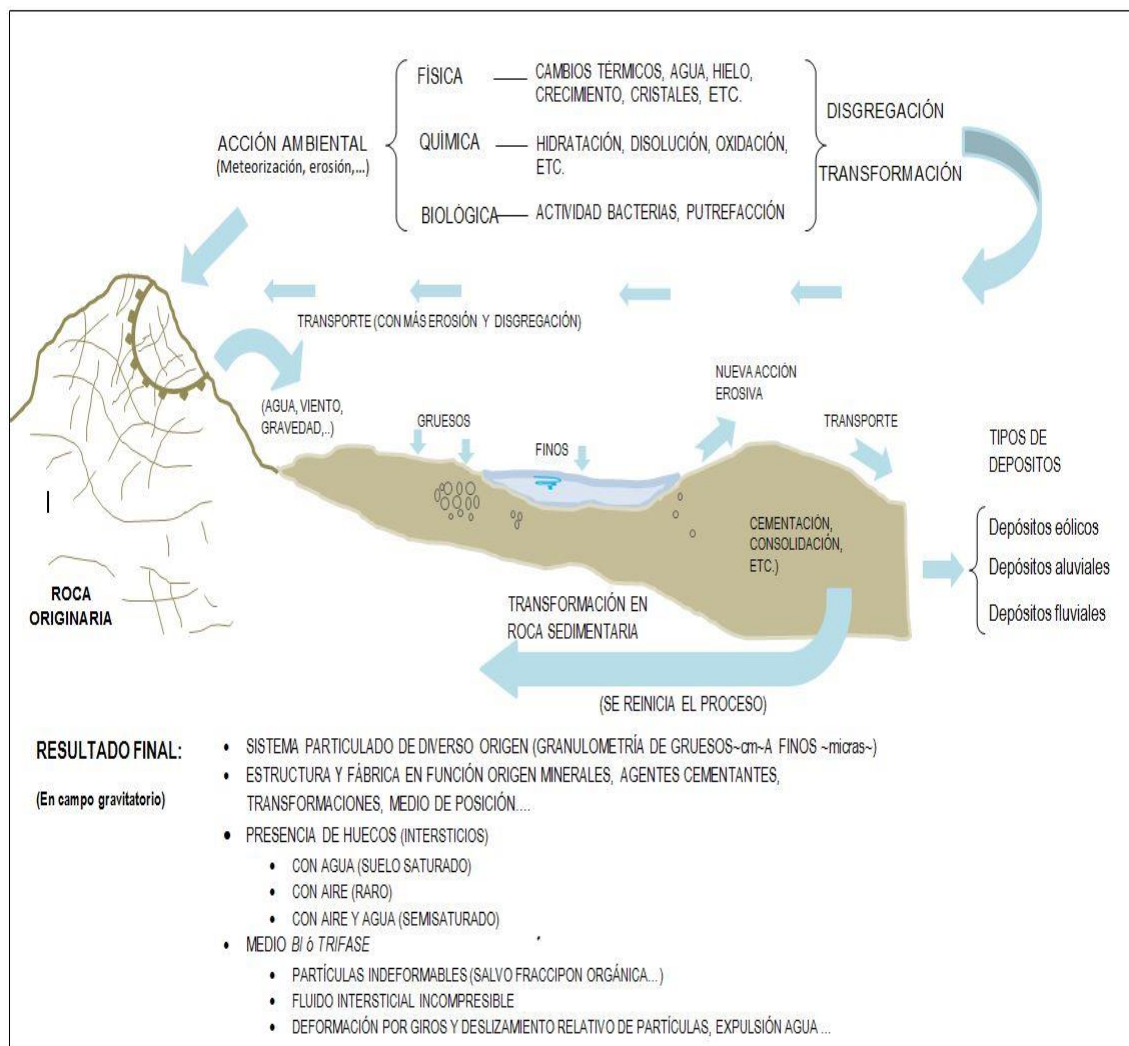


Figura 22: Formación de suelos, (Adaptado de Gonzáles de Vallejo, 2002).

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 de los materiales).

En el área urbana de Máncora se realizó el estudio geotécnico que consistió en la elaboración de 7 calicatas, 7 densidades in situ, 10 posteos y 9 ensayos de Penetración Dinámica Ligera (DPL), ver Figura 23. Las 7 muestras extraídas se analizaron en el laboratorio de mecánica de suelos 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 considerados en este estudio.

5.1. 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 a aproximadamente 3 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 (Figura 23 y Tabla 6).

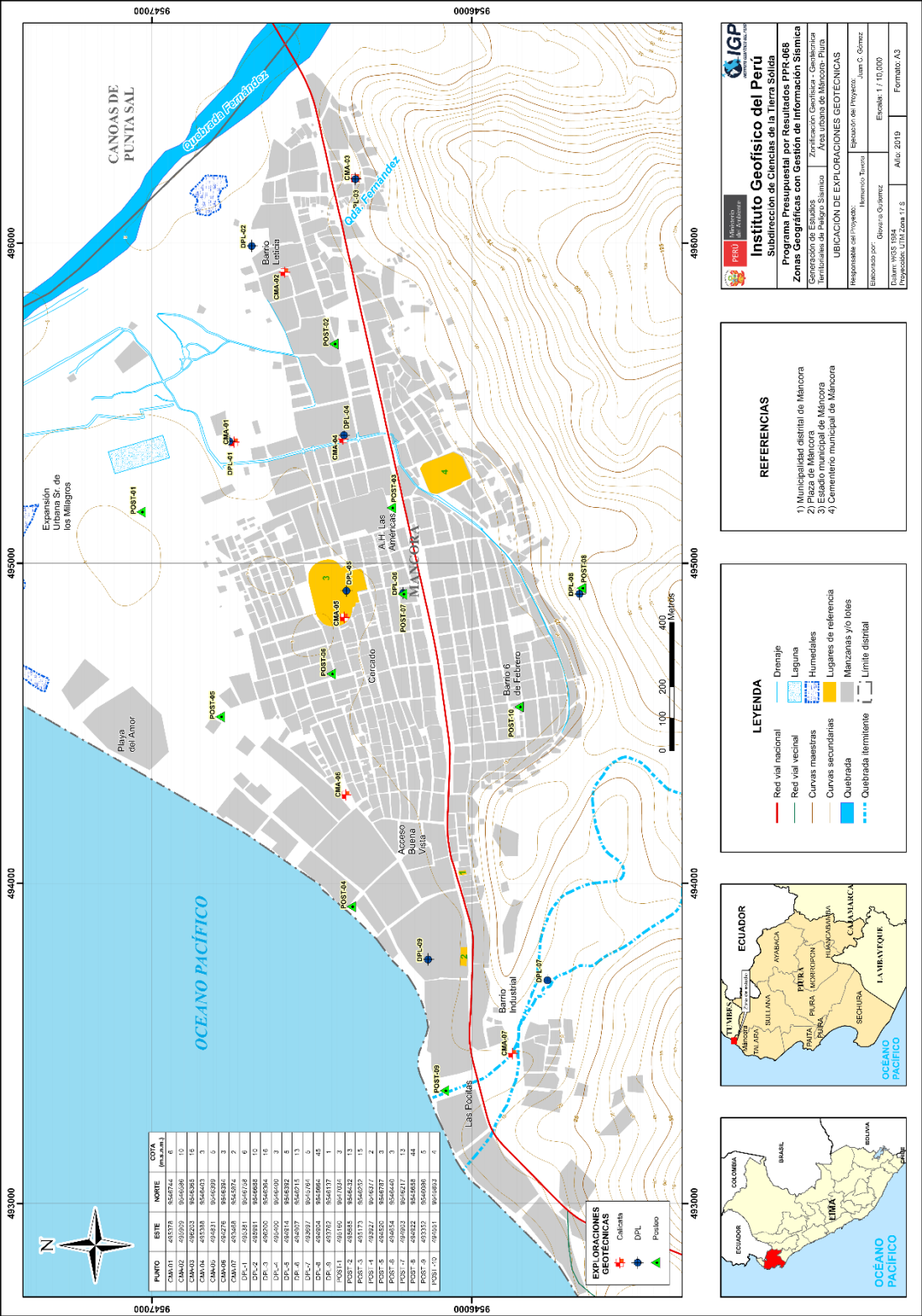


Figura 23: Mapa de distribución de calicatas, posteos y DPL en el área urbana de Máncora y alrededores.

Tabla 6: Ubicación de las calicatas elaboradas en al área urbana de Máncora

CÓDIGO DE CALICATA	COORDENADAS UTM		ELEVACIÓN (m.s.n.m.)	PROFUNDIDAD (m)	NIVEL FREÁTICO A (m)
	ESTE (m)	NORTE (m)			
CMA-01	495378	9546744	6	2.40	N.P.
CMA-02	495909	9546586	10	2.30	N.P.
CMA-03	496203	9546365	16	2.50	N.P.
CMA-04	495388	9546403	3	2.20	N.P.
CMA-05	494831	9546399	5	2.10	2.10
CMA-06	494276	9546394	3	0.80	0.80
CMA-07	493468	9545874	2	2.40	2.40

N.P. = No presenta

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

Este método permite conocer la densidad o peso unitario de los suelos in situ con cierto grado de compactación natural. Consiste en extraer material del suelo, a través de un orificio de 10 cm de profundidad realizado en el interior de la calicata, a fin de obtener una relación entre la masa de éste y el volumen conocido que ocupa la arena calibrada del cono de densidad. 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 la Tabla 7 se presentan los resultados de las densidades in situ de las siete (7) calicatas y la ficha de densidad se adjunta en los Anexos de Geotecnia.

Tabla 7: Resultado de densidades in – situ.

CÓDIGO DE CALICATA	MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	DENSIDAD HÚMEDA (gr/cm³)	DENSIDAD SECA (gr/cm³)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)
CMA-01	DC-MA- 01	2.40	1.63	1.40	2.28
CMA-02	DC-MA- 02	2.30	1.38	1.05	23.48
CMA-03	DC-MA- 03	2.50	1.50	1.57	3.76
CMA-04	DC-MA- 04	2.20	1.57	1.14	27.02
CMA-05	DC-MA- 05	2.10	1.40	1.12	20.11
CMA-06	DC-MA- 06	0.80	1.74	1.12	20.11
CMA-07	DC-MA- 07	2.40	2.00	1.89	5.56

A partir de los resultados obtenidos en el ensayo de densidad de campo y laboratorio, los suelos de cimentación en la ciudad de Máncora presentan rangos de densidad húmedas entre 1.38 y 2.00 gr/cm³; mientras que, las densidades secas oscilan entre 1.12 y 1.89 gr/cm³; es decir, los materiales identificados en las calicatas corresponden a arenas medianamente densas y arcillas.

5.2. Exploraciones con posteadora manual (Norma ASTM D1452)

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 Máncora. La ubicación y resultados obtenidos se muestran en la Tabla 8; mientras que, el registro de perforaciones se adjunta en los Anexos.

Tabla 8: 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 A (m)
	ESTE (m)	NORTE (m)				
POST-01	495160	9547034	3	1.90	ML	N.P.
POST-02	495685	9546432	3	1.80	SP	N.P.
POST-03	495173	9546252	15	0.70	SM	N.P.
POST-04	493927	9546377	2	1.70	SM	N.P.
POST-05	494520	9546787	3	0.80	SP	1.50
POST-06	494654	9546440	3	2.50	SP	0.50
POST-07	494903	9546217	13	1.40	SM	N.P.
POST-08	494922	9545658	44	0.90	SP	N.P.
POST-09	493352	9546086	5	1.40	SP	1.00
POST-10	494551	9545853	4	2.00	SM	0.90

Donde: N.P = No Presenta

5.3. 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 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 limos arenosos, no recomendable 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 los Anexos.

En la Tabla 9, se indica la ubicación de los ensayos de Penetración Dinámica Ligera (DPL) realizados en las inmediaciones de la ciudad de Máncora, 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

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

CÓDIGO DE DPL	COORDENADAS UTM		ELEV. (m.s.n.m.)	PROF. (m)	N° DE GOLPES	ϕ
	ESTE (m)	NORTE (m)				
DPL-01	495381	9546758	6	2.20	8	29.1
DPL-02	495991	9546688	10	1.43	13	30.9
DPL-03	496200	9546364	16	0.70	7	28.5
DPL-04	495400	9546400	3	2.70	20	32.5
DPL-05	494914	9546392	5	2.70	12	30.7
DPL-06	494907	9546215	13	1.40	3	26.2
DPL-07	493697	9545764	5	1.00	45	37.6
DPL-08	494904	9545664	45	3.10	18	32.1
DPL-09	493762	9546139	1	2.50	18	33.9

Según los parámetros obtenidos se establece que en 8 de los ensayos se alcanzó una profundidad mayor a 1 m., y en 1 solo se penetró 0.70 m debido a la presencia de materiales granulares constituidos por clastos angulosos o subangulosos de diámetro superior a 1 ½".

5.4 Resultados de los ensayos de laboratorio

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

5.4.1. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos SUCS (Norma ASTM D4827)

El Sistema SUCS abarca suelos granulares y finos, diferenciados por la cantidad de material que pasa la malla N° 200 (Juárez & Rico, 2005),

además, entre los granulares se encuentran dos grupos como las gravas y arenas, separadas con la malla N° 4, mientras que los finos se diferencian entre (limos y arcillas) según el Límite Líquido e Índice de Plasticidad.

En base a la información geotécnica recopilada de estudios anteriores, así como, de los resultados de las exploraciones (calicatas, posteos y DPL) realizados en Máncora y de los ensayos de laboratorio Mecánica de Suelos (granulometría y límites Atterberg) efectuados a las muestras de suelo, se han identificado 5 tipos de suelos (Tabla 10 y Figura 24), cuyas características son:

Suelo tipo GP: Grava pobremente graduada, de diámetro promedio de 1 ½" mm, con contenido de humedad 5.56 %, constituyen suelos de compacidad densa y no presentan plasticidad. Abarcan el 7 % de la zona de estudio y se identificaron en los alrededores del barrio Industrial (CMA-07), así como, en el posteo Post-8.

Suelo tipo SP: Arena mal graduada con gravas, de diámetro promedio de 0.250 mm, con contenido de humedad 2.28 %, constituyen suelos de compacidad suelta a media y no presentan plasticidad. Abarcan el 15 % de la zona de estudio y se identificaron en los alrededores del grifo Pelikano (CMA-01), así como, en los posteos Post-2, 5, y 9.

Suelo tipo SM: Arena limosa, con contenido de humedad entre 3.76 y 15.15 %, constituyen suelos de compacidad muy suelta a media, no presenta plasticidad. Abarcan el 19 % de la zona de estudio y se identificaron en barrio Leticia y alrededores de la Av. Villa Sol – prolongación Arequipa en las calicatas (CMA-03 y 06), así como, en los posteos Post-3, 4 y 7.

Tabla 10: Clasificación SUCS de los suelos de las siete (07) calicatas elaboradas en la ciudad de Máncora.

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		
CMA - 01	2.60	N.P.	5.56	19.60	76.80	3.64	N.P.	N.P.	N.P.	SP	Arena mal graduada
CMA - 02	2.30	N.P.	23.48	0.00	29.10	70.87	N.P.	N.P.	N.P.	ML	Limos inorgánicos
CMA - 03	2.50	N.P.	3.76	5.80	82.10	12.15	N.P.	N.P.	N.P.	SM	Arena limosa
CMA - 04	2.20	N.P.	27.02	0.00	3.80	94.28	44.52	15.85	28.67	CL	Arcillas inorgánicas
CMA - 05	2.10	2.10	20.11	0.00	2.20	97.83	38.14	25.57	12.58	CL	Arcillas inorgánicas
CMA - 06	0.80	0.80	15.16	24.70	53.25	22.10	N.P.	N.P.	N.P.	SM	Arena limosa
CMA - 07	2.60	2.40	5.56	59.70	35.83	4.50	N.P.	N.P.	N.P.	GP	Grava mal graduada

Donde: N.P. = No presenta

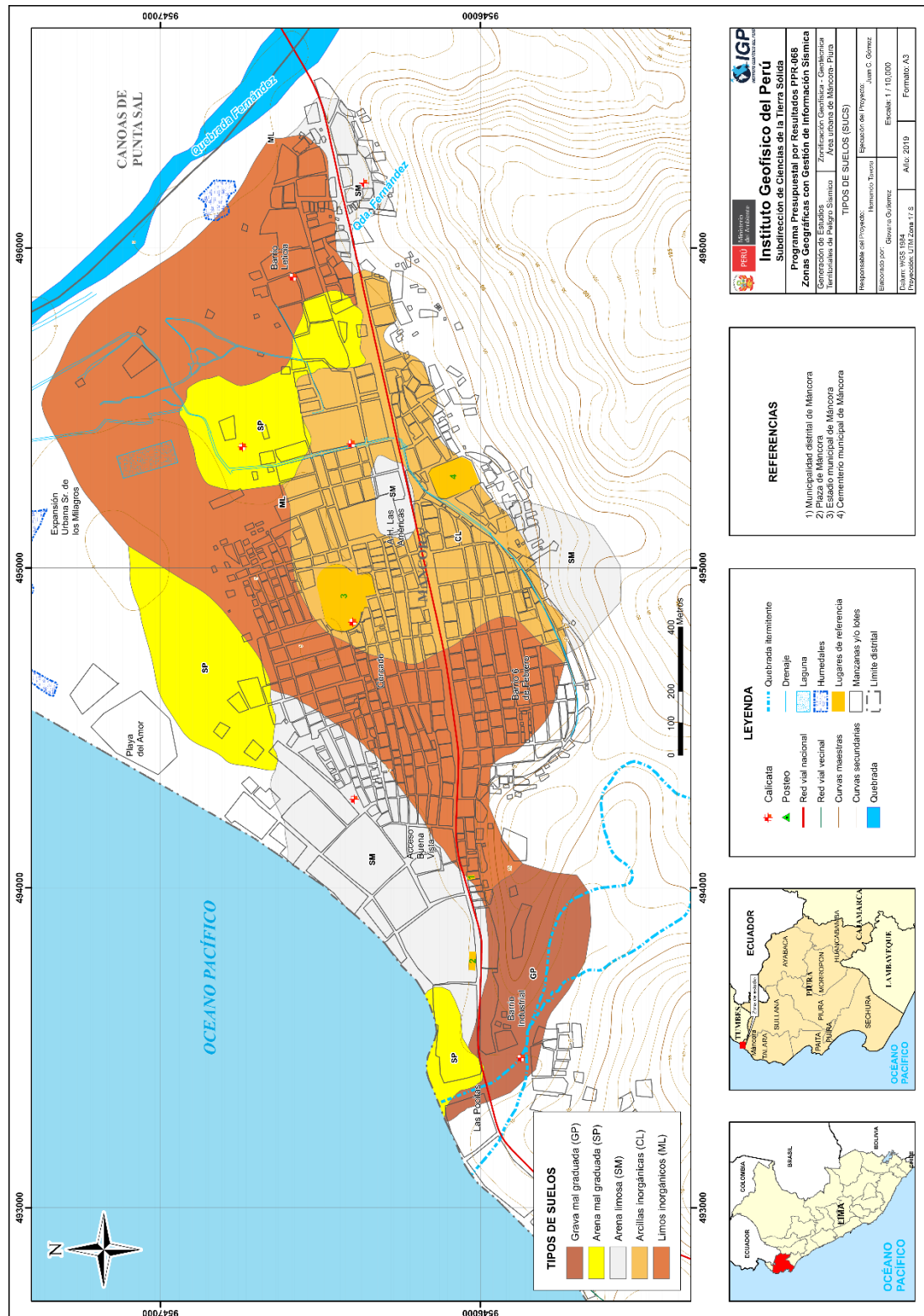


Figura 24: Mapa de clasificación SUCS para los suelos del área urbana de Máncora y alrededores.

Suelo tipo CL: Arcilla inorgánica, con contenido de humedad entre 20.11 % y 27.02 %, constituyen suelos de compacidad densa, presentan plasticidad entre 12.58 % y 28.67 %. Abarcan el 19 % de la zona de estudio y se identificaron en el barrio Nicaragua y AA.HH. Las Américas en la calicata (CMA-04 y 05).

Suelo tipo ML: Limo inorgánico, con contenido de humedad de 23.48 %, constituyen suelos de compacidad suelta, presentan plasticidad de 5.15 %. Abarcan el 40 % de la zona de estudio y se identificaron en el barrio Los Laureles en la calicata (CMA-02), así como, en los posteos Post-1, 6 y 10.

5.5. Ensayo de corte directo (Norma ASTM 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 Máncora 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.

5.5.1. Capacidad de carga portante

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 admisible, 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 7 muestras de suelos extraídas en Máncora se presentan en la Tabla 11.

Tabla 11: Capacidad de carga portante de las muestras extraídas en Máncora.

CÓDIGO DE MUESTRA	Capacidad de carga última (Tn/m ²)	Capacidad de carga portante (Kg/cm ²)	Falla de corte
CMA - 01	0.97	0.32	Falla Local
CMA - 02	2.74	0.91	Falla Local
CMA - 03	1.88	0.63	Falla Local
CMA - 04	1.97	0.66	Falla Local
CMA - 05	2.03	0.94	Falla Local
CMA - 06	7.03	2.34	Falla Local
CMA - 07	8.39	2.80	Falla General
DIMENSIONES DE CIMENTACIÓN	Profundidad: 1 m y ancho:1 m		

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 3 m (Tabla 12).

De los resultados obtenidos, se ha determinado que la zona urbana de Máncora en su mayoría ha sido construida con cimentaciones de 1 m de profundidad. Ante ello, se ha clasificado los suelos con la siguiente capacidad de carga portante.

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

CÓDIGO DE DPL	Capacidad de carga última (kg/cm ²)	Capacidad de carga portante (Kg/cm ²)	Tipo de corte
DPL-01	5.19	1.73	Falla local
DPL-02	4.19	1.40	Falla local
DPL-04	3.27	1.09	Falla local
DPL-05	5.62	1.87	Falla local
DPL-06	4.44	1.48	Falla local
DPL-08	1.65	0.55	Falla local
DPL-09	1.70	0.57	Falla local
DIMENSIONES DE CIMENTACIÓN	Profundidad: 1 m y ancho:1 m		

- Tipos de capacidad de carga portante

En el área urabana de Máncora se han identificado los siguientes tipos de capacidad de carga portante (Figura 25):

Capacidad de carga portante muy baja: Comprende rangos de capacidad de carga portante menores a 1 kg/cm², y se encuentran representado por tipos de suelos como: arena mal graduada (SP), arena limosa (SM), limo inorgánico (ML) y arcilla inorgánica (CL). Abarcan el 93 % de los suelos de cimentación del área urbana de Máncora y se han identificado principalmente en los barrios Los Laureles, Leticia y Nicaragua, así como, en el AA.HH. Las Américas.

Capacidad de carga portante media: Comprende rangos de capacidad de carga portante entre 2 a 3 kg/cm², se encuentran representados por tipos de suelos como grava mal graduada (GP). Abarcan el 7 % de los suelos de cimentación del área urabana de Máncora y se ha identificado principalmente en el barrio Industrial. En esta zona es donde se produce la desembocadura de las quebradas.

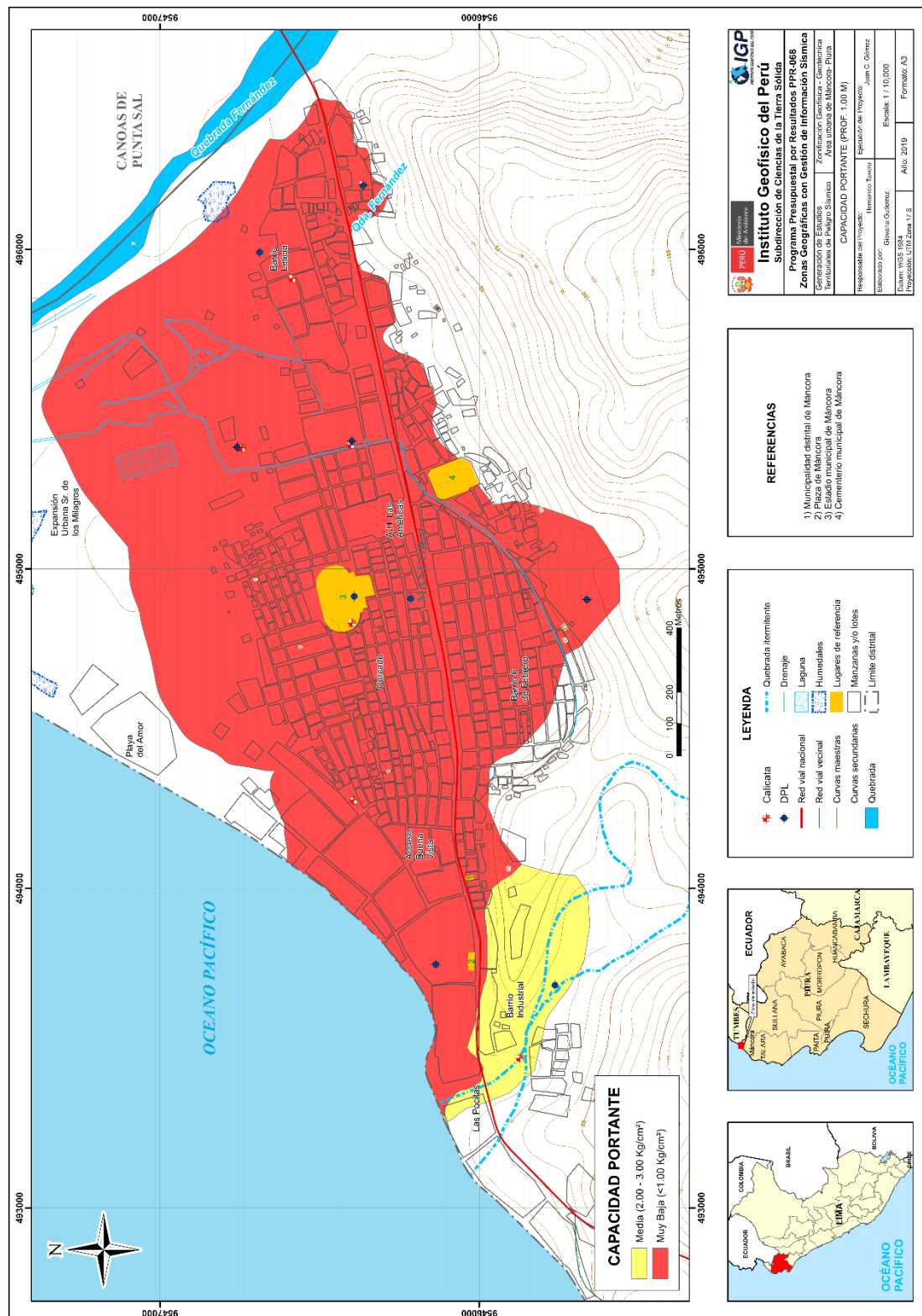


Figura 25: Mapa de capacidad de carga admisible a una profundidad de 1 metro para el área urbana de Máncora y alrededores.

CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA DEL AREA URBANA DE MÁNCORA

CONTENIDO

1. METODOLOGÍA

1.1. Método de Razones Espectrales (H/V)

1.1.1. Procesamiento y análisis

1.2. Método de Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW)

1.2.1. Procesamiento y análisis

1.3. Método de Tomografía de Resistividad Eléctrica (ERT)

1.3.1. Procesamiento y análisis

2. RESULTADOS

2.1. Razones Espectrales (H/V)

2.1.1. Frecuencias Predominantes

2.1.2. Periodos Dominantes

2.2. Perfiles de MASW

2.3. Perfiles de Tomografía Eléctrica

3. ZONIFICACIÓN GEOFÍSICA - GEOTÉCNICA

3.1. Integración de resultados

3.2. Mapa de Zonificación Geofísica – Geotécnica

CONCLUSIONES

1. METODOLOGÍA Y DATOS

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

1.1. 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 solicitación 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 3 días del mes de marzo del 2019. Durante este periodo se recolectaron 128 registros de vibración ambiental utilizando sensores Lennartz y registradores CityShark II (Figura 1). 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 2, se muestra la disposición del equipo sísmico, durante el registro de información, además de ejemplos de registros de vibración ambiental para sus tres componentes (vertical, E-O y N-S).

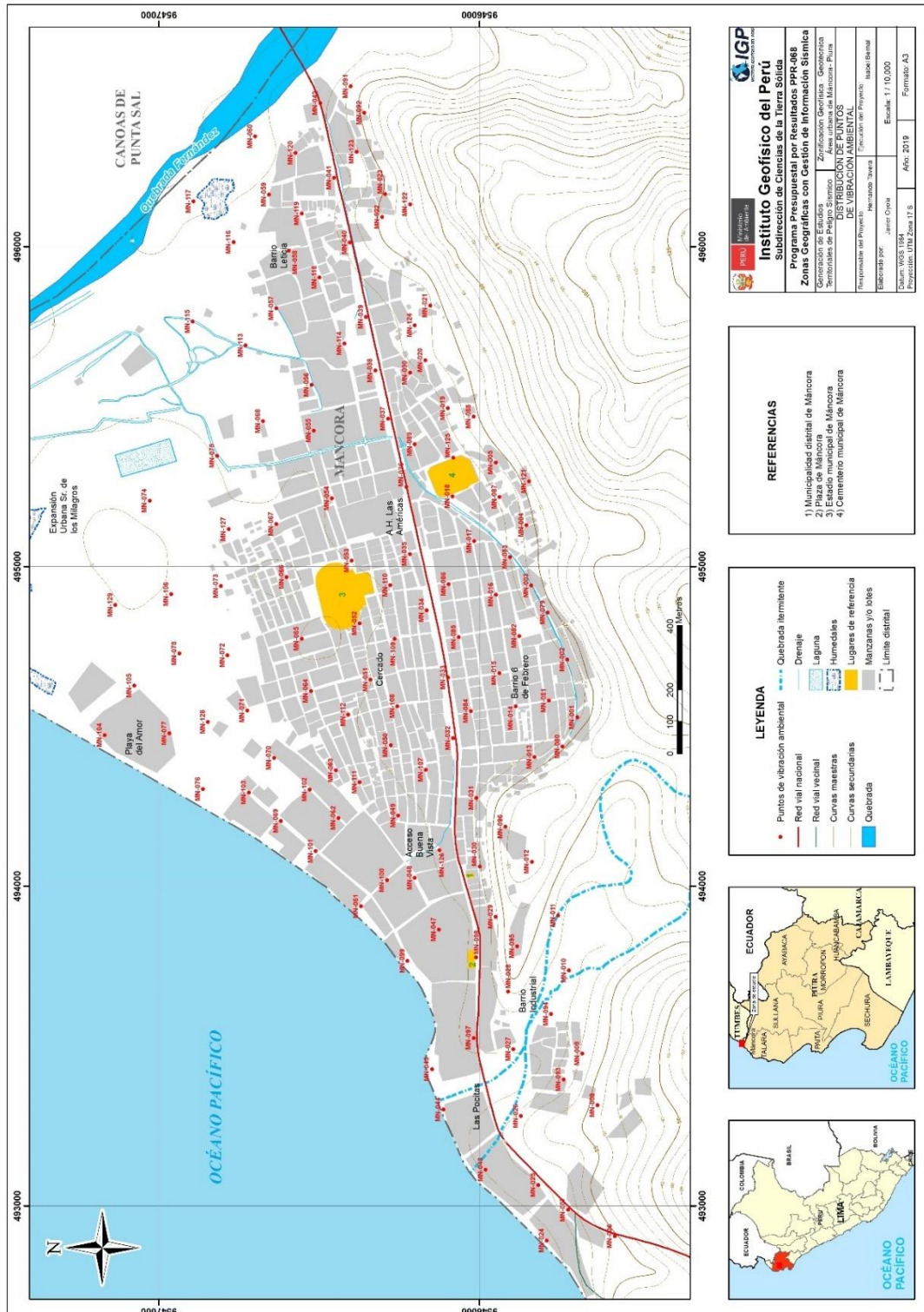
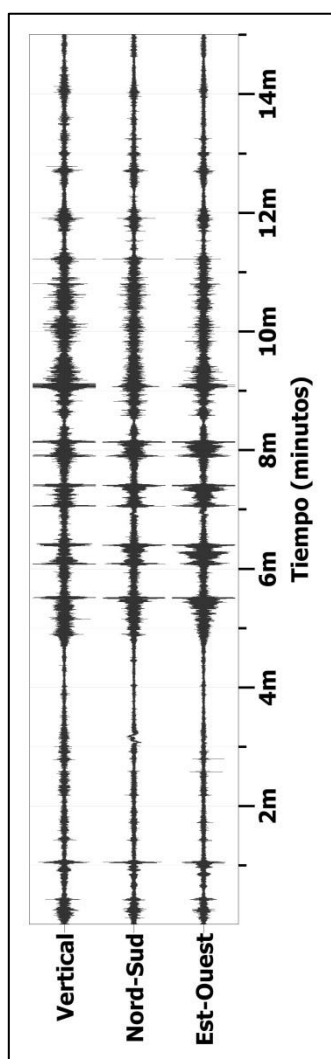


Figura 1: Distribución espacial de los puntos de registros de vibración ambiental del área urbana de Máncora.

MN - 053



MN - 003

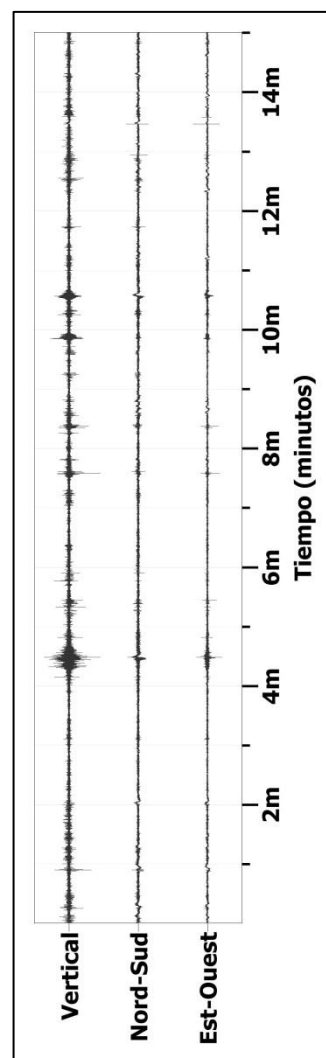


Figura 2: Disposición del equipo sísmico para la adquisición de los registros de vibración ambiental. Ejemplos de registros obtenidos sobre una zona con ruido transitorio (MN-053) y otro con ruido de fondo constante (MN-003). Obsérvese las diferentes amplitudes de la señal registrada en cada punto.

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

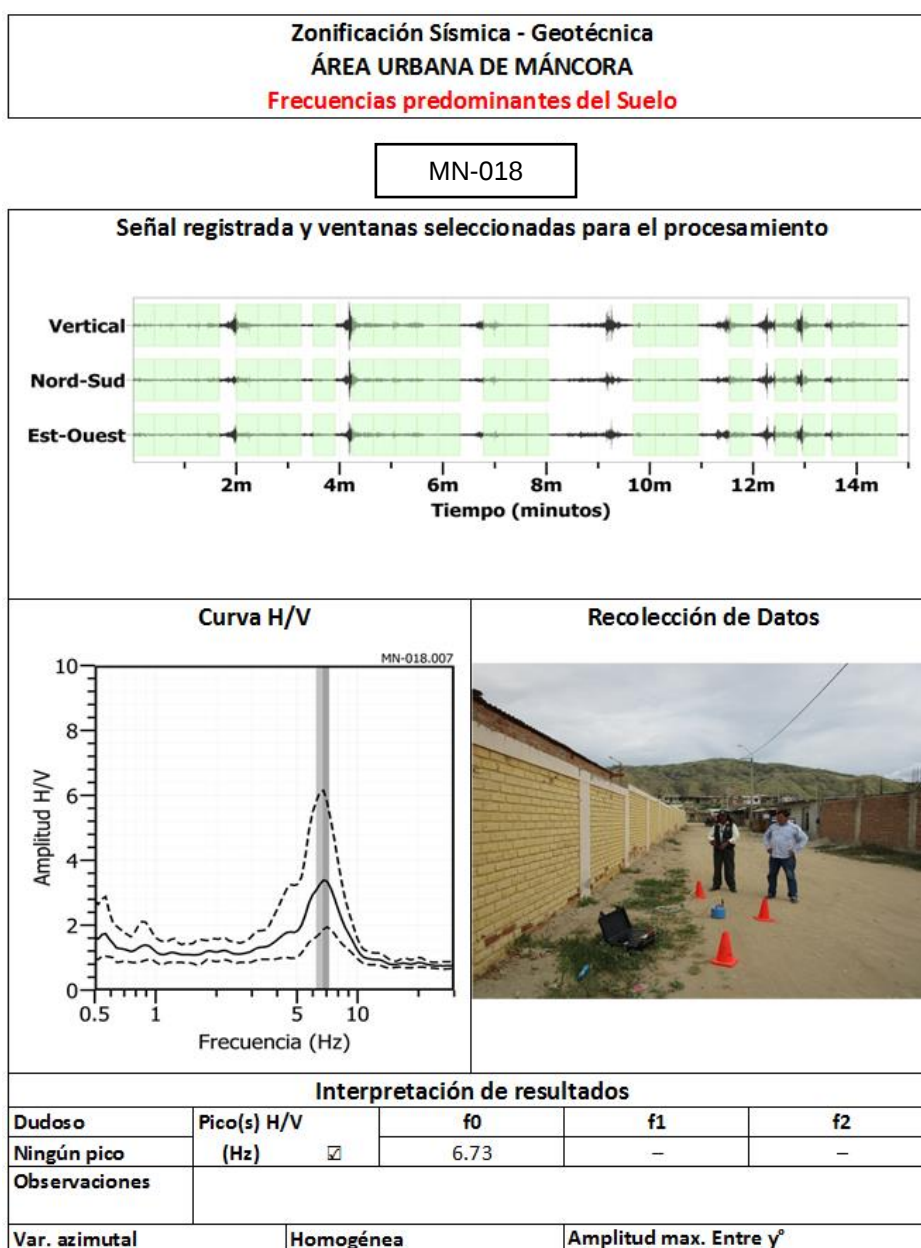


Figura 3: Ejemplo de la ficha H/V para el punto MN-018 en la cual se recopila la información registra y analizada. Arriba, señal registrada; Medio; razón espectral (H/V) en línea gruesa y su desviación estándar en líneas discontinuas y Abajo resultados.

1.1.1. 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 3, se muestra un ejemplo del análisis, procesamiento y resultados obtenidos para el punto MN-018. El registro es sectorizado en ventanas de 20 segundos y analizado individualmente, para luego obtener el promedio espectral para las curvas, y así identificar el rango de las frecuencias y/o periodos predominantes, que caracterizan al suelo bajo el punto de observación. También es visible el factor de amplificación del suelo ante la incidencia de las ondas sísmicas.

1.2. 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 (V_s) en el subsuelo. Este método permite analizar la dispersión de ondas superficiales (ondas Rayleigh) generadas por una fuente de energía impulsiva y registrada por arreglos lineales de estaciones sísmicas.

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 Máncora se realizaron 8 líneas de MASW codificadas como LS01-MN, ..., LS08-MN, ver Tabla 1. La distribución espacial de estas líneas se muestra en la Figura 4. 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 5, se muestra como ejemplo el registro obtenido considerando un golpe con martillo a 3 metros al final del arreglo lineal.

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

Arreglo lineal MASW	Este (m)	Norte (m)	Cota (m.s.n.m.)	Espaciamiento entre geófonos (m)	Longitud total (m)
LS01-MN	495046	9547061	10	4	92
	494986	9546990	8		
LS02-MN	494315	9546928	6	4	92
	494266	9546849	4		
LS03-MN	493438	9545902	17	4	92
	493409	9545992	11		
LS04-MN	495956	9546510	6	4	92
	495871	9546481	10		
LS05-MN	494573	9545832	21	3	69
	494583	9545763	13		
LS06-MN	495083	9546356	9	3	69
	495013	9546339	10		
LS07-MN	494638	9546359	16	4	88
	494551	9546340	20		
LS08-MN	493997	9546313	3	4	92
	494060	9546245	4		

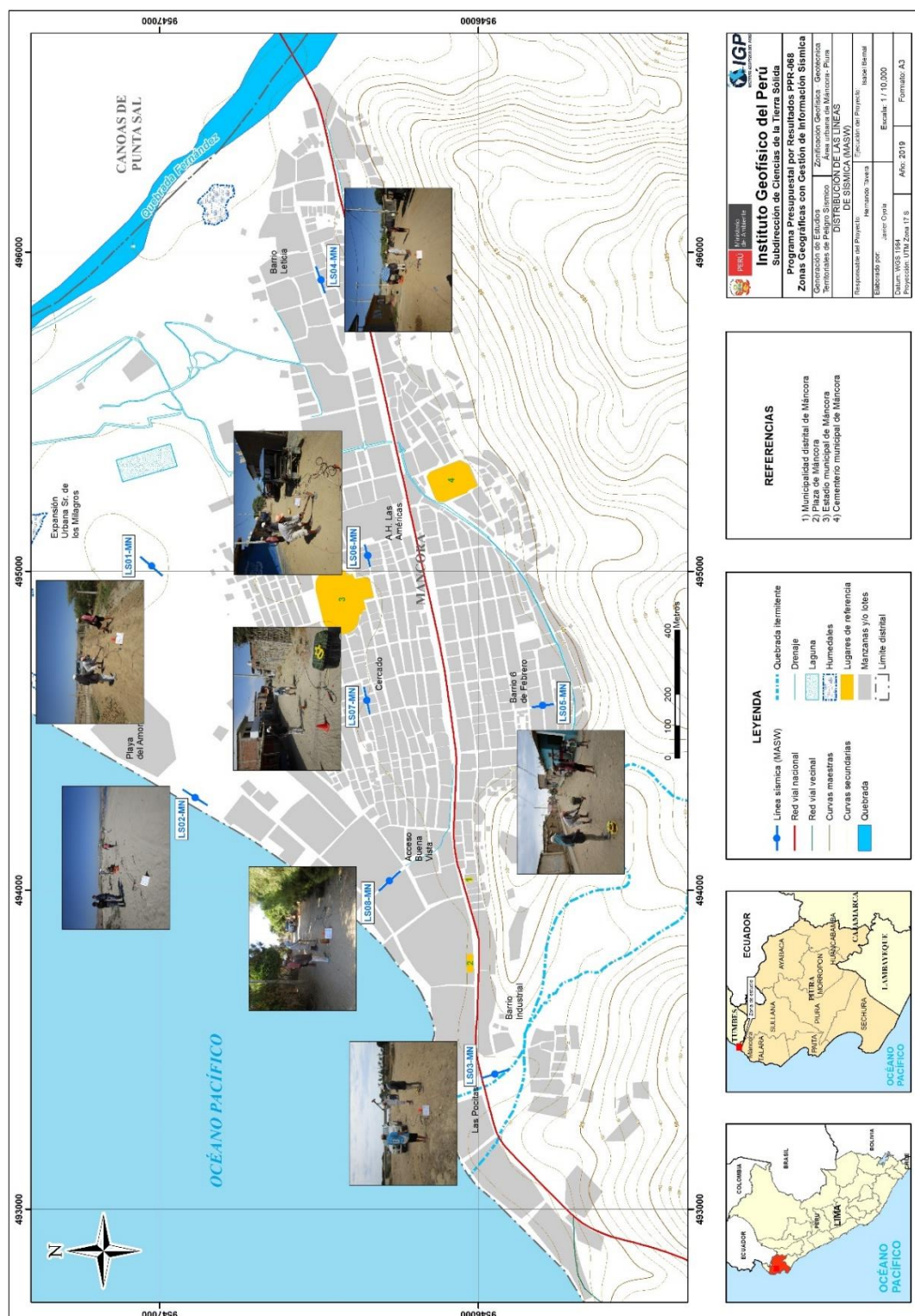


Figura 4: Distribución espacial de los ensayos MASW codificadas como LS01-MN, ..., LS08-MN en el área urbana de Máncora.

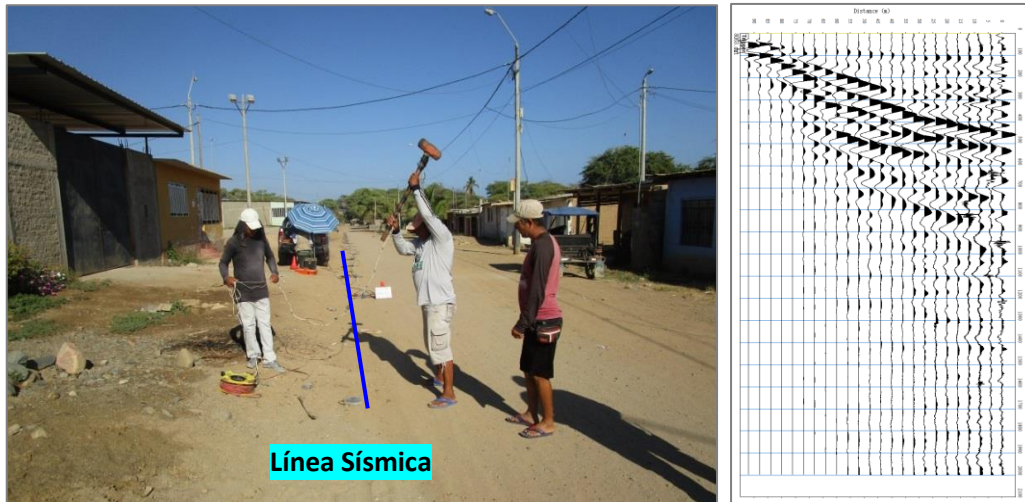


Figura 5: Disposición del equipo de adquisición de registro sísmico.

1.2.1. 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 V_s en una dimensión (1D), tal como se muestra en la Figura 6.

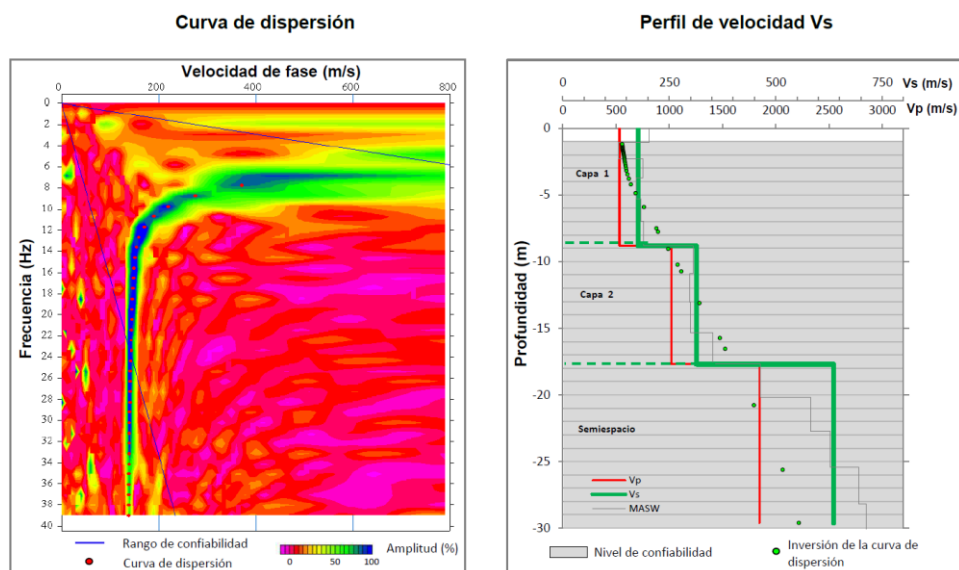


Figura 6: a) Curva de dispersión y b) perfil de velocidad obtenido a partir de la técnica de MASW.

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

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

Clasificación de los perfiles de Suelo					
N°	Vs	Norma E.030		Descripción	
1	< 180 m/s	S ₃	Suelo blando	Suelo blando	
2	180 m/s a 350 m/s	S ₂	Suelo medianamente rígido	Suelo moderadamente rígido	
3	350 m/s a 500 m/s			Suelo rígido	
4	500 m/s a 800 m/s	S ₁	Roca o suelo muy rígido	Suelo muy rígido o roca blanda	
5	800 m/s a 1500 m/s			Roca moderadamente dura	
6	> 1500 m/s	S ₀	Roca dura	Roca dura	

1.3. 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 6 líneas de ERT distribuidas en la zona de estudio, tal como se observa en la Figura 7. El instrumental utilizado en campo corresponde a un Equipo de Resistividad / IP Syscal Pro de marca Iris Instruments. En la Tabla 3, se detalla las características de las líneas de ERT realizadas en la localidad de Máncora. 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.

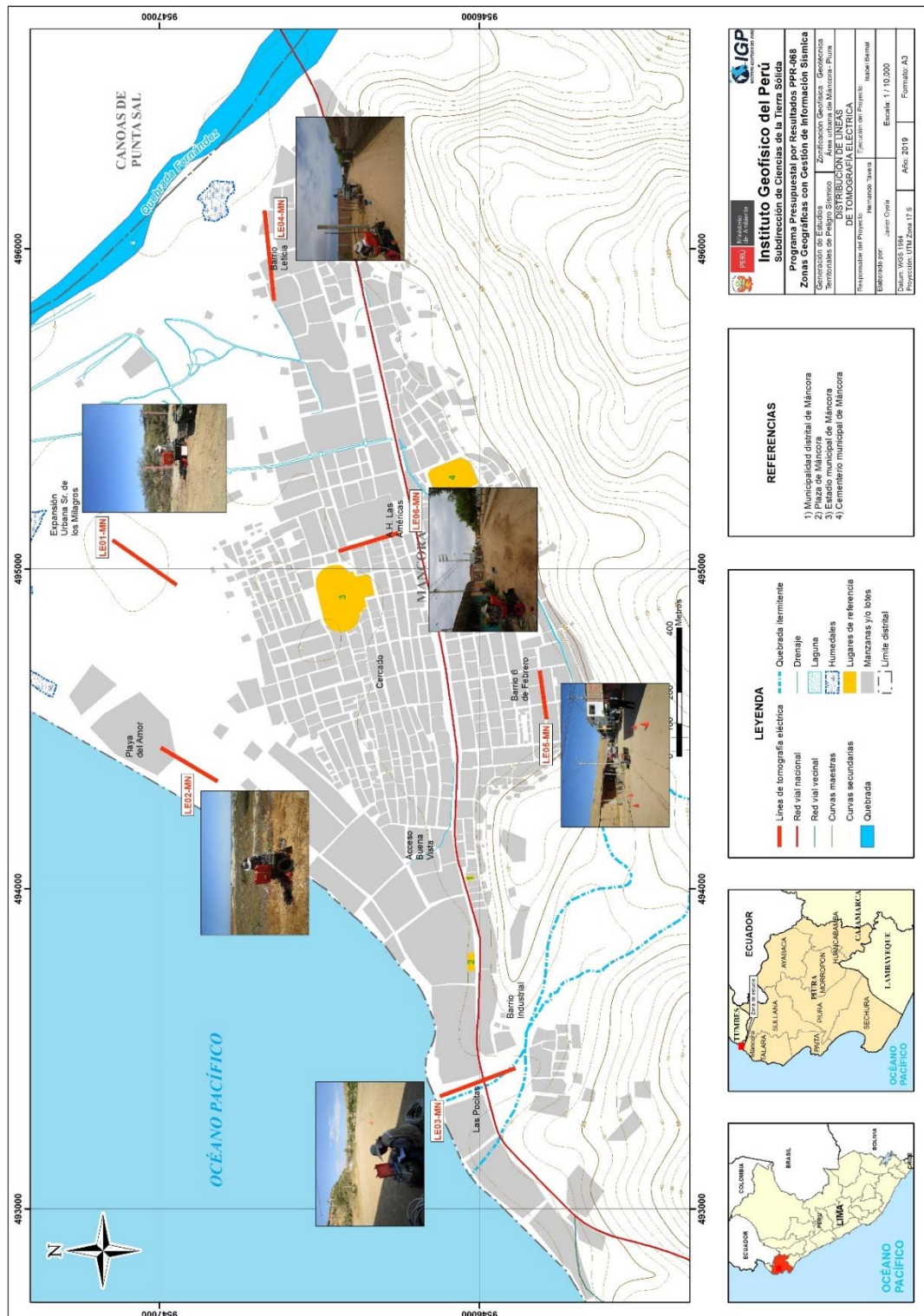


Figura 7: Distribución espacial de las líneas de tomografía eléctrica codificadas como: LE01-MN, ... LE06-MN en el área urbana de Máncora.

Tabla 3: Coordenadas y características del ensayo ERT realizados en Máncora.

Línea Eléctrica	Este (m)	Norte (m)	Cota (m.s.n.m.)	Espaciamiento entre electrodos (m)	Longitud total (m)
LE01-MN	495090	9547146	15	10	200
	494949	9546946	15		
LE02- MN	494441	9546996	08	10	200
	494335	9546818	10		
LE03- MN	493351	9546123	09	10	230
	493439	9545887	09		
LE04- MN	496120	9546671	15	10	290
	495837	9546642	18		
LE05- MN	494682	9545812	17	10	140
	494530	9545790	17		
LE06- MN	495055	9546440	13	10	190
	495112	9546253	17		

1.3.1. 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 geoeléctricos y de procesamiento de imágenes.

Para el análisis de los resultados se debe tener en cuenta que son varios los factores que influyen en las características de los suelos (grado de saturación, porosidad y forma del poro, salinidad del fluido, tipo y composición de la roca, temperatura y procesos geológicos que afectan a los materiales); es decir, el incremento de fluidos en el terreno se verá reflejado por una disminución en los valores de resistividad. En la Tabla 4, se presentan algunos valores de Resistividad relacionados a los distintos tipos de suelos y rocas.

Tabla 4: 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

2. 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:

2.1. Razones espectrales (H/V)

En el área urbana de Máncora, los suelos responden principalmente a frecuencias predominantes (F_0) mayores a 3.0Hz con diferentes amplificaciones, identificándose de manera puntual periodos entre 1.5-3.0 Hz. A continuación, se describe y analiza la distribución espacial de las frecuencias identificadas el área urbana de Máncora.

2.1.1. Frecuencias Predominantes

La frecuencia predominante F_0 , según la Figura 8, fluctúa principalmente entre 3.2 y 18.0 Hz, distribuyéndose de manera uniforme en el área de estudio. De manera puntual, se identifica la presencia de frecuencias entre 1.6 y 2.8 Hz. En la Figura 9, se muestra ejemplos de razones espectrales características de la zona.

Para la zona central del área de estudio: Se muestran los ejemplos de razones espectrales característicos para los puntos MN-76(E), MN-110(H) y MN-005(A) realizados próximos al Estadio Municipal de Máncora, donde sobresalen frecuencias a 3.1, 6.0 y 9.0 Hz con amplificaciones relativas de 4.2, 4.4 y 2.4 veces respectivamente. Los resultados evidencian que conforme se tiende hacia la zona de terraza, los suelos responden a mayor frecuencia y las amplificaciones relativas disminuyen, correlacionándose con la geomorfología de la zona y sugiriendo la presencia de suelos con mayor consistencia conforme se tiende a las zonas de mayor cota topográfica.

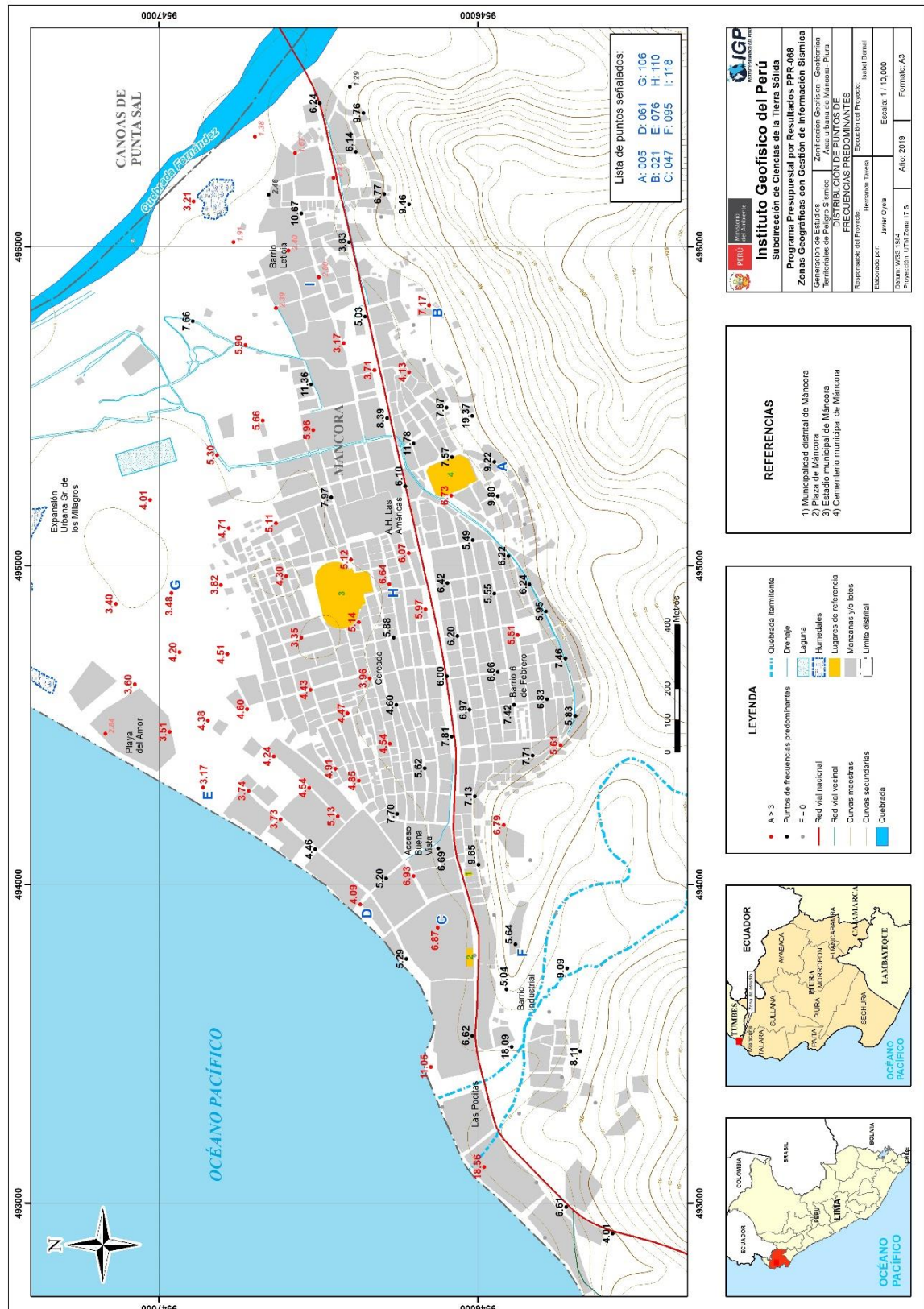
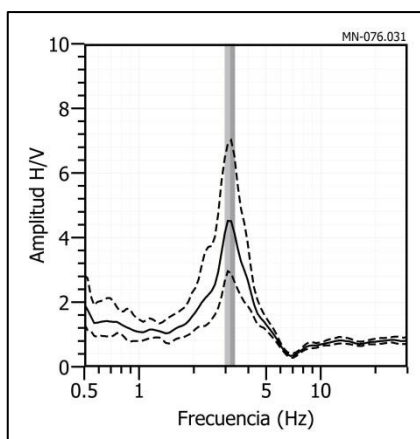
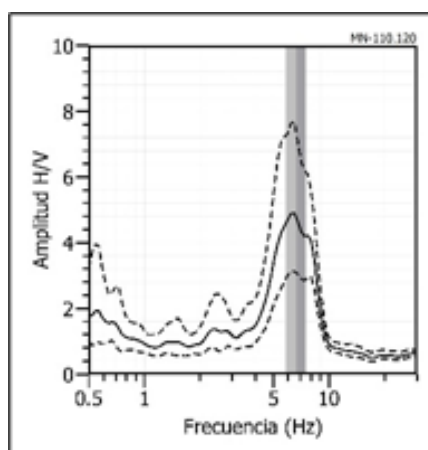


Figura 8: Distribución espacial de las frecuencias predominantes (Fo). Los valores en rojo corresponden a puntos con amplificaciones mayores a 4 veces. Las letras corresponden a los puntos cuyas razones espectrales son analizadas en el informe.

MN - 076



MN - 110



MN - 005

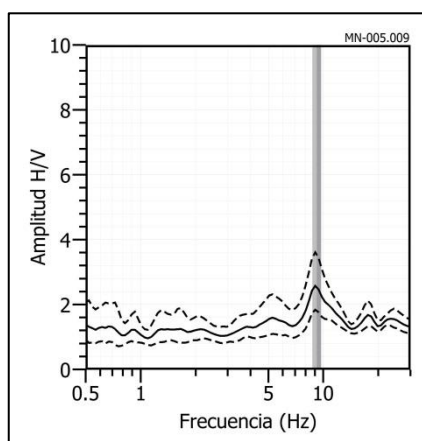


Figura 9: Ejemplos de razones espectrales (H/V): Para los puntos MN-076(E), MN-110(H) y MN-005 (A), distribuidos siguiendo una línea perpendicular a la línea de costa, próximos al estadio municipal de Máncora. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

Para el extremo NE del área de estudio: Se muestran ejemplos de razones espectrales para los puntos MN-106(G), MN-118(I) y MN-021(B) realizados próximos al área de expansión urbana Sr. de Los Milagros y en el barrio Leticia. Aquí, sobresalen frecuencias a 3.1, 2.9 y 7.0 Hz con amplificaciones de 6.4, 4.8 y 3.0 veces. Estos valores, a diferencia de lo observado para la zona central, son menores en el punto MN-118(I), sugiriendo que la capa superficial presenta mayor espesor y los factores de amplificación de 6 veces, sugieren la presencia de suelos blandos.

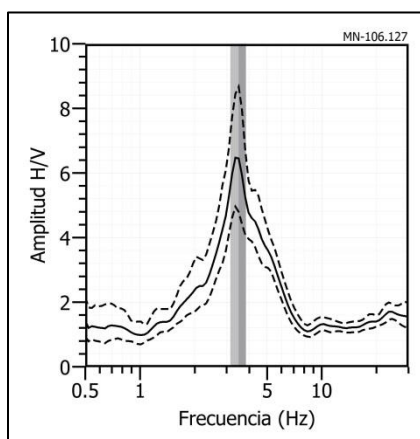
Para el extremo SO del área de estudio: Se muestran los ejemplos de razones espectrales característicos para los puntos MN-061(D), MN-047(C) y MN-095(F), distribuidos de manera perpendicular a la línea de costa y próximos al Barrio Industrial, donde sobresalen frecuencias a 4.1, 6.8 y 5.6 Hz con amplificaciones de 3.2, 3.5 y 1.5 veces respectivamente. Los resultados evidencian que los suelos conforme tienden hacia la terraza (dirección sur), son más compactos.

Asimismo, las frecuencias $F \leq 3.0$ Hz con altas amplificaciones, se identifican puntualmente en el barrio Leticia próximos a la quebrada Fernández y en la expansión urbana Sr. de los Milagros, evidenciando la presencia de suelos de menor consistencia y mayor espesor, que el resto del área de estudio.

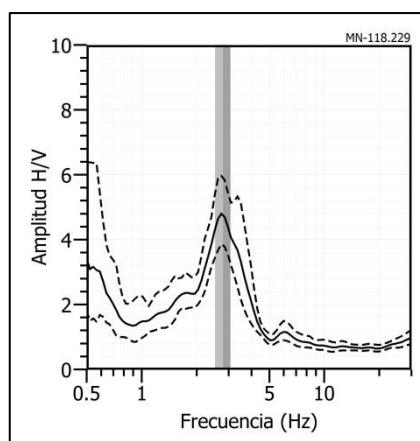
2.1.2. Periodos Dominantes

Los valores de frecuencias fueron transformados a periodos dominantes a fin de construir el mapa de isoperiodos. En la Figura 10, se muestra la distribución espacial de los periodos (T_0) de respuesta del suelo que varían entre 0.1 y 0.5 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. Estos últimos se presentan en pocos puntos ubicados en el Barrio industrial.

MN - 106



MN - 118



MN - 021

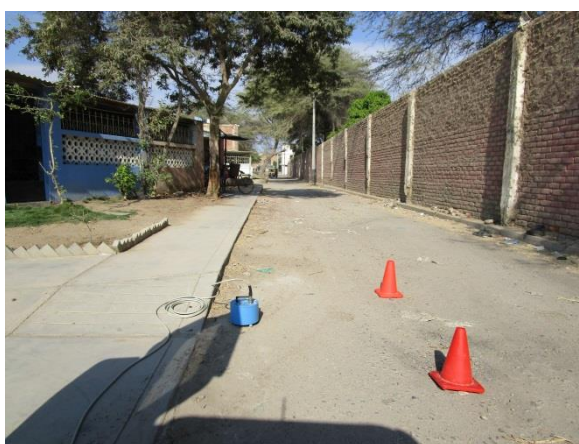
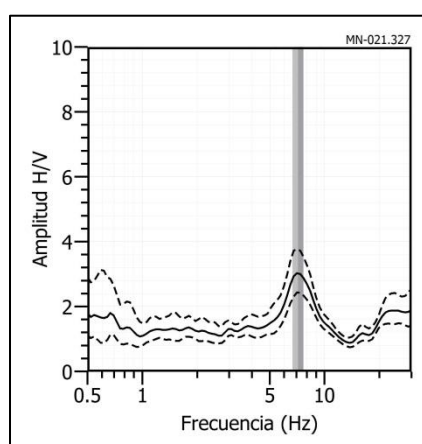
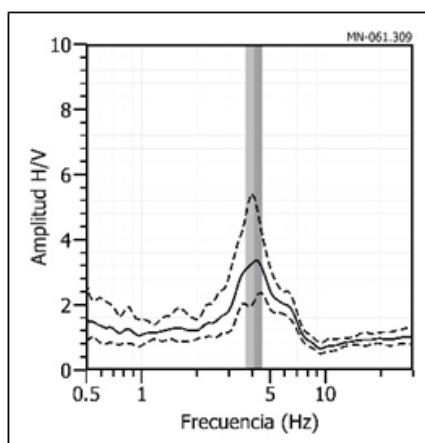
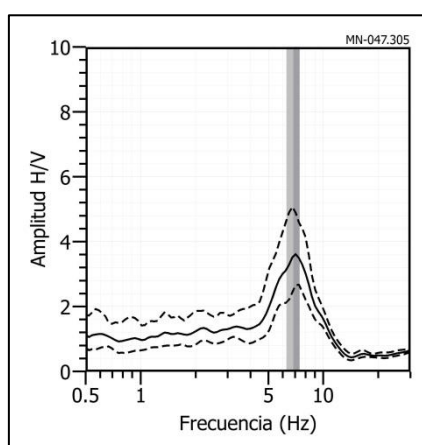


Figura 9: ... Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V): Para los puntos MN-106(G), MN-118(I) y MN-021(B), ubicados próximos al área de expansión urbana Sr. De Los Milagros y al barrio Leticia. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

MN - 061



MN - 047



MN - 095

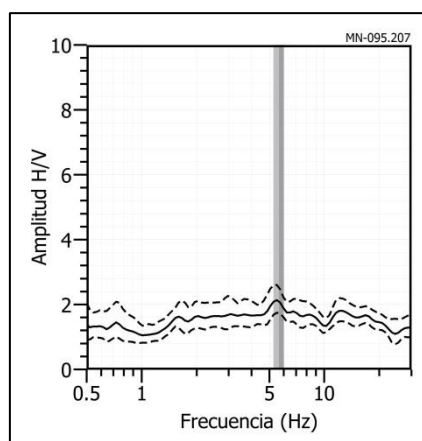


Figura 9: ... Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V): Para los puntos MN-061(D), MN-047(C) y MN-095(F), ubicados al suroeste, por el barrio Industrial. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

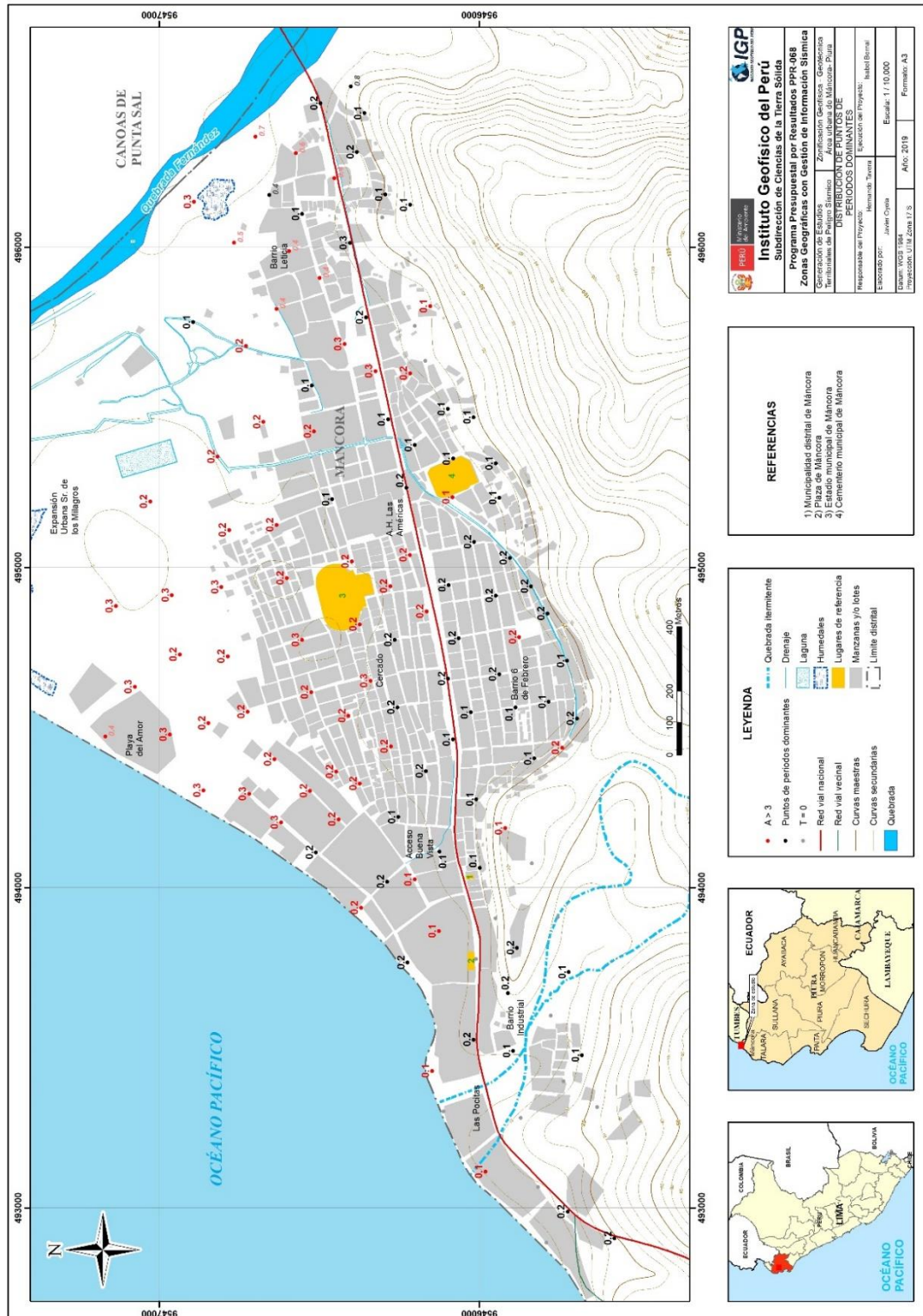


Figura 10: Mapa de la distribución espacial de los valores de periodos dominantes.

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 350 m/s y 400 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 10 a 20 metros. Sin embargo, al este donde se presentan periodos largos (0.4 y 0.5 segundos) se estima un espesor de la capa sedimentaria de 30 a 50 metros. Los resultados de este análisis sugieren que la capa superficial del suelo presenta mayor espesor hacia el extremo NE del área urbana de Máncora (Barrio Leticia).

2.2. Perfiles de MASW

En el área de estudio se realizaron 08 líneas sísmicas aplicando la técnica MASW a fin de identificar velocidades de ondas de corte V_s confiables hasta los 30 metros de profundidad. En la Figura 4, se presenta el mapa con la ubicación de las líneas y en la Figura 11, los resultados obtenidos para la línea LS01-MN. Para el resto de los perfiles, ver Anexos.

Líneas sísmicas LS01-MN: Realizada al norte de Máncora, en la zona de expansión urbana Señor de Los Milagros. Se identifica dos capas sísmicas: la primera de 7 metros de espesor, con velocidades V_s de 168 m/s correspondiendo a suelos blandos, la segunda capa, con velocidades V_s de 271 m/s y espesor de 9 metros considera a suelos moderadamente rígidos. Por debajo, el semi-espacio presenta velocidades $V_s > 401$ m/s, correspondiendo a suelos rígidos.

Línea sísmica LS02-MN: Ubicada al norte del área de estudio, próximo a la playa del Amor. Se identifica una capa sísmica de 11 metros de espesor y velocidad V_s de 152 m/s corresponde a suelo blando. Por debajo, el semi-espacio presenta velocidades $V_s > 326$ m/s, correspondiendo a suelo moderadamente rígido.

Línea sísmica LS03-MN: Realizada al oeste del área de estudio, en el Barrio Industrial, próximo al puente Cabo Blanco. Se identifica una capa sísmica de 5 metros de espesor con velocidades V_s de 282 m/s, que sugiere la presencia de suelos moderadamente rígidos. Por debajo, el semi-espacio presenta velocidades $V_s > 639$ m/s.

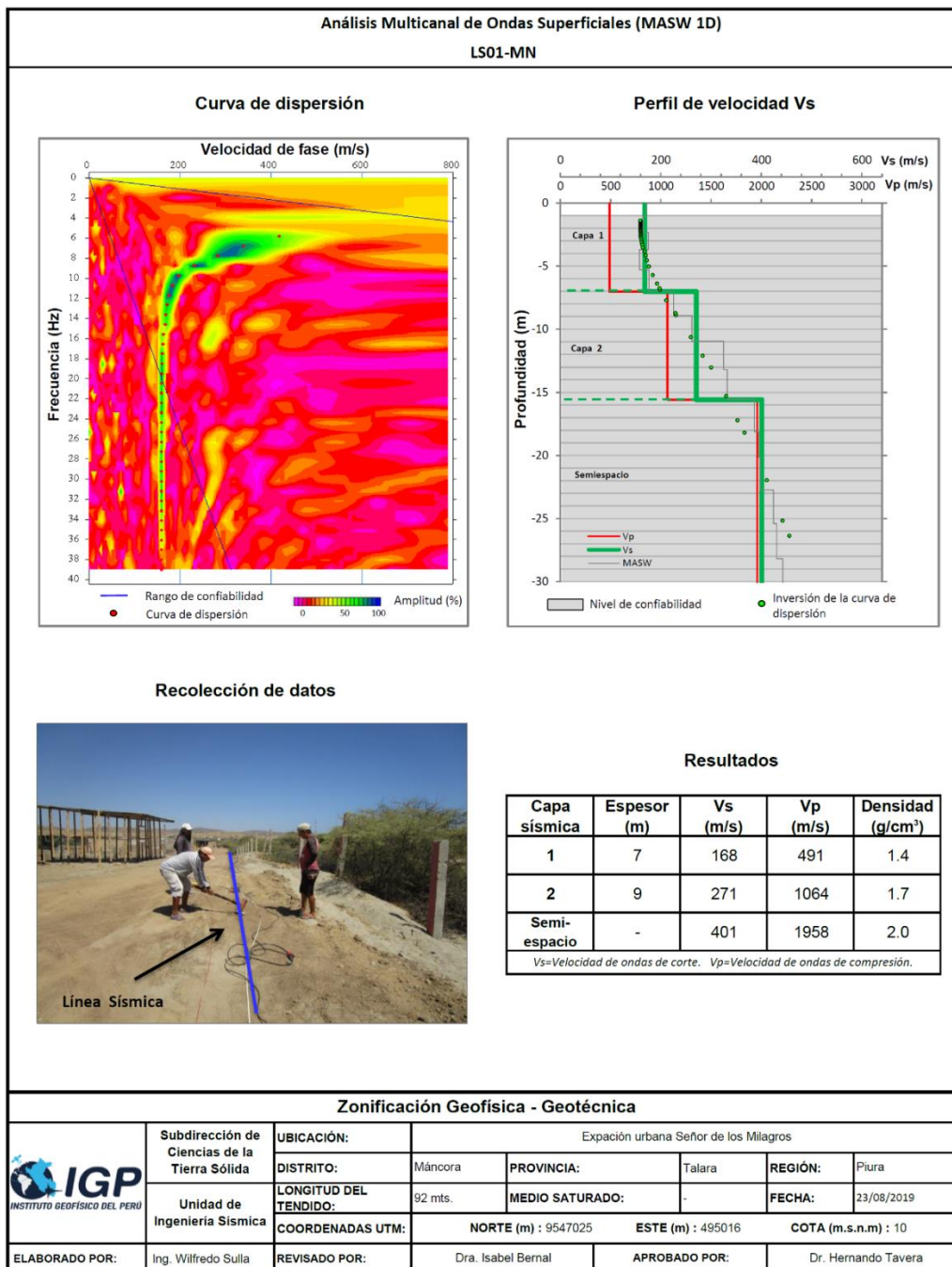


Figura 11: Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo lineal LS01-MN

Línea sísmica LS04-MN: Realizada al este del área urbana, en el Barrio Leticia. Se identifica dos capas sísmicas: la primera de 11 metros de espesor con velocidades V_s de 194 m/s y la segunda, con velocidades V_s de 288 m/s y espesor es de 9 metros, ambas capas corresponden a suelos moderadamente rígidos. Por debajo, el semi-espacio presenta velocidades $V_s > 401$ m/s.

Líneas sísmicas LS05-MN: Realizada al sur del área de estudio, en el Barrio 6 de Febrero. Se identifica dos capas sísmicas: la primera de 7 metros de espesor, con velocidades V_s de 193 m/s correspondiente a suelos moderadamente rígidos; la segunda capa, presenta velocidades V_s de 353 m/s con espesor es de 11 metros que considera suelos rígidos. Por debajo, el semi-espacio presenta velocidades $V_s > 865$ m/s, correspondiente a rocas moderadamente duras.

Línea sísmica LS06-MN: Realizada cerca al cercado del área urbana, en el A.H. Las Américas. Se identifica dos capas sísmicas: la primera de 9 metros de espesor, con velocidades V_s de 177 m/s que considera suelos blandos; la segunda capa, con velocidades V_s de 314 m/s y espesor de 9 metros correspondiente a suelos moderadamente rígidos. Por debajo, el semi-espacio presenta velocidades $V_s > 636$ m/s.

Línea sísmica LS07-MN: Realizada en el cercado del área urbana de Máncora. Se identifica dos capas sísmicas: la primera de 9 metros de espesor con velocidades V_s de 190 m/s y la segunda, con velocidades V_s de 333 m/s y espesor de 14 metros, ambas capas corresponden a suelos moderadamente rígidos. Por debajo, el semi-espacio presenta velocidades $V_s > 524$ m/s.

Línea sísmica LS08-MN: Realizada cerca la zona de playa, por el acceso a Buenavista. Se identifica dos capas sísmicas: la primera de 7 metros de espesor, con velocidades V_s de 171 m/s la cual considera suelos blandos; la

segunda capa, con velocidades V_s de 368 m/s y espesor de 18 metros que corresponde a suelos medianamente rígidos. Por debajo, el semi-espacio presenta velocidades $V_s > 556$ m/s, el cual considera suelos rígidos.

En la Tabla 5, se muestra el resumen de la información obtenida, la velocidad de ondas de corte V_s , su espesor y la velocidad V_{s30} .

Tabla 5: Valores de espesor y V_s de los perfiles sísmicos obtenidos para el área de estudio.

Superficie					Profundidad		
Línea Sísmica	N° DE CAPA						VS30 (m/s)
	1		2		Semi-espacio		
	Vs (m/s)	Esp. (m)	Vs (m/s)	Esp. (m)	Vs (m/s)	Esp. (m)	
LS01-MN	168	7	271	9	401	-	280
LS02-MN	152	11	326	-	-	-	222
LS03-MN	282	5	639	-	-	-	513
LS04-MN	194	11	288	9	407	-	260
LS05-MN	193	7	353	11	865	-	364
LS06-MN	177	9	314	9	636	-	302
LS07-MN	190	9	333	14	524	-	284
LS08-MN	171	7	368	18	556	-	296
Suelo blando (Vs < 180 m/s) Suelo moderadamente rígido (180 – 350 m/s) Suelo rígido (350 – 500 m/s) Suelo muy rígido o roca blanda (500 – 800 m/s) Roca moderadamente duro (800 – 1500 m/s) Roca dura (Vs > 1500 m/s)							

Finalmente, el análisis de los resultados obtenidos permite identificar la presencia de dos tipos de suelos, el primero corresponde a suelos blandos conformados por depósitos eólicos con presencia de humedad en capas con espesores del orden de 7 a 11 metros presentes en las zonas próximas a la playa y próximos al estadio de Máncora, Barrio Leticia y por la expansión urbana Señor de Los Milagros. Todas estas zonas están ubicadas hacia el extremo norte de Máncora (Figura 12). El segundo tipo corresponde a suelos moderadamente rígidos compuesto por depósitos eólicos y aluviales sobre el cual se encuentra la mayor parte del área urbana construida. Estos suelos están presentes próximos al talud, Plaza de Armas y zona industrial. Por sus

grandes extensiones, hacia el norte, el espesor de estos depósitos supera los 30 metros.



Figura 12: Suelo caracterizado como blando, presente en la zona de expansión urbana Señor De Los Milagros.

2.3. Perfiles de Tomografía Eléctrica

Se realizaron 06 líneas de tomografía eléctrica en el área urbana de Máncora a fin de conocer el grado de saturación del suelo mediante los valores de resistividad. En la Figura 7, se presenta el mapa con la ubicación de las líneas; en las Figuras 13 y 14, imágenes con la disposición de las diferentes líneas. Finalmente, en la Figura 15 se presentan los resultados obtenidos para la línea LE01-MN. Para el resto de los perfiles, ver Anexos.

Línea LE01-MN: Realizada en el extremo noreste del área urbana, en la zona de expansión urbana Sr. de Los Milagros. Aquí, se identifica el predominio de valores medianamente resistivos ($>100 \Omega.m$) asociados a la presencia en la zona de arena seca. Por debajo de los 10 metros de profundidad, se observa valores bajo resistivos ($<100 \Omega.m$) que indican la presencia de humedad en el suelo y cuyo contenido aumenta en profundidad. Esto suelos corresponden a depósitos de origen aluvial (Figura 13).



Figura 13: Vista de la línea eléctrica LE01-MN, LE02-MN, LE04-MN, LE05-MN y LE06-MN.

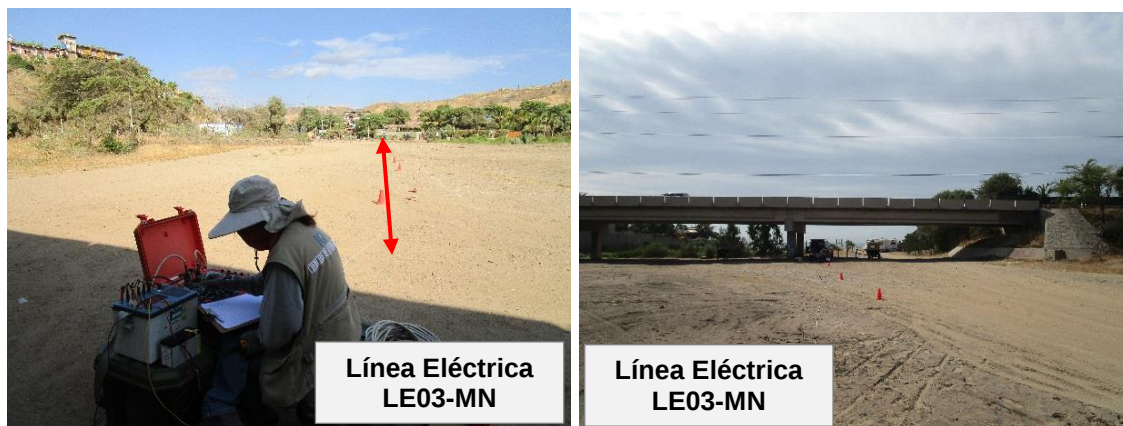


Figura 14: Vista de la línea eléctrica LE03-MN.

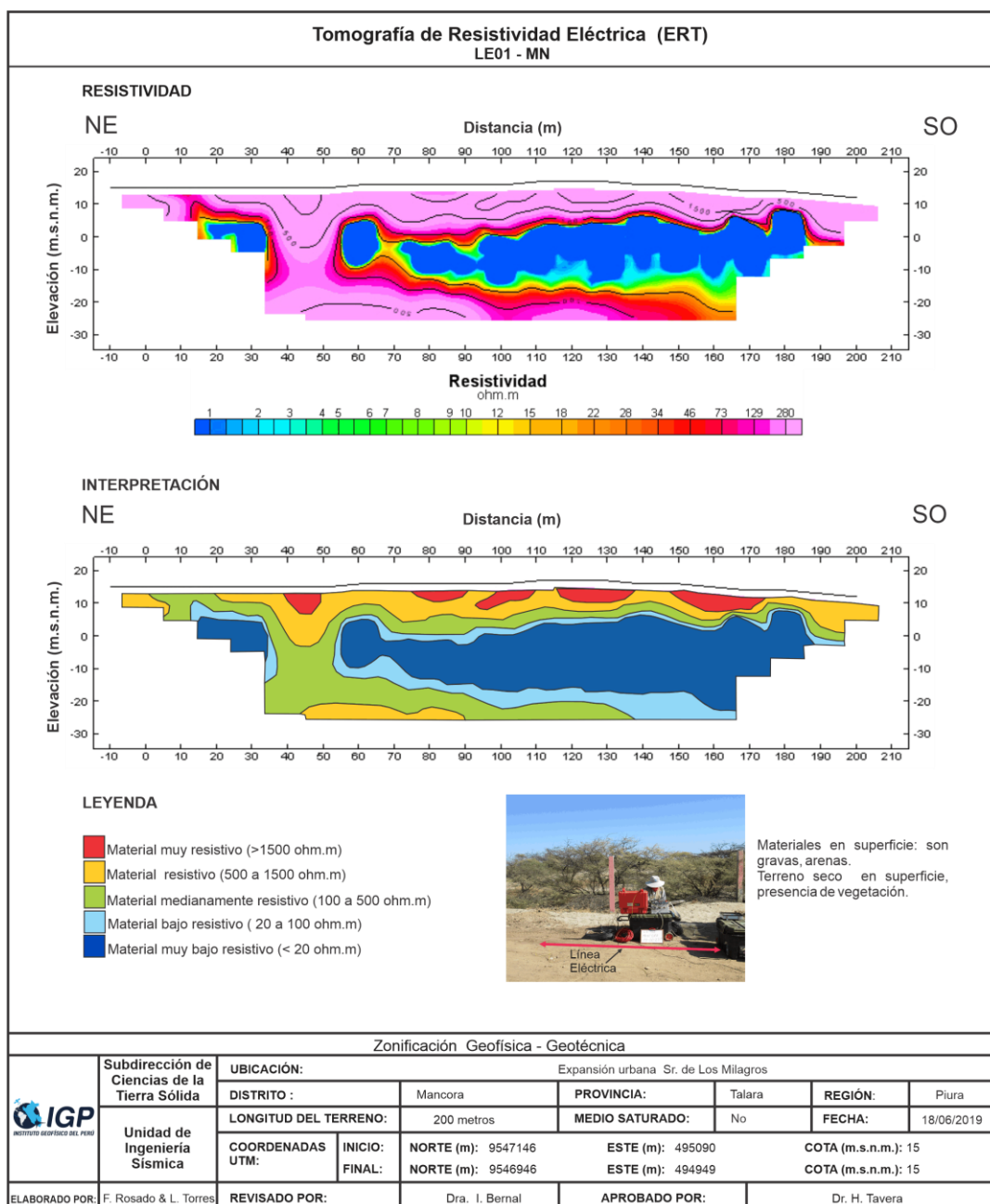


Figura 15: Resultado de tomografía de resistividad eléctrica para la línea LE01-MN.

Líneas LE02-MN, LE04-MN, LE05-MN y LE06-MN: Realizadas al este de la Plaza de Armas de Máncora, en los sectores de la expansión urbana Sr. de Los Milagros (Playa Amor), Barrio Leticia (próxima a la quebrada Fernández), Barrio 6 de Febrero y A. H. Las Américas. Aquí se identifica la presencia de valores bajo resistivos a muy bajo resistivos ($< 100 \Omega.m$) debido a la presencia de suelos húmedos y al material salitroso por efecto de intrusión marina. En las líneas **LE02-MN, LE04-MN**, se identifican valores medianamente resistivos que se presenta a nivel superficial del suelo y que están asociado a la presencia de arenas secas, zonas de relleno y la dinámica de la quebrada Fernández, ver Figura 13.

Línea LE03-MN: Realizada al oeste de la Plaza de Armas de Máncora, entre el Barrio Industrial y Las Pocitas. Aquí se identifica el predominio de valores muy bajo resistivos ($<20 \Omega.m$) correspondientes a suelos conformados por arenas de origen marino; por lo tanto, pueden almacenar agua subterránea o presentar alto contenido de humedad, ver Figura 14.

Hacia los extremos este y noreste del área urbana, los perfiles geoeléctricos evidencian la presencia de suelos saturados, principalmente en los sectores del Barrio Leticia, A.H. Las Américas, y en el sector de Playas, debido a la influencia de las intrusiones marinas y a la presencia de la quebrada Fernández que favorece a que el medio saturado se encuentre a partir de 5 metros de profundidad. En estas zonas el suelo está conformado por arenas no consolidadas que permiten el almacenamiento de aguas subterráneas, lo cual aumenta la posibilidad de producirse licuación de suelos durante la ocurrencia de un evento sísmico. Asimismo, hacia el extremo oeste de la Plaza de Armas, entre el sector Las Pocitas y Barrio Industrial se presentan medios saturados debido a que los suelos se encuentran constituidos mayormente por arenas y finos, influenciados por intrusiones marinas y la presencia de una quebrada que se activa en temporada de lluvias.

3. ZONIFICACIÓN GEOFÍSICA – GEOTÉCNICA

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

3.1. Integración de resultados

El área urbana de Máncora se encuentra ubicada a una altura promedio de 6 m.s.n.m., presenta una superficie plana ligeramente ondulada con pendientes bajas a moderadas, condiciones geomorfológicas que influyen en los resultados.

En general el suelo del área urbana de Mancera responde a periodos de entre 0.1 y 0.5 segundos (Figura 16). Los periodos de 0.1 segundo se identifican principalmente en la Municipalidad y Plaza de Armas, por el cementerio, Barrio 6 de Febrero y zona industrial (cerros) y los periodos de 0.2 segundos, en los sectores próximos a la playa, en el cercado y estadio municipal de Máncora. De manera puntual, los periodos entre 0.3 y 0.5 segundos se identifican hacia el extremo este del área urbana (Barrio Leticia, zona de expansión urbana Sr. de los Milagros). Estos resultados sugieren la presencia de una capa superficial con diferente espesor que se encuentra influenciada por humedales y arenas sueltas identificados al norte y al este del área de estudio. De acuerdo con el análisis sísmico, los suelos superficiales próximos a los cerros son moderadamente rígidos en superficie ($V_s = 193 - 282$ m/s) con espesores entre 5 y 7 metros. Por otro lado, hacia el extremo norte y zonas de playa predominan suelos blandos ($V_s = 152 - 177$ m/s) en capas con espesores de 10 a 20 metros.

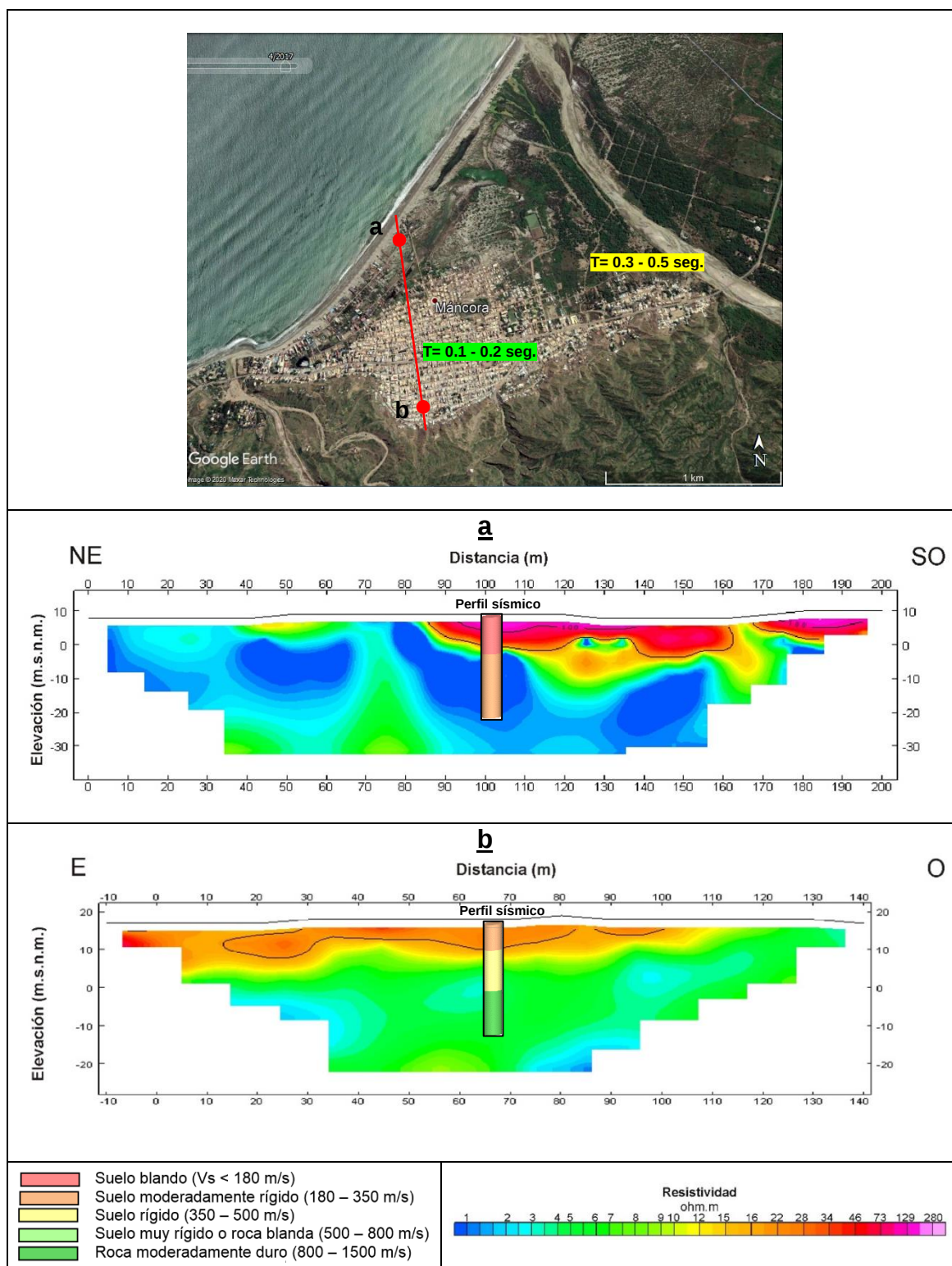


Figura 16: Correlación de los ensayos geofísicos, periodos dominantes, tipo de suelo y grado de saturación.

De manera puntual, en el Barrio Leticia, se identifica la presencia de una capa superficial de 20 metros de espesor, influenciada por la presencia de humedales que afectan al comportamiento dinámico del suelo con el predominio de periodos largos, $T = 0.4 - 0.5$ seg.

Asimismo, se tiene el predominio de suelos saturados desde niveles superficiales (3 a 5 metros), principalmente en las áreas cercanas a los canales de drenaje, Barrio Leticia, Sr de Los Milagros, A.H. Las Américas y la zona de playa. Esta saturación es debido a la influencia de la intrusión marina, la quebrada Fernández, las inundaciones y la infiltración que se origina durante los periodos de lluvias intensas y/o el fenómeno de El Niño.

En general, el suelo al estar constituido de gravas, arenas, limos, acillas y a la existencia de saturación en niveles superficiales, evidencian un alto Peligro por sismo.

3.2. Mapa de Zonificación Geofísica-Geotécnica

El mapa de Zonificación Geofísica - Geotécnica para el área urbana de Mancora, se elabora en función de la integración de los resultados obtenidos del análisis geofísico y geotécnico de los suelos. Las características dinámicas del suelo y sus propiedades mecánicas han permitido identificar en el área de estudio, considerando lo indicado en la Norma Técnica de Construcción Sismorresistente E.030, la existencia de suelos de Tipo S1, S2 y S4. Estos tipos de suelo corresponden a las Zonas I, II y IV respectivamente, definidas en la misma norma.

Para el área urbana de Máncora se propone la siguiente zonificación Geofísica - Geotécnica (Figura 17).

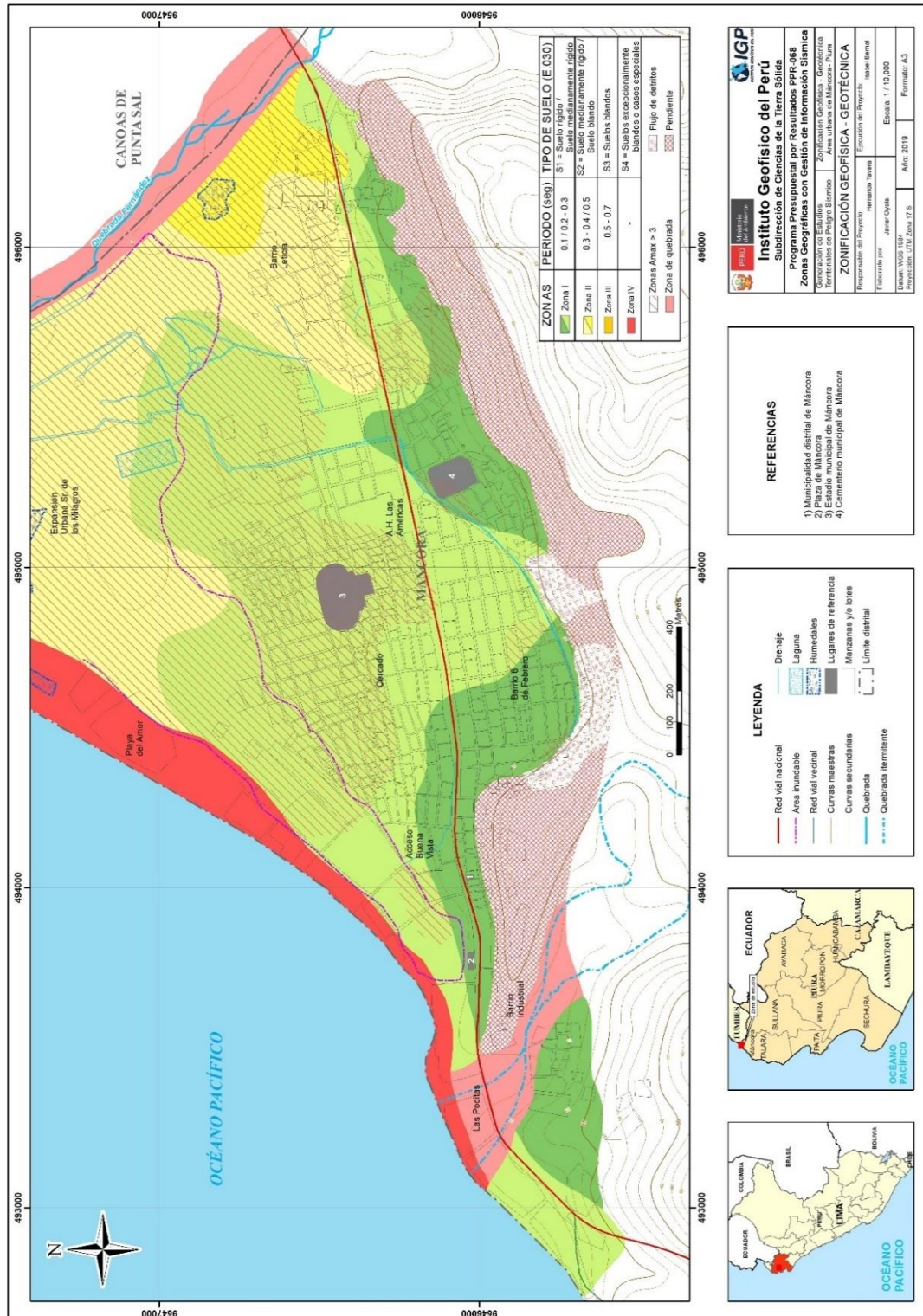


Figura 17: Mapa de Zonificación Geofísica-Geotécnica del área urbana de Máncora.

- **ZONA I:** Considera una capa superficial de poco espesor constituido por arenas y limos (depósitos eólicos y aluviales) que presenta en promedio velocidades de ondas de corte V_s de 190 m/s, la misma que se incrementa en profundidad hasta velocidades de 600 m/s (30 metros). Los periodos de vibración natural del suelo varían entre 0.1 y 0.2 segundos, ambos definen la existencia de suelos Tipo S1, con un comportamiento modernamente rígido a rígido (NTE.030).

En el sector ubicado en la zona baja de la terraza de Máncora (Barrio 6 de Febrero, Municipalidad y plaza de Máncora), los suelos responden principalmente a periodos de 0.1 segundos (Figura 17, verde intenso); además presentan bajo nivel de saturación y una capacidad de carga admisible menor a 2.0 Kg/cm² hasta un metro de profundidad.

En el sector en donde se ubican el A.H. Las Américas y el cercado de Máncora (Estadio municipal de Máncora), los suelos responden principalmente a periodos de 0.2 segundos (Figura 17, verde claro), presentan moderado a alto nivel de saturación y una capacidad de carga admisible menor a 1.0 Kg/cm² hasta un metro de profundidad.

- **ZONA II:** Considera suelos constituidos por estratos de arenas, limos y arcilla (depósitos eólicos y aluviales). Presenta velocidades de ondas de corte V_s de 180 a 200 m/s para la capa superficial hasta profundidades de 10 y 20 metros; dicha velocidad se incrementa hasta 550 m/s a la profundidad de 30 metros. Los periodos de vibración natural varían entre 0.3 y 0.5 segundos, y ambos definen la existencia de suelos Tipo S2, cuyo comportamiento es blando a moderadamente rígido (NTE.030). Los suelos presentan alto nivel freático y una capacidad de carga admisible menor a 1.0 Kg/cm² hasta un metro de profundidad. Esta zona comprende el sector norte y NE de Máncora (zona de playa, Sr. de los Milagros y Barrio Leticia).

- **ZONA III:** En el área de estudio no se identificó suelos Tipo S3.

- **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.

- **Zona IVa:** Constituida por depósitos marinos y aluviales con alto contenido de humedad presentes en la zona de playa y las quebradas que desembocan al Océano Pacífico (sectores Las Pocitas y Barrio Industrial). Estos suelos son susceptibles a sufrir grandes amplificaciones debido a su baja capacidad de carga admisible ($< 1.0 \text{ Kg/cm}^2$). Estos suelos pueden generar procesos geodinámicos externos como inundaciones, procesos de licuación y mayores sacudimientos durante la ocurrencia de un evento sísmico.

- **Zona IVb:** Corresponde a zonas de topografía irregular, susceptibles a generar derrumbes además de flujos de detritos y caída de rocas. Son sectores inestables que presentan pendientes mayores a 30° , constituidos superficialmente por material inconsolidado y que se encuentran al sur y norte del área urbana de Máncora. El último derrumbe ocurrido fue al sur de Barrio 6 de Febrero y que afectó viviendas, vías de acceso; además de favorecer a la generación de escorrentías y flujo de detritos.

Según la Figura 17, en las zonas I y II, las líneas inclinadas en rojo delimitan áreas donde los suelos presentan amplificaciones relativas mayores a 3 veces, sugiriendo que desarrollaran mayor sacudimiento a la ocurrencia de un sismo con epicentro en el litoral: áreas de playa, Sr. de Los Milagros, estadio municipal, A.H. Las Américas y Barrio Leticia. Asimismo, las áreas delimitadas con líneas discontinuas, indican la ubicación de las zonas de inundación pluvial y fluvial originada por el fenómeno El Niño en el año 2017. Estas zonas corresponden a la zona de playa y A.H. Sr. de Los Milagros.

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

CONCLUSIONES

El estudio de Zonificación Geofísica - Geotécnica (Comportamiento Dinámico del Suelo) para el área urbana de Máncora, ha permitido llegar a las siguientes conclusiones:

- Máncora se caracteriza por presentar cinco unidades (geoformas) como son: abanico aluvial, lechos aluviales, playa, tablazo y terraza marina. La mayor parte de ellas están conformadas por materiales aluviales y marinos (anteriormente plataforma marina), sobre los cuales se asienta la ciudad en mención. Con el proceso de levantamiento tectónico se formaron los tablazos, donde es frecuente la ocurrencia de movimientos en masa como los deslizamientos debido a que los materiales están fuertemente erosionados por la acción del viento, por la infiltración de las aguas de escorrentía que descienden de éstos principalmente en épocas de ocurrencia del fenómeno El Niño, al no existir un adecuado sistema de drenaje y sumado a ello, el socavamiento del talud para la construcción de viviendas. El sector Uno de Mayo es afectado por deslizamientos producidos en la ladera este del tablazo de Máncora conocido como cerro La Cruz; mientras que, los flujos de detritos que descienden del cerro en mención provocan daños en el AA.HH. Víctor Raúl debido al estrechamiento de la canalización de las aguas de 9 m a 3 m aproximadamente a la altura del cementerio Máncora.
- Otro evento geodinámico importante son las inundaciones en la margen izquierda por activación de la quebrada Fernández, la cual afecta a los AA.HH. Diez de Abril, Los Cicales, Nuevo Máncora y el balneario. Las áreas expuestas involucran un total de 500 habitantes y 130 viviendas.
- 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

Máncora son cinco (5): grava mal graduada (GP) con compacidad media a alta y capacidad de carga portante media ($2 - 3 \text{ kg/cm}^2$), así como, arena mal graduada (SP), arena limosa (SM), limos inorgánicos (ML) y arcillas inorgánicas (CL), los cuales presentan compacidad muy suelta a media y capacidad de carga portante muy baja ($<1.00 \text{ kg/cm}^2$).

- Los suelos de Máncora responden principalmente a frecuencias de entre 3.0 y 18.0 Hz con amplificaciones de hasta 3 veces. De manera puntual, los suelos presentes en el barrio Leticia, expansión urbana Sr. de Los Milagros y próximos a la quebrada Fernández Monte Grande, responden a frecuencias de 2.0 y 2.9 Hz.
- Las altas amplificaciones (mayores a 4 veces) sugieren que los suelos donde se asientan los sectores Barrio Leticia, expansión urbana Sr. de Los Milagros, A.H. Las Américas, el cercado y estadio municipal de Máncora, presentan menor consistencia. A diferencia de lo observado hacia la municipalidad de Máncora, zonas próximas a la terraza (cerros) y en la zona industrial, donde se presentan menores amplificaciones, correspondiendo a suelos con mayor consistencia.
- El periodo del suelo (T_0) varían desde 0.1 a 0.5 segundos, donde los periodos menores a 0.3 segundos predominan en el área de estudio y los periodos mayores a 0.3 segundos, se distribuyen hacia el extremo este del área urbana. En el Barrio Leticia se concentran los mayores periodos (0.4 a 0.5 segundos). Mediante la relación $T_0=4H/V_s$, y asumiendo velocidades de 350 m/s y 400 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 10 a 20 metros. Asimismo, de considerarse periodos de 0.4 y 0.5 segundos, se estima que la capa de suelo tendría un espesor de 30 a 50 metros. Los resultados de este análisis sugieren que

la capa superficial del suelo presenta mayor espesor hacia el extremo SE del área urbana.

- En el área urbana de Máncora se tiene la presencia de dos tipos de suelos, el primero caracterizado por suelos blandos con velocidades de ondas de corte (V_s) que varían entre 152 a 177 m/s y espesores entre 7 a 11 metros (suelos blandos). Asimismo, por suelos moderadamente rígidos con velocidades de 193 a 282 m/s y espesores que varían de 10 a 20 metros para la capa superficial. En profundidad se incrementa el grado de rigidez.
- En el área de estudio se identifica la presencia de suelos saturados desde la superficie (5 metros), principalmente al este de la Plaza de Armas, en el Barrio Leticia, A.H. Las Américas y a lo largo del margen de la costa. Esta saturación es debido a la influencia de las intrusiones marinas y a la quebrada Fernández.
- Los resultados obtenidos para el área urbana de Máncora 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, S2 y S4.

BIBLIOGRAFÍA

- Bard, P-Y. (1995) Effects of surface geology on ground motion: Recent results and remaining issues, In Proc. 10 European Conf. Earth. Eng., ed. Duma, Balkema, Rotterdam, 305-323.
- Bard, P-Y y SESAME (2004) The SESAME project: an overview and main results. 13 World Conference on Earthquake Engineering Vancouver, B.C., Canada August 16, 2004 Paper No. 2207.
- Beresnev, I.A., K.L. Wen, and Y.T. Yeh 1995a, "Nonlinear Soil Amplification: It's Corroboration in Taiwan. Bull, Seism. Soc. Am., Vol. 85, pp. 496-515.
- Bernal, I. (2006) Microzonificación sísmica de la ciudad de Tlaxcala, México. Tesis de Maestría en Ciencias, UNAM, pag. 130.
- Bernal, I., Tavera, H., Sulla, W., Arredondo, L., & Oyola, J. (2018). Geomorphology characterization of Ica basin and its influence on the dynamic response of soils for urban seismic hazards in Ica, Peru. International Journal of Geophysics, 2018, article ID 9434251, 12. <https://doi.org/10.1155/2018/9434251>
- Braja Das, (2011) - Principles of Foundation Engineering, Seven Edition, pág. 139-140.
- Brusi, D., et al (2013) - Enseñanza de las Ciencias de la Tierra. ISSN: 1132-9157. Pág. 181-194.
- Cahill & Isacks (1992) - Seismicity and shape of the subducted Nazca Plate. Journal Geophys. Res., 97, 17503-17529.
- Crespo V., C., (2004) - Mecánica de Suelos y Cimentaciones, 5ta edición.
- CISMID, (2016) - Densidad de campo. Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres. Laboratorio Geotécnico.
- De Marco, Pietro, (2002) - Corrección del índice de resistencia a la penetración. Caracas: Universidad Central de Venezuela, 2002. 315 p.
- 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.
- DHN (2018). Carta de inundación en caso de tsunami, balneario de Máncora – Piura. Marina de guerra del Perú.

- DHN, (2013) – Caracterización de la Dinámica marina y perfil de cota en la playa Máncora. Marina de Guerra del Perú, Dirección de Hidrografía y Navegación, Departamento de Oceanografía.
- Diario El Comercio, (2019) – Piura: Siete familias salvan de morir tras deslizamiento de cerro Máncora.
- Diario El Comercio, (2015) – Máncora pierde el 70% de su humedal debido a invasiones
- Diario El Regional Piura, (2017) - familias talareñas continúan en peligro tras derrumbe de muro de protección durante Fenómeno del Niño Costero 2017.
- Flores-Estrella, H., Lomnitz, C. y Yussim S. (2004). "Estimación de velocidades de fase a partir del análisis de microtemores con el método SPAC", *Geophysics*, Vol. 24, N° 3, 438-445
- Gasulla, M.; Jordana, J.; Pallás, R.; Torrents, J.M. (1998). Subsurface resistivity measurements using square waveforms. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 47(1): 74-77.
- GORE-PNUD, (2003) – Diagnóstico Socio Económico y Ambiental de la zona marino costera – ZMC de la provincia de Talara. Gobierno Regional de Piura y Programa de Desarrollo de las Naciones Unidas.
- Hartzel, S. H. (1992). Site response estimation from earthquake data. *Bull. Seism. Soc. Am.* 82, 2308-2327
- Harvey, A., M., 1987. Patterns of Quaternary aggradational and dissectional landform development in the Almeria region, southeast Spain: a dry-region tectonically-active landscape. *Die Erde* 118, 193-215.
- Howie D., & Sy, (2003) - A method for correlating large penetration test (LPT) to standard penetration test (SPT) blow counts.
- Hutchinson, J., N., (1988) - General Report: Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology. *Proceedings, Fifth International Symposium on Landslides*, (Ed: Bonnard, C.). 1, 3-35 p. Rotterdam: Balkema.
- INDECI, (2017) – Instituto Nacional de Defensa Civil. Estado Situacional de la Emergencia.
- INDECI, (2017) – Inundación afecta el distrito de Máncora-Piura. Reporte complementario N°194-23/03/2017. COEN-INDECI/12:00 horas (Reporte 1).
- Juárez, E., y Rico, A. (2005) - Fundamentos de la Mecánica de Suelos. Segunda Edición. Limusa S.A. México D.F.

- Justus Oreman (1965) - Estudios de las propiedades y formación de arcillas sensibles.
- 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) – Penetration Test and Bearing Capacity of Cohesionless Soils. Journal of the Soils Mechanics and Foundations División, ASCE, Vol 82 N°SM1, Proc. Paper 886, Jan. 1956, pp-19.
- Ministerio de Economía y Finanzas, (2017) - Informe de seguimiento y Gestión a la Inversión Pública.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2015) - <http://renac.mtc.gob.pe/inventariovial/default2.aspx>.
- Nakamura Y. (1989). A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. Quarterly Report Railway Tech. Res. Inst., 30-1, 25-30.
- Norma Técnica de edificaciones E.030. 2018. Aprobada por Decreto Supremo N° 011-2006-VIVIENDA, modificada por Decreto Supremo N° 003-2016-VIVIENDA.
- Orellana, E. (1982). Prospección geoeléctrica en corriente continua. Madrid: Ediciones Paraninfo.
- Palacios, O, (1994) - Geología de los cuadrángulos Paita 11-a, Piura 11-b, Talara 10-a, Sullana 10-b, Lobitos 9-a, Quebrada Seca 9-b, Zorritos 8-b, Tumbes 8-c y Zarumilla 7-c. Serie A: Carta Geológica Nacional. Boletín N° 54. Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico- INGEMMET.
- Park, C.B. (2015). Data acquisition. Retrieved 23 June, 2015, from <http://www.masw.com/DataAcquisition.html>
- Park, C.B. (2014). MASW for geotechnical site investigation. The Leading Edge, 32(6):656-662.
- Park, C. B., Miller, R. D., Xia, J., & Ivanov, J. (2007). Multichannel analysis of surface waves (MASW)—active and passive methods. The Leading Edge, 26 (1), 60–64.

- Park, C. B., Miller, R. D. y Xia, J. (1999). Multichannel analysis of surface waves *Geophysics* 64 800-8.
- Perrone, A., Iannuzzi, A., Lapenna, V., Lorenzo, P., Piscitelli, S., Rizzo, E., and Sdao, F. (2004). Highresolution electrical imaging of the Varco d'Izzo earthflow (southern Italy), *J. Appl. Geophys.*, 5 56, 17-29, doi:10.1016/j.jappgeo.2004.03.004
- Pike, R. J., I. S. Evans, and T. Hengl. 2009. *Geomorphometry: A brief Guide*. *Dev. Soil Sci.* 33: 3-30.
- 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, región 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
- SESAME European research project WP12 – Deliverable D23.12: (2004). Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations measurements, processing and interpretation.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), (2018). <http://www.senamhi.gob.pe/>
- 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.
- 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

- Tarbut, E., D. Lutgens, F., K., (2005) - Ciencias de la Tierra. Una introducción a la Geología Física Pretince Hall. Cap16. 8a edición. 710 pp.
- 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.
- Yamunaque, F., L., E., (1991) - Microzonificación y Lineamientos de Planeamiento Urbano de la Ciudad de Talara para la Mitigación de Desastres.
- 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.
- Zenteno, E y Sánchez, C. (2004). Inventario de fuentes de aguas subterráneas en el valle medio y bajo de Piura. Informe técnico. INRENA. p 143.
- Zinck, J. & Valenzuela, C., (1990) – Soil geographic database: structure and application examples. ITC Journal, 1990(3), 270-294.

ANEXOS

ANEXOS

La información que se detalla está contenida en el CD que se adjunta al presente Informe Técnico. "Zonificación Geofísica – Geotécnica del área urbana de Máncora".

1. Información Geológica Geotécnica:

Fichas de eventos geodinámicos

Registros de calicatas

Densidad de campo

Fichas de granulometría

Registro de posteos

Registro de DPL

Registro de capacidad de carga admisible

Mapas

2. Información Geofísica

Perfiles Sísmicos (MASW)

Secciones Geo eléctricas (ERT)

Mapas