



PERÚ

Ministerio  
del Ambiente



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

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



### ZONIFICACIÓN SÍSMICA – GEOTÉCNICA DE LA LOCALIDAD DE BOCA DE RÍO

Lima, Perú  
2018

**Instituto Geofísico del Perú**

Presidente Ejecutivo: Dr. Hernando Tavera

Director Científico: Dr. Danny Scipion

**Autores**

Isabel Bernal

Caracterización Sísmica y Geofísica de la localidad de Boca del Río

Juan Carlos Gomez

Caracterización Geológica y Geotécnica de la localidad de Boca del Río

Equipo de Evaluación Geológica y Geotécnica: Pilar Vivanco

Equipo de Evaluación Sísmica y Geofísica: Fabiola Rosado / Henry Salas / Wilfredo Sulla

Liliana Torres / Javier Oyola/ Kelly Pari /Luz Arredondo/ Jesús Huarachi /Jorge Salas

Personal de apoyo: Augusto Cárdenas / Roberth Yupanqui

Personal administrativo: Marisol Enriquez

**Este Informe ha sido producido por:**

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

**ZONIFICACIÓN SÍSMICA – GEOTÉCNICA DE LA  
LOCALIDAD DE BOCA DEL RÍO**

**Distrito de Sama – Provincia y Región de Tacna**

## RESUMEN

En el marco del Programa Presupuestal por Resultados N°068: Reducción de la Vulnerabilidad y Atención de Emergencias por Desastres se ejecutó el proyecto “**Zonas Geográficas con Gestión de Información Sísmica**”, el mismo que tuvo como una de sus actividades la “**Generación de Estudios Territoriales de Peligro Sísmico**” obteniéndose como resultado final, la Zonificación Sísmica - Geotécnica de las áreas urbanas de las ciudades/localidades de Tacna (distrito de Cercado), Alto Alianza (distrito de Alto Alianza), Ciudad Nueva (distrito de Ciudad Nueva), Boca del Río (distrito de Sama), Ite (distrito Ite), Ilo, (distrito de Pampa inalámbrica), Moquegua ( Capital de Moquegua), Torata y Yacango (Distrito de Torata).

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

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

El presente informe está constituido por tres (3) partes, en la primera se realiza la presentación de las características del área de estudio y presentación de sus conclusiones. En la segunda parte, se presenta el desarrollo del estudio realizado para la caracterización geológica y geotécnica, y en la tercera, la caracterización sísmica y geofísica, en ambos casos para la Localidad de Boca del Río. Finalmente, en un DVD se adjunta toda la documentación y mapas temáticos generados durante la realización del presente estudio.

## INDICE

### **RESUMEN**

### ÍNDICE

#### **PARTE 1: Presentación**

##### 1.- INTRODUCCION

- 1.1. Objetivo
- 1.2. Historia
- 1.3. Accesibilidad y Clima
- 1.4. Estudios Previos

##### 2. CONDICIONES LOCALES DE SITIO

- 2.1. La Norma Técnica E.030

### CONCLUSIONES

**PARTE 2:** Caracterización geológica y geotécnica de la Localidad de Boca del Río

**PARTE 3:** Caracterización sísmica y geofísica de la Localidad de Boca del Río

### **BIBLIOGRAFIA**

**ANEXOS:** Documentos y Anexos se adjuntan en un DVD.

## 1. INTRODUCCIÓN

Dentro del Programa Presupuestal por Resultados N°068 “**Reducción de la Vulnerabilidad y Atención de Emergencias por Desastres**”, el Instituto Geofísico del Perú ejecutó durante el año 2017 el Proyecto “**Zonas Geográficas con Gestión de Información Sísmica**” y como parte del mismo, la Sub-Dirección de Ciencias de la Tierra Sólida desarrollan la Actividad “**Generación de Estudios Territoriales de Peligro Sísmico**” a fin de obtener el Mapa de Zonificación Sísmica – Geotécnica (Comportamiento Dinámico del Suelo) para las áreas urbanas de las siguientes Localidades/ ciudades (Figura 1):

- **Tacna**, distrito de Cercado, provincia y región de Tacna.
- **Alto de la Alianza**, distrito de Alto de la Alianza, provincia y región de Tacna.
- **Ciudad Nueva**, distrito de Ciudad Nueva, provincia y región de Tacna.
- **Boca del Río**, localidad del distrito de Sama, provincia y región de Tacna.
- **Ite**, distrito de Ite, provincia de Jorge Basadre y región de Tacna.
- **Ilo y Pampa Inalámbrica**, capital de la provincia de Ilo, región de Moquegua.
- **Moquegua**, capital de la provincia del mismo nombre, región de Moquegua.
- **Torata y Yacango**, distrito de Torata, provincia de Mariscal Nieto y región de Moquegua.

De acuerdo a la historia sísmica del Perú, la región sur ha sido afectada en varias oportunidades por eventos sísmicos de variada magnitud que han generado altos niveles de intensidad, puesta en evidencia con los daños observados post-sismo en la región de Tacna y Moquegua (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.

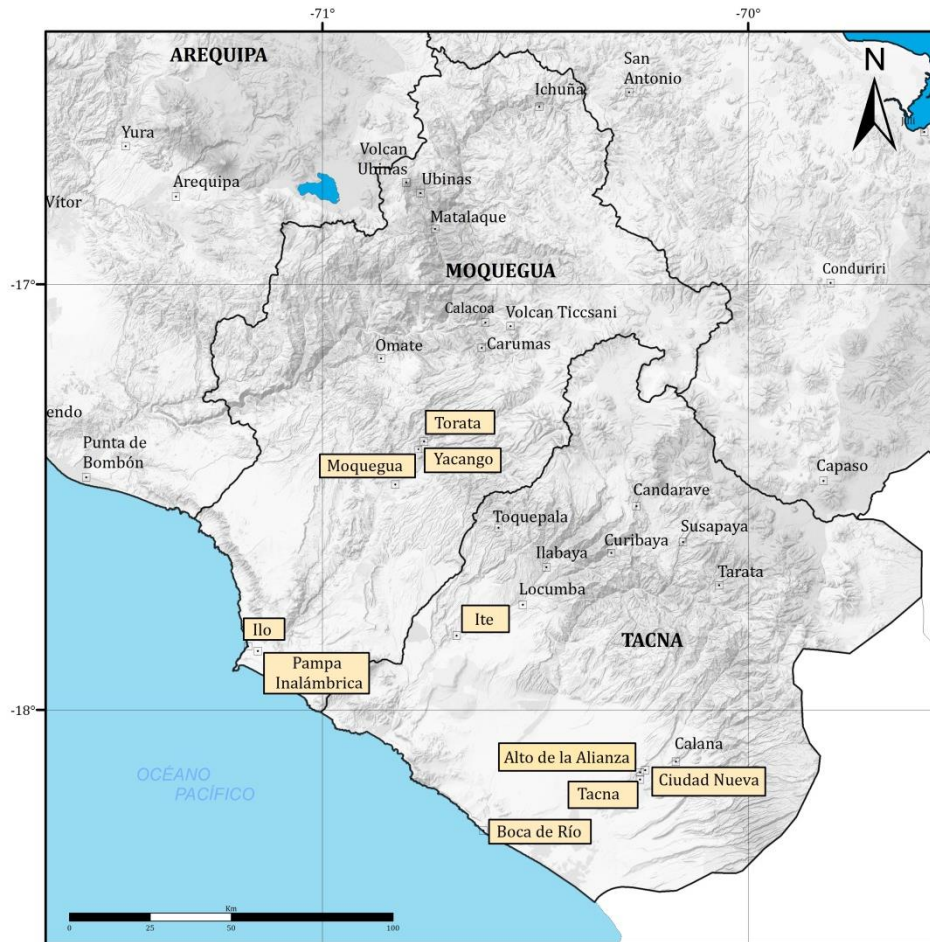


Figura 1: Distribución espacial de las localidades/ Ciudades intervenidas en el año 2017: Zonificación Sísmica – Geotécnica de suelos.

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

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

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

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

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

### 1.1.- Objetivo

El principal objetivo a cumplir en este estudio es obtener el mapa de Zonificación Sísmica - Geotécnica para la localidad de Boca del Río, distrito de Sama, provincia de Tacna, Región de Tacna, a partir de la integración de los resultados obtenidos con la aplicación de diferentes métodos sísmicos, geofísicos, geológicos y geotécnicos. Asimismo, es de interés del presente estudio que las autoridades dispongan de un documento técnico que les ayude en el desarrollo y ejecución de proyectos orientados a la gestión del ordenamiento territorial y desarrollo sostenible de la localidad.

El área de estudio abarca el ámbito urbano del centro poblado de Boca del Río comprendida desde el límite de la desembocadura del río Sama hasta la Urb. Tomoyo.

## 1.2. Historia

Boca del Río es una localidad que destaca por sus playas de agua poco profundas (Figura 2); ubicado al margen derecho de la desembocadura del río Sama, nombre proveniente del Aymara “Samaraña” y del Quechua “Samay”, que significa Lugar de descanso o Tierras descansadas. Está dividida políticamente en varios anexos como: Buena Vista, Miraflores, Las Yaras, Cuyloña, Valle Bajo, en su zona costera con los anexos Vila Vila, Puerto Grau-Morro Sama y el primer balneario del Centro Poblado Boca del Río.

Como dato histórico según el Tratado de Ancón en el año 1884, pasó a ser la frontera de Perú después de la guerra con Chile (Municipalidad de Sama, s.f.). Asimismo durante las excavaciones para la instalación de los servicios de saneamiento se hallaron 37 tumbas pre incas que datan entre los años 800- 1445 d. C.; pertenecientes al período conocido como Desarrollo Regional Tardío. Se hallaron tumbas de niños así como ceramios y representaciones de objetos de pescas.

En la actualidad Boca del Río es una localidad y balneario peruano ubicado en el distrito de Sama, provincia y región de Tacna (Figura 3). Se encuentra en el margen Occidental y región sur de Perú, a una altitud promedio de 5 m.s.n.m., limita por el norte con la playa Vila Vila, por el sur con el distrito de La Yarada, por el este con el centro poblado Las Yaras y por el oeste con el Océano Pacífico.



Figura 2: Playa en la localidad de Boca del Río

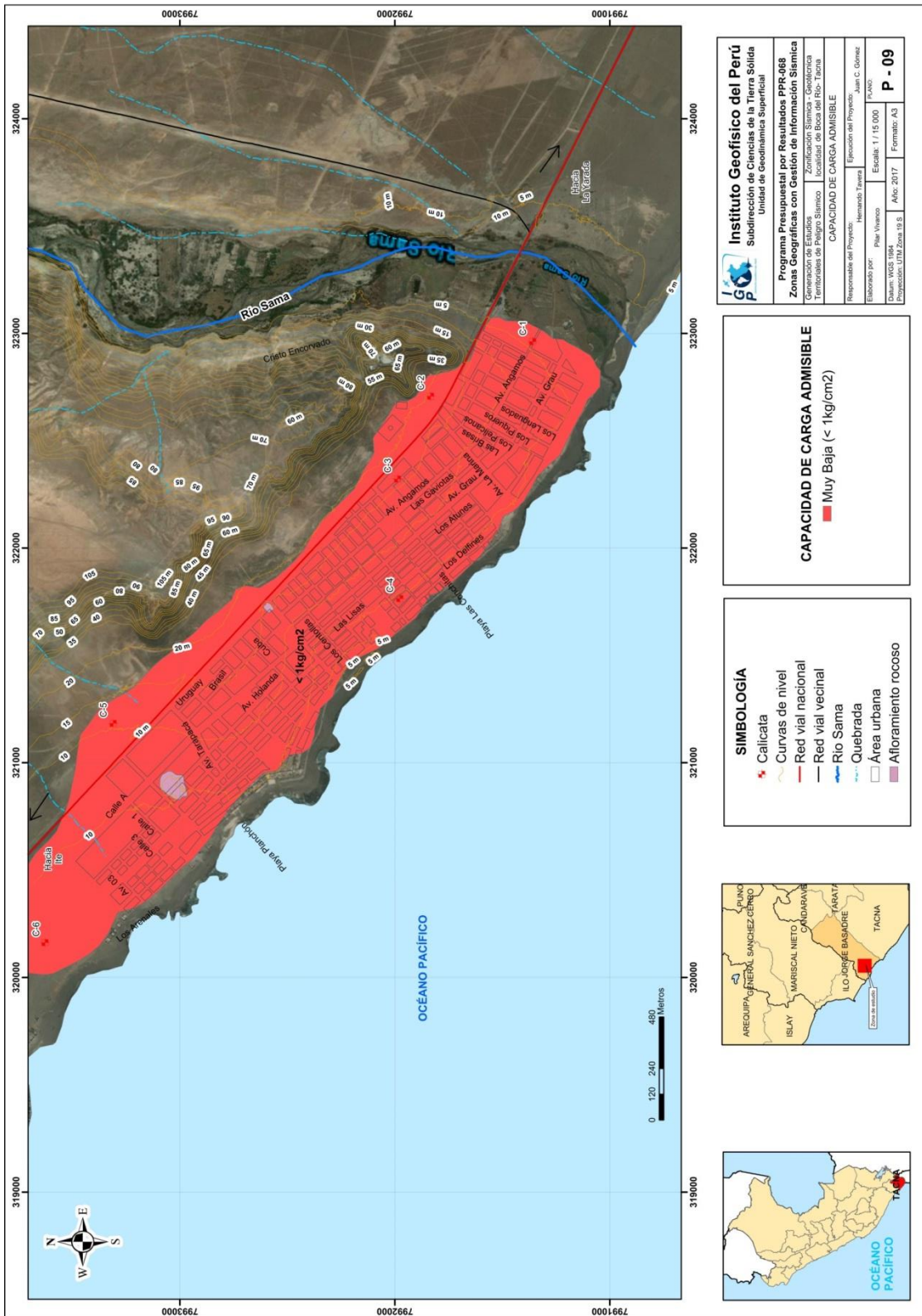


Figura 3: Mapa de ubicación geográfica de la localidad Boca del Río.

<b>Instituto Geofísico del Perú</b> Subdirección de Ciencias de la Tierra Sólida Unidad de Geodinámica Superficial	
Programa Presupuestal por Resultados PPR-068 Zonas Geográficas con Gestión de Información Sísmica	
Generación de Estudios Zonificación Sísmica - Geotécnica Territoriales de Peligro Sísmico Localidad de Boca del Río- Tarma	
CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE	
Responsable del Proyecto: Hernando Triveta	Ejecución del Proyecto: Juan C. Gómez
Elaborado por: Piel Vences	Escala: 1 / 15 000
Datum: WGS 1984 Proyección: UTM Zona 18 S	Año: 2017
Formato: A3	P - 09

**CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE**

■ Muy Baja ( $< 1 \text{ kg/cm}^2$ )

- SIMBOLOGÍA**
- Calicata
  - Curvas de nivel
  - Red vial nacional
  - Red vial vecinal
  - Río Sama
  - Quebrada
  - Área urbana
  - Afloramiento rocoso



### 1.3. Accesibilidad y Clima

El acceso a la localidad de Boca del Río, desde la ciudad de Lima; se realiza por la carretera Panamericana Sur, vía asfaltada en buen estado de conservación hasta la ciudad de Ilo (1091 km), luego se continúa por la costanera hasta llegar al km 43, finalmente, se dirige en dirección oeste, hasta llegar a la municipalidad distrital de Boca del Río.

Para determinar las condiciones climáticas de la localidad de Boca del Río, se ha tomado datos referenciales de la web del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). La estación La Yarada, se encuentra ubicada a 18 Km al sureste de la Localidad de Boca del Río, en las coordenadas geográficas; Latitud: 18°12'24.4", Longitud: 70°31'26.8", en cota 41 m.s.n.m. Según la información registrada en esta estación (período 2012-2017), la Localidad presenta clima seco y semi cálido, con una temperatura media mensual, que durante los meses de verano oscila entre 26°C y 28°C, el mes de julio es el más frío, con temperaturas de 12°C en promedio (ver Tablas 1,2 y Figura 4).

Tabla 1: Temperaturas máximas y mínimas medias mensuales (2012-2017), recopilados de la estación meteorológica La Yarada (SENAMHI, 2012). SD Sin datos.

Estación: La Yarada Tipo Convencional-Metereológica												
Departamento: Tacna			Provincia: Tacna				Distrito: Tacna		Tacna			
Latitud: 18°12'24.4"			Longitud: 70°31'26.8"				Altitud: 41 m.s.n.m.					
Temperaturas máximas y mínimas promedios registradas en la estación lte durante el período 2012-2017												
Variable	Meses											
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
T° Max Promedio (°C)	27.51	28.10	26.61	25.20	23.34	21.18	20.04	19.99	20.88	22.26	23.87	25.82
T° Min Promedio (°C)	17.51	17.72	16.83	15.51	14.33	13.91	12.95	13.94	14.55	15.39	15.78	16.05

Tabla 2: Precipitaciones mensuales (2012-2017), recopilados de la estación meteorológica Boca del Río (SENAMHI, 2012). Dónde SD Sin datos.

Estación: La Yarada Tipo Convencional-Metereológica												
Departamento: Tacna			Provincia: Tacna				Distrito: Tacna		Tacna			
Latitud: 18°12'24.4"			Longitud: 70°31'26.8"				Altitud: 41 m.s.n.m.					
Temperaturas máximas y mínimas promedios registradas en la estación lte durante el período 2012-2017												
Años	Meses											
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2012	0	0	0	0	0	0	0	0	1.80	0	0	0
2013	0	0	0	0	0	0	0	0.3	0	0	0	0
2014	0	0	0	0	0	1.2	0	0	0.2	0	0	0
2015	0	0	3.7	0	0	0	0	1.2	2.1	2	0	3.2
2016	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

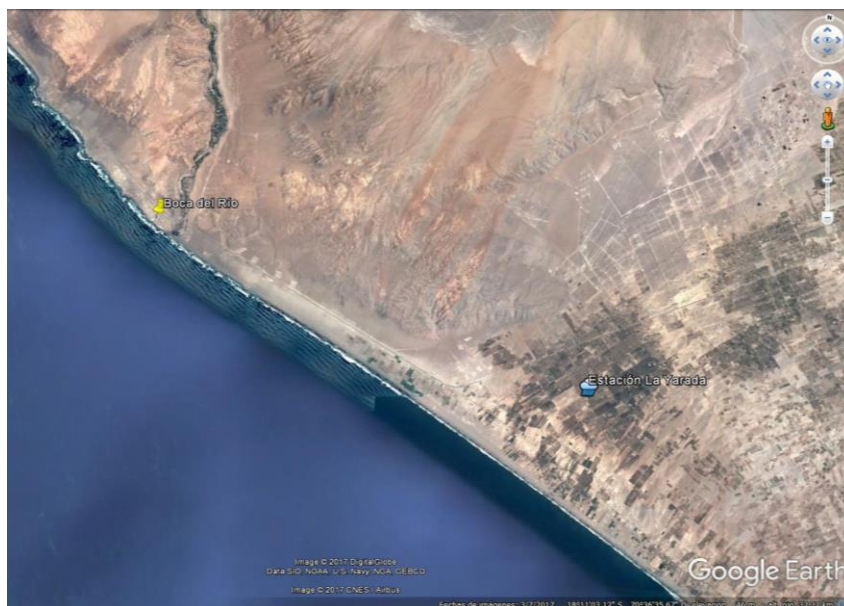


Figura 4: Estación Meteorológica “La Yarada”, ubicada a 18 km al SE de la localidad de Boca del Río.

#### 1.4. Estudios Previos

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

- En el 2016, INDECI realizó *“Informe de estimación de riesgo por tsunami en la caleta Vila Vila, distrito de Sama – Tacna”*: la ocurrencia de sismos y tsunamis en los años 1604, 1868, afectaron la región sur de Perú y norte de Chile; al igual que los terremotos de Chile (20109 y Japón (2011), principalmente en las zonas costeras.
- En el 2012, el estudio *“Actividad hidrogeológica del sur del Perú, en evaluación situacional de las cuencas de Sama y Locumba”*: indica que la cuenca del río Sama presenta concentración elevada de arsénico y boro como producto de la actividad hidrotermal que se desarrolla en la cordillera de los Andes, lo cual se reduce por efecto de dilución y a la presencia de hierro en algunos tributarios.
- En el 2012, INGEMMET realizó la *“Geología de los cuadrángulos de La Yarada, Tacna y Huaylillas. Hojas 37-u; 37-v y 37-x”*, identifico afloramientos de la Formación Chocolate (flujos y aglomerados volcánicos), con niveles yeseríficos en

la margen izquierda del río Sama, y depósitos cuaternarios, identificando dos terrazas de origen marino. Además, de afloramientos de rocas intrusivas (dioritas) de la Súper Unidad Ilo. En el cerro Fuerte “Los Españoles”, al noreste de Boca del Río, se observa el lineamiento Calvario con dirección NE-SO.

- En Obeso (2006), “*Estudio del volcanismo jurásico en el extremo sur de la costa del Perú*”. Indica que en el sector de Boca del Río se presenta intercalaciones de lavas basálticas porfiríticas con brechas grises a pardas; además de algunos niveles de microconglomerados verdes a grises, pseudoestratificados en paquetes de 50 cm.
- En el 2006, en el artículo “*The southern region of Peru earthquake of June 23rd, 2001*”, publicado por Tavera y colaboradores, se detalla la evaluación de intensidades observadas como consecuencia del evento sísmico ocurrido el 23 de junio de 2001 ( $M_w = 8.1$ ), en la zona sur del Perú. Se indica que la intensidad máxima estimada para la Localidad de Boca del Río estuvo en el orden de VI (MM).
- En el 2006, el Ministerio de Agricultura, Intendencia de recursos hídricos realizó el “*Estudio Hidrogeológico del valle Sama*”: indican que en el distrito Sama – Las Yaras, al que el centro poblado Boca del Río pertenece se inventariaron 38 pozos, la mayoría de tajo abierto y profundidades máximas y mínimas de los pozos son de 60.7 a 1.5 metros, respectivamente. El acuífero está constituido principalmente por sedimentos aluviales y fluviales del cuaternario reciente, identificándose 05 unidades hidrogeológicas, afloramientos rocosos, depósitos aluviales, eólicos, marinos y fluviales. Gracias a estudios de sondajes eléctricos, se determinan horizonte saturado de resistividades bajas (10-18 ohm.m), correspondiendo a clastos finos y/o agua almacenada mineralizada.
- De acuerdo al “*Plan Operativo Boca del Río, para desastres Sismo –Tsunami*”, las construcciones próximas al mar son las más antiguas, carecen de señalización de zonas de evacuación ante cualquier tipo de desastre o emergencia. La expansión urbana de la tercera etapa ha creado zonas vulnerables a ser afectadas por tsunamis.

## 2. CONDICIONES LOCALES DE SITIO

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

Las condiciones locales de sitio son evaluadas en los estudios de Zonificación Sísmica, geotécnica y el resultado es considerado como una de las herramientas más importantes para minimizar los daños producidos por los sismos. La finalidad es evaluar el comportamiento dinámico de los suelos (CDS), teniendo en cuenta que la intensidad de las sacudidas sísmicas varía considerablemente a distancias cortas y áreas pequeñas. Diversos estudios muestran, que los suelos ante la incidencia de ondas sísmicas asociadas a movimientos débiles y/o fuertes, responden de acuerdo 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, 2002), ver Figura 5.



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

La metodología a seguir para lograr el mayor conocimiento sobre el comportamiento dinámico del suelo o efectos de sitio en regiones de moderada a alta sismicidad, considera estudios geológicos, geomorfológicos, geotécnicos, sísmicos y geofísicos. Cada uno de estos campos de investigación proveen de información básica a partir de observaciones de campo y la toma de 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 Sísmica - Geotécnica que debe constituirse como el documento más importante en las tareas y programas de gestión del riesgo ante la ocurrencia de sismos.

## 2.1. La Norma Técnica E.030

En el Perú, la construcción de obras civiles de cualquier envergadura debe considerar la Norma Técnica E.030 “Diseño Sismorresistente” del Reglamento Nacional de Edificaciones, modificada según Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda. Básicamente, esta norma considera los perfiles de suelos en función de sus propiedades mecánicas, tomando en cuenta la velocidad promedio de propagación de las ondas de corte, o alternativamente, para suelos granulares, considera el promedio ponderado de los  $N_{60}$  obtenidos mediante un ensayo de penetración estándar (SPT), o el promedio ponderado de la resistencia al corte en condición no drenada  $S_u$  para suelos cohesivos. Se estable 5 perfiles (Tabla 3):

- **Perfil Tipo  $S_0$ : Roca Dura**, corresponde a las rocas sanas con velocidades de propagación de ondas de corte ( $V_s$ ) mayor a 1500 m/s.
- **Perfil Tipo  $S_1$ : Roca o Suelos Muy Rígidos**, a este tipo corresponden rocas con diferentes grados de fracturación, de macizos homogéneos y los suelos muy rígidos con velocidades de propagación de onda de corte  $V_s$ , entre 500 y 1500 m/s.
- **Perfil Tipo  $S_2$ : Suelos Intermedios**, son suelos medianamente rígidos, con velocidades de propagación de onda de corte  $V_s$  entre 180 y 500 m/s.

- **Perfil Tipo S<sub>3</sub>: Suelos Blandos**, corresponden suelos flexibles con velocidades de propagación de onda de corte  $V_s$  menor o igual a 180 m/s.
- **Perfil Tipo S<sub>4</sub>: Condiciones Excepcionales**, corresponde a suelos excepcionalmente flexibles y los sitios donde las condiciones geológicas y/o topográficas son particularmente desfavorables, en los cuales se requiere efectuar un estudio específico para el sitio. Será determinado con un Estudio de Mecánica de Suelos (EMS).

Tabla 3: Clasificación de los perfiles de suelo según la norma E.030

Perfil	$V_{s30}$ (m/s)	Descripción
S <sub>0</sub>	> 1500	Roca dura
S <sub>1</sub>	500 a 1500	Roca o suelo muy rígido
S <sub>2</sub>	180 a 500	Suelo medianamente rígido
S <sub>3</sub>	< 180	Suelo blando
S <sub>4</sub>	Clasificación basada en el EMS	Condiciones Excepcionales

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

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

Dónde:

$d_i$  = espesor de cada uno de los estratos n.

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

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

**ZONA I:** Comprende a suelos Tipo S1, cuyas velocidades de ondas de corte ( $V_s$ ) varían entre 500 y 1500 m/s, correspondiendo a suelos rígidos a muy rígidos. Esta

zona está conformada por estratos de grava coluvial que se encuentra a nivel superficial o cubiertos por un estrato de material fino. Los periodos predominantes en esta zona son de 0.1 y 0.3 segundos.

**ZONA II:** Comprende a suelos Tipo S2, cuyas velocidades de ondas de corte ( $V_s$ ) varían entre 180 y 500 m/s, correspondiendo a suelos medianamente rígidos. Esta zona está conformada por estratos superficiales finos y suelos arcillosos con espesores de hasta 10 metros, subyaciendo a estratos de grava. Los periodos predominantes en esta zona son de 0.3 y 0.5 segundos.

**ZONA III:** Comprende a suelos Tipo S3, cuyas velocidades de ondas de corte ( $V_s$ ) son  $<180$  m/s, correspondiendo a suelos blandos. Esta zona está conformada por estratos superficiales finos y arenas de gran espesor que se encuentran en un estado suelto, subyaciendo a estratos de material gravoso. Los periodos predominantes en esta zona son de 0.5 y 0.7 segundos.

**ZONA IV:** Comprende a suelos Tipo S4, cuyas características físicas y dinámicas son excepcionales. Esta zona 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, desmonte heterogéneos, rellenos sanitarios.

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

## CONCLUSIONES

Para la localidad de Boca del Río se ha identificado, según las características dinámicas del suelo, propiedades mecánicas y criterios establecidos en la Norma de construcción Sismoresistente E-030, la existencia de tres tipos de suelos: S1, S2 y S4: Finalmente, la zonificación Sísmica- Geotécnica para la localidad de Boca del Río considera las siguientes zonas (Figura 6):

- **ZONA I:** Presente en casi toda el área de estudio, desde el extremo NO (Urb. Tomoyo) hasta la Plaza Cívica y la zona de Refugio. Conformada por estratos de roca volcánica andesítica que se encuentran a nivel superficial y cubiertos por depósitos de material fino (arena mal graduada y arena-limosa) con mínimos espesores. Este suelo tiene un comportamiento semi-rígido a rígido, con periodos de vibración natural que varían entre 0.1 y 0.3 segundos y velocidades de propagación de onda de corte vs, entre 850 y 1550 m/s, que corresponden al dominio de suelos Tipo S1 según la Norma Sismorresistente Peruana. Asimismo, presenta una capacidad de carga admisible de 1.0 kg/cm<sup>2</sup> para la capa superficial hasta un metro de profundidad.

En el mapa de la Figura 6, las líneas inclinadas de rojo delimitan la zona de mayor amplificación, extremo NO del área de estudio (Urb. Tomoyo) y puntualmente, en el extremo final de la quebrada la Yesera (Av. Tarapacá), donde los suelos presentan amplificaciones relativas mayores a 5 veces evidenciando una menor consistencia de estos suelos respecto al resto del área de estudio. Los suelos presentan poco espesor ~1.00 metro y en algunos sectores del orden de 3.00 metros con un grado de compactación bajo, además de intercalaciones de capas delgadas de material calcáreo, evidenciando menor consistencia que los depósitos de material fino.

Las líneas inclinadas de color negro delimitan el área donde se presentan amplificaciones mínimas, entre el Puesto de ADUANA hasta la Plaza Cívica y en la zona de Refugio se evidencia la mayor consistencia de los suelos.

- **ZONA II:** Delimita un área pequeña ubicada entre la Plaza Cívica y el cauce del río Sama, y está conformada por estratos de depósitos de origen aluvial y coluvial que se encuentran a nivel superficial (suelos granulares finos a gruesos) con espesores que varían entre 5 y 15 metros, subyaciendo a estos estratos se

tiene roca volcánica andesítica. Este suelo tiene un comportamiento semi-rígido, con periodos de vibración natural que varían entre 0.3 y 0.4 segundos, y velocidades de propagación de onda de corte  $v_s$ , entre 300 y 600 m/s, que corresponden al dominio de suelos Tipo S2 según la Norma Sismorresistente Peruana.

- **ZONA III:** Los suelos correspondientes a esta zona no fueron identificados en el área estudiada.

- **ZONA IV:** Ubicada hacia el oeste la zona de litoral y hacia el SE sobre el cauce del río Sama. Conformada por depósitos marinos y fluviales (Zona IVa) cuyas características físicas y dinámicas son excepcionales y corresponden al dominio de suelos Tipo S4, según la Norma Sismorresistente Peruana.

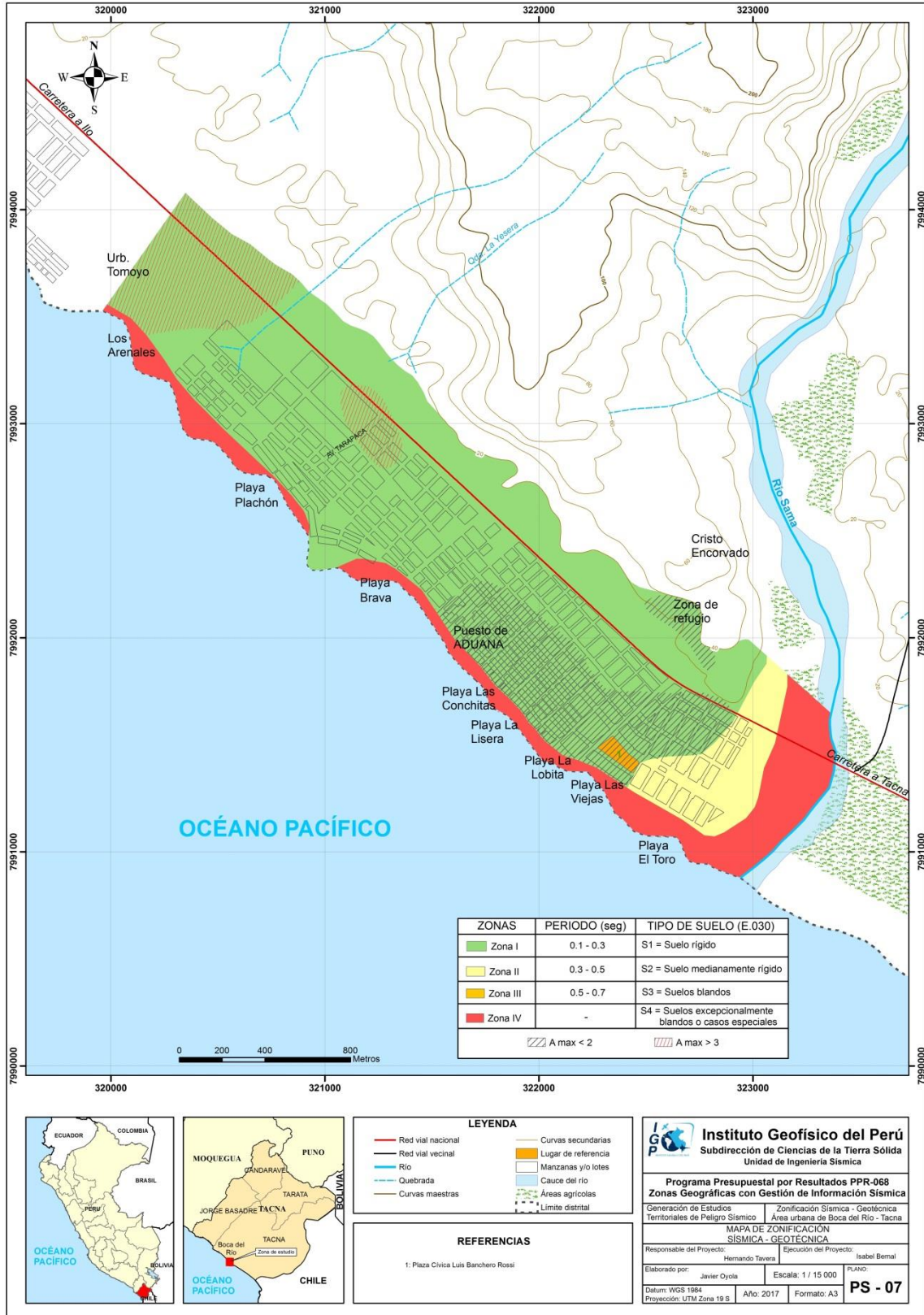


Figura 6: Mapa de Zonificación Sísmica- Geotécnica para la localidad de Boca del Río.

**CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA  
DE LA LOCALIDAD DE BOCA DEL RÍO**

## CONTENIDO

### 1. METODOLOGÍA

### 2. GEOMORFOLOGÍA

#### 2.1. Base topográfica

#### 2.2. Modelo digital del terreno

#### 2.3. Pendientes

##### 2.3.1. Clasificación del grado de pendientes

#### 2.4. Unidades geomorfológicas

##### 2.4.1. Lecho fluvial

##### 2.4.2. Loma

##### 2.4.3. Llanura de inundación

##### 2.4.4. Playa

##### 2.4.5. Terraza aluvial

##### 2.4.6. Terraza Fluvial

##### 2.4.7. Terraza marina

### 3. GEOLOGÍA

#### 3.1. Geología regional

#### 3.2. Geología histórica

#### 3.3. Geología estructural

#### 3.4. Geología local

##### 3.4.1. Formación Guaneros (Ji-gu\_i)

##### 3.4.2. Formación Chocolate (Ji-cho)

##### 3.4.3. Depósitos Cuaternarios

### 4. GEODINÁMICA

#### 4.1. Procesos de geodinámica interna

#### 4.2. Procesos de geodinámica externa

#### 4.3. Zonas susceptibles a procesos geodinámicos

##### 4.3.1. Flujos de detritos

##### 4.3.2. Inundación

##### 4.3.3. Caída de rocas

## 5.- ASPECTOS GEOTÉCNICOS

- 5.1. Exploraciones a cielo abierto (calicatas, norma ASTM D420)
  - 5.1.1. Descripción de calicatas
- 5.2. Densidad del suelo in-situ (Norma ASTM D1556)
- 5.3. Exploraciones con posteadora manual (Norma ASTM D1452)
- 5.4. Ensayos de penetración dinámica ligera (Norma DIN 4094)
- 5.5 Correlación entre “N” DPL y el “N” SPT (ASTM D1586)
- 5.6. Ensayo de corte directo (Norma ASTM D - 3080)
- 5.7. Capacidad de carga admisible
  - 5.7.1. Carga última
  - 5.7.2. Tipos de Capacidad de carga admisible
- 5.8. Clasificación de suelos SUCS

## CONCLUSIONES

## 1. METODOLOGÍA

Para realizar la caracterización geológica y geotécnica de los suelos en la localidad de Boca del Río, se ha seguido la siguiente metodología:

- ✓ **Gabinete I:** Las actividades realizadas incluyeron la revisión de imágenes satelitales (WorlView-2 con resolución 0.5 m del servidor DigitalGlobe, año 2010) que fueron georreferenciadas haciendo uso de sistemas de información geográfica (SIG), con la finalidad de delimitar la zona estudio. Asimismo se realizó la recopilación de información geológica regional y local existente (boletines geológicos, informes técnicos, entre otros).
  
- ✓ **Campo I:** Se realizó el cartografiado de las unidades geomorfológicas y litológicas aflorantes a escala 1: 30 000. También, se identificaron y delimitaron los eventos geodinámicos a escala 1:15,000 relacionados a caídas de rocas, flujos de detritos en el sector La Yesera e inundaciones (desborde del río Sama).
  
- ✓ **Campo II:** Elaboración de ensayos geotécnicos de acuerdo al siguiente detalle:
  1. Elaboración de calicatas: Para la extracción de muestras de suelos, se realizaron 06 calicatas en Boca del Río a una profundidad promedio de 1.40.
  2. Ensayos de penetración dinámica ligera (DPL), para determinar la resistencia de los suelos al ser penetrados: 06 DPL.
  3. Ejecución de auscultaciones haciendo uso de posteadora, en puntos distribuidos en zonas intermedias a la ubicación de las calicatas más próximas: 12 posteos.
  
- ✓ **Laboratorio:** Se realizó el procesamiento de las muestras de suelos, a través de ensayos de laboratorio de granulometría (clasificación SUCS), humedad, densidad y corte directo (capacidad de carga admisible).
  
- ✓ **Gabinete II:** Elaboración del informe técnico correspondiente que incluye fichas geotécnicas (calicatas, DPL y posteos), fichas geodinámicas (identificación de zonas susceptibles a movimientos en masa e inundaciones) y planos temáticos a escala 1:15 000.

## 2. GEOMORFOLOGÍA

La geomorfología estudia las diferentes formas de relieve de la superficie terrestre (geofomas) y los procesos que las generan, este relieve es el resultado de la interacción de fuerzas endógenas y exógenas. Las primeras actúan como creadoras de grandes elevaciones y depresiones producidas fundamentalmente por movimientos en masa de componente vertical, mientras que, las segundas, como desencadenantes de una continua denudación que tiende a rebajar el relieve originado, estos últimos llamados procesos de geodinámica externa se agrupan en la cadena meteorización-erosión, transporte y sedimentación (Gutierrez, 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 geofoma resultante. El término geofoma 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 geofomas existentes en la Localidad de Boca del Río.

Previamente, en base al levantamiento topográfico y mediante herramientas computacionales (SIG) se ha elaborado los planos: Modelo Digital del Terreno y de pendientes, a fin de delimitar las características geomorfológicas del terreno. Estos mapas fueron verificados y validados durante el trabajo de campo, realizados en la localidad de Boca del Río (Figura 4).

### 2.1. Base topográfica

Se obtuvo a partir del levantamiento topográfico mediante fotogrametría, abarcando un área de 490 hectáreas (ha). Este trabajo se realizó con el propósito de obtener la representación digital del relieve que conforman las unidades: terraza, loma, entre otros. Para la ejecución del levantamiento, se utilizó un vehículo aéreo no tripulado (VANT), servicio que fue contratado por el Instituto Geofísico del Perú (IGP) a una consultora particular.

A partir, del levantamiento fotogramétrico, se obtuvo un plano topográfico a escala 1:15,000 que contiene curvas de nivel (líneas que unen puntos con igual altitud) con resolución espacial de 5 m (Figura 1).

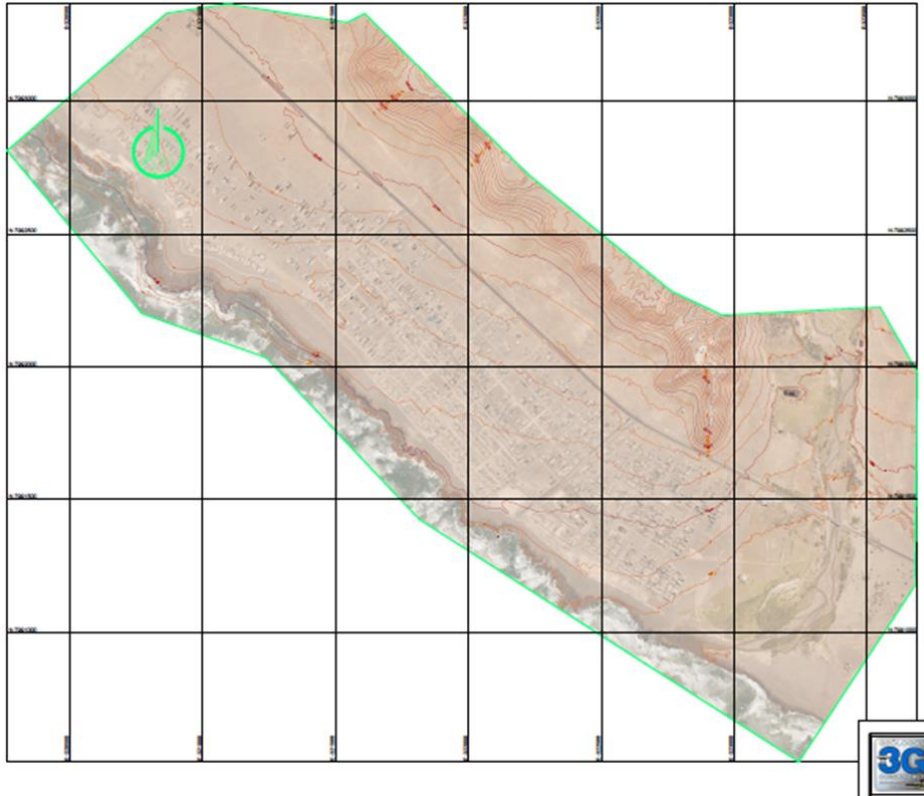


Figura 1: Topografía-para la localidad de Boca del Río.

## 2.2. Modelo Digital de Elevación (MDE)

Los MDT son representaciones gráficas de la superficie del terreno, conformado 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 (Felicísimo, 1994).

Para la elaboración del MDE de la localidad de Boca del Río, 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, sobre un área de 4.9 km<sup>2</sup> (Figura 2).

En base al MDE elaborado para la localidad de Boca del Río, se ha reconocido que la Etapa I (60 % de la localidad) está entre los -9 y 6 m.s.n.m.; mientras que las Etapas II y III (el otro 25 %) se ubican entre 6 a 21 m.s.n.m.. Finalmente, la zona de loma (15 %) presenta elevaciones que oscilan entre los 21 y 99 m.s.n.m.

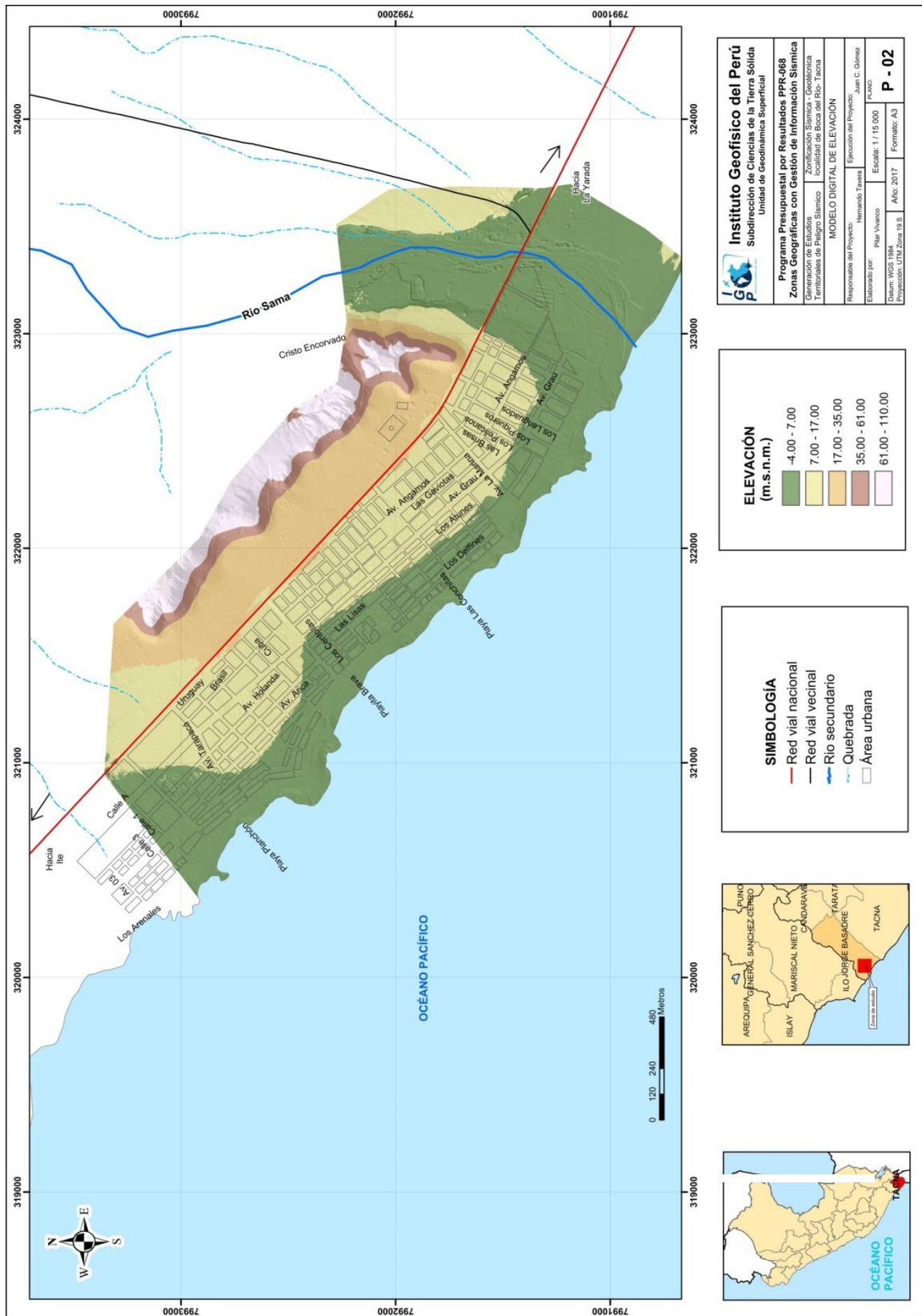


Figura 2: Mapa del modelo digital de terreno de la localidad de Boca del Río y alrededores.

## 2.3. Pendientes

Es el ángulo que se expresa en grados o porcentajes de las pendientes presentes en la topografía del suelo. Este parámetro influye en la formación de los suelos y condiciona el proceso erosivo, puesto que, mientras más pronunciada sea la pendiente, la velocidad del agua de escorrentía será mayor, no permitiendo la infiltración del agua en el suelo (Belaústegui, 1999).

El diseño del mapa de pendientes de la localidad de Boca del Río, fue obtenido a partir del MDE elaborado anteriormente y haciendo uso de herramientas de geoprocésamiento (área de influencia, construcción de modelos, análisis espacial, etc), lo que permitio diferenciar gráficamente, los ángulos de inclinación del relieve en el área de estudio.

### 2.3.1. Clasificación del grado de pendientes

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

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

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

La localidad de Boca del Río se encuentra asentada sobre una planicie costera que presenta pendientes menores a 5° en promedio, incrementándose al noreste, hasta los 25°- 45°, debido a la presencia de lomas (Figura 3).

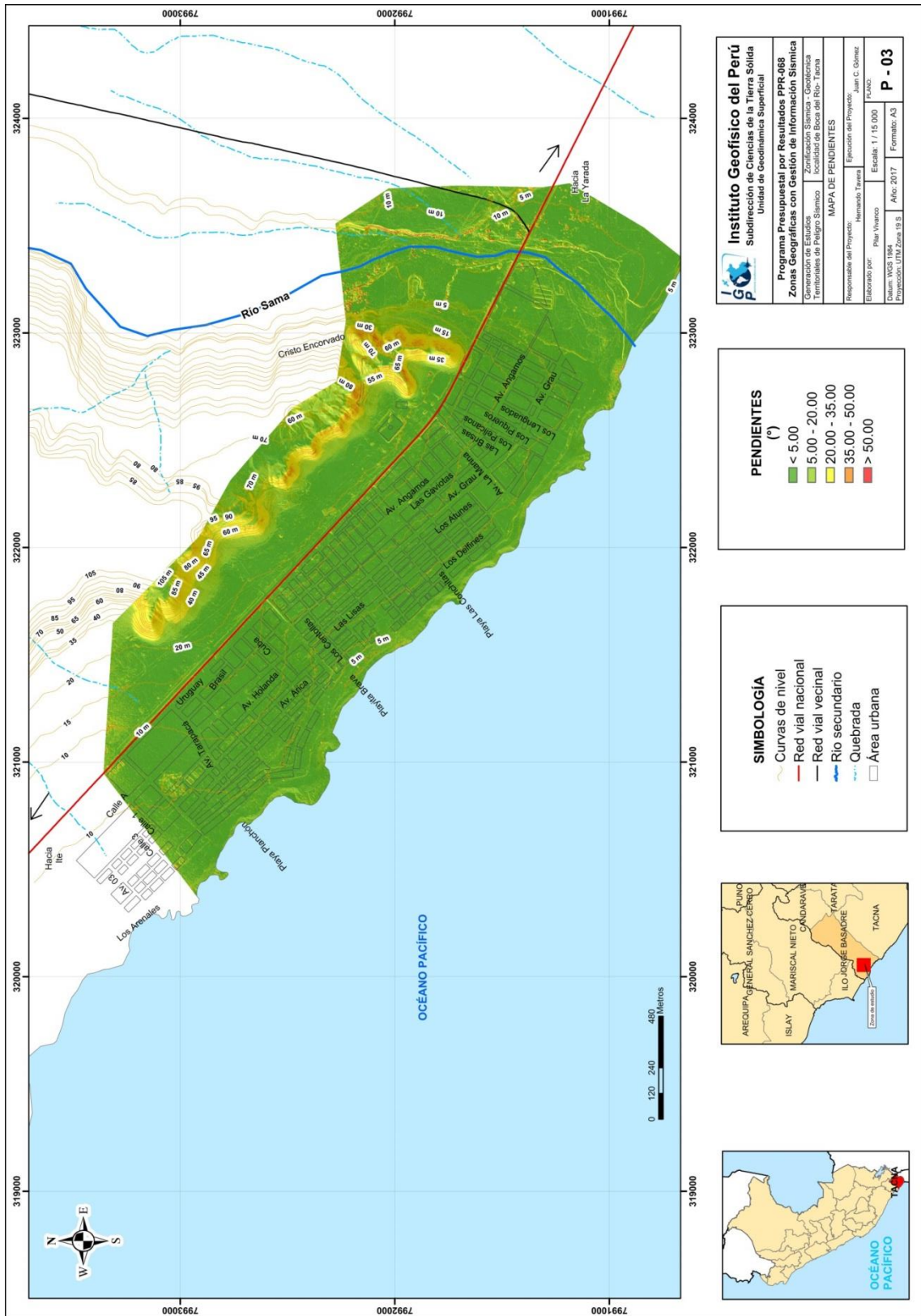


Figura 3: Mapa de pendientes para la localidad de Boca del Río y alcances.

## 2.4. Unidades geomorfológicas

Estas unidades, con ciertas características físicas, son generadas por procesos morfogenéticos de carácter endógeno y exógeno formando relieves positivos y negativos.

- a) **Características físicas:** Las características físicas de las unidades geomorfológicas; es decir, su relieve, expresa una combinación de parámetros como: pendiente, altura, geometría y drenaje (modificado de Pike et al., 2009). Estos son directamente accesibles a la percepción visual proximal o distal, sea humana o instrumental.
- b) **Procesos:** Los agentes modeladores, tales como el agua, viento, temperatura, entre otros, desencadenan diversos procesos externos como el intemperismo, meteorización, erosión, transporte y depositación; que pueden ser clasificados de acuerdo a su origen, en depositacional y denudacional (erosional). Otros procesos internos como el magmatismo, tectonismo, generan geoformas de origen estructural.

Finalmente, en base a las características físicas de las unidades geomorfológicas y su origen, en la localidad de Boca del Río, se cartografiaron siete unidades: lecho fluvial, lomas, llanura de inundación, playa y terrazas (aluvial, fluvial y marina), ver Tabla 2 y Figura 4.

Tabla 2: Descripción de las unidades geomorfológicas, en la localidad de Boca del Río, en base a las características físicas y su origen.

GEOMORFOLOGÍA PATRÓN			
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		PROCESO	UNIDAD GEOMORFOLÓGICA
Pendiente	<5°	denudacional	Loma
	5°-20°		
	20°-35°		
Altura	0-100=otros	denudacional	Lecho fluvial
	<100 =colina		Llanura de inundación
	>500=montaña		Terraza aluvial
	redondeada	depositacional	Terraza fluvial
	otros		Planicie costera
Drenaje	dendrítico		Playa

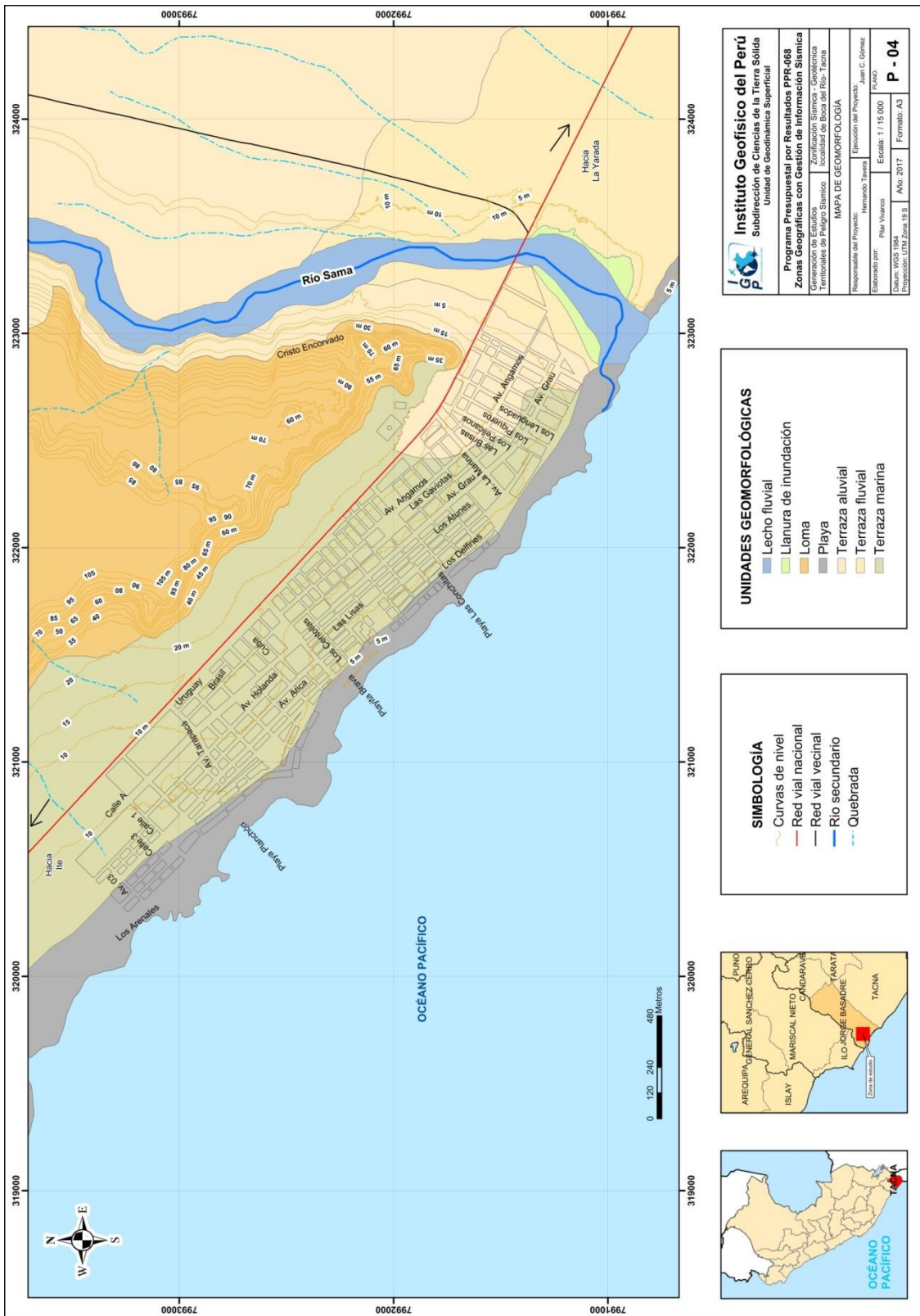


Figura 4: Mapa geomorfológico para la localidad de Boca del Río.

### 2.4.1. Lecho fluvial

En esta unidad geomorfológica se encuentra, el canal excavado por el flujo de agua de río y los sedimentos que este transporta durante todo su desarrollo y evolución. La morfología del lecho depende del caudal, la pendiente, el tamaño del sedimento y de lo erosionable que sea el substrato rocoso; es decir, es producto de un equilibrio dinámico entre la carga de sedimentos y su capacidad de transporte.

El lecho fluvial del río Sama se desplaza con dirección de este a oeste, el ancho promedio del cauce llega a medir 200 m, en donde se han depositado gran cantidad de materiales de origen fluvial (gravas y arenas medias a gruesas). Abarca el 4% de la zona de estudio (Figura 5).



Figura 5: Lecho fluvial del río Sama

### 2.4.2. Lomas

Esta geoforma presenta una pendiente  $<35^\circ$  y altura  $<300$  m., con una geometría alargada, drenaje dendrítico y origen denudacional. Recientemente, ha sido modelada (redondeadas y/o cubiertas por mantos de arenas) por la acción del viento (erosión eólica), escorrentía de las aguas superficiales y la actividad antrópica. La unidad de lomas ocupa el 15 % de la zona de estudio.

Esta unidad se ha identificado a 60 m al este de la localidad de Boca del Río y es conocida como Cristo Redentor (Figura 6).



Figura 6: Loma ubicada al este de la localidad de Boca del Río.

### 2.4.3. Llanura de inundación

La llanura de inundación ha sido formada por acción del río Sama, que erosionó, transportó y depositó grandes volúmenes de sedimentos de origen mayormente fluvial.

Conformada, en mayor porcentaje por material aluvio-fluvial, con una longitud promedio de 50 m desde la margen derecha del río Sama hacia la Etapa I de Boca del Río, tal como se evidenció en campo. Cabe indicar que, la llanura de inundación abarca el 1% de la zona de estudio (Figura 7).



Figura 7: Ubicada al margen derecho del río Sama tenemos la Llanura de inundación.

### 2.4.4. Playa

Son superficies casi planas que se encuentran adyacentes al litoral costero, cuyo relieve presenta pendientes menores a 5°. Se caracteriza por tener geometría irregular (alargada y/o recta) y de drenaje variable. El proceso que la origina es del tipo Depositacional, se extiende a lo largo de 3 km aproximadamente, el ancho de ésta es de 0.10 km, puesto que en esa dirección se produce la dinámica erosiva y de sedimentación.

Abarca el 5% del área de la ciudad (Figura 8).



Figura 8: La unidad playa en la Localidad de Boca del Río.

#### 2.4.5. Terraza aluvial

Es una geoforma horizontal o ligeramente inclinada, cuyo relieve presenta pendientes menores a  $7^\circ$ ; generalmente se encuentra conformada por materiales heterogéneos (clastos angulosos a subredondeados envueltos en una matriz arenolimsa) principalmente de origen intrusivo. Abarca el 35 % del área de estudio (Figura 9) y se ha identificado a 1.5 km al este de Boca del Río.



Figura 9: Terraza aluvial a 1.5 km al este de Boca del Río.

#### 2.4.6. Terraza fluvial

Las terrazas fluviales de la localidad de Boca del Río, son superficies planas y horizontales, cuyos relieves presentan pendientes menores a  $5^\circ$ . Están conformadas por clastos y gravas redondeadas con matriz arenolimsa, de origen volcánico e intrusivo, transportados por la dinámica del río Sama.

Se han identificado dos terrazas fluviales en ambas márgenes del río Sama, con espesores que varían entre 1.00 y 2.00 m. aproximadamente. Particularmente, en la terraza de la margen derecha se asienta la Etapa I de Boca del Río. Abarca el 19 % del área de estudio (Figura 10).



Figura 10: Terraza fluvial, margen izquierda del río Sama.

#### 2.4.7. Terraza marina

Esta unidad geomorfológica presenta una pendiente  $<5^\circ$  inclinada hacia el mar. Consiste en una plataforma que ha sido modelada por la acción del mar y procesos tectónicos (levantamiento o subsidencia), se desarrolla a lo largo de una franja paralela a la costa. Sobre esta unidad se asientan las Etapas II y III de la localidad de Boca del Río. Abarca el 21% de la zona en estudio (Figura 11).



Figura 11: Terraza marina sobre la cual se asientan las Etapas II y III de la localidad de Boca del Río.

### 3. GEOLOGÍA

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

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

### **3.1. Geología regional**

El marco geológico regional de una ciudad es importante para comprender los procesos y eventos geológicos que ocurrieron a gran escala. Es así que, para la zona de estudio se recopiló la información geológica regional del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET, 2012) a escala 1:50, 000. En ésta, se describen las unidades litológicas aflorantes cuyas edades se encuentran desde el Cretáceo Inferior (145 Ma) hasta el Cuaternario Reciente.

### **3.2. Geología histórica**

Según Acosta, 2012, hace 252 millones de años (Ma) (Figura 12). A fines del Triásico e inicios del Jurásico Inferior (201 Ma), en la Cordillera de la Costa se produce la depositación de una secuencia sedimentaria (areniscas y calizas) formación Guaneros, seguida de una serie volcánica sedimentaria, formación Chocolate.

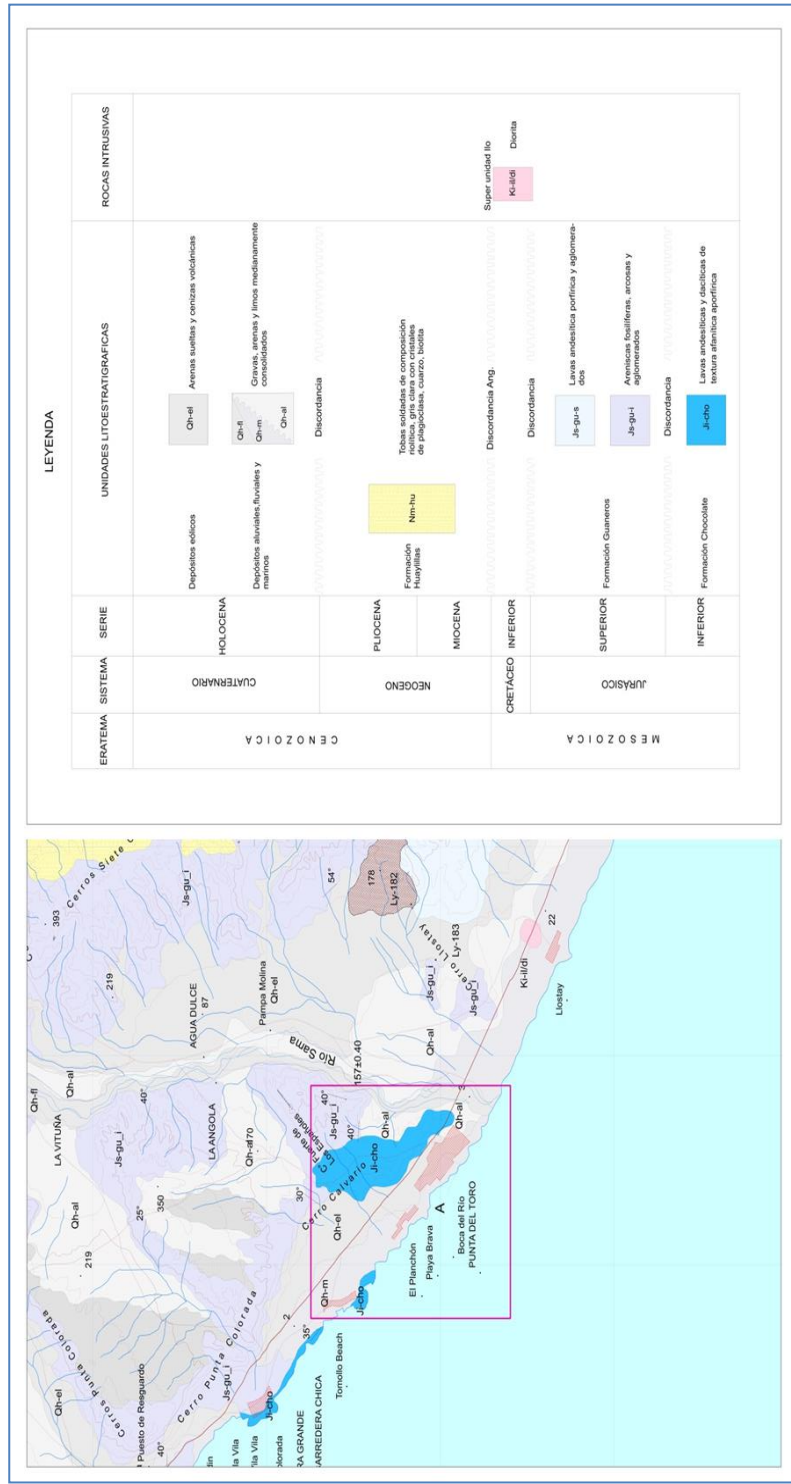


Figura 12: Geología Regional: el área de estudio comprende el cuadrado lila (cuadrángulo la Yarada-INGEMMET, 1961).

Durante, el Jurásico Medio, ocurrieron procesos de sedimentación y litificación dando origen a rocas calizas, areniscas y conglomerados de la formación Socosani que corresponden a un medio somero, seguidas de areniscas y lutitas de la formación Puente-Cachios del Grupo Yura.

Posteriormente, a fines del Cretáceo (125 Ma) e inicios de Paleoceno (61 Ma) la zona de la Cordillera de la Costa emerge hacia el este y continúa la depositación de conglomerados y areniscas continentales de la formación Moquegua Superior, a los que suprayacen niveles ignimbríticos de la formación Huaylillas.

Finalmente, a partir del Mioceno (23 Ma) se inicia el socavamiento de las zonas costeras y se produce el levantamiento acelerado de la Cordillera Occidental y parte de la cuenca Moquegua, donde la actividad tectónica del sistema de fallas Incapuquio juega un papel importante para culminar con la sedimentación de la formación Milo, que utiliza como cuenca sedimentaria el espacio producido por la erosión de los ríos Sama, Caplina que transportan conglomerados arenas y limos hacia el mar, es decir la depositación de materiales recientes (Cuaternario) como son aluviales (Qh-al, Qpl-al) y marinos (Qh-m). Los primeros sobre los cuales se asienta la población de Boca del Río, provenientes de conos de deyección, mientras que, los segundos, conformados por arenas gruesas, vetillas de yeso y restos calcáreos.

### 3.3. Geología local

Las unidades litológicas aflorantes en la localidad de Boca del Río, han sido cartografiadas a escala 1:15,000, abarcando un área de 21 km<sup>2</sup> aproximadamente. Según la columna cronolitoestratigráfica (Tabla 3), las características de las unidades litológicas son:

Tabla 3: Columna cronolitoestratigráfica de la zona de estudio.

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOSTRATIGRÁFICAS	SÍMBOLO	LITOLOGÍA
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	DEPÓSITOS ALUVIALES	Qh-al	GRAVAS SUB-REDONDEADAS Y SUB-ANGULOSAS EN MATRIZ ARENO-LIMOSA
			DEPÓSITOS EÓLICOS	Qh-e	ARENAS DE GRANO FINO
			DEPÓSITOS COLUVIALES	Qh-co	CLASTOS ANGULOSOS PROVENIENTES DE ROCAS ANDESÍTICAS
			DEPÓSITOS FLUVIALES	Qh-fl	GRAVAS REDONDEADAS Y SUB-REDONDEADAS EN MATRIZ ARENO-LIMOSA
			DEPÓSITOS MARINOS	Qh-m	ARENAS DE GRANO GRUESO CON INTERCALACIONES DE CALCÁREOS
MESOZOICO	JURÁSICO	INFERIOR	FORMACIÓN CHOCOLATE	Ji-co	ANDESITAS
			FORMACIÓN GUANEROS	Ji-gu_I	AENISCAS Y CALIZAS GRIS

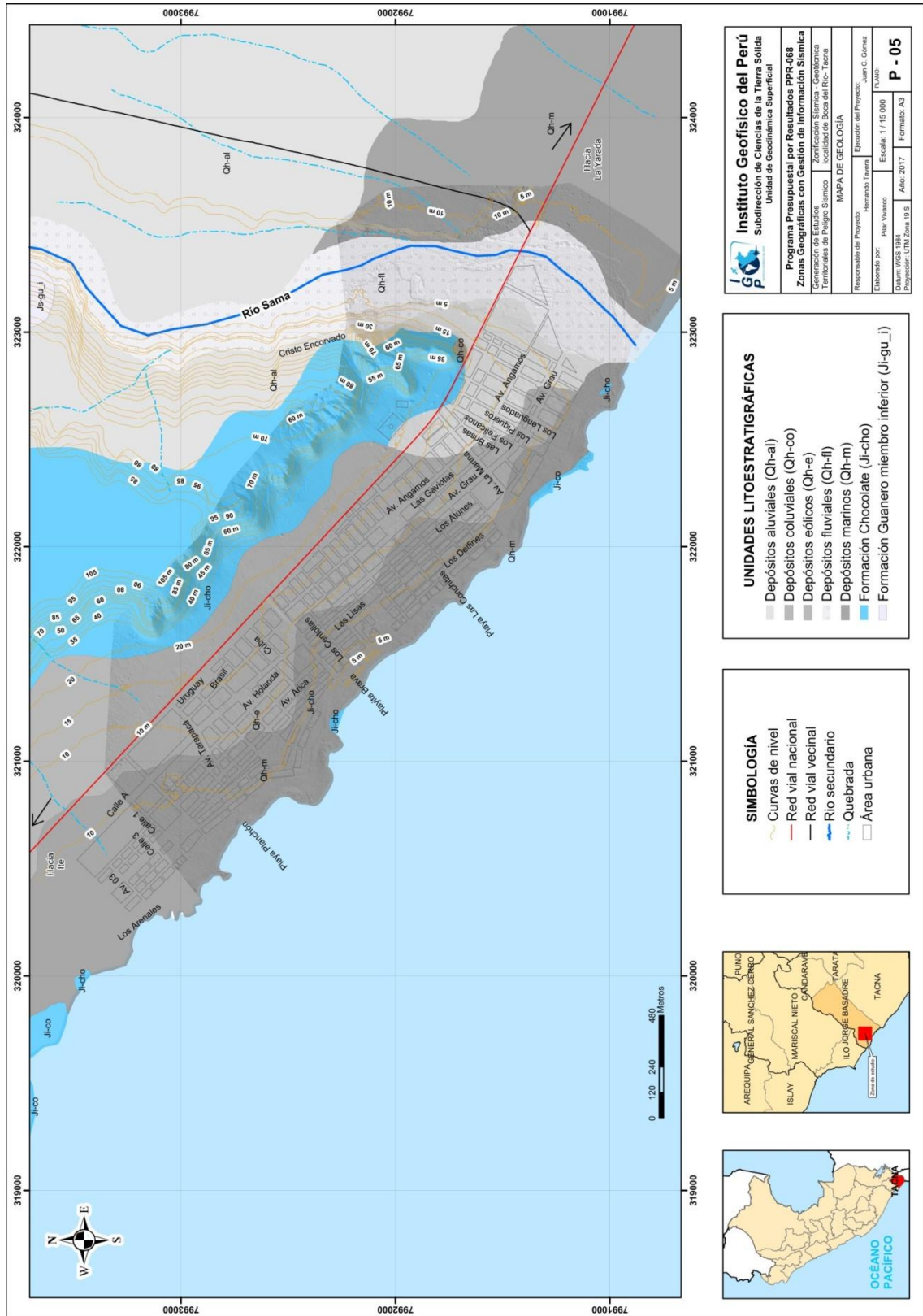


Figura 13: Mapa de geología local para la localidad de Boca del Río y alrededores.

### 3.3.1. Formación Guaneros (Ji-gu\_i)

Constituida por rocas sedimentarias como areniscas y calizas grises, identificadas a 2 km al noreste del centro urbano de Boca del Río (Figura 14).



Figura 14: Afloramiento de areniscas de la formación Guaneros; Inferior a 2 km al noreste de Boca del Río.

### 3.3.2. Formación Chocolate (Ji-cho)

En el balneario de la localidad de Boca del Río se identifica el afloramiento de la Secuencia volcano sedimentaria conformada por andesitas de color verde. Asimismo a 60 m. al este de la localidad en mención, constituyen la loma denominada Cristo Redentor (Figura 15).



Figura 15: Afloramientos de rocas volcánicas (andesita) de la formación Chocolate del Jurásico Inferior.

### 3.3.3. Depósitos Cuaternarios

Suprayaciendo al sustrato rocoso, conformado por rocas intrusivas, se encuentran los depósitos Cuaternarios de edad Holocena, principalmente de origen aluvial, eólico, coluvial, fluvial y marino. Las características de estos materiales se describen a continuación:

- a. **Depósitos aluviales (Qh-al):** Los depósitos aluviales están constituidos por gravas subredondeadas a angulosas de 1" a 2" de diámetro y arenas de grano fino a medio, color beige, los cuales son acarreados por el río Sama provenientes del frente Occidental, con un espesor de 13 m. aproximadamente (Figura 16).



Figura 16: Depósitos aluviales.

- b. **Depósitos aluviales (Qh-al):** Los depósitos coluviales (Qh-co): Conformados por conglomerados no consolidados, con clastos mayores a 2" a 3" de diámetro, angulosos, de naturaleza volcánica. Éstos se observaron en la ladera de la loma Cristo Redentor (Figura 17).



Figura 17: Contacto geológico entre la formación Guaneros y los depósitos coluviales, ladera de la loma Cristo Redentor.

- c. **Depósitos fluviales (Qh-fl):** Compuesto por gravas, limos que han sido transportados por la dinámica y evolución del cauce del río. En la zona de estudio se ha identificado estos depósitos en dos estratos, areno limoso en la parte superior seguido de gravas redondeadas en matriz arenosa de 1.50 m de espesor; identificadas en todo el cauce del río Sama (Figura 18).

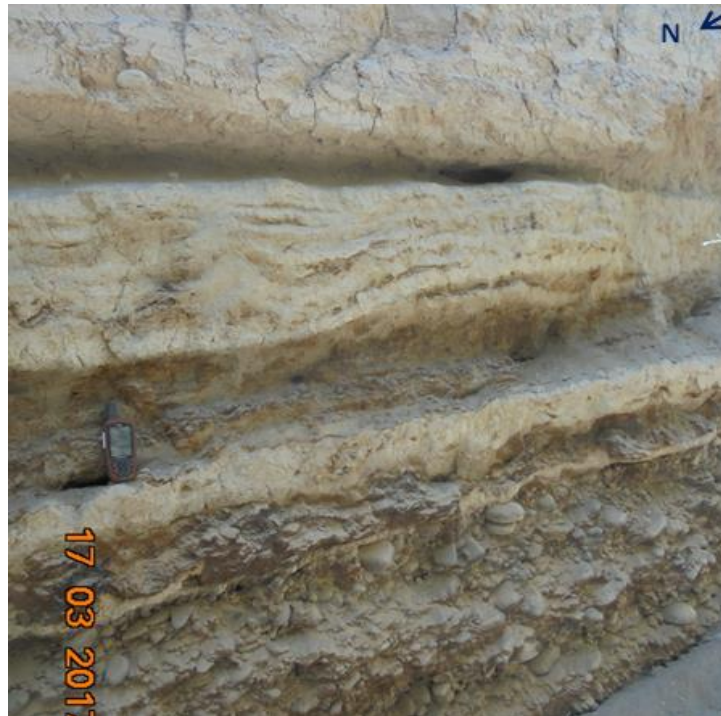


Figura 18: Depósito fluvial en la margen izquierda del río Sama.

- d. **Depósitos marinos (Qh-m):** Conformados por arenas de grano medio a grueso, con presencia de material calcáreo (conchuelas), identificados en la zona costera de Boca del Río, con una longitud 3 km aproximadamente (Figura 19).



*Figura 19: Depósito marino en la zona de litoral.*

- e. **Depósitos eólicos (Qh-e):** Éstos forman pequeños mantos de arena de grano fino a medio que se ubican a 50 m al este de la localidad de Boca del Río, en el sector conocido como La Yesera (Figura 20).



*Figura 20: Depósitos eólicos en el sector La Yesera.*

## **4.-GEODINÁMICA**

Comprende el estudio de todos aquellos agentes y fuerzas internas y externas que actúan en los procesos dinámicos de la Tierra. Se divide en la geodinámica externa donde se estudian los procesos y agentes exógenos que modifican la superficie terrestre y la geodinámica interna que estudia los procesos y agentes endógenos de la estructura interna de la Tierra en base a técnicas geofísicas, estos procesos originan cambios físicos, químicos que se ven reflejados en la superficie de la Tierra.

Es importante estudiar en geodinámica los factores condicionantes (características físicas de un relieve, pendiente, litología, vegetación, estructuras geológicas, etc.) y desencadenantes (agentes de meteorización y erosión que predominan y modelan un relieve, precipitaciones, sismos, etc.) ya que estos factores influyen en el análisis de un evento geodinámico generados por procesos de meteorización y erosión.

### **4.1. Procesos de geodinámica interna**

Son fases sucesivas de un evento geodinámico interno complejo, que origina un cambio o transformaciones físicas y químicas de la estructura interna de la Tierra causados por los agentes internos (magmáticos, sísmicos y tectónicos). El territorio peruano está sometido a una constante actividad sísmica, debido a la subducción de la Placa de Nazca debajo de la Placa Sudamericana, considerada como la principal fuente sismogénica en el Perú, produciendo los eventos de mayor magnitud conocidos hasta el presente. Otra fuente, la constituye la deformación de la zona continental, que ha dado origen a la formación de fallas de diversas longitudes con la consecuente ocurrencia de magnitudes menores (Cahill & Isacks, 1992; Tavera & Buforn, 2001).

### **4.2. Procesos de geodinámica externa**

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

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

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

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

Los factores que dan origen a los procesos externos, favorecen a la ocurrencia de los eventos geodinámicos son (Figura 21):

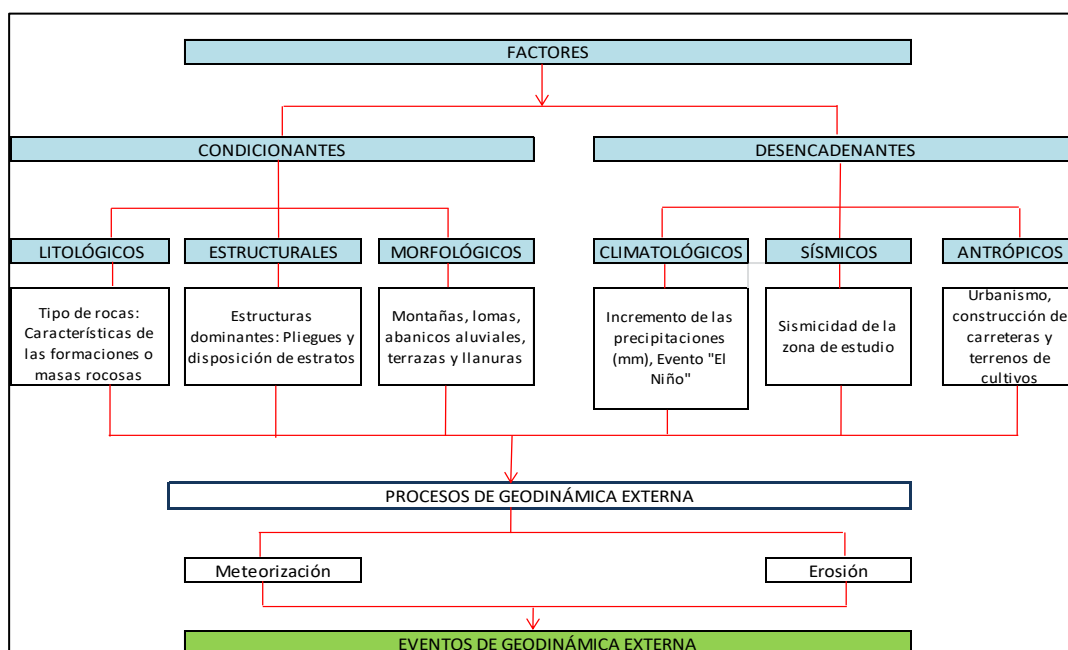


Figura 21: Factores asociados a procesos de geodinámica externa que contribuyen a la ocurrencia de eventos geodinámicos

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

**Flujos de detritos (huaicos):** Movimiento de materiales sin cohesión (materiales sueltos) que se comportan como fluidos a causa del agua (provoca la pérdida total de resistencia de estos materiales) y se desplazan sin presentar superficies de rotura definidas. En algunos casos, los flujos depositan sus materiales en forma de conos de deyección (Figura 22).

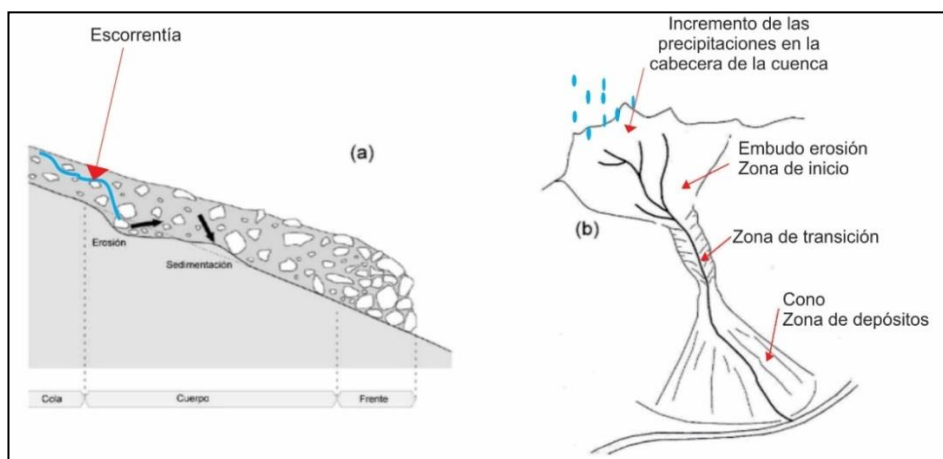


Figura 22: a) Proceso de erosión por las aguas de escorrentía y acumulación de material. b) Vista frontal de la cuenca y desarrollo del evento en cabecera de la cuenca por incremento de las precipitaciones, zona de transición (zona de almacenamiento de material y la depositación del material), modificado del GITS (Grupo de investigación de transportes de sedimentos).

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

Cuando las lluvias superan el promedio normal de precipitación (mayor al 50%) de una zona, se le denominan “lluvias extraordinarias” o tormentas extremas. Estas al desarrollarse, generan crecidas causando inundaciones de las áreas circundantes al río. Esta anomalía es conocida como un evento hidrometeorológico (Figura 23).

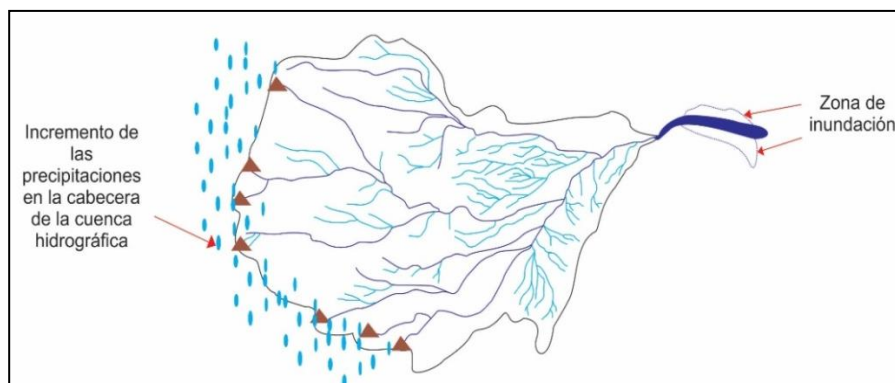


Figura 23: Inundación por incremento de las precipitaciones en la cabecera de la cuenca hidrográfica.

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

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

**Caída de rocas:** Es resultado del debilitamiento de la masa de roca, debido a la fragmentación y a la ausencia de soporte lateral, produciendo un deterioro en la estructura del talud por la acción de la meteorización. En este caso se forman prismas o pequeñas placas con dimensión mínima de 50 mm, que caen por gravedad (Figura 24).

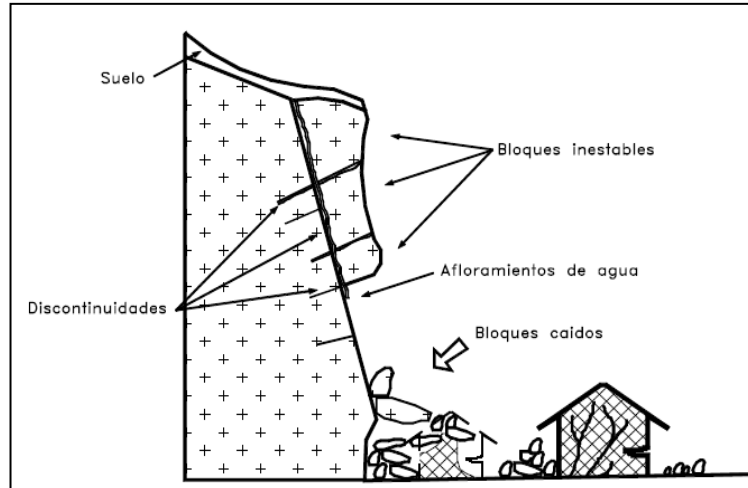


Figura 24: Proceso de caída de rocas (Suárez 1998)

**Deslizamiento:** Este movimiento consiste en un desplazamiento de corte a lo largo de una o varias superficies. El movimiento puede ser progresivo, es decir, que no se inicia simultáneamente a lo largo de toda la superficie de falla (Figura 25). Se clasifican en:

- **D. Rotacional** cuando la superficie de falla es formada por una curva cuyo centro de giro se encuentra por encima del centro de gravedad del cuerpo del movimiento.
- **D. Traslacional** cuando el movimiento de la masa se desplaza hacia fuera o hacia abajo, a lo largo de una superficie más o menos plana o ligeramente ondulada.

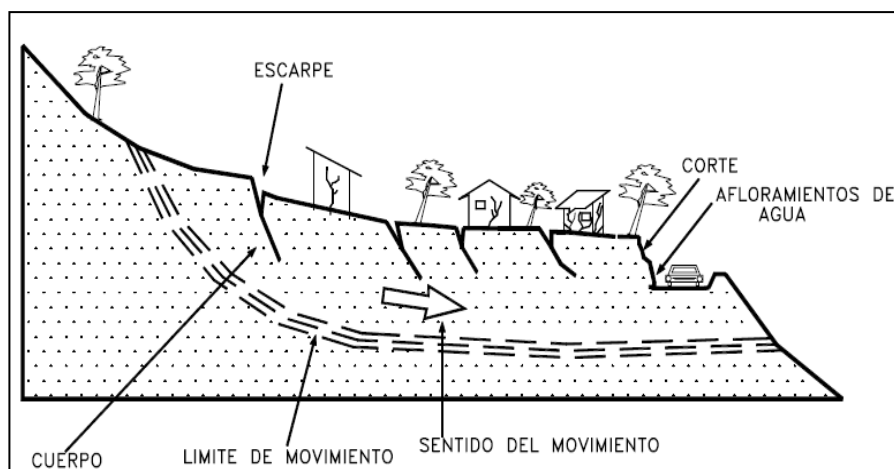


Figura 25: Deslizamiento en laderas (Suárez, 1998)

### **4.3. Zonas susceptibles a procesos geodinámicos**

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

En la localidad de Boca del Río, existen cuatro tipos de eventos geodinámicos (Figura 26), los cuales según el proceso y factores que intervienen, se han clasificado de la siguiente manera: a 1 km al este, se han reconocido flujos de detritos.

#### **4.3.1. Flujos de detritos**

Son eventos extremadamente rápidos, saturados, no plásticos, que ocurren principalmente confinando a un canal o cauce con pendiente pronunciada. Se inician como uno o varios deslizamientos superficiales de detritos en las cabeceras o por inestabilidad de segmentos del cauce de canales de pendientes fuertes. Los flujos de detritos incorporan gran cantidad de material saturado en su trayectoria al descender por el canal. Finalmente, los materiales se depositan en forma de abanicos.

En la zona de estudio los flujos de detritos se identificaron a 50 m al este de la Etapa II y III, sector conocido como La Yesera, cuyo cauce de quebrada es utilizado como relleno sanitario (Figura 27). Otro sector que presenta este evento se ubica a 1 km al este de la Etapa I.

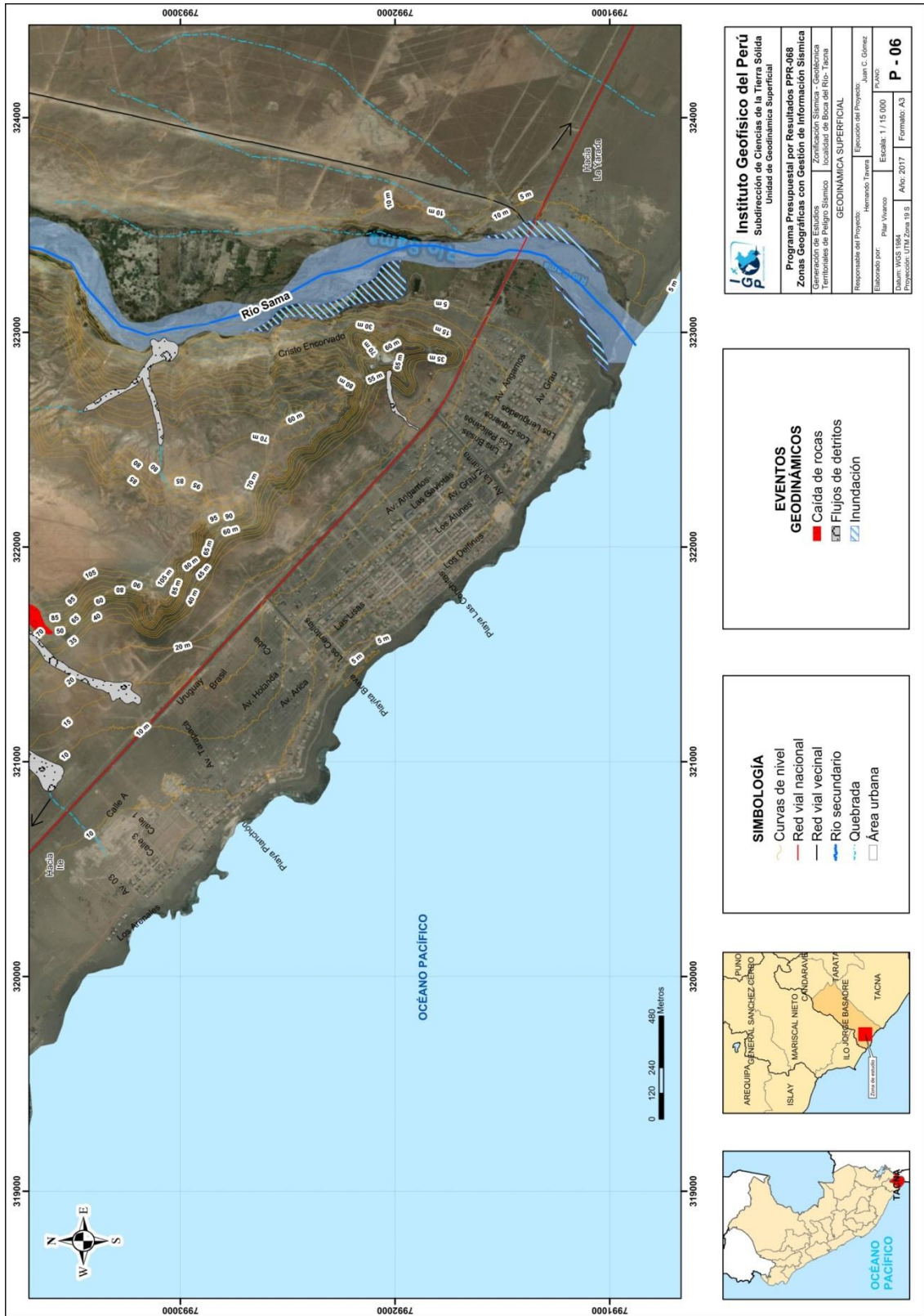


Figura 26: Mapa geodinámico de la localidad de Boca del Río y alrededores.



Figura 27: Flujos de detritos a 50 m al este de la Etapa II y III de Boca del Río.

#### 4.3.2. Inundación

Las inundaciones se producen en épocas de avenidas extremas que ocasionan daños a las zonas agrícolas, infraestructura de riego, puentes y vías de comunicación. En la zona de estudio se tienen identificadas zonas de inundación por el desborde del río Sama como son: Puente Sama y en el sector La Vituña a 8 km al este del centro urbano de Boca del Río (Figura 28).

Asimismo, la última inundación se produjo en el mes de marzo del 2017 por el desbordamiento del río Sama que discurre al sur del centro urbano del área de estudio. Al producirse este escenario hidrometeorológico, las viviendas asentadas en las inmediaciones del cauce (sector La Vituña) fueron afectadas, así como parte de la Etapa I de Boca del Río.



Figura 28: Terrenos de cultivo afectados por el desborde del Río Sama, sector La Vituña-Fundo Agua Dulce (línea punteada color rojo).

Actualmente, existe un dique de tierra construido por la municipalidad de la localidad de Boca del Río con la finalidad de evitar que las aguas del río Sama inunden la Etapa I de la localidad en mención (Figura 29).



Figura 29: Zona inundada (línea color amarillo) y dique de tierra construido por la municipalidad de la localidad de Boca del Río.

#### 4.3.3.- Caída de rocas

En este tipo de evento, los clastos o fragmentos de rocas preexistentes se desprenden de una ladera, como resultado de procesos de erosión y meteorización, ya sea de origen natural o antrópico (construcción de vías de acceso, que desestabilizan las laderas de las lomas).

En la zona de estudio se identificó a 500 m al noreste del centro urbano de Boca del Río, cuyos clastos o fragmentos son arrastrados durante un flujo (Figura 30).



*Figura 30: Zona de caída de rocas en el sector La Yesera.*

Además, se ha identificado zonas afectadas por el oleaje anómalo, como es: Balneario de Boca del Río ubicado a 50 m. aproximadamente del litoral costero (Figura 31).



*Figura 31: Zona afectada por el oleaje anómalo (línea punteada azul).*

## 5. ASPECTOS GEOTÉCNICOS

Los suelos son materiales inconsolidados conformados por minerales, materia orgánica, agua y aire entre sus poros, que se generan a partir de la alteración de la roca madre por agentes atmosféricos, erosionándola y formando una cobertura de variado espesor de sedimentos denominado suelo, que posteriormente han sido transportados y redepositados en las partes bajas de las cuencas hidrográficas, conformando actualmente los suelos sobre los cuales se asientan las áreas urbanas. En geotecnia para clasificar los tipos de suelos se hace uso del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) para determinar las características físico-mecánicas de los materiales (arcillas, limos, arenas, gravas y clastos) condicionadas por las propiedades litológicas de las rocas pre-existentes y la dinámica con que fueron depositados. En el diagrama de la Figura 32, se indica el origen de los diferentes tipos de suelos.



Figura 32: Diagrama del origen de los suelos.

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

En la localidad de Boca del Río, se elaboraron 06 calicatas (Figura 33), con el fin de realizarles ensayos de mecánica de suelos como: granulometría, plasticidad, corte directo y el cálculo de la capacidad de carga admisible.

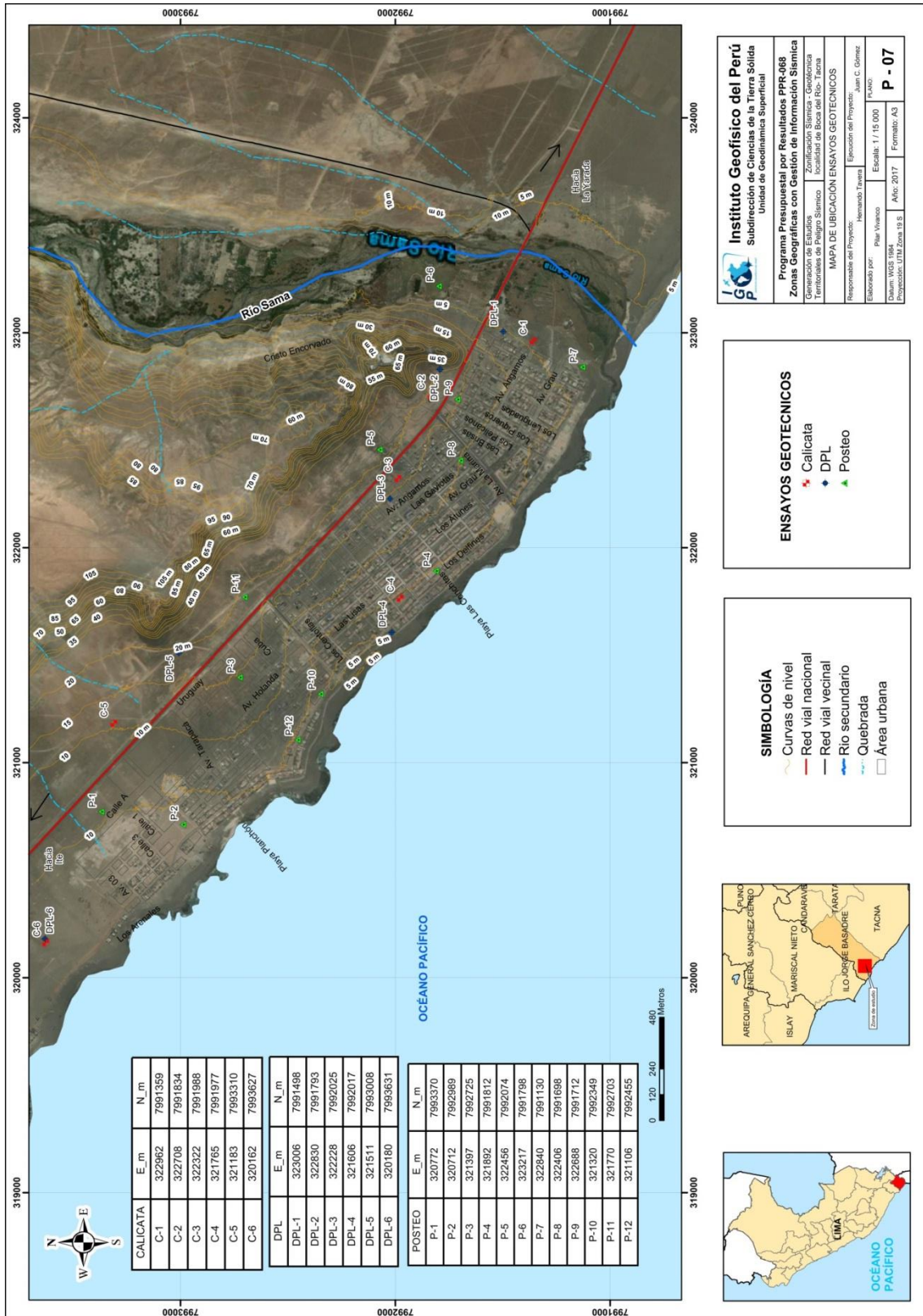


Figura 33: Mapa de ubicación de exploraciones geotécnicas realizadas en la localidad de Boca del Río.

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

Es un método de exploración directo que consiste en realizar una excavación en el terreno para la observación del suelo. Estas exploraciones se realizaron hasta profundidades de 3.00 m., a fin de describir los estratos que lo conforman, así como, extraer muestras para la realización de ensayos y su análisis. Estas calicatas son realizadas con maquinaria (retroexcavadora) o de forma manual (Figura 34).



Figura 34: Calicata CB-5 ubicada en el sector La Yesera.

#### 5.1.1 Descripción de calicatas

Una vez terminada la excavación de la calicata, se procede a describir el perfil estratigráfico del subsuelo, para ello se han elaborado 06 fichas de descripción de calicatas, las mismas que tienen una profundidad de investigación de 1.40 m. La ubicación geográfica de las excavaciones se presenta en la tabla 4 (Figura 33).

Tabla 4: Ubicación geográfica de las calicatas elaboradas en la localidad de Boca del Río.

PUNTO	UTM ESTE (m)	UTM NORTE (m)	ELEVACIÓN (m.s.n.m.)	PROFUNDIDAD (m)	NIVEL FREÁTICO A (m)
CB-1	322962	7991359	-1	1.10	N.P.
CB-2	322708	7991834	11	1.00	N.P.
CB-3	322322	7991988	3	1.20	N.P.
CB-4	321765	7991977	-4	1.00	N.P.
CB-5	321183	7993310	7	3.10	N.P.
CB-6	320162	7993627	-6	0.90	N.P.

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

Se define como la relación entre la masa del suelo (sólido y líquido) y el volumen total de un suelo o la medida del estado de empaquetamiento del suelo. Consiste en extraer material del suelo a fin de obtener una relación entre la masa de este y el volumen que ocupa la arena del cono (arena calibrada).

En cada exploración (estrato muestreado) se debe realizar un ensayo de densidad de campo haciendo uso del método del cono. El objetivo es conocer la compactación y el contenido de humedad del suelo en condiciones naturales, información necesaria para desarrollar los ensayos de corte directo a las muestras de suelo (en su estado inicial). Sin embargo, este ensayo no es aplicable en suelos que contengan cantidad excesiva de roca o materiales gruesos de diámetro mayor a 1 ½ pulgada (38 mm), así como en suelos saturados; sino más bien, en suelos que presenten cierta cohesión, como las arenas limosas y arenas arcillosas con contenido de gravas inferiores a 38 mm de diámetro.

El procedimiento de campo incluyó las siguientes actividades:

- **Excavación:** Proceso de diseño de agujero (profundidad de 10 a 12 cm) haciendo uso de cinceles y comba. Se tiene como guía el diámetro de la placa metálica.
- **Extracción** de la muestra de suelo del agujero elaborado anteriormente y pesado del material extraído.
- **Posicionamiento** del cono de arena pesado sobre la placa, se espera hasta que este deje de vaciar arena y se llene el agujero.

Finalmente, se pesa la arena que sobra en el cono y se procede a realizar los cálculos para la obtención de la densidad húmeda; mientras que, la densidad seca se obtiene en el laboratorio al momento de conocer la humedad natural de la muestra extraída (Figura 35).



Figura 35: Ensayo de densidad del suelo in-situ en la calicata CB-02

A continuación se presentan los resultados y estudios para dos calicatas, a través del método del cono de arena. En la Tabla 5 se presenta los resultados de densidad in situ y sus fichas se adjuntan en los anexos.

Tabla 5: Resultado de densidad in situ.

CALICATA	MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	DENSIDAD HÚMEDA (gr/cm <sup>3</sup> )	DENSIDAD SECA (gr/cm <sup>3</sup> )
CB - 02	DC-B- 02	1	2.18	2.17
CB - 05	DC-B- 06	3.1	1.7	1.62

En base a la Tabla 6 se conoce que los suelos de la localidad Boca del Río presentan rangos de densidad entre 2.18– 1.62 gr/cm<sup>3</sup>; es decir, los materiales en la calicata (CB-2) son arenas sueltas; mientras que, los identificados en la CB-5 son arenas densas a muy densas.

Tabla 6: Valores típicos de densidad de suelos.

MATERIALES		DENSIDAD HÚMEDA (gr/cm <sup>3</sup> )	DENSIDAD SECA (gr/cm <sup>3</sup> )
ARENA Y GRAVA	MUY SUELTA	1.70 – 1.80	1.30 – 1.40
	SUELTA	1.80 – 1.90	1.40 – 1.50
	MEDIO DENSA	1.90 – 2.10	1.50 – 1.80
	DENSA	2.00 - 2.20	1.70 – 2.00
	MUY DENSA	2.20 – 2.30	2.00 – 2.20
ARENA	POBREMENTE GRADUADA (SP)	1.70 – 1.90	1.30 – 1.50
	BIEN GRADUADA (SW)	1.80 – 2.30	1.40 – 2.20
	MEZCLA DE ARENA (SW Y SP)	1.90 – 2.30	1.50 – 2.20
ARCILLA	LODO NO CONSOLIDADO	1.60 – 1.70	0.90 – 1.10
	BLANDA, AGRIETADA	1.70 – 1.90	1.10 – 1.40
	TÍPICA (CONS. NORMAL)	1.80 – 2.20	1.30 – 1.90
	MORRENA (SOBREC.)	2.00 – 2.40	1.70 – 2.20
SUELOS ROJOS TROPICALES		1.70 – 2.10	1.30 – 1.80

### 5.3. Exploraciones con posteadora manual (Norma ASTM D1452)

Una posteadora es un barredor manual en forma de “T” que permite realizar sondeos exploratorios (perforaciones) en suelos blandos (arcillas y arenas) hasta profundidades del orden de 6 m. El objetivo es obtener muestras del suelo, que aunque estén trituradas y completamente alteradas, son muy útiles para identificar y describir los suelos de manera visual.

**El procedimiento de campo incluyó las siguientes actividades:** Con la posteadora se penetra el subsuelo desde la superficie de tal manera que, se gira manualmente el equipo ejerciendo presión sobre el suelo, a medida que va incrementando la profundidad, se van conectando y añadiendo las varillas de 1 m. de extensión para la obtención de muestras con las cucharas acopladas en el extremo. Estas exploraciones fueron distribuidas entre las calicatas, lugares donde no existía información geotécnica, a fin de obtener mejor caracterización de los suelos de la localidad de Boca del Río (Figura 36).

A continuación, se muestra los resultados obtenidos y ubicación de las mismas en la Tabla 7.



Figura 36: Ensayo con posteadora manual.

Tabla 7: Ubicación de los puntos de posteos en Coordenadas UTM-WGS84

PUNTO	UTM ESTE (m)	UTM NORTE (m)	ELEVACIÓN (m.s.n.m.)	PROFUNDIDAD (m)	NIVEL FREATICO A (m)
P-1	320772	7993370	1	0.4	N.P.
P-2	320712	7992989	-6	0.5	N.P.
P-3	321397	7992725	8	0.4	N.P.
P-4	321892	7991812	-4	0.3	N.P.
P-5	322456	7992074	17	0.6	N.P.
P-6	323217	7991798	12	1.6	1.6
P-7	322840	7991130	-4	1.5	1.5
P-8	322406	7991698	-1	0.7	N.P.
P-9	32288	7991712	13	0.2	N.P.
P-10	321320	7992349	-3	1.9	N.P.
P-11	321770	7992703	8	0.7	N.P.
P-12	321106	7992455	-6	2.5	2.4

#### 5.4. Ensayos de penetración dinámica ligera (Norma DIN 4094)

El DPL, es un equipo de campo de registro continuo, dónde se contabiliza el número de golpes dados por un martillo de 10 Kg (N), en la parte superior del tambor de acero. Se pretende profundizar tramos mediante una punta cónica de 60° que se encuentra en el extremo inferior. Este tipo de ensayo es aplicable en terrenos arenosos, areno-arcillosos y limos arenosos; y no recomendable a utilizarse en gravas, fragmentos gruesos, conglomerados y terrenos rocosos.

Este ensayo permite estimar el ángulo de fricción de suelos específicos y los valores obtenidos ayudarán a calcular, mediante fórmulas empíricas, la capacidad portante (resistencia al corte) de los suelos en Kg/cm<sup>2</sup>, además de las propiedades de compacidad de los suelos. Los ensayos de DPL fueron realizados en las inmediaciones de una o dos calicatas, a fin de conocer la resistencia al corte de los distintos estratos, sobretodo donde los suelos son conocidos.

##### **El procedimiento de campo incluyó las siguientes actividades:**

- **Ubicación de ensayos:** Se distribuyeron generalmente al costado y en puntos intermedios a algunas de las calicatas, a fin de obtener mayor información de la resistencia del suelo en el área estudiada.
- **Ensamble de equipo:** Consiste en conectar los accesorios del equipo, la punta cónica va al final de la varilla de penetración, esta se une a la guía que contiene el yunque, posteriormente se ajusta las uniones y finalmente, se empieza a hincar el suelo con la caída libre del martillo (acción de la gravedad).
- **Proceso de toma de datos:** Se debe registrar el número de golpes por cada 10 cm que la varilla penetra el suelo; se sigue este procedimiento hasta que el suelo ofrezca resistencia (no exceder los 45 golpes de acuerdo a norma técnica).

En la Tabla 8, se indica la ubicación geográfica de los ensayos DPL realizados en las inmediaciones de la localidad de Boca del Río (Figura 37); además del número de golpes y ángulo de fricción interna, calculado en base a los parámetros de compacidad y densidad relativa.

Tabla 8: Ubicación de ensayos de penetración dinámica ligera (DPL) y parámetro obtenidos.

PUNTO	UTM ESTE (m)	UTM NORTE (m)	ELEVACIÓN (m.s.n.m.)	PROFUNDIDAD TOTAL (m)	NÚMERO DE GOLPES	$\Phi$
DPL-1	323006	7991498	-5	0.65	19	33
DPL-2	322830	7991793	11	0.63	19	33
DPL-3	322228	7992025	-1	0.53	22	33.90
DPL-4	321606	7992017	-12	3.30	40	38.50
DPL-5	321511	7993008	15	0.58	28	35.50
DPL-6	320180	7993631	-6	1.30	34	37



Figura 37: Ensayo de penetración dinámica ligera (DPL-5).

En los ensayos DPL (04 y 06) se ha logrado alcanzar profundidades máximas de 3.30 m y debido a la presencia de materiales granulares, conformados por gravas y arenas de grano grueso con alta resistencia a la penetración mínimas de 0.53 m; debido a la presencia de materiales granulares, conformados por gravas y arenas de grano grueso con alta resistencia a la penetración.

Asimismo, la profundidad alcanzada a través de la elaboración de estos ensayos permitió inferir que los suelos ubicados en las Etapas I, II y III que conforman el centro urbano de Boca del Río presentan compacidad muy suelta a media.

## 5.5. Correlación DPL – SPT / Capacidad portante

### a) Correlación entre el “N” del DPL y “N” del SPT (ASTM D1586)

El ensayo DPL no cuenta con correcciones normadas para la obtención del ángulo de fricción interna, es por ello que, los valores obtenidos del número de golpes (NDPL), fueron correlacionados con el número de golpes del ensayo de penetración estándar (NSPT), a fin de determinar el ángulo de fricción interna corregido y posteriormente, calcular la capacidad de carga admisible.

Para la correlación, se consideró las características del terreno (compacidad, resistencia y deformabilidad) y luego se utilizó una fórmula empírica que relaciona el peso del martillo, la altura de caída del martillo, el área de la punta cónica, el espesor de la hinca y el número de golpes obtenidos con el DPL:

$$N_1 = N_2 \frac{W_1 * H_1 * A_2 * e_2}{W_2 * H_2 * A_1 * e_1}$$

Dónde:

N1= Número de golpes equivalente en SPT

N2= Número de golpes, DPL

W1= Peso del martillo del DPL

W2= Peso del martillo SPT

H1= Altura de caída de DPL

H2= Altura de caída del SPT

A1= Área de la punta cónica del DPL

A2= Área de la punta cónica del SPT

e1= Espesor de la hinca del DPL

e2= Espesor de la hinca del SPT

Una vez calculado los valores con el SPT ( $N_{SPT}$ ), se realizaron las siguientes correcciones por: nivel freático, eficiencia, longitud y diámetro, para así obtener un nuevo valor de número de golpes por ensayo SPT ( $N'_{SPT}$ ), con el cual se procede a estimar el ángulo de fricción interna de los suelos.

### b) Cálculo del ángulo de fricción interna a partir del “N” SPT

Para determinar el ángulo de fricción interna de los suelos de cimentación, existen diversas fórmulas empíricas y para el caso de la localidad de Boca del Río, se empleó la relación experimental propuesta por Osaki (1959), la más usada internacionalmente.

Tabla 9: Cálculo del ángulo de fricción interno, usando valores del SPT.

ENSAYO	N <sub>SPT</sub> CORREGIDO	ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA (Ø' <sub>NSPT</sub> )	N <sub>SPT</sub> CORREGIDO	ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA (Ø' <sub>NSPT</sub> )
DPL-04	5.81	25.80	7.02	26.80
DPL-06	14.27	31.90	8.23	27.80
PROFUNDIDAD DEL ENSAYO	1.00 m -1.20 m		1.30 m - 1.50 m	

Tabla 10: Compacidad relativa de los suelos y ángulo de fricción interna en base al N<sub>SPT</sub>. Adaptado de Crespo. (2014).

COMPACIDAD RELATIVA DE SUELOS GRANULARES			CONSISTENCIA EN SUELOS COHESIVOS		
VALOR DE N <sub>SPT</sub>	COMPACIDAD RELATIVA	ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA ( □ )	VALOR DE N <sub>SPT</sub>	CONSISTENCIA	ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA ( □ )
0 - 4	Muy Suelta	< 28°	< 2	Muy blanda	0°
4 - 10	Suelta	28° - 30°	2 - 4	Blanda	0° - 2°
10 - 30	Media	30° - 36°	4 - 8	Media	2° - 4°
30 - 50	Compacta	36° - 41°	8 - 15	Compacta	4° - 6°
> 50	Muy Compacta	> 41°	15 - 30	Muy compacta	6° - 12°
			> 30	Dura	> 14°

De acuerdo a los datos de las Tablas 9 y 10, los suelos de la localidad de Boca del Río, en su mayoría, están conformados por suelos granulares (arenas de grano medio a grueso) con el ángulo de fricción en el rango de 25.80° a 31.90° a profundidades de 1.00 a 1.20 m.; por tanto los suelos presentan compacidad relativa muy suelta a suelta, mientras que, de 1.30 m. a 1.50 m., el ángulo de fricción varía de 26.80° a 27.80°; es decir, son materiales con compacidad relativa muy suelta. Finalmente, se adjunta en el Anexo, la ficha resumen de cada uno de los ensayos realizados en campo y sus respectivos valores de ángulo de fricción interna, ver Figura 38.

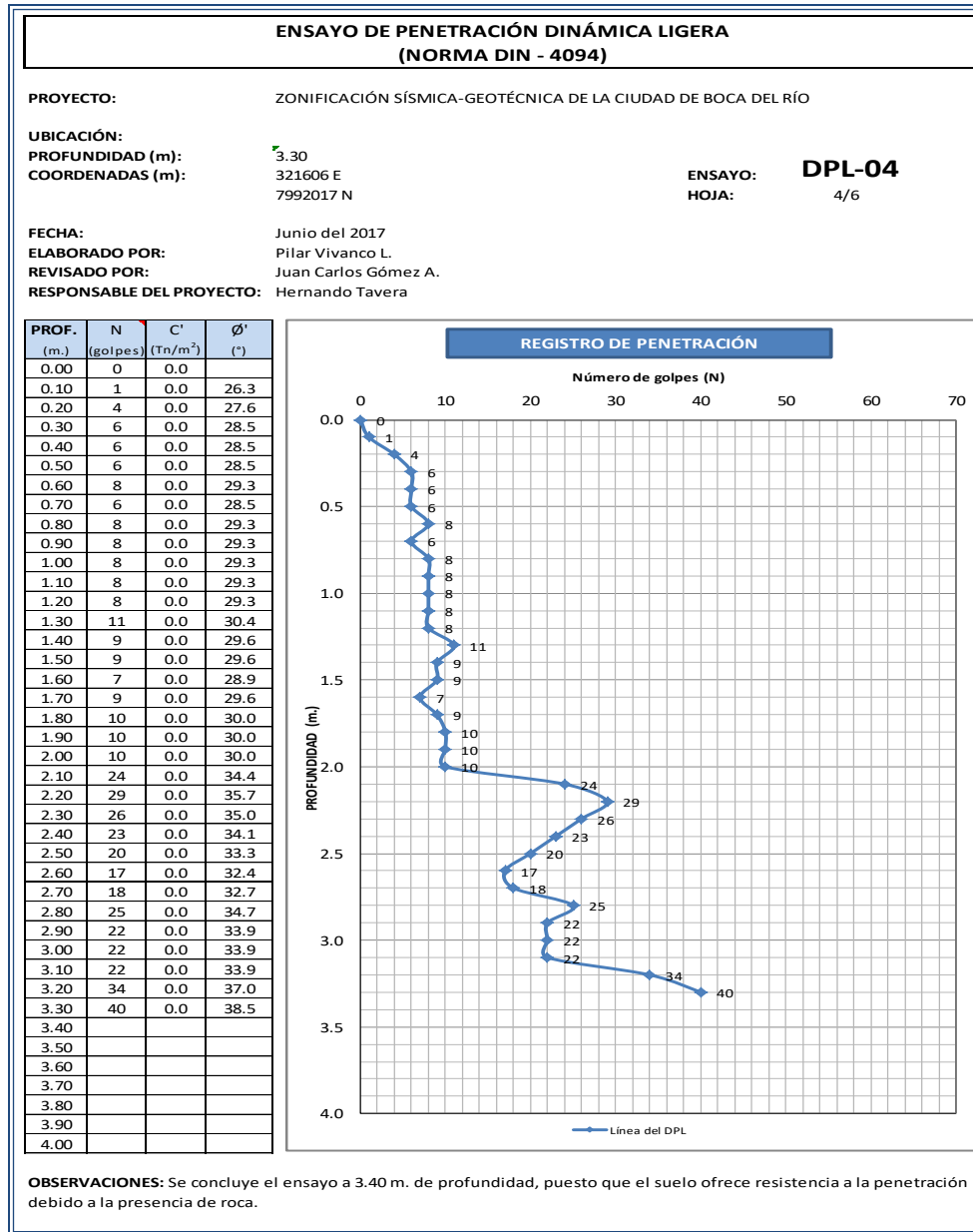


Figura 38: Diagrama de correlación entre el número de golpes del DPL, el número de golpes del SPT y el cálculo de ángulo de fricción interna.

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

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

La resistencia del suelo al corte se debe a dos componentes: la cohesión (comportamiento plástico que presentan las partículas finas de una muestra) y el ángulo de fricción interna (rozamiento que existe en las partículas granulares). Para conocer la

resistencia al corte, en laboratorio se usa el equipo de corte directo, siendo el más usado una caja de sección cuadrada o circular dividida horizontalmente en dos mitades. Dentro de ella se coloca la muestra de suelo con dos placas de piedra porosa en ambos extremos, se aplica una carga vertical de confinamiento (Pv) y luego una carga horizontal (Ph) creciente que origina el desplazamiento de la mitad móvil de la caja originando el corte de la muestra. Los resultados del ensayo se adjuntan en la Tabla 11.

Tabla 11: Valores obtenidos del ensayo de corte directo

MUESTRA	ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA DEL SUELO ( $\phi$ )	COHESIÓN APARENTE DEL SUELO (Tn/ m <sup>2</sup> )	DENSIDAD NATURAL (Tn/ m <sup>3</sup> )
C-01	33.48	---	N.P.
C -02	26.63	0.06	1.63
C -03	28.68	----	1.9
C -04	33.45	----	N.P.
C -05	25.6	----	1.92
C -06	23.89	0.10	1.83

De los resultados obtenidos anteriormente se evidencia que, los suelos presentan cohesión baja (0.06 – 0.10 kg/cm<sup>2</sup>) y los valores del ángulo de fricción interna se encuentra entre los 23° y 34°, característico de arenas mal graduadas con contenido de finos semicompactos

### 5.7. Capacidad de carga admisible ( $q_{ad} = \frac{q_u}{F_s}$ )

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

#### 5.7.1 Carga última (q<sub>u</sub>)

Para determinar la carga última, se usaron los resultados obtenidos de los ensayos de corte directo y en base al N<sub>SPT</sub> (ángulo de fricción y la cohesión), así como la fórmula de Terzaghi (1943), según sea el suelo a ensayar (Tabla 12):

Fórmula para falla por corte general:

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

Fórmula para falla por corte local:

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

C: cohesión

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

$N_c, N_q, N_\gamma$ : Factores de carga.

Tabla 12: Factores de cohesión, carga y volumétricos. Modificado por Terzaghi (Braja Das, 2007).

TERZAGHI (según Kumbhojkar, 1993)				Modificado por TERZAGHI			
Ángulo Fi	Nc	Nq	Ng	Ángulo Fi	Nc	Nq	Ng
0	5.7	1	0	0	5.7	1	0
1	6	1.1	0.01	1	5.9	1.07	0.005
2	6.3	1.22	0.04	2	6.1	1.14	0.02
3	6.62	1.35	0.06	3	6.3	1.22	0.04
4	6.97	1.49	0.1	4	6.51	1.3	0.055
5	7.34	1.64	0.14	5	6.74	1.39	0.074
6	7.73	1.81	0.2	6	6.97	1.49	0.1
7	8.15	2	0.27	7	7.22	1.59	0.128
8	8.6	2.21	0.35	8	7.47	1.7	0.16
9	9.09	2.44	0.44	9	7.74	1.82	0.2
10	9.61	2.69	0.56	10	8.02	1.94	0.24
11	10.16	2.98	0.69	11	8.32	2.08	0.3
12	10.76	3.29	0.85	12	8.63	2.22	0.35
13	11.41	3.69	1.04	13	8.96	2.38	0.42
14	12.11	4.02	1.26	14	9.31	2.55	0.48
15	12.86	4.45	1.52	15	9.67	2.73	0.57
16	13.68	4.92	1.82	16	10.06	2.92	0.67
17	14.6	5.45	2.18	17	10.47	3.13	0.76
18	15.12	6.04	2.59	18	10.9	3.36	0.88
19	16.56	6.7	3.07	19	11.36	3.61	1.03
20	17.69	7.44	3.64	20	11.85	3.88	1.12
21	18.92	8.26	4.31	21	12.37	4.17	1.35
22	20.27	9.19	5.09	22	12.92	4.48	1.55
23	21.75	10.23	6	23	13.51	4.82	1.74
24	23.36	11.4	7.08	24	14.14	5.2	1.97
25	25.13	12.72	8.34	25	14.8	5.6	2.25
26	27.09	14.21	9.84	26	15.53	6.05	2.59
27	29.24	15.9	11.6	27	16.3	6.54	2.88
28	31.61	17.81	13.7	28	17.13	7.07	3.29
29	34.24	19.98	16.18	29	18.03	7.66	3.76
30	37.16	22.46	19.13	30	18.99	8.31	4.39
31	40.41	25.28	22.65	31	20.03	9.03	4.83
32	44.04	28.52	26.87	32	21.16	9.82	5.51
33	48.09	32.23	31.94	33	22.39	10.69	6.32
34	52.64	36.5	38.04	34	23.72	11.67	7.22
35	57.75	41.44	45.41	35	25.18	12.75	8.35
36	63.53	47.16	54.36	36	26.77	13.97	9.41
37	70.01	53.8	65.27	37	28.51	15.32	10.9
38	77.5	61.55	78.61	38	30.43	16.85	12.75
39	85.97	70.61	95.03	39	32.53	18.56	14.71
40	95.66	81.27	115.31	40	34.87	20.5	17.22
41	106.81	93.85	140.51	41	37.45	22.7	19.75
42	119.67	108.75	171.99	42	40.33	25.21	22.5
43	134.58	126.5	211.56	43	43.54	28.06	26.25
44	151.95	147.74	261.6	44	47.13	31.34	30.4
45	172.28	173.28	325.34	45	51.17	35.11	36
46	196.22	204.19	407.11	46	55.73	39.48	41.7
47	224.55	241.8	512.84	47	60.91	44.45	49.3
48	258.28	287.85	650.67	48	66.8	50.46	59.25
49	298.71	344.63	831.99	49	73.55	57.41	71.45
50	347.5	415.14	1072.8	50	81.31	65.6	85.75

En base a los resultados de la carga última ( $q_u$ ), se calculó la capacidad admisible de los suelos para una profundidad de cimentación de 1.00 m y ancho de zapata de 1.00 m, así como, para profundidad de cimentación de 1.50 m y ancho de zapata de 1.00 m. Los resultados de la capacidad de carga admisible de los suelos analizados se presentan en las Tablas 13,14 y 15.

Tabla 13: Capacidad de carga admisible de seis (06) muestra extraídas en la localidad de Boca del Río.

MUESTRA	Capacidad de carga última (Tn/m <sup>2</sup> )	Capacidad de carga admisible (Kg/cm <sup>2</sup> )	Capacidad de carga última (Tn/m <sup>2</sup> )	Capacidad de carga admisible (Kg/cm <sup>2</sup> )
CA-01	1.60	0.50	2.05	0.64
CA-02	1.62	0.53	2.07	0.68
CA-03	1.62	0.52	2.07	0.68
CA-04	1.60	0.50	2.05	0.65
CA-05	1.65	0.55	2.09	0.70
CA-06	1.63	0.52	2.07	0.68
DIMENSIONES DE CIMENTACIÓN	Profundidad: 1.00 m y ancho:1.00		Profundidad: 1.50 m y ancho:1.00	

Tabla 14: Capacidad de carga admisible en base a los ensayos de DPL en la localidad de Boca del Río.

ENSAYO	Capacidad de carga última (kg/cm <sup>2</sup> )	Capacidad de carga admisible (Kg/cm <sup>2</sup> )	Capacidad de carga última (kg/cm <sup>2</sup> )	Capacidad de carga admisible (Kg/cm <sup>2</sup> )
DPL - 04	1.42	0.47	2.02	0.67
DPL - 06	2.53	0.84	2.40	0.80
DIMENSIONES DE CIMENTACIÓN	Profundidad: 1.00 m y ancho:1.00		Profundidad: 1.50 m y ancho:1.00	

Tabla 15: Rangos de capacidad de carga admisible

Capacidad Carga Admisible (Kg/cm <sup>2</sup> )	DENOMINACION
< 1.0	MUY BAJA
1.0 - 2.0	BAJA
2.0 - 3.0	MEDIA
> 3.0	ALTA

### 5.7.2 Tipos de capacidad de carga admisible

De los resultados citados anteriormente y tomando en cuenta los valores de la Tabla 15, se ha determinado que la zona urbana de la localidad de Boca del Río, presenta suelos con la siguiente capacidad de carga admisible.

**a) Capacidad de carga admisible Muy baja**

Comprende rangos de capacidad de carga admisible  $< 1.00 \text{ kg/cm}^2$ . Se encuentra representado por suelos arenosos (SP), con grado de compactación bajo. Representa el 95 % del área de estudio. Se identificaron en los suelos de las Etapas I, II y III hasta una profundidad de 1.50 m aproximadamente, ver Figura 39.

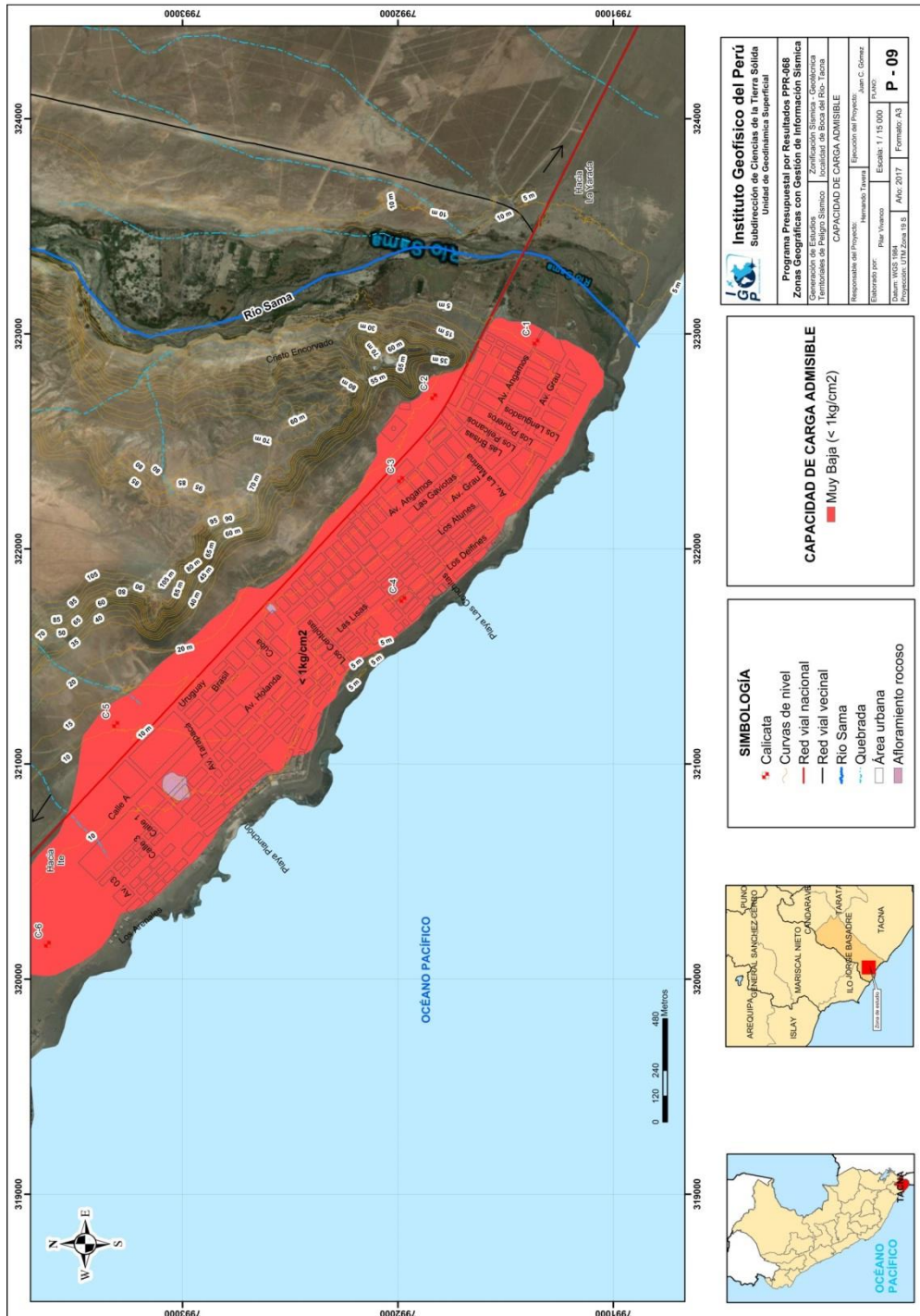


Figura 39: Mapa de capacidad de carga admisible para la localidad de Boca del Río.

## 5.8. Clasificación de suelos, SUCS

En base a la información geotécnica recopilada de las calicatas, posteos, realizados en la localidad de Boca del Río, así como los resultados obtenidos de los ensayos granulométricos y de plasticidad, se ha identificado 03 tipos de suelos que han sido agrupados haciendo uso del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), ver Tabla 16 y Figura 40.

### **Suelos tipo SP**

Arenas mal graduada con gravas y contenido de humedad entre 0.44 a 1.32%; constituyen suelos semicompactos y no presentan plasticidad (debido a la escasa presencia de material fino). Abarcan el 65 % de la zona de estudio y se identificaron todas las calicatas (C-01 al C-06), así como en los posteos (P-1, P-2, P-7 al P-12).

### **Suelos tipo SM**

Arenas con limo, cuyo contenido de humedad varía entre 0.44 a 0.53 %, por lo cual se considera que su capacidad de retención (permeabilidad) es baja. Son suelos semicompactos a sueltos y no presentan plasticidad. Estos suelos se reconocen en el posteo (P-04) ocupando el 15 % del área de estudio.

### **Suelos tipo GP**

Conformado por gravas mal graduadas, no presentan humedad, constituyen suelos con grado de compactación medio y no presentan plasticidad (debido a la escasa presencia de material fino). Los suelos que pertenecen a este tipo ocupan el 20 % de la zona de estudio y se han identificado en el ensayo con DPL (DPL-5) así como en el posteo (P-3).

Tabla 16: Clasificación SUCS para los suelos de la localidad de Boca del Río.

CALICATA	PROFUNDIDAD (m)	NIVEL FREÁTICO A (m)	GRAVAS % (>4.76 mm)	ARENAS % (>0.074 mm, <4.76 mm)	FINOS % (<0.074 mm)	LÍMITE LÍQUIDO (%)	LÍMITE PLÁSTICO (%)	ÍNDICE PLÁSTICO	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	CLASIFICACIÓN SUCS	DENOMINACIÓN
C-01	1.10	N.P.	25.60	74.40	1.12	N.P.	N.P.	N.P.	0.70	SP	Arena mal graduada con grava
C-02	1.00	N.P.	6.0	92.1	1.93	N.P.	N.P.	N.P.	0.44	SP	Arena mal graduada
C-03	1.20	N.P.	11.40	87.40	1.24	N.P.	N.P.	N.P.	0.53	SP	Arena mal graduada
C-04	1.10	N.P.	3.20	96.80	0	N.P.	N.P.	N.P.	0.69	SP	Arena mal graduada
C-05	3.10	N.P.	0	99.5	0.50	N.P.	N.P.	N.P.	1.32	SP	Arena mal graduada
C-06	0.90	N.P.	4.5	92.4	3.14	N.P.	N.P.	N.P.	0.44	SP	Arena mal graduada

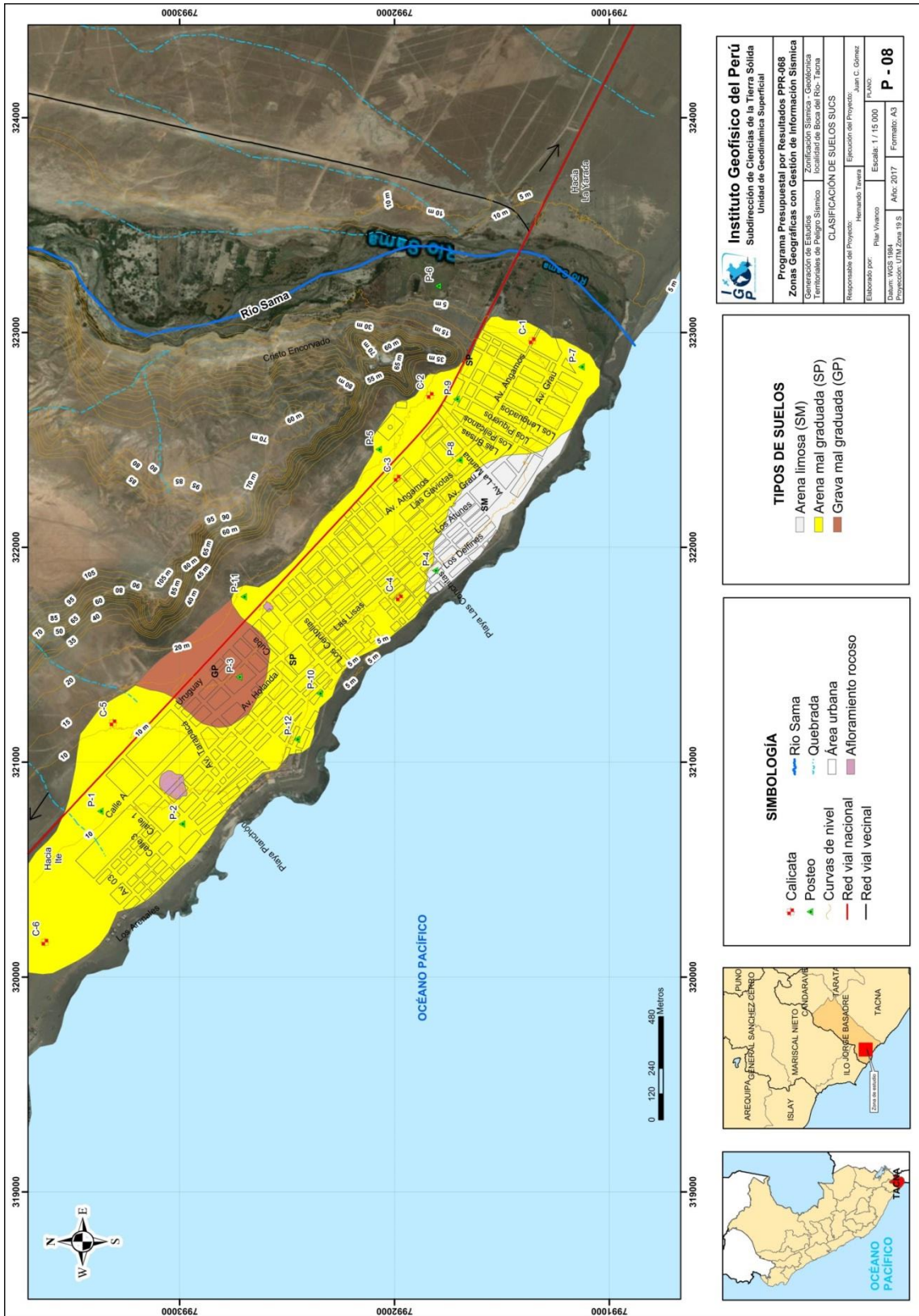


Figura 40: Mapa que muestra la clasificación SUCS para los suelos de la localidad de Boca del Río.

## CONCLUSIONES

El estudio de Zonificación Sísmica - Geotécnica para la localidad de Boca del Río, ha permitido llegar a las siguientes conclusiones:

- Se han delimitado siete unidades geomorfológicas en la localidad de Boca del Río como son: lecho fluvial, loma, llanura de inundación, terraza aluvial, terraza fluvial, terraza marina y playa.
- El sustrato rocoso consta de rocas volcánicas, cuyos afloramientos se encuentran en el litoral costero o al este del centro urbano de Boca del Río; mientras que, los depósitos del Cuaternario están conformados por materiales aluviales identificados al este de Boca del Río; eólicos, fluviales y marinos sobre los cuales se asienta la localidad en mención, así como coluviales identificados en las laderas de la loma Cristo Redentor.
- La geodinámica en la localidad de Boca del Río está representada por movimientos en masa (caída de rocas) en el sector La Yesera: flujos de detritos que se desarrollan en el lado este del centro urbano e inundaciones en ambos márgenes del río Sama.
- Se ha identificado 03 tipos de suelos: Arena mal graduada con gravas (SP) con humedad entre 0.44 y 1.32 %, abarcan el 65% de la zona de estudio. Arena limosa (SM) cuyo contenido de humedad varía entre 0.44 a 0.53 %, y abarcan el 15 % de la zona. Gravas mal graduadas (GP), no presentan humedad y ocupan el 20 % de la zona de estudio. Los suelos sobre los cuales se asientan las Etapas I, II y III de Boca del Río, presentan capacidad de carga admisible muy baja (<1 Kg/cm<sup>2</sup>).

## **CARACTERIZACIÓN SÍSMICA Y GEOFÍSICA DE LA LOCALIDAD DE BOCA DEL RÍO**

## CONTENIDO

### 1. METODOLOGÍA Y RESULTADOS

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

### 2. ADQUISICIÓN DE DATOS

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

### 3. ANALISIS E INTERPRETACION

- 3.1. Frecuencias Predominantes
- 3.2. Perfiles de Velocidad de ondas de corte Vs
- 3.3. Periodos Dominantes
- 3.4. Secciones de resistividad geoelectricas

### 4. ZONIFICACIÓN SÍSMICA Y GEOTÉCNICA

- 4.1. Zonificación Sísmica

## CONCLUSIONES

## 1. METODOLOGÍA

El estudio de Zonificación Sísmica - Geotécnica para la Localidad de Boca del Río, se ha realizado utilizando información geológica, geotécnica y datos geofísicos recolectados en campo siguiendo las metodologías que a continuación se describen:

### 1.1. Razones Espectrales H/V

El método de razones espectrales (H/V) descrito por Nakamura (1989), permite caracterizar la respuesta dinámica del sitio y estimar su amplificación sísmica.

Para la aplicación de esta técnica se obtiene, registros de vibración ambiental a fin de construir razones espectrales H/V; es decir obtener el cociente de los espectros de Fourier de las componentes horizontales entre la vertical (Nakamura, 1989). Esta técnica permite identificar las frecuencias predominantes y amplificaciones máximas relativas que caracterizan al tipo de suelo presente en el área de estudio (Figura 1). Estas características son definidas por las condiciones geológicas y geomorfológicas de las primeras decenas de metros por debajo de la superficie. Debe entenderse que la variación de las propiedades físicas de cada capa estratigráfica superficial de diferente espesor, geometría y composición litológica, causaran o no, la amplificación de las ondas sísmicas incidentes, propiedad que es utilizada para conocer las características físicas y dinámicas del suelo.



Figura 1: Registros de vibración ambiental.

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

- ✓ Los registros de vibración ambiental son tratados por ventanas de 20 segundos de señal no perturbada por el ruido de fondo. Para tal efecto, se selecciona de forma aleatoria diversos tramos de señal sin la presencia de ruidos transitorios.
- ✓ Se calcula la Transformada Rápida de Fourier para un número mayor a 10 ventanas de observación para cada punto.
- ✓ Los espectros horizontales de la señal se dividieron entre el espectro vertical para obtener la relación H/V y luego se promediaron estos para cada punto de observación considerando su respectiva desviación estándar.
- ✓ Se procedió a identificar la frecuencia predominante considerando, un rango de interés que fluctúa entre 0.5 a 20 Hz y picos/rangos con amplificaciones relativas de al menos 2 veces (se considera la amplitud de “1” como punto de referencia).

En la Figura 2, se muestra un ejemplo del procedimiento seguido para el total de la información obtenida en campo. El primer recuadro presenta la selección de las ventanas de procesamiento para las tres componentes de la señal registrada (Vertical, N-S y E-O), seguidamente la curva H/V, en la cual la curva continua negra es el promedio del cociente H/V; mientras que, las curvas discontinuas son la desviación estándar, las bandas grises identifican las frecuencias principales. Finalmente, para la presentación de los resultados, las frecuencias son expresadas en periodos dominantes.

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

Finalmente, para la interpretación de los resultados obtenidos se dispone de mapas geológicos y geotécnicos.

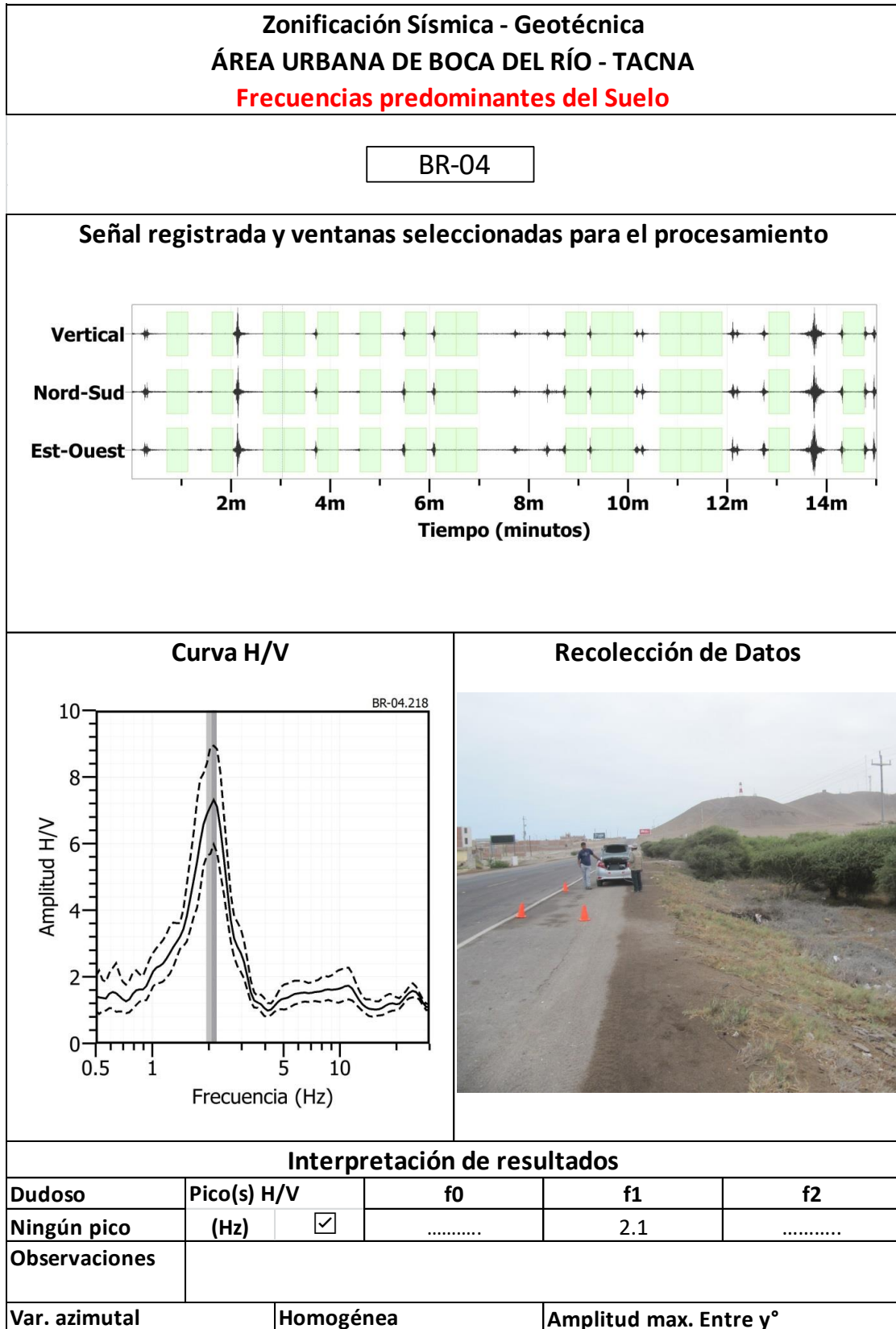
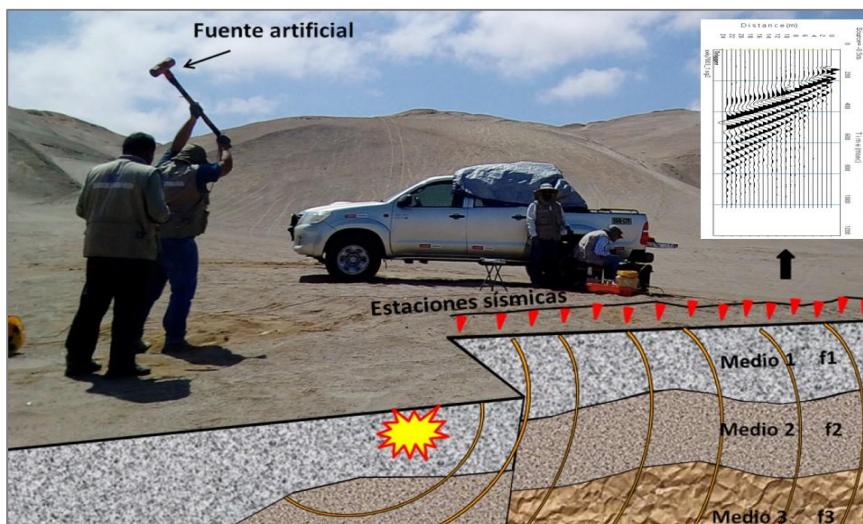


Figura 2: Ejemplo de la ficha H/V para el punto BR-04 en la cual se recopila los datos registrados y analizados. Arriba, señal registrada; Medio; razón espectral (H/V) en línea gruesa y su desviación estándar en línea discontinua y Abajo; resultados.

## 1.2. Análisis multicanal de ondas superficiales (MASW)

La técnica MASW es un método indirecto que permite determinar la estratigrafía del subsuelo bajo un punto; es decir, obtener la velocidad de propagación de las ondas de corte  $V_s$  en el subsuelo, a partir del análisis de la dispersión de ondas Superficiales (ondas Rayleigh), generados por una fuente de energía impulsiva y registrada por arreglos lineales de estaciones sísmicas, tal como muestra la Figura 3.



**Figura 3:** Generación de ondas Rayleigh con fuente artificial y su respectiva curva de dispersión.

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

- **Procesamiento:** Consiste en aplicar la transformada rápida de Fourier (FFT) en los registros sísmicos obtenidos para cada punto de disparo (Reynolds, 2011), lo cual permite la transformación de los datos en series de tiempo, dando como resultado una imagen de dispersión que relaciona la velocidad de fase de las ondas superficiales con la frecuencia. Una vez obtenidas las curvas de dispersión pertenecientes a un mismo perfil MASW son sometidas de forma individual a un proceso matemático de inversión con el fin de obtener los perfiles  $V_s$  en una dimensión (1D), para ello se considera como parámetros de entrada la profundidad (30 m) y el número de capas (15 capas). Finalmente, los perfiles  $V_s$  son promediados obteniendo un perfil unidimensional para cada línea sísmica. Los resultados al ser analizados proporcionan información útil sobre

las características geotécnicas del subsuelo (Park, 2014; Roma, 2010; Socco et al., 2008).

En la Figura 4, se muestra un ejemplo de los resultados que se obtiene a partir de la técnica de MASW. La imagen de la izquierda muestra la curva de dispersión obtenida y de la derecha, muestra el perfil de velocidad de ondas de corte Vs (línea verde) que considera el promedio final de los perfiles obtenidos post inversión, los círculos de color verde representa la inversión de la curva de dispersión del dominio de frecuencia a profundidad. Esta curva permite verificar el nivel de confiabilidad o la profundidad mínima y máxima de investigación (área sombreada), y en este caso, es de 2 a 30 metros de profundidad.

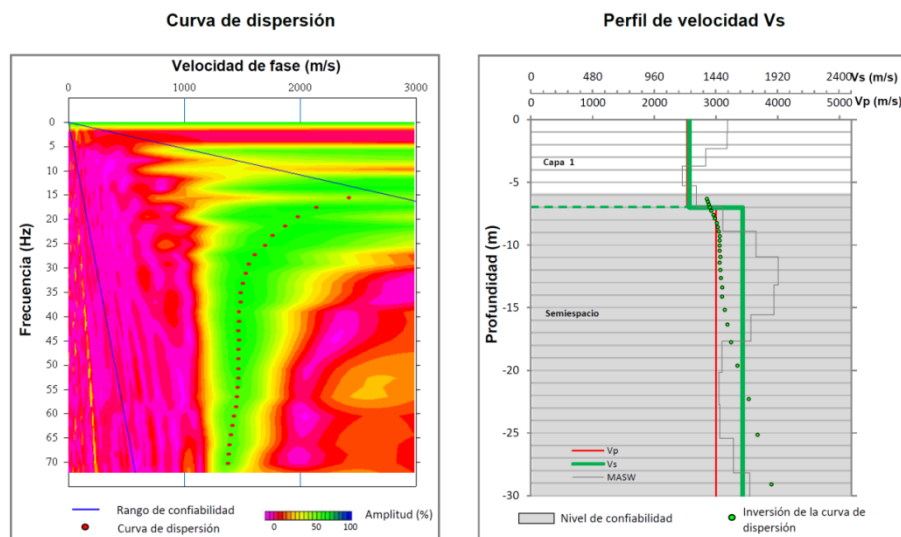


Figura 4: a) Curva de dispersión y b) perfil de velocidad obtenido a partir del ensayo realizado en la prolongación de la Av. Grau.

**- Interpretación:** Para el análisis e interpretación de los resultados obtenidos con esta técnica, se considera la clasificación de suelos según la Norma E.030. En este caso, el rango de velocidad de los perfiles de suelo S1 y S2 se subdividen a fin de considerar dos clasificaciones adicionales, lo cual permitirá precisar las características del suelo. Asimismo, la clasificación del suelo es representado con colores, para una mejor interpretación (Tabla 1).

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

Clasificación de los perfiles de Suelo				
N°	Vs	Norma E.030		Descripción
1	< 180 m/s	S <sub>3</sub>	Suelo blando	
2	180 m/s a 350 m/s	S <sub>2</sub>	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 <sub>1</sub>	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 <sub>0</sub>	Roca dura	

Finalmente, se realiza la correlación de las capas sísmicas obtenidas con la geología y geotécnica de la zona de estudio: contenido de humedad o nivel freático, parámetros que influyen en la variación de velocidad de ondas Vs.

### 1.3. Tomografía de Resistividad Eléctrica ERT

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

La tomografía eléctrica es un método convencional que se basa en introducir en el terreno, un campo eléctrico de corriente continua mediante dos electrodos de corriente (A y B) conectados a un miliamperímetro; mientras que, con los otros dos electrodos (M y N), que están conectados a un milivoltímetro, se medirá la diferencia del potencial eléctrica  $\Delta V$  entre esos dos puntos (Figura 5).

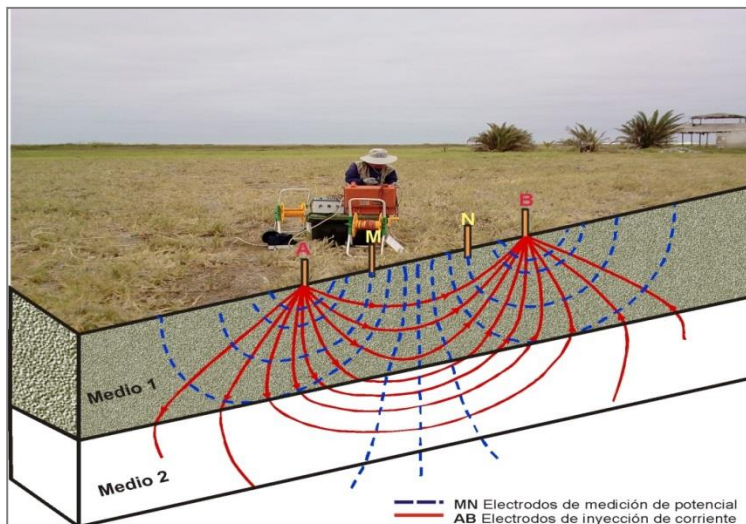


Figura 5: Principio del método de resistividad (LE01-BR), modificado de Orellana (1982).

Para la obtención de valores de resistividad aparente se han realizado líneas de tomografía eléctrica con el dispositivo polo-dipolo y cuya distribución se muestra en la Figura 5. La profundidad de investigación depende de la separación entre electrodos, por ejemplo con una separación de electrodos de 1 metro, se tendría una profundidad de observación máxima de 9 metros en el centro del perfil. Si se aumenta la distancia entre los electrodos, aumenta la profundidad de alcance, pero disminuye la resolución y en consecuencia aumenta el error.

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

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

- **Interpretación:** La interpretación de la información considera todos los factores posibles que puedan influir en los resultados; es decir, grado de saturación del terreno,

porosidad y la forma del poro, la salinidad del fluido, el tipo y composición de la roca, la temperatura, los procesos geológicos que afectan a los materiales y la presencia de materiales arcillosos con alta capacidad de intercambio catiónico. Considerando la existencia de una estrecha relación entre la resistividad eléctrica y el grado de saturación del terreno, es posible definir la posible ubicación de las áreas de filtración y las zonas saturadas en el subsuelo. De existir incrementos de fluidos en el terreno estos se verán reflejados por una disminución en valores de resistividad.

En este estudio se considera 5 rangos de resistividad (Muy alto resistivo, Alto resistivo, resistivo, bajo resistivo y muy bajo resistivos), los cuales presentan las siguientes características:

***.- Muy Alto Resistivo (color rojo):*** Comprende valores mayores a 1500 ohm.m. Se considera dentro de este grupo a rocas ígneas y metamórficas, y dentro de las sedimentarias, a los conglomerados. Un factor importante a señalar es que estos materiales estarán bajo condiciones de ausencia de agua; sin embargo, si hay presencia de arcilla, su grado de alteración permitiría la disminución en los valores de resistividad del suelo.

***.- Alto Resistivo (color anaranjado):*** Comprende valores entre los 500 y 1500 ohm.m. Se considera dentro de este grupo a las rocas sedimentarias, ya sean de origen detrítico o químico. Asimismo, incluye a los suelos con muy baja composición de materiales orgánicos.

***.- Medianamente Resistivo (color verde):*** Comprende valores entre los 100 y 500 ohm.m. Dentro de este grupo se considera a suelos sedimentarios de composición variada; es decir, arenas, arcillas y limos, cada vez con mayor contenido de materiales orgánicos.

***.- Bajo Resistivo (color celeste):*** Comprende valores entre los 20 y 100 ohm.m. Según Loke (2001), estas resistividades corresponden a suelos saturados de agua y su variación depende de la relación existente entre la resistividad, porosidad y la permeabilidad de los materiales. Así mismo, se puede considerar dentro de este grupo a los suelos orgánicos, arcillosos, limosos y aquellos con contenido de carbón, los cuales se comportan como buenos conductores de corriente.

***.- Muy Bajo Resistivo (color azul):*** Comprende valores menores a 20 ohm.m y estos están referidos a suelos con presencia de agua, material orgánico, arcillas. Se debe

considerar que el grado de salinidad del agua afecta los valores de resistividad, permitiendo que estos alcancen valores del orden del 0.2 Ohm.m., equivalente al agua de mar.

Para el presente estudio el rango de resistividades a considerarse se encuentra en la Tabla 2.

Tabla 2: Rango de Resistividades

<b>Rango de resistividades</b>	<b>ohm.m</b>	<b>Tipo de suelo</b>	
Material muy resistivo	> 1500	Suelo muy seco o roca intacta	Red
Material resistivo	500 a 1500	Suelo seco o roca fracturada	Yellow
Material medianamente resistivo	100 a 500	Suelo con poca saturación	Green
Material bajo resistivo	20 a 100	Suelo saturado o roca con contenido de sales	Blue
Material muy bajo resistivo	< 20	Suelo muy saturado	Dark Blue

## 2. ADQUISICIÓN DE DATOS

En este estudio se ha realizado la aplicación de métodos sísmicos y geofísicos, para lo cual se han utilizado diferentes tipos de registros y arreglos. Para aplicar la técnica de razones espectrales (H/V) se utiliza registros de vibración ambiental; mediante arreglos sísmicos lineales (MASW) se obtiene registros sísmicos y con los métodos eléctricos (ERT), valores de resistividad del suelo. A continuación, se describe el procedimiento seguido para la toma de datos.

### 2.1. Registro de vibración ambiental H/V

Para la obtención de los registros de vibración ambiental se utiliza el equipo sísmico compuesto por un registrador tipo CityShark y sensores de tres componentes de tipo Lennartz (Figura 6).



Figura 6: Equipo sísmico utilizado para el registro de vibraciones ambientales en Boca del Río: sensor Lennartz (2N) y registrador CityShark II.

Para la aplicación de esta técnica se procedió, sobre el mapa catastral de la localidad de Boca del Río, a definir la distribución y el número de puntos para el registro de vibraciones ambientales teniendo en cuenta la información geológica y geomorfológica de la zona. Cada registro de vibración ambiental obtenidos en campo, tiene una duración de 15 minutos, lo cual permite disponer de buena cantidad de datos para su posterior análisis. Para el área urbana de Boca del Río, se consideró 94 registros de vibración ambiental obtenidos de manera puntual y distribuidos según la Figura 7.

En la Figura 8, se muestra la disposición del equipo sísmico al momento del registro de datos, además de ejemplos de señales de vibración ambiental. La señal registrada en el punto BR-19 presenta bajos niveles de ruido; mientras que, la señal en BR-21, presenta diversidad de pulsos de variada amplitud, que al momento de su análisis, pueden ser filtrados, para no afectar a la información a utilizarse en este estudio.



Figura 7: Mapa catastral de la localidad de Boca del Río y la distribución de puntos donde se tomaron los registro de vibración ambiental HV.

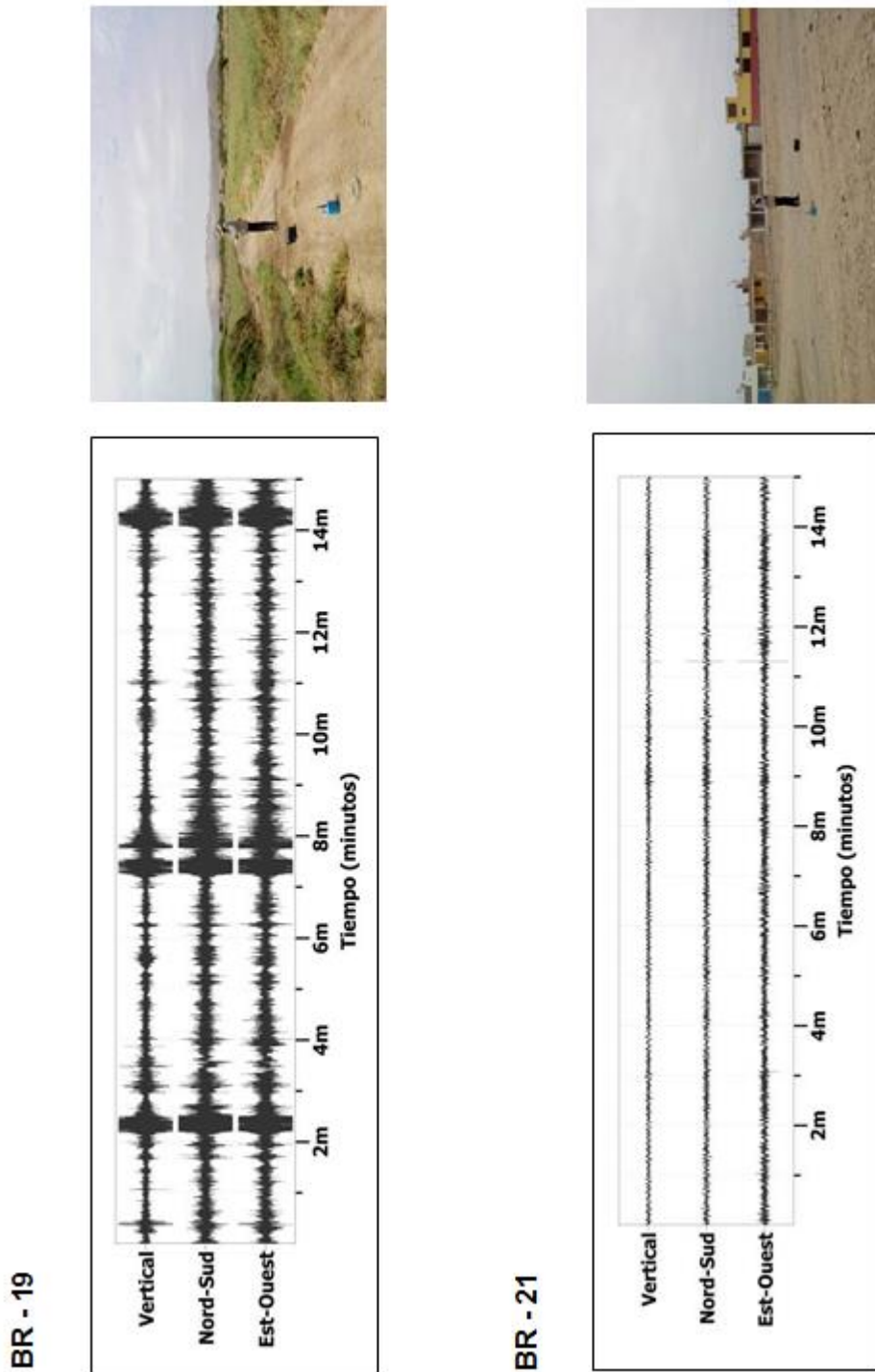


Figura 8: Ejemplos de la disposición del equipo sísmico para el registro de vibraciones ambientales. Ejemplos de registros de vibración ambiental obtenidos sobre una zona con ruido transitorio (BR-19) y otro con ruido de fondo constante (BR-21). Obsérvese las diferentes amplitudes de la señal registrada en cada punto.

## 2.2. Registro de arreglos lineales MASW

Para el registro de datos se ha utilizado un equipo sísmico (sismómetro) de uso multipropósito, modelo GEODE de Geometrics, 24 sensores o geófonos de baja frecuencia (4.5 Hz). Como fuente de impacto y/o energía para generar las ondas sísmicas, se utilizó un martillo de 20 lbs, ver Figura 9. Los parámetros de registro, tales como la geometría del tendido, espaciamiento entre geófonos, fue variable ya que dependió de la geomorfología de la zona de estudio y accesibilidad. La frecuencia de muestreo fue de 4000 Hz (0.25 ms) con un pre-trigger de -0.1s y una longitud de registro de 2 segundos.



Figura 9: Equipo sísmico para la toma de datos de MASW realizado en la Urb. Tomoyo.

En el área urbana de Boca del Río se realizaron 07 arreglos sísmicos. En la Figura 10, se presenta el mapa con la distribución espacial de las líneas sísmicas codificadas como: LS01-BR,... LS07-BR y en la Tabla 3, se presentan las coordenadas de cada línea.

Tabla 3: Coordenadas y características de las líneas sísmicas realizadas en localidad Boca del Río.

Línea Sísmica	Este (m)	Norte (m)	Cota (m)	Espaciamiento entre geófonos (m)	Longitud total (m)
LS01-BR	323076	7991258	1	4	92
	323168	7991253	1		
LS02-BR	322672	7991459	8	4	92
	322627	7991382	8		
LS03-BR	322743	7991838	28	4	92
	322821	7991792	28		
LS04-BR	322106	7992068	15	4	92
	322044	7992137	15		
LS05-BR	321365	7992690	14	4	92
	321426	7992621	14		
LS06-BR	321484	7993459	28	4	92
	321437	7993535	31		
LS07-BR	320145	7993869	7	4	92
	320211	7993806	7		



Figura 10: Mapa de la localidad de Boca del Río y distribución espacial de las líneas sísmicas codificadas como: LS01-BR, ..., LS07-BR.

Durante la adquisición de datos se visualiza los datos sísmicos (sismogramas), a fin de verificar la calidad de la data y el nivel de ruido, tal como se observa en la Figura 11. Para mejorar la relación señal/ruido fue necesario realizar apilamientos de señales (en cada punto de disparo se registran varios golpes y es acumulado al anterior), utilizando registros obtenidos con cuatro a cinco golpes en cada punto. Finalmente, se realiza el procesamiento preliminar para determinar, si la profundidad y la velocidad sísmica obtenida, tienen correlación con la geología y geotécnica. El procesamiento de los registros MASW fue realizado con el programa SeisImager.

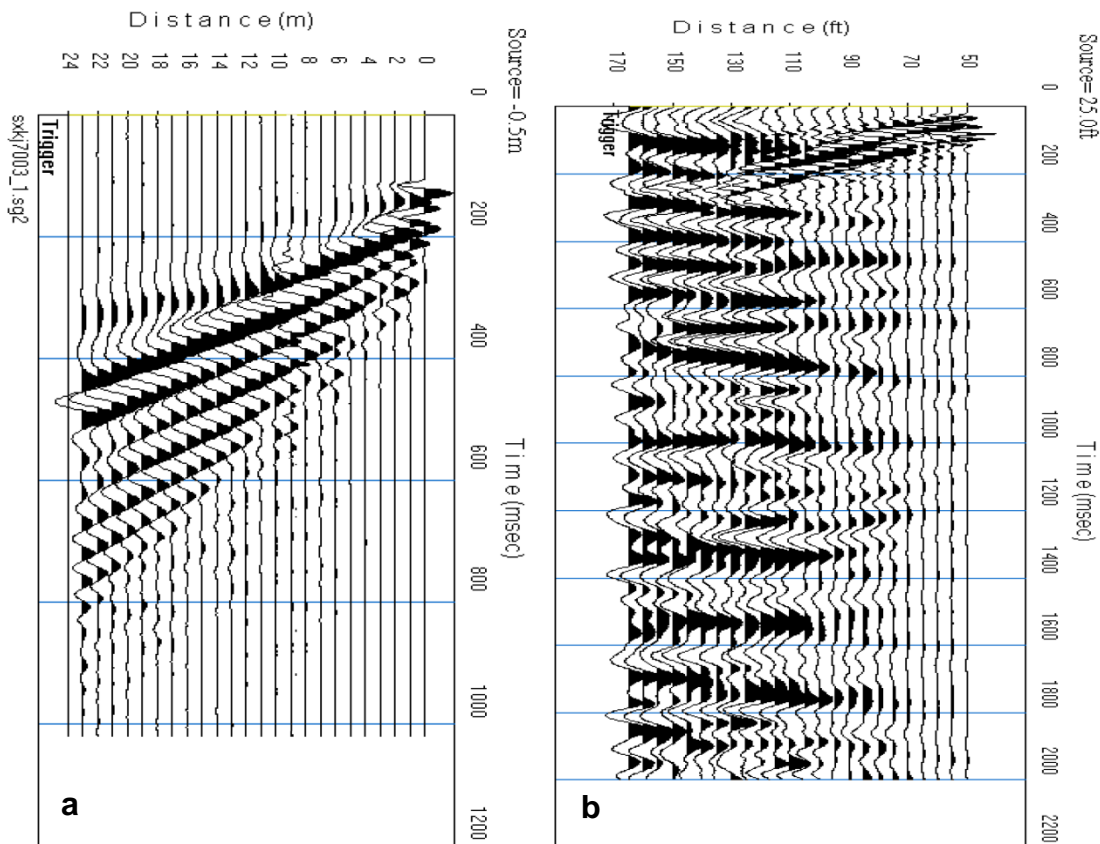


Figura 11: a) Registro sísmico con bajo contenido de ruido ambiental, es decir, alta calidad. b) Registro sísmico con alto contenido de ruido ambiental.

En la Figura 12, como ejemplo se muestra la disposición del equipo y el registro sísmico obtenido para la línea sísmica LS02-BR, ubicado en la calle los Lenguados. El sismograma contiene las señales sísmicas con presencia de bajo ruido ambiental, registrados por sensores ubicados a lo largo de la línea y cuyo punto de disparo se encuentra a una distancia de 3 metros al inicio de la línea sísmica.

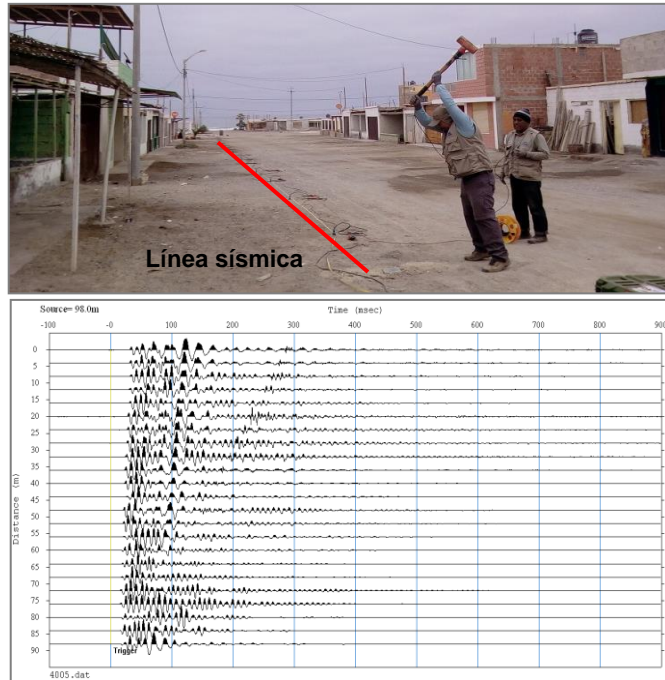


Figura 12: Disposición del equipo de adquisición por el método de MASW y el registro sísmico obtenido.

### 2.3. Registro de la resistividad del suelo ERT

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

En la localidad de Boca del Río, se realizaron 05 líneas de tomografía eléctrica (Figura 13) con el dispositivo polo-dipolo y la distribución de 30 electrodos. Para las líneas se consideró un espaciamiento de 10 metros, entre cada electrodo sobre un tendido longitudinal que variaba de 240 y 290 metros lo cual permitió tener alcances en profundidad del orden de 40 metros.

En la Tabla 4, se muestra las coordenadas UTM (WGS84) que corresponden a los puntos extremos de cada línea eléctrica.

Tabla 4: Coordenadas de las líneas eléctricas (LE) realizadas en la localidad de Boca del Río.

Línea Eléctrica	Este (m)	Norte (m)	Cota (m)	Espaciamiento entre electrodos (m)	Longitud total (m)
LE01-BR	322961	7991293	14	10	290
	323237	7991188	11		
LE02-BR	322673	7991480	22	10	240
	322545	7991262	14		
LE03-BR	321936	7992269	20	10	290
	322135	7992037	19		
LE04-BR	320952	7993138	16	10	290
	321058	7992863	18		
LE05-BR	320174	7993953	18	10	290
	319969	7993729	11		



La calidad de la señal eléctrica de todos los registros se evaluó mediante un test de resistencia de contacto entre los electros y el terreno, garantizando datos confiables para el procesamiento, donde se busca mejorar las imágenes con el uso de filtros que disminuyeran los efectos de borde, medidas negativas de resistividad aparente y la obtención de dos ciclos de registro por cada punto de medida de resistividad. Este hecho permitió evaluar la fiabilidad mediante la comparativa de los dos valores de resistividad, siendo los más fiables aquellos con menores diferencias. Se consideró los siguientes criterios:

- ✓ La diferencia de potencial registrada debe ser mayor a 0.2 mV
- ✓ La relación entre el potencial registrado y la intensidad de corriente (V/I) debe ser mayor o igual a  $5 \times 10^{-4} \Omega$ .
- ✓ La diferencia de resistividad entre los dos ciclos de medida realizados en cada punto de registro debe ser inferior al 3%.
- ✓ La resistividad mínima y máxima aparente ha de estar entre 1 y 100 000  $\Omega\text{m}$ .

Para el procesamiento de la información recolectada se ha hecho uso de los algoritmos de inversión DCIP2D y OASIS MONTAJ. En la Figura 14, se tienen la disposición de equipo eléctrico en campo y un ejemplo de la distribución de valores de resistividad en profundidad.

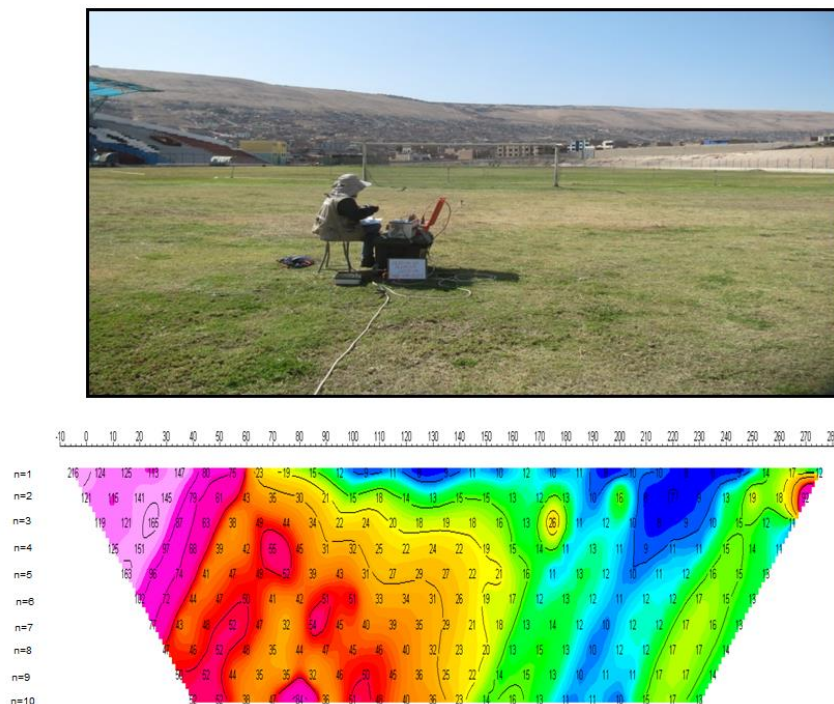


Figura 14: Disposición del equipo de adquisición por la técnica de ERT (LE01-BR) y el registro eléctrico obtenido en campo.

### 3. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN

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

#### 3.1. Frecuencias Predominantes

Esta información permite obtener espectros de Fourier para las tres componentes de registro de vibración ambiental obtenidas de manera puntual en 94 puntos (ver Figura 7). La relación espectral de la componente horizontal con la vertical permite conocer las frecuencias y/o periodos dominantes de vibración natural del suelo y en algunos casos, la amplificación sísmica relativa para cada punto.

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

**- Frecuencia predominante  $F_0$ :** En la Figura 15, se muestra el mapa con la distribución espacial de los valores de  $F_0$ , donde predominan valores de entre 0.5 y 2.0 Hz. Hacia el centro y el Norte de la zona urbana de Boca del Río, que corresponde al área de expansión urbana antigua del Centro Poblado, se ubican sobre depósitos aluviales, fluviales, eólicos y coluviales que sobreyacen a la formación Chocolate (roca volcánica). Estos valores se distribuyen de manera uniforme en la parte central del área urbana, y  $F_0$  se presenta de manera dispersa en el extremo sur y norte de la localidad de Boca del Río.

En la Figura 16, se muestran ejemplos de razones espectrales para los puntos BR-63(C), BR-65(D) y BR-66(E), ubicados en la Etapa III de Boca del Río (parte central y norte), los suelos bajo estos puntos responden a frecuencias entre 1.39, y 1.49 y 1.28 Hz con amplificaciones de 2.82, 3.46 y 2.50 veces respectivamente. Los resultados para los puntos C, D y E sugieren que los suelos en el lugar presentarían dos capas, la capa

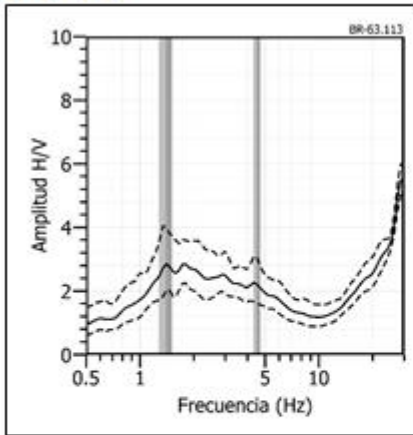
superficial se encontraría poco consolidada y compuesta por arenas mal graduadas de depósitos coluviales; mientras que, en profundidad se presentaría material compacto como roca volcánica de la formación Chocolate.

Las razones (H/V) obtenidas para los puntos BR-59(A), BR-61(B) y BR-68(F), ubicados en la parte central de la zona urbana de Boca del Río (Figura 15), presentan frecuencias predominantes de 1.25, 1.43 y 1.53 Hz con amplificaciones de 4.69, 4.00 y 2.60 veces respectivamente. En estos puntos se identifica un solo pico  $F_0$ , y en alguno de ellos un segundo pico con tendencia a mayores valores de frecuencia, aunque con bajas amplificaciones que corresponderían a afloramientos rocosos.

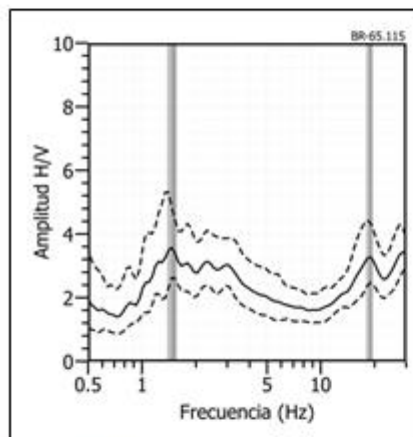


Figura 15: Mapa del área de estudio con la distribución espacial de las frecuencias predominantes  $F_0$  ( $F \leq 2.0$  Hz) definidas en cada punto. Las letras indican la ubicación de los gráficos de la Figura 15.

**BR - 63**



**BR - 65**



**BR - 66**

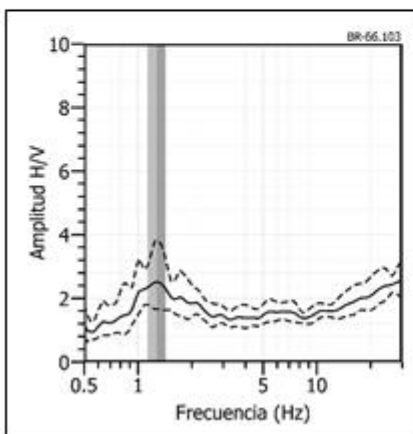
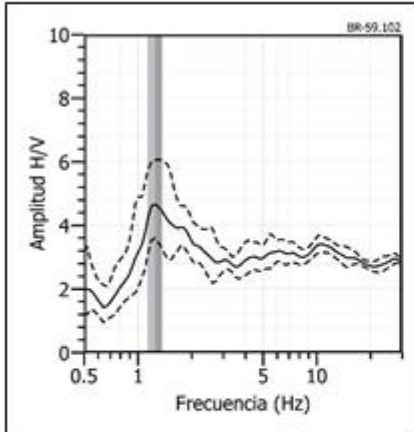
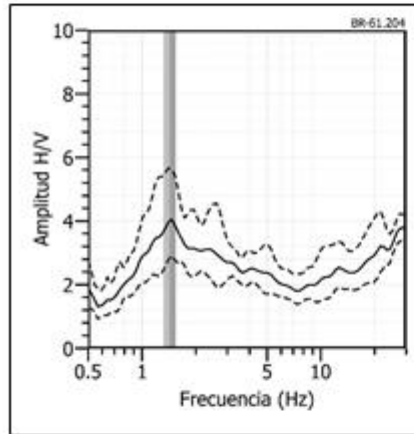


Figura 16: Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango  $F_0$  ( $F \leq 2.0\text{Hz}$ ): Puntos BR-63(C), BR-65(D) y BR-66(E), ubicados en la zona urbana de Boca del Río: el primero próximo a la zona de playa (sobre depósitos marinos) y el último próximo a las lomas (sobre depósitos coluviales y eólicos). Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

**BR - 59**



**BR - 61**



**BR - 68**

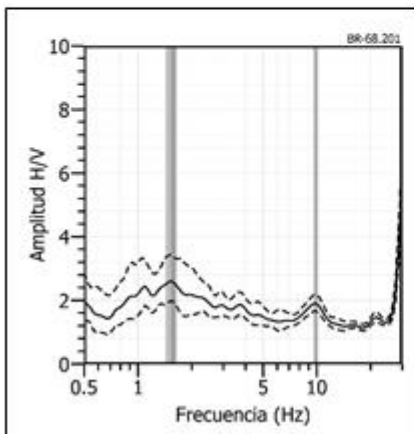


Figura 16: ... Continuación/ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango  $F_0$  ( $F \leq 2.0\text{Hz}$ ): Puntos BR-59(A), BR-61(B) y BR-68(F), ubicados en la zona urbana de Boca del Río, en la parte central, el primero en la zona de lomas (formación Chocolate) y el último en la zona de playa (sobre depósitos marinos y afloramientos rocosos). Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

**.- Frecuencias predominantes F1:** En la Figura 17, se muestra la distribución

espacial de las frecuencias predominantes  $F_1$  ( $F > 2.0$  Hz) y en la Figura 18, ejemplos de los gráficos de razones espectrales que caracterizan a los suelos de este centro poblado, en el área urbana de Boca del Río predominan frecuencias mayores a 2.0 Hz, presentando mayores amplificaciones próximos al río Sama y en la línea de costa (playas), con amplificaciones mayores a 6 veces en la zona sur, noroeste y suroeste, excepto en el punto BR-76 que tiene amplificaciones mayores a 4 veces.

Las razones (H/V) obtenidas para los puntos BR-19(G), BR-83(M) y BR-94(O), ubicados en el extremo sur del centro poblado de Boca del Río (Figura 18). En la margen derecha del río Sama, presentan frecuencias predominantes de 3.82, 6.54 y 2.77Hz con amplificaciones de 7.73, 11.25 y 6.18 veces respectivamente. Los resultados sugieren que los suelos en el lugar se encuentran poco consolidados, en comparación con el resto de los puntos analizados, son terrenos con presencia de humedad, correspondiente a depósitos fluviales.

Las razones (H/V) adquiridas para los puntos BR-07(B), BR-12(C) y BR-15(D), ubicados al este de la línea de costa, al suroeste del área urbana de Boca del Río, próximo a las playas La Lisera y El Toro, presentan frecuencias predominantes de 11.79, 10.60 y 19.35 Hz en amplificaciones de 8.03, 10.92 y 6.64 veces respectivamente. Esta zona presenta elevados valores de amplificación de la señal sísmica, lo que sugiere que los suelos son poco consolidados en superficie (depósitos marinos); mientras que, en profundidad los suelos son compactos (rocas volcánicas de la formación Chocolate).

Los puntos BR-55(J), BR-76(K) y BR-88(N), ubicados al este de la línea de costa, al noroeste del área urbana de Boca del Río, adyacente a las playas Planchón y Los Arenales, presentan frecuencias predominantes de 11.93, 14.43 y 12.29 Hz con amplificaciones máximas relativas de 8.00, 4.45 y 5.97 veces respectivamente. La mayoría de estos suelos presentan una frecuencias altas y valores elevados de amplificación, excepto en BR-88 por la Urb. Tomoyo, donde los suelos son sensibles a una frecuencia de 1.85 con amplificaciones de hasta 4.7 veces ( $F_0$ ).

Los puntos BR-16(E), BR-27(I) y BR-81(L) se ubican al sur del área urbana de Boca del Río y en la zona antigua de Boca del Río, donde el terreno se presenta consolidado y compactado; es una zona dinámicamente más estable que el resto del área de Boca del Río. En el punto BR-27 se ubica la zona de refugio próximo a las lomas.

Asimismo, las razones espectrales (H/V) obtenidas para los puntos BR-02(A), BR-

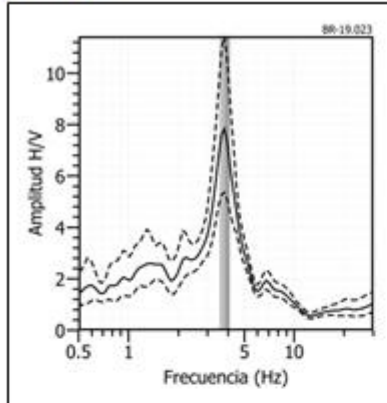
17(F) y BR-21(H) ubicados al sur de la plaza cívica de Boca del Río, al este de la playa El Toro y cercano a los humedales, presentan frecuencias de 3.03, 0.00 y 2.37 Hz, con amplificaciones de 2.57, 0.00 y 1.37 veces. Estos suelos son sensibles a una frecuencia menor bien definida a 1.13 Hz con amplificaciones de hasta 2.57 veces, que corresponde a  $F_0$ , asociado a depósitos fluviales y aluviales. En el punto BR-17, el suelo presenta una dinámica más estable.

La presencia de dos picos de frecuencia en ciertos sectores del área urbana de Boca del Río, evidencia la mayor complejidad en la respuesta de los suelos a pesar de presentar baja amplificación, a diferencia de los suelos en la zona de playa y el cauce del Río Sama, que presentan un pico de frecuencia bien definido.

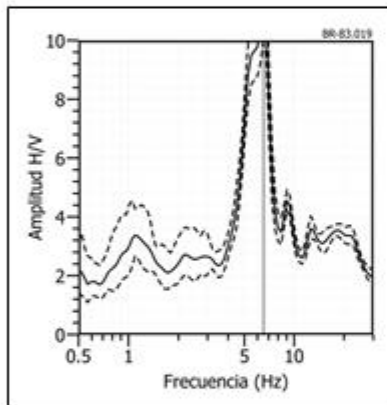


Figura 17: Mapa del área de estudio con la distribución espacial de las frecuencias predominantes F1 ( $F > 2.0\text{Hz}$ ). Las letras indican la ubicación de los gráficos que se están considerando en la Figura 15.

**BR- 19**



**BR- 83**



**BR- 94**

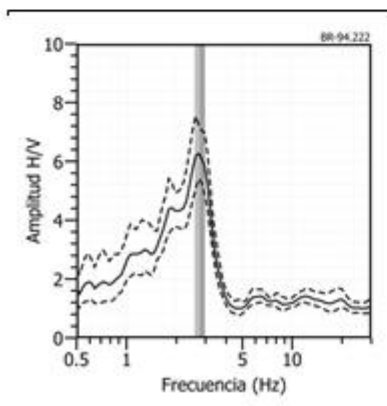
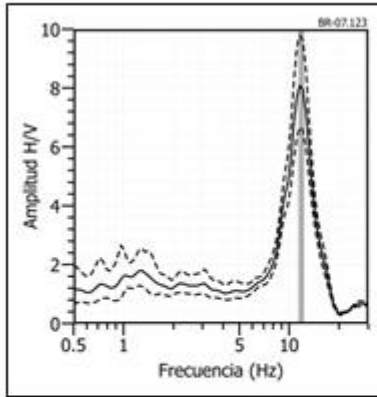
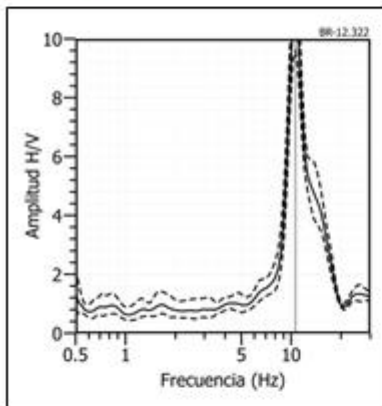


Figura 18: Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F1 ( $F > 2.0$  Hz): Puntos BR-19(G), BR-83(M) y BR-94(O), ubicados en la margen derecha del río Sama, por el puente Los Baños, en zona de humedales. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

**BR-07**



**BR - 12**



**BR - 15**

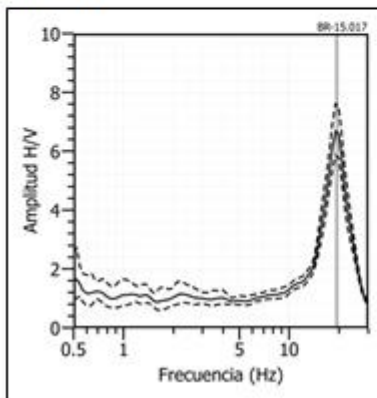
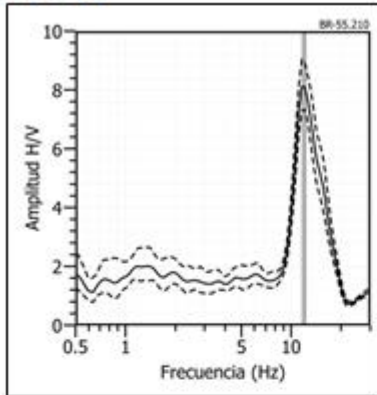
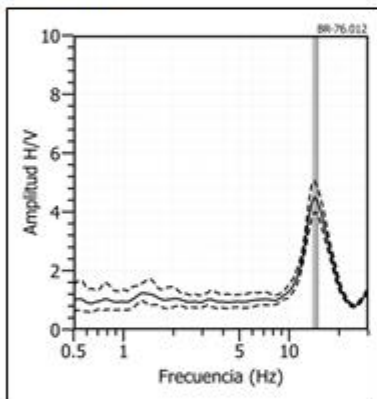


Figura 18: Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F1 ( $F > 2.0$  Hz): Puntos BR-07(B), BR-12(C) y BR-15(D), ubicados próximos a la línea de costa, al este de las playas La Lisera y El Toro. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

**BR- 55**



**BR - 76**



**BR - 88**

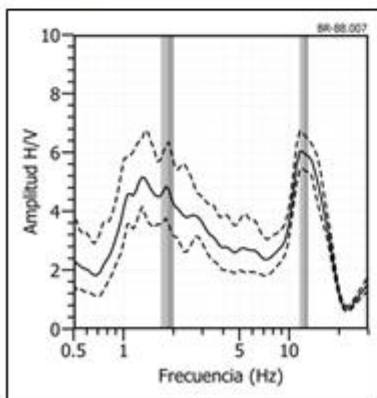
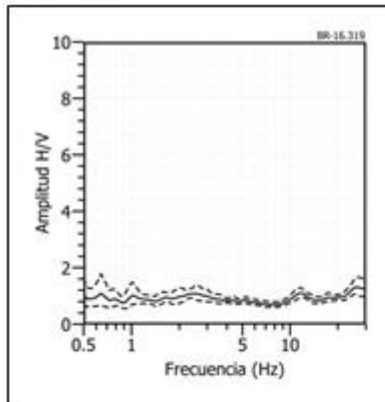
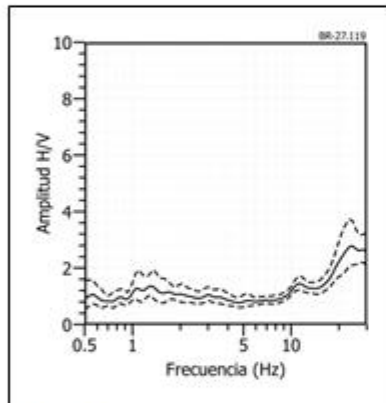


Figura 18: ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F1 ( $F > 2.0$  Hz): Puntos BR-55(J), BR-76(K) y BR-88(N), ubicados al este de la playa Planchón y playa Brava. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

**BR - 16**



**BR - 27**



**BR - 81**

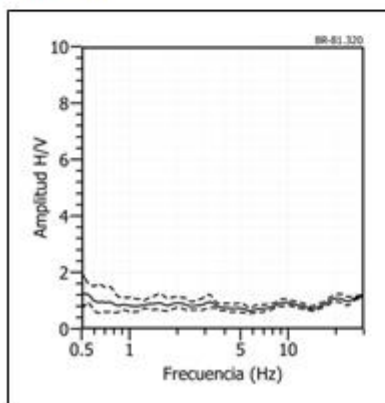
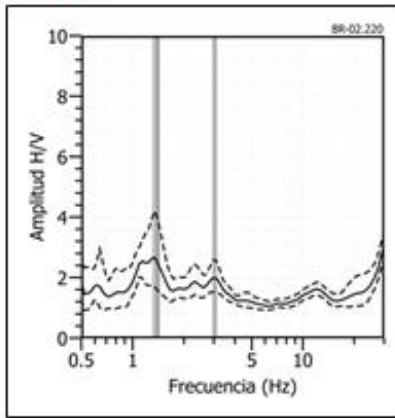
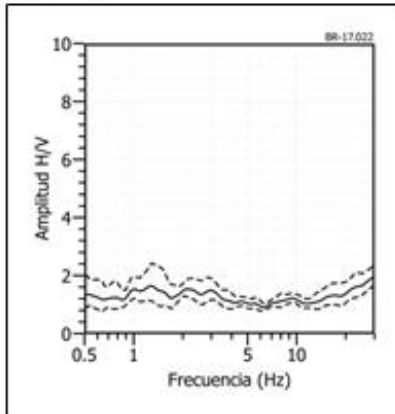


Figura 18: ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F1 ( $F > 2.0$  Hz): Puntos BR-16(E), BR-27(I) y BR-81(L), ubicados al sur de Boca del Río, BR-27 se encuentra cercano a la zona de refugio, el primero y el último próximos a la plaza cívica Luis Banderó Rossi. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

**BR- 02**



**BR- 17**



**BR- 21**

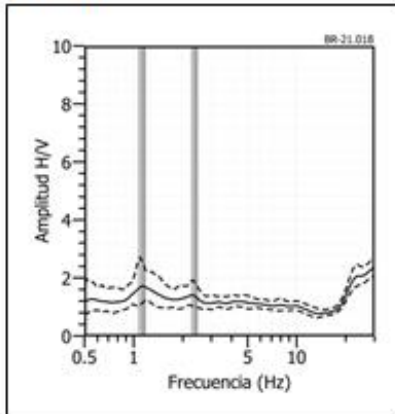


Figura 18: ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F1 ( $F > 2.0$  Hz): Puntos BR-02(A), BR-17(F) y BR-21(H), ubicados en el extremo sur (próximo río Sama) del centro poblado. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

Dadas las características urbanísticas del centro poblado de Boca del Río, con una moderada densidad de habitantes, el análisis de razones espectrales H/V ha permitido observar la presencia de dos rangos de frecuencias, F0 (0.5-2.0 Hz) del área de estudio y en menor medida en su extremo Norte hacia la Urb. Tomoyo; y F1 (>2.0 Hz) presentes de manera uniforme en toda la zona de estudio. El rango F1 con frecuencias entre 2.0 a 6.0 Hz están presentes en la zona sur de Boca del Río y de 2.0 a 10.0 Hz, al norte.

La zona de estudio presenta una geología y suelos muy variados, de ahí la diferente respuesta en frecuencias que varían de una zona a otra. En el extremo SE se encuentra la desembocadura del río Sama con la presencia de depósitos fluviales y aluviales, siendo un material suelto y con presencia de humedad, que corresponden a suelos poco consolidados y sensibles a amplificarse ante un evento sísmico. El resto de las zonas corresponden a suelos consolidados y medianamente consolidados.

Los suelos en la zona de playa de Boca del Río, presenta rangos de frecuencias de 10.0 a 22.0 Hz y la zona de humedales, próxima al río Sama, responden a frecuencias de 2.0 a 6.0 Hz, que evidencian la presencia de una capa superficial cuyo espesor aumenta conforme tiende hacia el oeste (desembocadura del río Sama). La zona de playas, presenta una respuesta dinámica diferente a toda el área de estudio, aquí los suelos responden a un solo pico a frecuencias mayores a 10.0 Hz, y con grandes amplificaciones (mayores a 6 veces), lo que sugieren la presencia de suelos poco consolidados.

Finalmente, se presentan suelos con amplificaciones menores al oeste y norte de la plaza cívica, al igual que en la zona de refugio, lo cual sugiere que los suelos son más consolidados.

### **3.2. Perfiles de Velocidad de ondas de corte Vs**

Los modelos de velocidad de propagación ( $V_s$ ) son una información muy útil en materia de riesgo sísmico y reconocimiento general, de la estructura y naturaleza del subsuelo.

En este estudio, el procesamiento de datos recolectados en campo permitió llegar hasta profundidades de 30 metros para cada línea sísmica. Las líneas sísmicas LS01, LS02, LS04, LS05 y LS07 fueron realizados entre la zona de playa y la Panamericana

Sur y las líneas LS03 y LS06 próximos a la ladera de los cerros (Figura 10). A continuación, se describe los resultados obtenidos para las líneas agrupadas según su similitud de velocidad ( $V_s$ ) en el perfil sísmico y ubicación:

**Línea sísmica LS01-BR:** Realizada próxima al río Sama (Figura 10). Indica la presencia de suelos conformados por dos capas: la primera, de 5 metros de espesor y velocidades  $V_s$  de 149 m/s, lo que sugiere suelo blandos. La segunda, con velocidad  $V_s$  de 321 m/s considera suelos moderadamente rígidos. La superficie de contacto con el semiespacio presenta velocidades  $V_s > 532$  m/s que sugiere suelo muy rígido o roca blanda.

**Línea sísmica LS02-BR:** Realizada en la calle Los Lenguados (Figura 10). Indica la presencia de suelos conformados por una capa sísmica con velocidad  $V_s$  de 1793 m/s y 13 metros de espesor, y el semiespacio con  $V_s > 2005$  m/s. En ambos casos, los suelos estarían constituidos por rocas duras, cubiertas cubierto por una capa delgada de suelo blando, que en superficie no fue posible identificar.

**Líneas sísmicas LS03-BR, LS04-BR, LS05-BR y LS07-BR:** Realizadas en la zona de refugio – próximo al cerro (LS03), en la Av. Angamos (LS04), en la prolongación de la Av. Grau (LS05) y en la Urb. Tomoyo (LS07), ver Figura10. Indican la presencia de suelos conformados por una capa de 7 a 13 metros de espesor y velocidades  $V_s$  entre 930 a 1267 m/s, lo que sugieren la presencia de rocas moderadamente duras. La superficie de contacto con el semiespacio, presenta velocidades  $V_s > 1509$  m/s que sugiere la presencia de rocas duras.

**Línea sísmica LS06-BR:** Realizada próxima a la ladera del cerro, altura del Km 96 de la Panamericana Sur (Figura 10). Indica la presencia de suelos conformados por dos capas: la primera, de 11 metros de espesor y velocidades  $V_s$  de 606 m/s, lo que sugieren la existencia de suelos muy rígidos. La segunda, con velocidades  $V_s$  de 1071 m/s y espesores de 25 metros, equivale a rocas moderadamente duras. La superficie de contacto con el semiespacio, presenta velocidades  $V_s > 1694$  m/s que indica la presencia de rocas duras.

En la Tabla 5, se resume los valores de velocidades de ondas de corte  $V_s$  obtenidos para los distintos tipos de perfiles de suelo, según lo indicado en la Tabla 4. En la Figura 19, se presenta los resultados para la línea sísmica LS01, siendo las líneas LS02 a LS07 mostrados en los Anexos A.

Tabla 5: Valores de espesor y Vs obtenidos en la localidad de Boca del Río mediante el método MASW.

Línea Sísmica	Superficie → Profundidad						VS30 (m/s)
	N° DE CAPA						
	1		2		Semiespacio		
Vs (m/s)	Esp. (m)	Vs (m/s)	Esp. (m)	Vs (m/s)	Esp. (m)		
LS01-BR	149	5	321	13	532	-	315
LS02-BR	1793	13	2005	-	-	-	1907
LS03-BR	1267	13	1554	-	-	-	1415
LS04-BR	1181	11	1509	-	-	-	1403
LS05-BR	1235	7	1650	-	-	-	1550
LS06-BR	606	11	1071	25	1694	-	854
LS07-BR	930	9	1652	-	-	-	1402

	Suelo blando ( $V_s < 180$ 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 ( $V_s > 1500$ m/s)

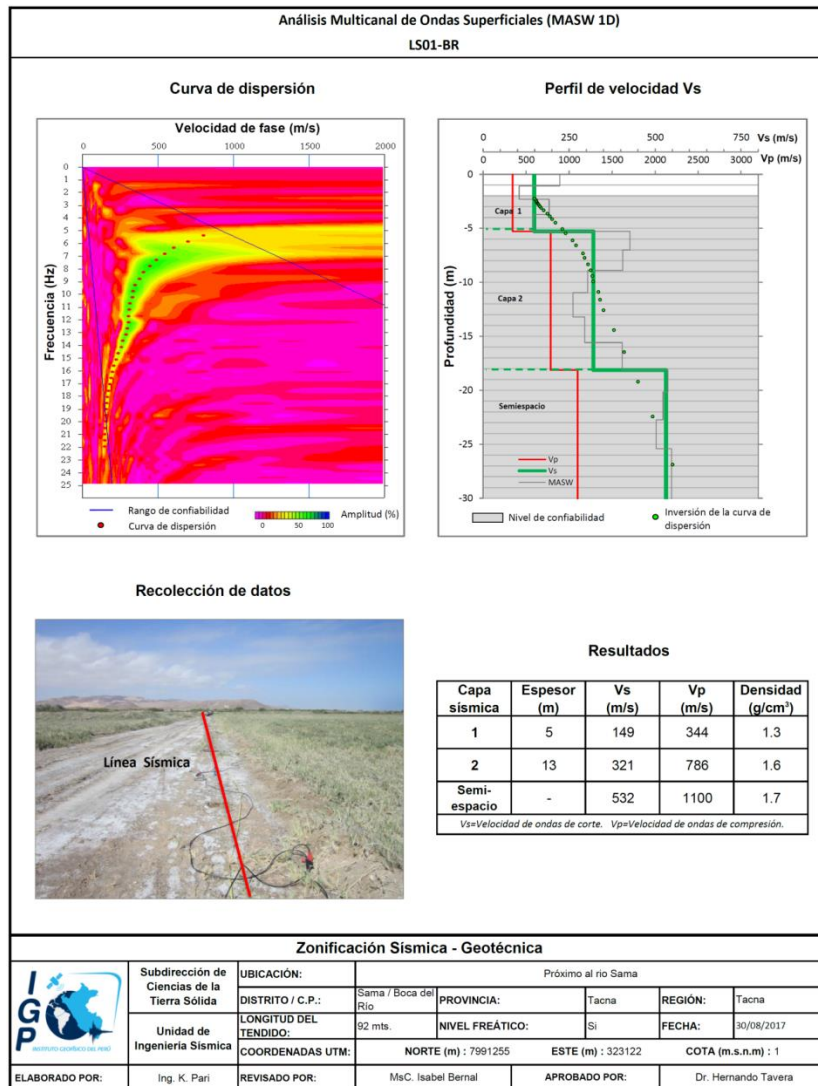


Figura 19: Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo LS01- BR.

En conclusión, los resultados obtenidos definen la existencia de 2 capas sísmicas y un semiespacio; y su correlación en la geología local es descrita a continuación:

En zona sureste del área urbana de Boca del Río (próximo al río Sama), se tiene la presencia de suelos blandos en superficie (149 m/s) y con espesores de 5 metros. Por debajo de esta capa, los suelos son moderadamente rígidos a muy rígidos o roca blanda ( $V_s=321 - 532$  m/s); es decir, este perfil de suelo es característico de materiales que conservan altos contenidos de humedad y por su ubicación, corresponde a depósitos fluviales del río Sama, los cuales se encuentran saturados, tal como muestra la Figura 20. El sacudimiento del suelo originado por sismos de gran magnitud, podría generar el fenómeno de licuación de suelo.

Por otro lado, conforme se avanza en dirección noroeste se observa un incremento de los valores de velocidad, principalmente en la zona próxima a la plaza Cívica (calle Los Lenguados), donde el perfil de suelo sugiere la presencia de roca dura ( $V_s > 1793$  m/s) desde la superficie; asimismo, en la zona de Refugio (LS03) hasta la Urb. Tomoyo (LS07). Se tiene la presencia de rocas moderadamente duras en capas de espesor variable (entre 7 a 13 metros), estando la capa de mayor espesor en la zona central del área urbana (LS04 y LS05). Por debajo de esta capa y a lo largo de la zona urbana (dirección NO-SE), se identifica la existencia de rocas duras ( $V_s 1509$  a  $1652$  m/s).



Figura 20: Suelos saturados próximo al río Sama.

Finalmente, en la zona norte, próxima a la ladera del cerro (LS06), se observa en superficie la existencia de suelos muy rígidos ( $V_s 606$  m/s), y por debajo en profundidad, la presencia de rocas duras ( $V_s > 1071$  m/s).

En conclusión, en el área de estudio los suelos superficiales están constituidos por depósitos marinos y eólicos en capas de poco espesor (< 2 metros) que cubren a las rocas volcánicas que constituyen el cerro Cristo Encorvado y que afloran en algunas zonas del área urbana de Boca del Río.

### 3.3. Periodos Dominantes

El mapa de periodos dominantes es elaborado asignando a cada punto de medición, un radio de confiabilidad de 10 metros, lo cual facilita los procedimientos seguidos para la zonificación de los suelos. Para la localidad de Boca del Río (Figura 21), los periodos dominantes han sido divididos en dos grupos, en color negro para periodos menores a 0.4 segundos, en gris los periodos mayores y los puntos grises, no presentan periodos.

Los periodos de 0.1 y 0.2 segundos, se distribuyen de manera casi uniforme sobre la zona de playas y en la parte norte (Urb. Tomoyo) del área urbana de Boca del Río; al sur y al oeste de la plaza cívica (Luis Banchemo Rossi) los periodos tienden a valores de hasta 0.5 segundos. Asimismo, en el 50% de la zona de estudio, los suelos también presentan sensibilidad a periodos de 0.6 y 0.9 segundos, principalmente en la zona de la lomas. Las mayores amplificaciones en ambos grupos de periodos, se presentan en la zona de playas y sobre los puntos ubicados en las riberas del río Sama.

Los periodos dominantes que caracterizan los suelos del área urbana de Boca del Río, están relacionados con las condiciones físico-dinámicas 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 150 m/s y 930 m/s para las ondas de corte ( $V_s$ ) y periodos de 0.1 y 0.2 segundos, se estima la presencia de una capa superficial con espesores de entre 5 y 9 metros. Estos valores son confirmados con los modelos de velocidad y espesores de capas obtenidos con los arreglos sísmicos. Del mismo modo, al considerar periodos de 0.3 y 0.4 segundos y velocidades entre 1300 m/s y 1700 m/s para las ondas de corte ( $V_s$ ), los espesores de las capas del suelo son: 11 a 13 metros. Estos espesores se encuentran en dirección sur.

En la localidad de Boca del Río, la distribución de periodos mayores a 0.4 segundos sugiere la presencia en el subsuelo de una capa profunda de gran espesor y periodos menores, una capa superficial de menor espesor y donde la primera, influye moderadamente sobre la segunda. Por otro lado, los valores de periodos entre 0.1 y 0.2

segundos con altas amplificaciones, se distribuyen principalmente en la zona de playas y en la Urb. Tomoyo y zona de expansión urbana; características que sugieren que los suelos son más flexibles en comparación con el resto del área de estudio.



Figura 21: Mapa de la distribución espacial de los valores de periodos dominantes.

### 3.4. Secciones de resistividad geoelectrica

A continuación, se describe los resultados obtenidos para las líneas de tomografía eléctrica realizados en la localidad de Boca del Río:

- Línea eléctrica **LE01-BR**, realizada al sureste del centro poblado de Boca del Río, próximo al río Sama (ver Figura 13). Se identificó la existencia de:

Dos medios geoelectricos, donde el primero presenta valores medianamente resistivos ( $>100 \Omega.m$ ), asociados a depósitos aluviales; mientras que, en el segundo medio, se tienen valores bajo resistivos ( $<100 \Omega.m$ ) relacionados a depósitos fluviales con mejor saturación por la influencia del río Sama (Figura 22).



Figura 22: Vista de las líneas eléctricas LE01-CL y LE08-CL

Líneas eléctricas **LE02-BR**, **LE03-BR**, **LE04-BR** y **LE05-BR** realizadas en los extremos suroeste en la calle Los Lenguados, en la parte central del centro poblado de Boca del Río en la Av. Angamos y entre las avenidas Holanda y Tarapaca, y al norte del centro poblado, en la Urb. Tomoyo.

La línea **LE02-BR**, fue realizada sobre depósitos aluviales, eólicos y marinos, y presenta dos medios geoelectricos. En el primero, el material es medianamente resistivo a resistivo asociado a la presencia de arenas cuarzosas (presencia de conchuelas), y el

segundo medio, se correlaciona con materiales de mayor permeabilidad, como las arenas que conservan la humedad (Figura 23).

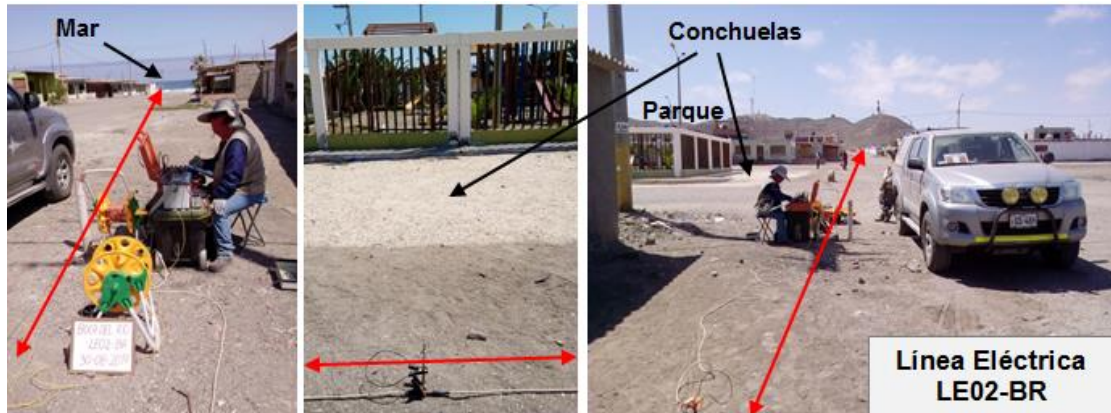


Figura 23: Vista de la línea eléctrica LE02-BR.

La línea **LE03-BR**, definió la existencia de dos horizontes geoelectrónicos, donde el primero presenta valores medianamente resistivos a muy resistivos ( $>100 \Omega.m$ ), asociados a la presencia de conchuelas, arenas eólicas y caliche; se identificó suelos con valores bajos resistivos a muy bajos resistivos, debido a la existencia de medios saturados con alta porosidad y/o permeabilidad, debido a la influencia de intrusiones marinas que permiten almacenar agua con alta salinidad. Las líneas **LE04-BR** y **LE05-BR**, presentan dos horizontes geoelectrónicos: el material medianamente resistivo a muy resistivo está presente en el primer horizonte y se asocia a la presencia de afloramientos rocosos de naturaleza volcánica y a arenas de origen aluvial con la presencia de conchuelas. El segundo horizonte, se correlaciona con la presencia de arenas saturadas en profundidad. En mayor porcentaje, a lo largo de la línea se identifican valores bajos resistivos, medios saturados con alta porosidad y permeabilidad.

En conclusión, en el área de estudio los suelos presentan valores medianamente resistivos a muy resistivos ( $>100 \Omega.m$ ), asociados a la presencia de materiales con menor contenido de humedad, porosidad y permeabilidad como material calcáreo (conchuelas), rocas volcánicas y arenas eólicas; mientras que, en mayor porcentaje los suelos en profundidad son de resistividad baja ( $<100 \Omega.m$ ); es decir medios con mayor contenido de humedad, por estar compuesto por suelos permeables y porosos, pudiendo tomar características de medios saturados (Figura 24).

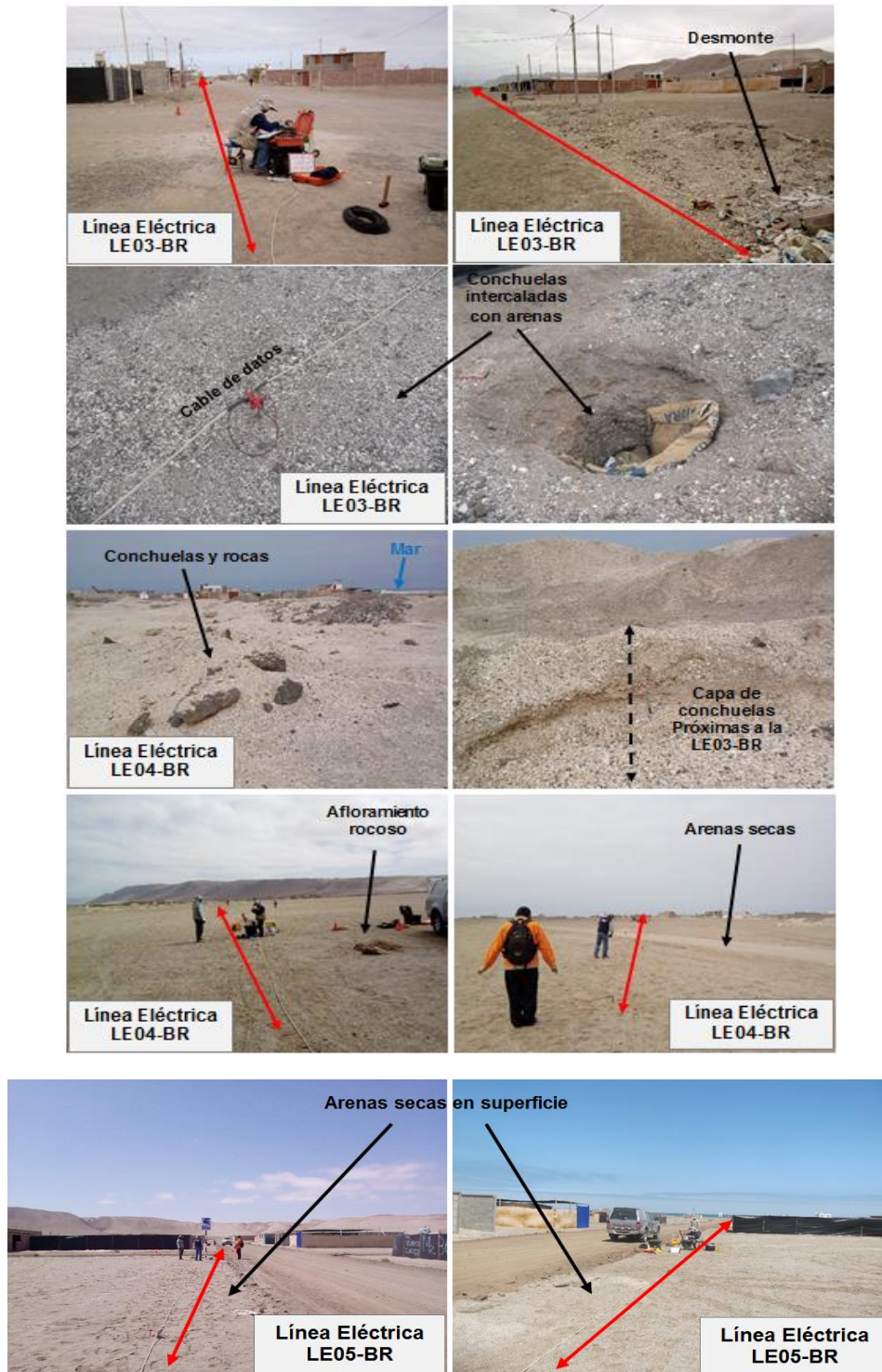


Figura 24: Vista de la línea eléctrica LE03-BR, LE04-BR y LE05-BR.

La Figura 25, se presenta los resultados obtenidos para la línea LE01–BR y en la Tabla 6, se muestra la orientación de los perfiles y profundidad de observación alcanzada en cada uno de ellos. y en los Anexos, los resultados para las líneas LE02 a LE05.

Tabla 6: Profundidad y presencia o no de medios saturados en la localidad de Boca del Río.

Línea Eléctrica	Orientación	Profundidad de alcance (m)	Horizontes geoelectricos	Profundidad del horizonte saturado (m)	Saturación
LE01-AL	NW-SE	39			P
LE02-AL	E-W	39			P
LE03-AL	N-S	39	Horiz. 1 ( $> 100 \Omega.m$ )		NP
			Horiz. 2 ( $< 100 \Omega.m$ )	13	P
LE04-AL	NW-SE	39	Horiz. 1 ( $> 100 \Omega.m$ )		NP
			Horiz. 2 ( $< 100 \Omega.m$ )	15	P
LE05-AL	E-W	39	Horiz. 1 ( $> 100 \Omega.m$ )		NP
			Horiz. 2 ( $< 100 \Omega.m$ )	20	P

\*(P) Presenta saturación, (NP) No presenta saturación.

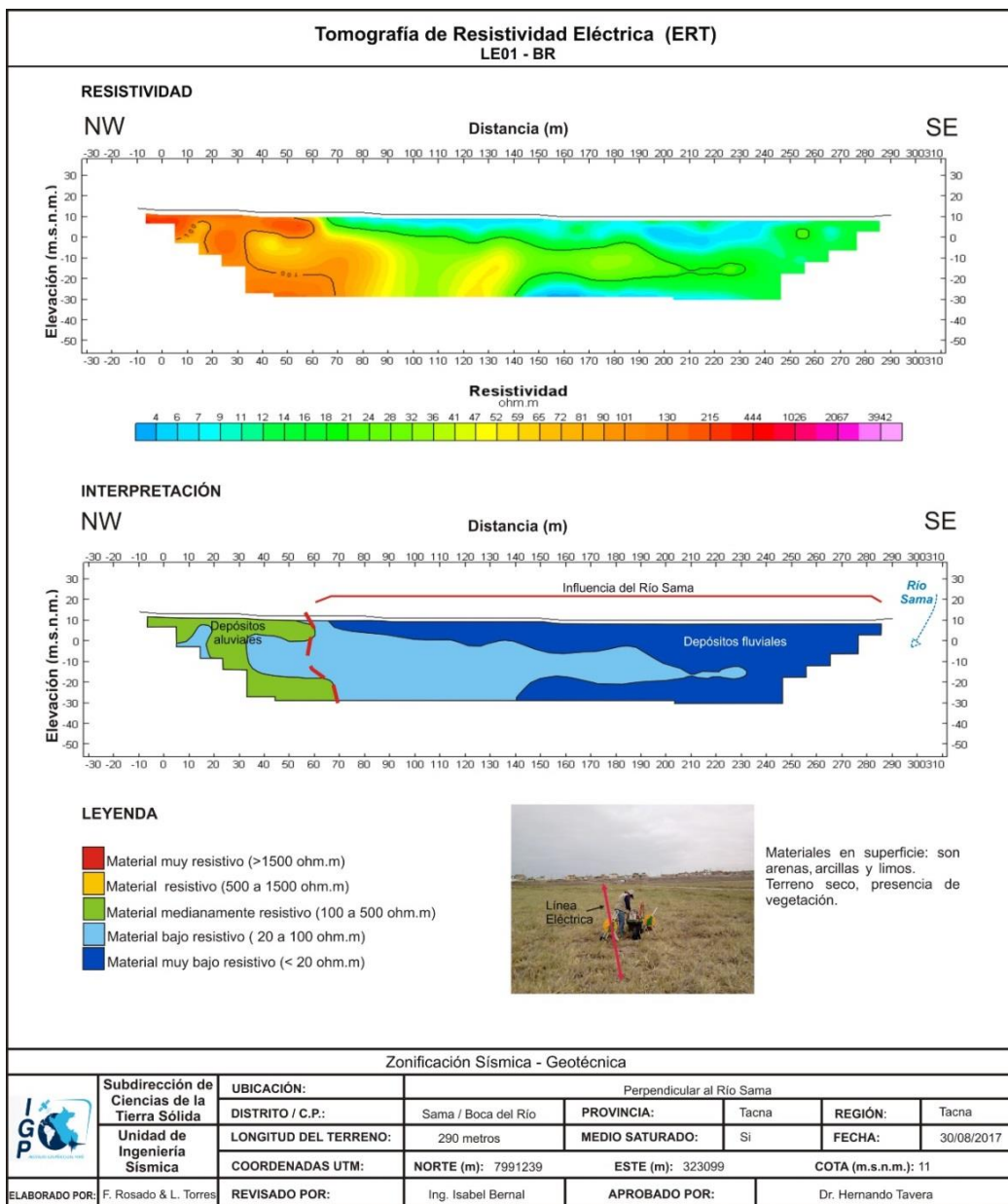


Figura 25: Análisis e interpretación geofísica con el método de tomografía eléctrica para la línea LE01-BR. De acuerdo a los resultados obtenidos, en la zona de estudio predominan los

medios saturados a excepción del extremo Sureste de la Plaza Cívica (Luis Banchemo Rossi), donde el material predominante, desde la superficie está saturado por la influencia del Río Sama. Asimismo, en dirección Sur de la Plaza de la plaza cívica en dirección a la Playa las Viejas y por el puesto de Aduanas, el medio saturado se encuentra a 10 metros de profundidad, debido a la alta porosidad y/o permeabilidad, propio de las intrusiones marinas, que tienen la capacidad de almacenar agua subterránea.

De acuerdo a la geología local, los suelos en la localidad de Boca del Río, están compuestos por depósitos eólicos, aluviales y marinos que por sus características, pueden almacenar agua subterránea. Los suelos rocosos de acuerdo a la formación Chocolate, se observan en la zona de playas y lomas.

Finalmente el medio saturado en la localidad de Boca del Río, se presenta a profundidades de 10 metros, coherente con lo observado en la zona de Sama- Las Yaras, donde el margen derecho del río presenta niveles de agua subterránea entre 3.90 y 14 metros de profundidad (INRENA, 2006). Por otro lado, la proximidad del mar, estaría ocasionando la contaminación del agua subterránea, fenómeno conocido como intrusión marina.

## 4. ZONIFICACIÓN SÍSMICA- GEOTÉCNICA

En este estudio se ha elaborado el primer mapa de Zonificación Sísmica para la localidad Boca del Río, a escala 1/15000, usando información geofísica correlacionada con la geomorfología, geología y geotécnica de la zona de estudio. Se ha analizado registros de vibración ambiental del suelo y datos de velocidad de propagación de ondas de corte ( $V_{s30}$ ), además de secciones geoelectricas para el mayor conocimiento del suelo a ser afectado en el tiempo por actividad sísmica.

### 4.1. Zonificación Sísmica- Geotécnica

El mapa de Zonificación sísmica-geotécnica para la localidad de Boca del Río, considera el análisis, interpretación y correlación de los resultados obtenidos de los estudios sísmicos, geofísicos, geológicos, geomorfológicos y geotécnicos. Para el área de estudio, las características físicas y dinámicas del suelo han permitido identificar, de acuerdo a las consideraciones indicadas en la Norma de Construcción Sismorresistente E-030, la existencia de suelos de Tipo S1, S2 y S4.

Finalmente, para la localidad de Boca del Río, se propone la siguiente Zonificación Sísmica-Geotécnica (Figura 26):

- **ZONA I:** *Presente en casi toda el área de estudio, desde el extremo NO (Urb. Tomoyo) hasta la Plaza Cívica y la zona de Refugio Los suelos están conformados por estratos de roca volcánica andesítica que se encuentran a nivel superficial y cubiertos por depósitos de material fino (arena mal graduada y arena-limosa) con mínimos espesores. Este suelo tiene un comportamiento semi-rígido a rígido, con periodos de vibración natural que varían entre 0.1 y 0.3 segundos y velocidades de propagación de onda de corte  $V_s$ , entre 850 y 1550 m/s, que corresponden a un dominio de suelos Tipo S1 según la norma sismorresistente peruana. Asimismo, presenta una capacidad de carga admisible de 1.0 kg/cm<sup>2</sup> para la capa superficial (un metro de profundidad)*

*En la Figura 24, con líneas inclinadas en color rojo delimitan la zona de mayor amplificación, y corresponden al extremo NO del área de estudio (Urb. Tomoyo) y puntualmente en el extremo final de la quebrada la Yesera (Av. Tarapacá), donde los suelos presentan amplificaciones relativas mayores a 5 veces, lo cual evidencia una menor consistencia de estos suelos respecto al resto del área de*

estudio. Con líneas inclinadas en negro delimita el área donde se presentan amplificaciones mínimas, en la zona entre el Puesto de ADUANA hasta la Plaza Cívica y en la zona de Refugio, lo cual evidencia la mayor consistencia de los suelos.

- **ZONA II:** Delimita un área pequeña ubicada entre la Plaza Cívica y el cauce del río Sama, la cual está conformada por estratos de depósitos de origen aluvial y coluvial que se encuentran a nivel superficial (suelos granulares finos a gruesos) con espesores que varían entre 5 y 15 metros. Subyaciendo a estos estratos se tiene roca volcánica andesítica. Este suelo tiene un comportamiento semi-rígido, con periodos de vibración natural que varían entre 0.3 y 0.4 segundos y velocidades de propagación de onda de corte  $V_s$ , entre 300 y 600 m/s, que corresponden a un dominio de suelos Tipo S2 según la norma sismorresistente peruana.

- **ZONA III:** Los suelos correspondientes a esta zona no fueron identificados en el área analizada.

- **ZONA IV:** Ubicada hacia el oeste la zona de litoral y hacia el extremo SE sobre el cauce del río Sama. Conformada por depósitos marinos y fluviales.

(**Zona IVa**) cuyas características físicas y dinámicas son excepcionales y corresponden a un dominio de suelos Tipo S4, según la norma sismorresistente peruana.

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

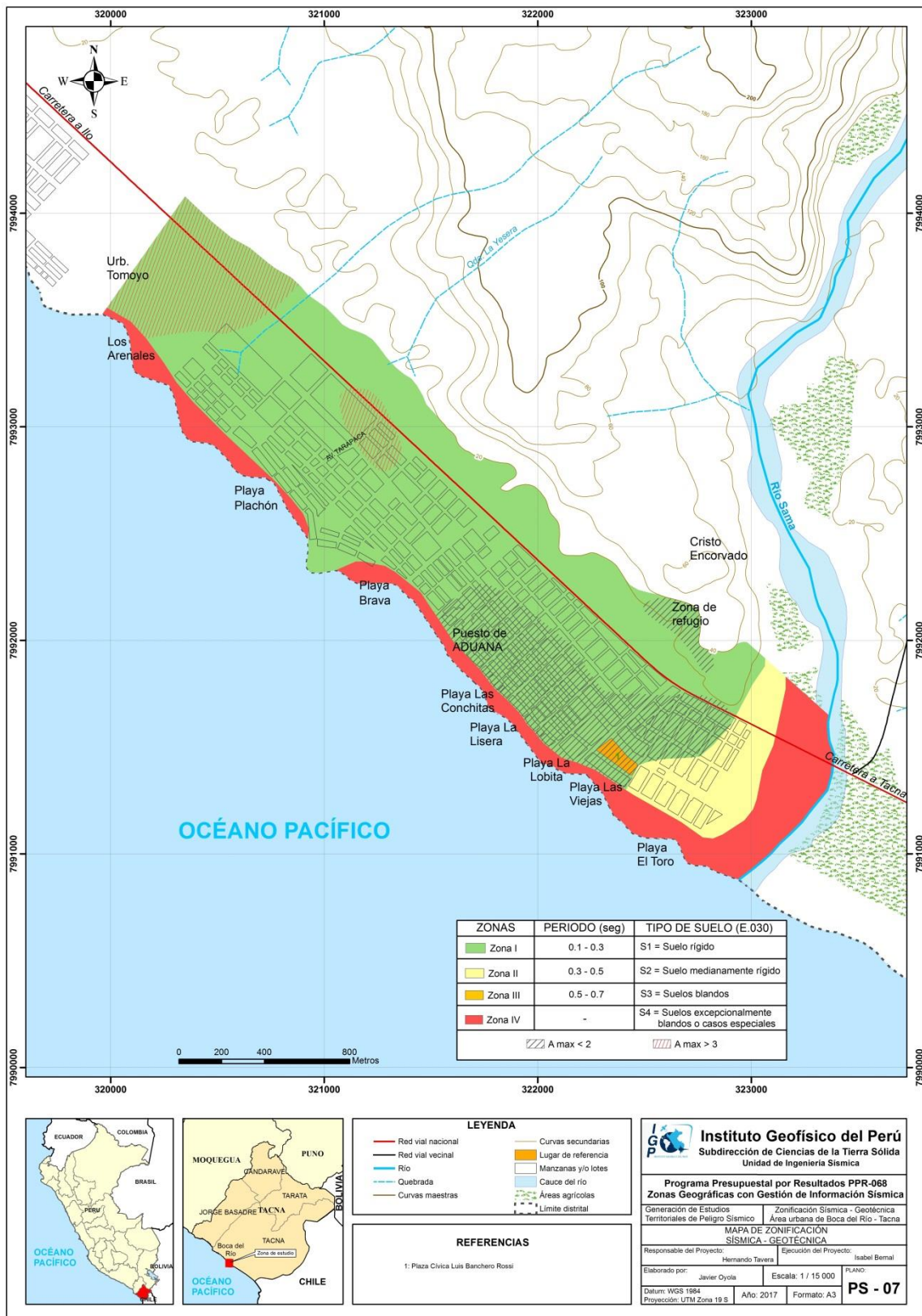


Figura 26: Mapa de Zonificación Sísmica- Geofísica de la localidad de Boca del Río.

## CONCLUSIONES

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

- Los resultados obtenidos de las razones espectrales H/V, permiten definir un pico de frecuencia, y otro de menor amplitud con tendencia a valores mayores de frecuencia. En las Etapas I, II y III, los suelos responden a frecuencias entre 1.0 y 2.0Hz, lo cual indica que hacia la margen derecha del río Sama y en los alrededores de la Plaza Cívica, el Puesto de Aduana y playa Brava y la zona de lomas, la presencia de suelos estables y compactados. Al noreste de la Etapa II y al este de la Etapa III, se presentan frecuencias entre 1.25 y 1.99Hz y amplificaciones mayores a tres (3) veces, asociados a los depósitos de origen aluvial y eólicos que dominan la zona. Las mayores amplificaciones se presentan hacia el Oeste y los extremos NO y SE del área de estudio; es decir, conforme se tiende hacia la zona de playas, en la Urb. Tomoyo y el extremo SE próximo al río Sama, los valores de frecuencias tienden a incrementarse hasta 22.0 Hz, con amplificaciones.
- Sigue los resultados de MASW, en el área de estudio existen 2 capas sísmicas y un semiespacio. La zona urbana de Boca del Río, desde la Urb. Tomoyo hasta la Plaza Cívica, incluyendo la zona de refugio presentan suelos rígidos a roca moderadamente dura para la primera capa (Vs 1267 m/s) con espesores total del orden de 7 a 13 metros, estando la roca dura (Vs 1509 a 2005 m/s) en profundidad. En la zona al sur de la Plaza Cívica se presenta una sola capa de roca dura (Vs 1793 a 2005 m/s). Asimismo, en la zona sureste (en la margen derecha del río Sama), los suelos son blandos a medianamente rígidos para la primera y segunda capa (Vs 149 a 321 m/s) con un espesor total de 18 metros, a mayor profundidad los suelos son muy rígidos (Vs 532 m/s). Según estos resultados, los suelos en la localidad de Boca del Río, están constituidos por depósitos coluviales, aluviales, eólicos, marinos y fluviales consolidados en diferente grado a diferentes niveles de profundidad, y bajo ellos existe roca andesítica de la formación Chocolate que puede aflorar en superficie.

- En la zona sur (próximo al río Sama), se identifica la presencia de suelos blandos en la capa superficial, los cuales son potencialmente licuables, ante la ocurrencia de un evento sísmico de mayor magnitud.
  
- Según los resultados de Tomografía eléctrica, en el área urbana de Boca del Río predominan la presencia de materiales resistivos a niveles superficiales a bajo resistivos a niveles profundos. Hacia el Sureste del área urbana de Boca del Río se ha observado una transición de un medio bajo resistivo (saturado) que corresponde a depósitos fluviales a un medio resistivo (no saturado) asociado a depósitos aluviales. Al Sureste de la Plaza Cívica se observa la presencia de una intrusión marina con valores bajos resistivos (menos a 50 ohm.m). En el área urbana de Boca del Río desde la Urb. Tomoyo hasta el norte de la Plaza Cívica se presentan dos horizontes geoelectricos, el primer horizonte superficial con valores resistivos a muy resistivos y espesores entre 13 y 20 metros; y el segundo horizonte con valores medianamente resistivos a muy bajo resistivos. Los medios saturados en la localidad de Boca del Río se encuentran a partir de 10 metros de profundidad hacia el Oeste y Norte de la Plaza Cívica.
  
- Los resultados obtenidos para el área urbana de Boca del Río han permitido identificar, según las características dinámicas del suelo, sus propiedades mecánicas y el procedimiento establecido en la Norma E.030, la existencia de Tres (3) zonas sísmicas correspondientes a suelos Tipo S1, S2 y S4 que comprenden a suelos rígidos, medianamente rígidos y excepcionales respectivamente.

## BIBLIOGRAFÍA

- Acosta (2012) - Geología de los cuadrángulos de La Yarada, Tacna y Huaylillas Hojas 37-u, 37-v y 37-x. Serie A: Carta Geológica Nacional. Boletín N° 145. Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico-INGEMMET.
- Arbaiza, L. (2014). Administración Estratégica. Buenos Aires-Argentina, pp.83-167.
- Banco Central de Reserva del Perú (BCRP). (2016) - Caracterización de Tacna. Lima-Perú.
- 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. (1995) Effects of surface geology on ground motion: Recent results and remaining issues, In Proc. 10 European Conf. Earth. Eng., ed. Duma, Balkema, Rotterdam, 305-323
- Bard, P-Y y SESAME (2001) The SESAME project: an overview and main results. 13 World Conference on Earthquake Engineering Vancouver, B.C., Canada August 16, 2004 Paper No. 2207.
- Braja Das, 2007: Principles of Foundation Engineering, Seven Edition, pág. 133-180.
- Brusi, D., et al (2013) - Enseñanza de las Ciencias de la Tierra. ISSN: 1132-9157. Pág. 181-194.
- Beláustegui, S. 1999. Pendientes del Terreno y Fundamentos del Caudal Máximo No Erosivo. Hoja técnica N° 07. Buenos Aires – Argentina., 4 p.
- Beresnev, I.A., K.L. Wen, and Y.T. Yeh 1995a, “Nonlinear Soil Amplification: It's Corroboration in Taiwan. Bull, Seism. Soc. Am., Vol. 85, pp. 496-515
- Bernal, I. (2006) Microzonificación sísmica de la ciudad de Tlaxcala, Mexico. Tesis de Maestría en Ciencias, UNAM, pag. 130.
- Cahill & Isacks (1992) - Seismicity and shape of the subducted Nazca Plate. Journal Geophys. Res., 97, 17503-17529.
- CENEPRED, 2013. Manual para la Evaluación de Riesgos originados por fenómenos naturales. Centro de Evaluación y Prevención de Desastres.
- Crespo V., C., (2004). Mecánica de Suelos y Cimentaciones, 5ta edición.
- Felícísimo, M. (1994). Modelo Digitales del Terreno, Oviedo-España: Pentalfa 222 p. ISBN: 84-7848-475-2 p.
- Fídel, L., Zavala, B., Núñez, S., Valenzuela, G. (2006) - Estudio de riesgos geológicos del Perú, Franja N° 4. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería

Geológica, 29. 383 p.

Flores-Estrella, H., Lomnitz, C. y Yussim S. (2004). "Estimación de velocidades de fase a partir del análisis de microtemores con el método SPAC", *Geophysics*, Vol. 24, N° 3, 438-445

Gasulla, M.; Jordana, J.; Pallás, R.; Torrents, J.M. (1998). Subsurface resistivity measurements using square waveforms. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 47(1): 74-77.

GITS-Grupo de Investigación de Transporte de Sedimentos.

Gutiérrez, M. (2008) - Geomorfología. Edit. Pearson/Prentice Hall, Madrid, 898 p. ISBN 97884832-23895.

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.

Hutchinson, J., N., (1968) - Mass Movement. In the *Encyclopedia of Geomorphology* (Fairbridge, R.W., ed., Reinhold Book Corp., New York). 668-696 p.

Hutchinson, J., N., (1988) - General Report: Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology. *Proceedings, Fifth International Symposium on Landslides*, (Ed: Bonnard, C.). 1, 3-35 p. Rotterdam: Balkema.

Instituto Nacional de Recursos Naturales. Estudio hidrogeológico del valle de Sama, (2006). Intendencia de Recursos Hídricos.

Instituto Nacional de Estadística e Informática, INEI (2007) - Censo Nacional de Población y Vivienda. Lima- Perú. Inei. Recuperado de <http://censos.inei.gob.pe/cpv2007/tabulados/#>

Instituto Nacional de Estadística e Informática, INEI (2007) - Censo Nacional de Poblacion y Vivienda. Lima- Perú. Inei. Recuperado de <http://censos.inei.gob.pe/cpv2007/tabulados/#>

Instituto Nacional de Estadística e Informática, INEI (2017) - Departamento de Tacna. Tacna- Perú.

Lermo, J. y F.J. Chávez-García (1994a). Are microtemors 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 microtemors records, *Soil. Dyn. & Earthq. Eng.* 13, 413-423 pp.

- Loke, M.H. (2004). Tutorial 2D and 3D electrical imaging surveys.
- Ministerio de Agricultura, (2006). Estudio hidrogeológico del valle Sama. Instituto Nacional de Recursos Naturales. Intendencia de Recursos Hídricos. Administración técnica del distrito de riego Locumba – Sama.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2015) - <http://renac.mtc.gob.pe/inventariovial/default2.aspx>.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Mantenimiento (2012) - Plan de Acondicionamiento Territorial de la Provincia de Jorge Basadre PAT-JB, 2012-2021.
- Municipalidad de Sama. Reseña histórica. Tacna – Perú. Recuperado de <http://munidesama.gob.pe/portal/index.php/en/sama/resena-historica.html>
- Municipalidad de Sama. (2015). Presupuesto participativo 2016. Tacna – Perú.
- Nakamura Y. (1989). A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. Quaterly Report Railway Tech. Res. Inst., 30-1, 25-30.
- Orellana, E. (1982). Prospección geoelectrica en corriente continua. Madrid: Ediciones Paraninfo.
- 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
- Reynolds, J.M. (2011). An Introduction to Applied and Environmental Geophysics. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, 2nd ed., 712 pp.
- Recuperado de <http://munidesama.gob.pe/portal/index.php/en/2015-04-29-16-07-29/portal-transparencia.html>
- Roma, V. (2010). Seismic geotechnical site characterization by means of MASW and ReMi methods. FastTIMES, 15(3):16-28.
- Pike, R. J., I. S. Evans, and T. Hengl. 2009. Geomorphometry: A brief Guide. Dev. Soil

Sci. 33: 3-30.

Plan de Acondicionamiento Territorial de la provincia de Tacna, 2014-2023.

Plan de Operaciones – Sismo Tsunami – Boca del Río, 2004

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), (2017).  
<http://www.senamhi.gob.pe/>

Sepúlveda, S.A., (2000) - Metodología de Evaluación del Peligro de Flujos de Detritos en Ambientes Montañosos. Revista Comunicaciones, Departamento de Geología, Universidad de Chile, No.51, p. 3-28.

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.

Socco, L.V., Boiero, D., Comina, C., Foti, S., y Wis\_en, R. (2008). Seismic characterization of an Alpine site. Near Surface Geophysics, 6(4):255-267.

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.

Suárez, D., J., (1998) – Estabilidad de Taludes en Tropicales. Instituto de Investigación sobre erosión y deslizamientos. Colombia. Ed. Ingeniería de Suelos Ltda. 550 p.

Tarback, E., D. Lutgens, F., K., (2005) Ciencias de la Tierra. Una introducción a la Geología Física Pretince Hall. Cap16. 8a edición. 710 pp.

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.

## ANEXOS

## ANEXOS

La información que se detalla está contenida en el DVD que se adjunta al presente Informe Técnico: “Zonificación Sísmica– Geotécnica de la localidad de Boca del Río”.

### 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