

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

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



ZONIFICACIÓN GEOFÍSICA – GEOTÉCNICA DE SUELOS EN EL ÁREA URBANA DE QUERECOTILLO

Instituto Geofísico del Perú

Presidente Ejecutivo: Hernando Tavera

Director Científico: Danny Scipion

Autores

Isabel Bernal

Caracterización Geofísica de suelos en el área urbana de Querecotillo

Juan Carlos Gómez

Caracterización Geológica – Geotécnica de suelos en el área urbana de Querecotillo

Equipo de Evaluación Geológica y Geotécnica: Segundo Ortiz/ Mariana Vivanco / Pilar Vivanco / Héctor Lavado / Gustavo Namay

Equipo de Evaluación Geofísica: Liliana Torres / Kelly Parí / Wilfredo Sulla / Javier Oyola / Jorge Salas/ Jesús Huarachi/José Millones Jáuregui/Manuel medina/Henry Salas/ Juan Carlos Villegas /

Personal de apoyo: Augusto Cárdenas / Roberth Yupanqui

Personal administrativo: Marisol Enríquez / Estherfilia Campos

Este Informe ha sido producido por:

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

**ZONIFICACIÓN GEOFÍSICA – GEOTÉCNICA DE SUELOS
EN EL ÁREA URBANA DE QUERECOTILLO**

Provincia de Sullana - Región Piura

RESUMEN

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

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

ÍNDICE

RESUMEN

ÍNDICE

PARTE 1: Presentación

1. Introducción

1.1. Objetivo

1.2. Historia

1.3. Accesibilidad y clima

1.4. Hidrografía

1.5. Economía

1.6. Estudios Previos

2. Condiciones locales de sitio

2.1. La Norma Técnica E.030

Conclusiones y Recomendaciones

PARTE 2: Caracterización geológica y geotécnica de los suelos del área urbana de Querecotillo.

PARTE 3: Caracterización geofísica de los suelos en el área urbana de Querecotillo.

BIBLIOGRAFIA

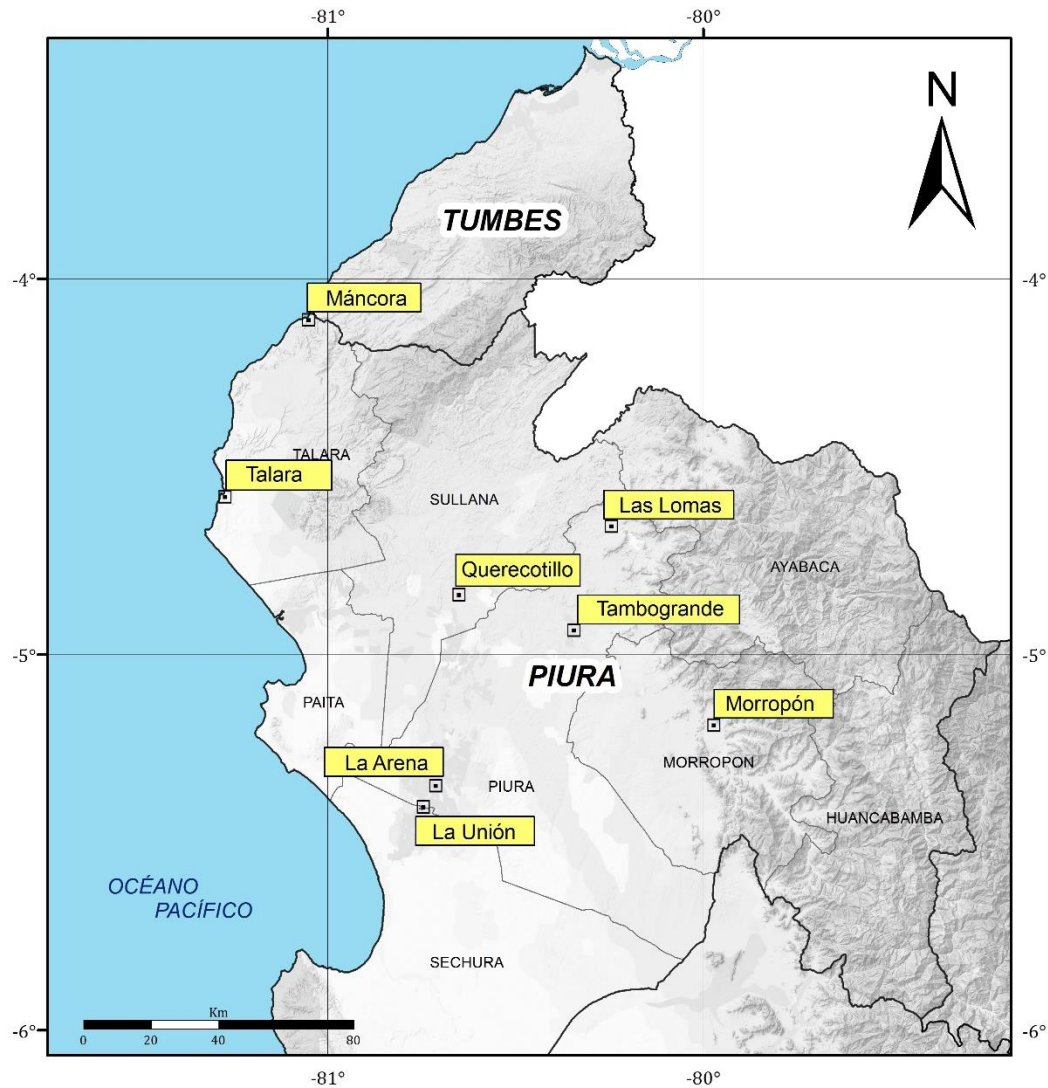
ANEXOS

1. INTRODUCCIÓN

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

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

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



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

Los estudios de Zonificación Geofísica – Geotécnica (Comportamiento Dinámico del Suelo) de suelos permitirán tener mayor conocimiento sobre las características dinámicas del suelo sobre el cual se levantan las ciudades y/o futuras áreas de expansión. Para ello se realiza la aplicación de diferentes metodologías que consideran datos sísmicos, geofísicos, geológicos, geodinámicos, geomorfológicos 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 Querecotillo debe comprender que existen tres (3) reglas para construir una casa sismorresistente (www.acerosarequipa.com):

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

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

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

Es importante remarcar que los Mapas de Zonificación Geofísica – Geotécnica de suelos 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 Geofísica- Geotécnica de suelos para el área urbana del distrito de Querecotillo, provincia Sullana y región Piura, a partir de la integración de los resultados obtenidos con diferentes métodos geofísicos, geológicos y geotécnicos. Asimismo, es de interés del presente estudio que las autoridades dispongan de un documento técnico que les ayude en el desarrollo y ejecución de proyectos orientados a la gestión del ordenamiento territorial y desarrollo sostenible de la ciudad.

1.2. Historia

Según el historiador Félix Paz Soldán, Querecotillo se deriva de la palabra quechua Querocoto, cuyo vocablo descompuesto en Quero, quiere decir madera o viga, y Coto, que significa montón o frondoso. Querecotillo ha sido famoso por su gran bosque lleno de algarrobos, árbol que identifica a la región Piura. Otras fuentes señalan que la región cuando fue conquistada por los españoles, le decían Keruco Quilla, palabra que tiene por acepción “árboles para la Luna”. Keru en quechua significa árbol, Cot es la conjunción para, y Quilla significa luna. A los españoles se les hacía difícil su pronunciación, lo que derivó en Querecotillo. Antes y después de la Independencia al poblado y en general, a toda esta región se le llamaba Querecotillo, como consta en los libros de aquella época y es así como se le llama en la actualidad.

Su antigüedad se remota a la época Pre-Incaica, perteneció a la cultura Tallán, cuyo régimen de gobierno era el matriarcado, siendo las Capullanas las jefas de la tribu. Perteneció luego a la cultura Chimú (Cacicazgo del Chira), que fue conquistada luego por el Inca Pachacutec, llegando así a formar parte del Gran Imperio de los Incas.

En 1821, el Libertador José de San Martín mediante Reglamento Provisional considera como distrito a las doctrinas existentes, dentro de las cuales se encontraba Querecotillo. Se considera que el distrito fue creado a inicios de la República mediante Decreto del 21 de junio de 1825, en el gobierno del Libertador Simón Bolívar.

El área urbana de Querecotillo se ubica en las coordenadas UTM (Universal Transversal Mercator) 538934 E y 9465040 N, a una altura de 53 m s. n. m. Geográficamente limita, por el Norte con el distrito de Lancones; al Este con el distrito de Marcavelica, al Sur con el distrito Salitral y por el oeste con el río Chira. Desde el punto de vista jerárquico de la iglesia

católica del Perú, forma parte de la Arquidiócesis de Piura. El área de estudio en el distrito de Querecotillo abarcó 1985 hectáreas (ha), de las cuales 110 ha corresponden a la urbana y el restante a zonas de cultivo (Figura 2).

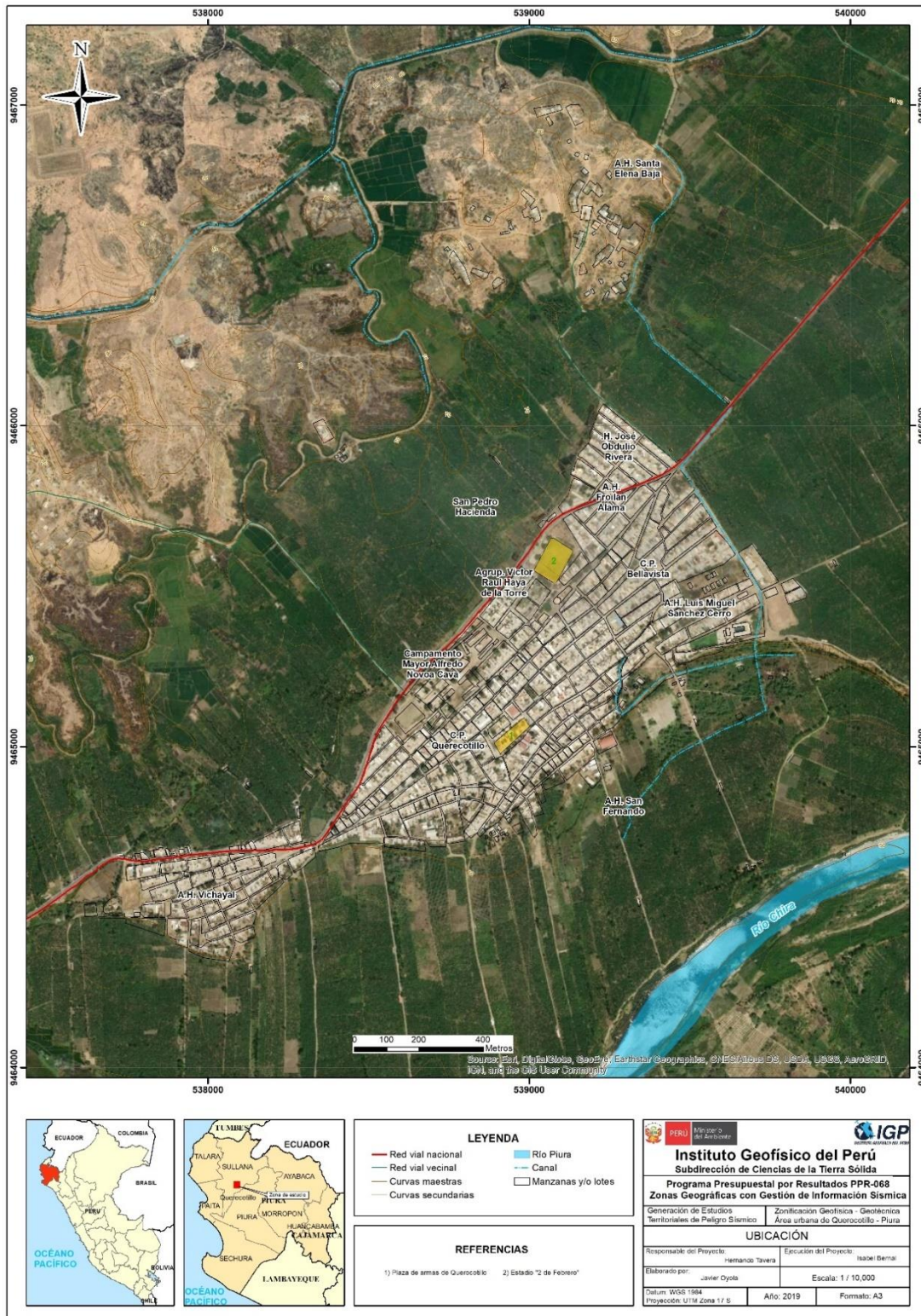


Figura 2: Mapa de ubicación geográfica del área de estudio.

1.3. Accesibilidad y Clima

La accesibilidad al distrito de Querecotillo desde la ciudad de Lima, se realiza por la panamericana Norte vía Sullana, para luego dirigirse por la vía auxiliar panamericana (recorrido aproximado de 1041 km).

Las condiciones climáticas en el distrito de Querecotillo, según el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) de la estación Meteorológica Mallares, ubicada en la provincia de Sullana, distrito de Marcavelica en las coordenadas geográficas; Latitud: $4^{\circ} 51' 20.67''$, Longitud: $80^{\circ} 44' 8''$ y cota 44 m.s.n.m. (Figura 3). De la información registrada en la estación (periodo 1982-2019), se concluye que Querecotillo presenta un clima árido cálido y húmedo con lluvias no tan importantes en gran parte del año, con una temperatura máxima de 34.1°C y en invierno (junio-octubre) y temperatura mínima de 17.1°C . Durante el fenómeno El Niño la temperatura puede aumentar de 2°C a 4°C y las precipitaciones superan los 100 mm diarios (Tabla 1).

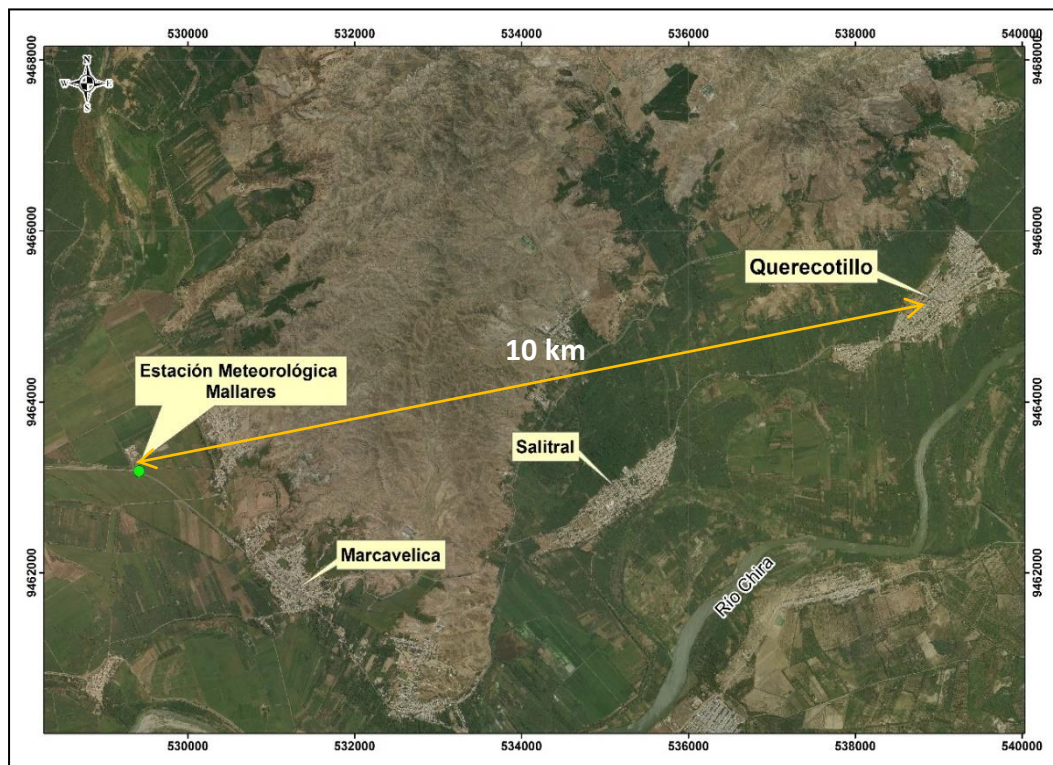


Figura 3: Ubicación de estación meteorológica Mallares ubicada a 10 km al oeste de Querecotillo

Tabla 1: Registro de precipitaciones en el distrito de Querecotillo periodo 1980-2019, los recuadros en azul representan a los eventos El Niño

Año	Precipitación máxima diaria registrada (mm)	Año	Precipitación máxima diaria registrada (mm)
1980	27.5	2000	19.7
1981	9.6	2001	62.5
1982	11.5	2002	47.1
1983	148.1	2003	12.9
1984	47.3	2004	7.3
1985	5.1	2005	6.1
1986	4.7	2006	25.8
1987	64	2007	8.4
1988	15.7	2008	79
1989	31.2	2009	22.1
1990	2.6	2010	70.4
1991	15.4	2011	14.4
1992	100.4	2012	56
1993	0.9	2013	59
1994	11.7	2014	S.D.
1995	1.8	2015	S.D.
1996	2	2016	S.D.
1997	85.8	2017	129.3
1998	201	2018	13.6
1999	64.8	2019	8.3

1.4. Hidrografía

El área de estudio está ubicada en la cuenca baja del río Chira, que forma parte de la cuenca Catamayo – Chira y que está constituida por territorio ecuatoriano y peruano, respectivamente. Asimismo, tiene una extensión de 10 678.91 km². El río Chira se constituye como el sistema de drenaje en Querecotillo con una forma semi-meándrico que discurre y fluye en dirección este-oeste para desembocar en el océano Pacífico (Figura 4).

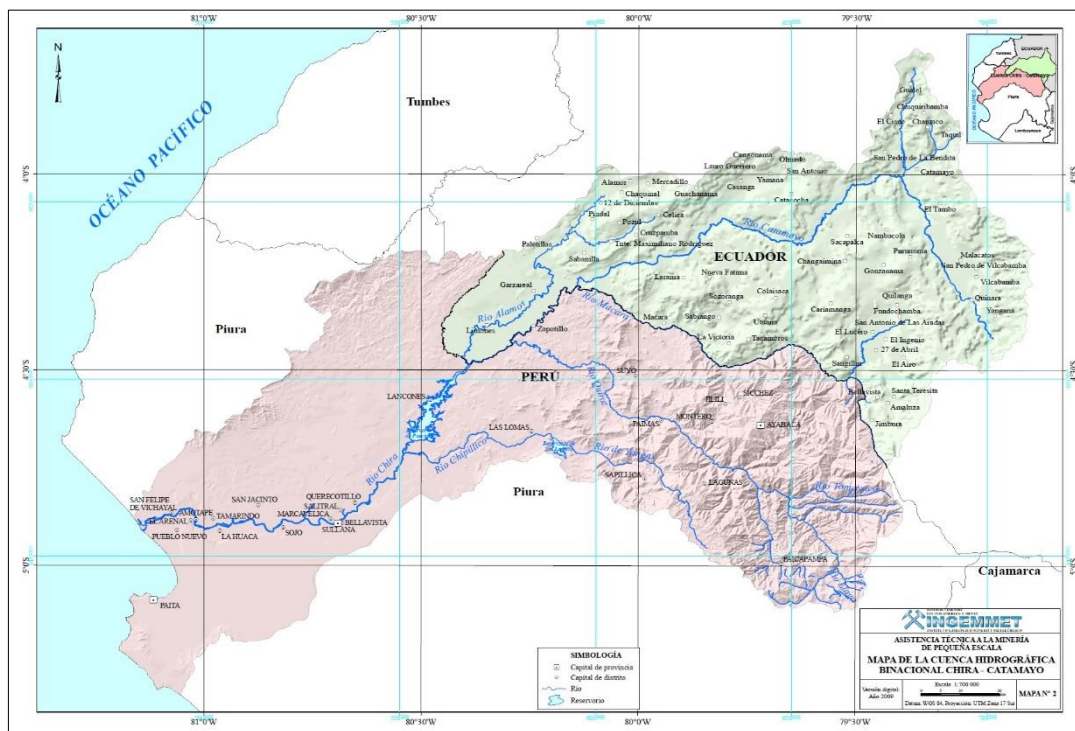


Figura 4: Ubicación del área de estudio respecto a la cuenca hidrográfica del río Chira (INGEMET)

El área urbana de Querecotillo se ubica a la margen derecha del río Chira, el caudal del mismo está regulado por el reservorio de Poechos. En la ocurrencia de los eventos El Niño de los años 1988 y 1998, el caudal registrado fue de 4000 m³ y 6000 m³, lo que ocasionó inundaciones en la parte baja del valle afectando a los poblados de Miguel Checa, Ignacio Escudero y Viviate, ubicados a 20 km aguas abajo del distrito de Querecotillo. En el año 2017, en el distrito de Querecotillo, la zona de sembrío de banano orgánico fue afectada por la inundación producto del desborde del río Chira. Este año, la estación hidrológica La Ardilla registró para el río Chira un caudal aproximado de 3000 m³/s.

1.5. Economía

Debido a su ubicación sobre la margen derecha del río Chira, Los ingresos de la población se sustentan en gran parte por la actividad agrícola, la actividad comercial e industrial y de las pequeñas micro empresas.

1.6. Estudios previos

Para Querecotillo, 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 cumplir con los objetivos del presente estudio, además de complementar los resultados a obtenerse. Entre los principales documentos técnicos consultados, se tiene:

- COEN-INDECI Informe N° 855: Evaluación de daños: Periodo lluvioso del 2017 (ocurrencia del Evento El Niño) se registraron 38 viviendas colapsadas, 267 viviendas afectadas; 103 personas damnificadas, 1.208 personas afectadas; 7 km de caminos rurales destruidos y 2 km afectados en el distrito de Querecotillo.
- CENEPRED (2017): Informe de evaluación de riesgo por inundación pluvial en el centro poblado de Querecotillo, distrito de Querecotillo, provincia de Sullana, departamento de Piura: El informe describe el nivel de peligro por inundación pluvial, en el centro poblado de Querecotillo. Las lluvias intensas durante El Niño Costero 2017, categorizó a Querecotillo como extremadamente lluvioso y según el mapa de peligro por inundación pluvial, el área urbana es catalogada como zona de peligro muy alto. En base a la clasificación natural Soil Taxonomi (2006), se identificaron 5 tipos de suelos (Figura 5).

-Fluvisol: suelos provenientes de depósitos aluviales (épocas de crecientes) ubicados en las terrazas bajas adyacentes de los ríos y que forman un terreno de pendiente plana a ligeramente inclinada. Los suelos son de tipo Tio Paira (TP), Chira (Chr), Palo Verde (PV) y Guayaquil.

-Leptosol: suelos conformados a partir de rocas areniscas, derivados de caliza y volcánicas, presentan pendientes inclinadas y de composición pedregosa. El suelo característico es Mancora (MA-R)

-Arenosol: suelos originados de material arenoso, permeables con escasa capacidad para retener agua, suelo denominado Cerezal (Ce).

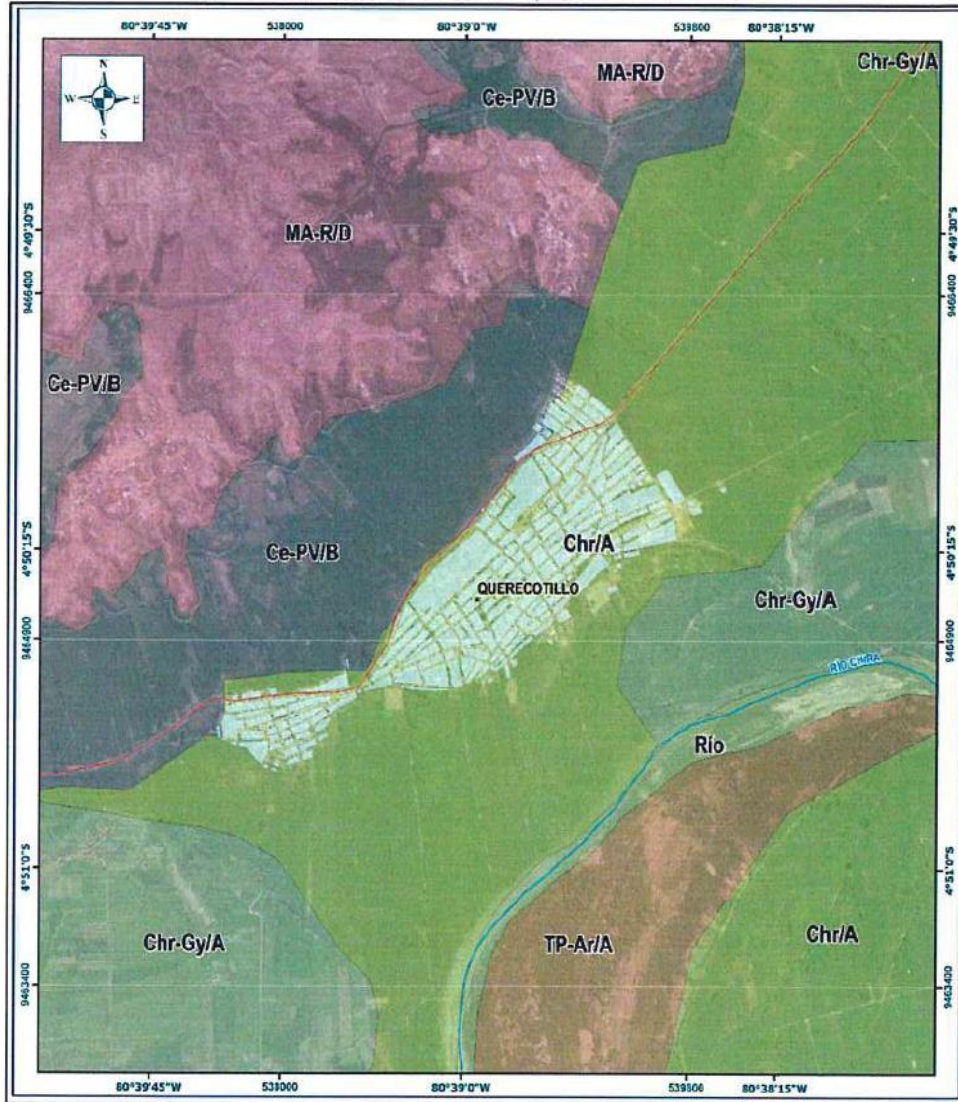


Figura 5: Mapa de suelos del distrito de Querecotillo, según clasificación natural Soil Taxonomy (CENEPRED 2017).

- PRASDES, IDEAM, INAMHI, SENAMHI, CIIFEN, SYKE, FMI, IRD y FORMIN.FINLAND.FI (2016): "Implementación de Sistema de Alerta Temprana (SAT) ante inundaciones en el distrito de Querecotillo (cuenca Catamayo-Chira)". El estudio indica que en los años 1983 y 1998, las lluvias torrenciales y las inundaciones provocadas por el fenómeno de El Niño cubrieron gran parte del área urbana, centros poblados y terrenos de cultivo. De acuerdo a la litología el 50% cuenta

con suelos con gran contenido de arcillas de textura fina. La zona de emplazamiento de Querecotillo corresponde a suelos arenosos de origen fluvial de textura gruesa que favorecen a la infiltración. En este estudio se obtiene el mapa local de riesgo de inundaciones, en el cual identifican que más del 80% de área urbana llegará a inundarse ante la ocurrencia de periodos con fuertes precipitaciones.

- El Instituto Geofísico del Perú IGP (2014): Mediante el proyecto de cooperación con el Banco Mundial presenta el estudio “Re-evaluación del peligro sísmico probabilístico para el Perú”, considerando que el Perú se encuentra en una región altamente sísmica y se definen nuevas fuentes sismogénicas para generar los mapas de aceleración horizontal (PGA). Los resultados muestran que el sector de Piura presentaría aceleraciones de hasta 400 gals para un periodo de retorno de 500 años.
- Palacios O. (1994), Geología de los cuadrángulos Paita 11-A, Piura 11-B, Talara 10-A, Sullana 10-B, Lobitos 9-A, quebrada seca 9-B, Zorritos 8-B, Tumbes 8-C y Zarumilla 7-C; serie A: carta geológica nacional. boletín N° 54. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico-INGEMMET. El boletín describe las unidades litológicas aflorantes a escala 100, 000 en el área de estudio, cuyas edades son del Mioceno y Cuaternario Reciente, donde describe que están conformados por rocas sedimentarias (areniscas y conglomerados) y depósitos aluviales conformados por conglomerados, arenas, arcillas (Figura 6).
- ANA (1980): “Inventario y evaluación nacional de aguas subterráneas Cuenca del Río Chira”. El informe describe que los depósitos aluviales del río Chira infieren en las etapas de deposición y erosión de sedimentos que han dado lugar a la construcción y socavamiento en forma alternada, y esta unidad debe tener una potencia considerable del total de los depósitos aluviales. Los estudios de Sondaje Eléctrico Vertical (SEV) indican la existencia de un horizonte resistente

superficial entre 10 a 15 metros, luego se presentaría un acuífero permeable conformado por arenas, limos y arcillas. Además, la profundidad del techo del substrato impermeable para el horizonte acuífero profundo aproximadamente entre 30 a 50 metros en el distrito de Querecotillo, asimismo, se observan resistividades muy bajas, a consecuencia del agua salubre y a depósitos de sedimentos finos encontrándose en algunos sectores a partir de 3 a 5 metros.

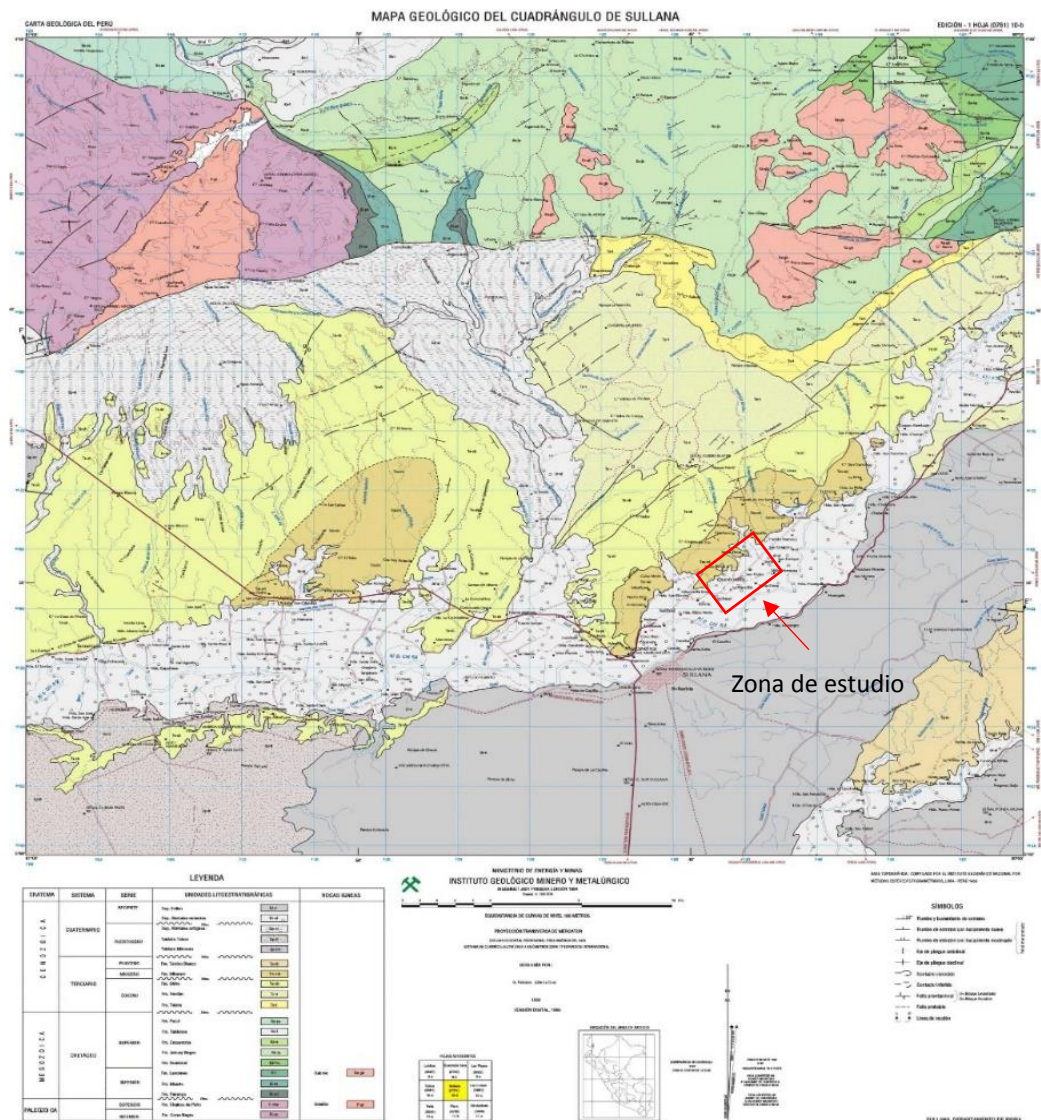


Figura 6: Mapa de geología regional del cuadrángulo de Sullana, el área de estudio se ubica en el rectángulo en rojo (INGEMMET 1994).

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 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 Geofísica - Geotécnica de suelos 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 del sacudimiento sísmico varía considerablemente a distancias cortas y áreas pequeñas. Diversos estudios muestran, que los suelos ante la incidencia de ondas sísmicas asociadas a movimientos débiles y/o fuertes, responden de acuerdo a sus condiciones locales, pudiendo estos modificar el contenido frecuencial de las ondas y/o generar amplificaciones de las ondas sísmicas (Hartzell, 1992; Beresnev et al., 1995; Bard 1995; Lermo y Chávez-García, 1993, 1994 a, b; Bard y Sesame, 2004; Bernal, 2006 y 2018).

La metodología a seguir para lograr el mayor conocimiento sobre el comportamiento dinámico del suelo o efectos de sitio en regiones de moderada a alta sismicidad, considera estudios geológicos, geomorfológicos, geotécnicos, sísmicos y geofísicos. Cada uno de estos campos de investigación proveen de información básica 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 Geofísica - Geotécnica de suelos 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 físicas, tomando en cuenta la velocidad promedio de propagación de las ondas de corte, o alternativamente, para suelos granulares, considera el promedio ponderado de los N_{60} obtenidos mediante un ensayo de penetración estándar (SPT), o el promedio ponderado de la resistencia al corte en condición no drenada S_u para suelos cohesivos. Se estable 5 perfiles (Tabla 2).

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

- **Perfil Tipo S_3 : Suelos Blandos**, corresponden suelos flexibles con velocidades de propagación de onda de corte V_s menor o igual a 180 m/s.
- **Perfil Tipo S_4 : Condiciones Excepcionales**, corresponde a suelos excepcionalmente flexibles y los sitios donde las condiciones geológicas y/o topográficas son particularmente desfavorables, en los cuales se requiere efectuar un estudio específico para el sitio. Será determinado con un Estudio de Mecánica de Suelos (EMS).

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

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

La velocidad de propagación de ondas de corte para los primeros 30 metros (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 Geofísica – 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 5 zonas cuyas características son:

ZONA I: Comprende a suelos Tipo S1, cuyos periodos predominantes varía entre 0.1 y 0.3 segundos con velocidad de ondas de corte (V_s) entre 500 y 1500 m/s.

ZONA II: Comprende a suelos Tipo S2, cuyos periodos predominantes varía entre 0.3 y 0.5 segundos con velocidades de ondas de corte (V_s) entre 180 y 500 m/s,

ZONA III: Comprende a suelos Tipo S3, cuyos periodos predominantes varía entre 0.5 y 0.7 segundos con velocidad de ondas de corte (V_s) que fluctúa alrededor de los 180 m/s.

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

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

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

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

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

CONCLUSIONES

El estudio de Zonificación Geofísica - Geotécnica (Comportamiento Dinámico del Suelo) de suelos para el área urbana de Querecotillo, ha permitido llegar a las siguientes conclusiones (Figura 7).

- En base a los resultados de los ensayos geotécnicos se ha identificado 6 tipos de suelos presentes en Querecotillo: grava mal graduada (GP), arena limosa (SM), arena mal graduada (SP), arcillas inorgánicas (CL), limos inorgánicos con limos y arenas (MH) y limos inorgánicos (ML). Estos suelos presentan capacidad de carga portante muy baja ($< 1.00 \text{ kg/cm}^2$)
- El área urbana de Querecotillo se caracteriza por presentar cuatro unidades geomorfológicas: lecho fluvial, llanura de inundación, terrazas y lomas. Las tres primeras están conformadas por materiales aluviales (arenas, limos, arcillas); mientras que, en los sectores de Santa Elena Alta y Cabo Verde Alto afloran rocas tipo areniscas con intercalación de conglomerados en matriz arenosa limosa arcillosa poco consolidados. El evento geodinámico que causó daños en el distrito de Querecotillo son las inundaciones fluviales en la margen derecha del río Chira, ocasionadas por el desborde del río en mención a causa del evento El Niño (precipitaciones extremas). En el mes de marzo de 2017, afectó importantes zonas de sembrío de banano de exportación.
- Los valores de periodos dominantes del suelo (T_0) varían entre 0.3 a 0.5 segundos. Mediante la relación $T_0=4H/V_s$ y asumiendo velocidades de 280 m/s y 340 m/s para las ondas de corte (V_s) con periodos de 0.3 y 0.4 segundos; se estima la presencia de una capa superficial con espesores entre 28 y 34 metros. Los resultados de este análisis sugieren que la capa superficial del

suelo presenta mayor espesor hacia el extremo Sur del área urbana de Querecotillo.

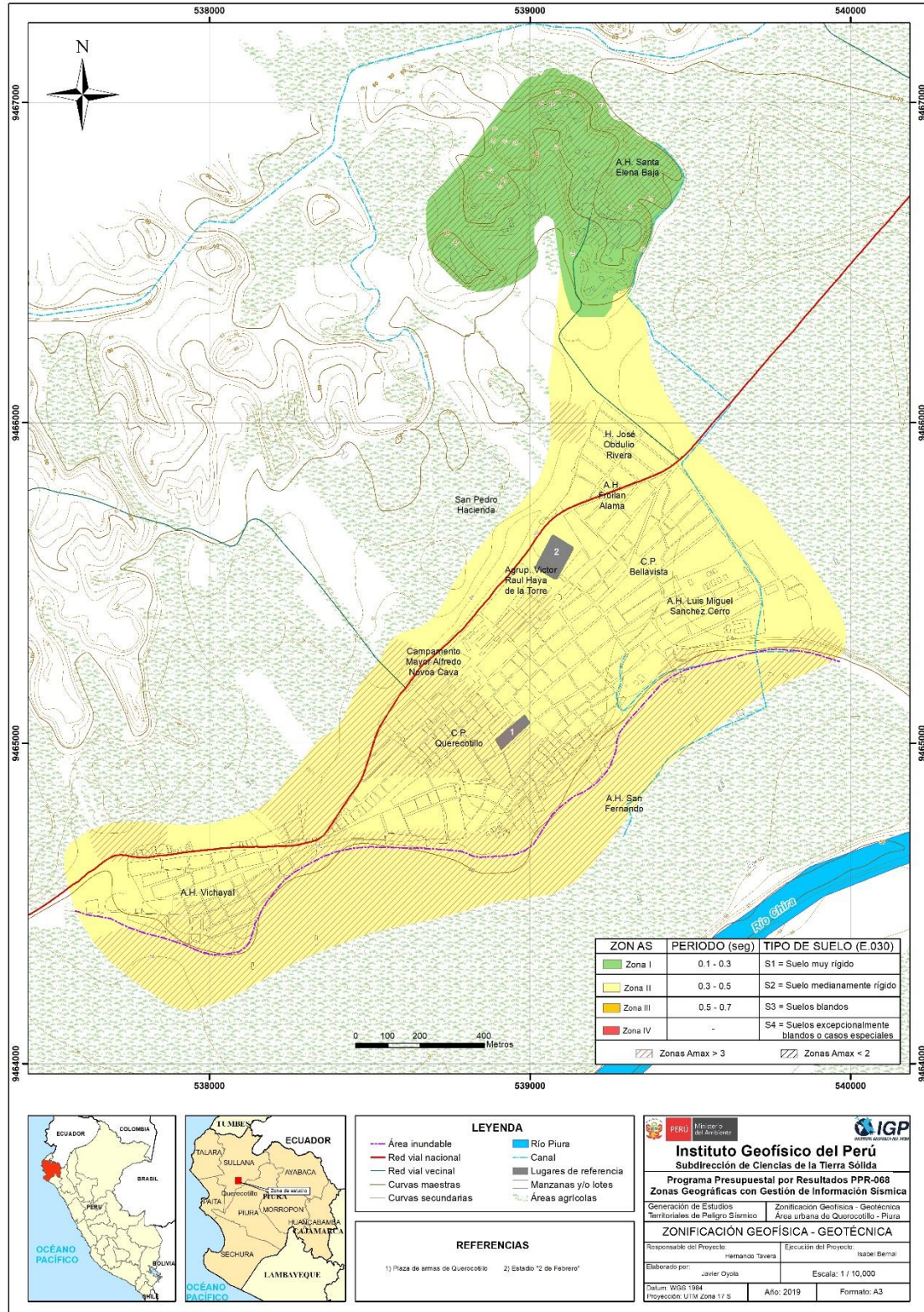


Figura 7: Mapa de Zonificación Geofísica- Geotécnica del área urbana de Querecotillo.

- Los valores de velocidad promedio calculados para los primeros 30 metros de profundidad (V_{s30}), según la norma E030-2018, presentan rangos de velocidad V_{s30} entre 247 a 322 m/s, lo cual sugiere la presencia de suelos medianamente rígidos emplazados en toda el área de estudio.
- Hacia el sur del área urbana de Querecotillo, se identifica la presencia de suelos saturados desde niveles próximos a la superficie hasta 3 a 5 metros, debido a su proximidad a los canales de regadío y al río Chira. Mientras que, hacia el norte en el sector del A.H. Santa Elena Baja, se identifica sectores con moderado grado de humedad, asociado a su proximidad a canales de regadío. El suelo está caracterizado por arenas, limos y arcillas no consolidadas que permiten el almacenamiento del agua.
- Los resultados obtenidos para el área urbana de Querecotillo a partir de sus características físicas y dinámicas del suelo, han permitido identificar, de acuerdo con las consideraciones indicadas en la Norma de Construcción Sismorresistente E.030, la existencia de suelos Tipo S1 y S2.

CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA DE LOS SUELOS EN EL ÁREA URBANA DE QUERECOTILLO

CONTENIDO

1. METODOLOGÍA

2. GEOMORFOLOGIA

2.1. Modelo Digital de Elevación (MDE)

2.2. Pendiente

2.3. Unidades geomorfológicas

2.3.1. Lecho fluvial

2.3.2. Lomas

2.3.3. Llanura de inundación

2.3.4. Terrazas

3. GEOLOGÍA

3.1. Geología local

3.1.1. Formación Miramar (Tm-mi)

3.1.2. Depósitos Cuaternarios

3.1.3. Depósitos aluviales (Qh-al)

4. GEODINÁMICA SUPERFICIAL

4.1 Inundación

4.2. Elementos expuestos

5. ASPECTOS GEOTÉCNICOS

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

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

5.2. Exploraciones con posteadora manual

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

5.4. Clasificación de suelos SUCS

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

5.5.1. Capacidad de carga portante

5.5.1.1. Tipos de capacidad de carga portante

1. METODOLOGÍA

El estudio de cartografiado geológico, geomorfológico, geodinámico y de exploraciones geotécnicas realizadas en Querecotillo, se desarrolló en dos fases:

Gabinete: Las actividades realizadas incluyeron la revisión de imágenes satelitales WorlView-2 con resolución 0.5 m., del Servidor Digital Globe, 2010 con la finalidad de delimitar la zona de estudio. Asimismo, se realizó la recopilación de información bibliográfica de la zona a escala regional y local (boletines geológicos, informes técnicos, entre otros).

- ✓ **Campo:** Se realizó el cartografiado geológico, geomorfológicas y geodinámica a escala 1:15000 utilizando ortofotos del área de estudio obtenida a través del RPAS (adjunto en Anexos).

En Querecotillo, se realizaron exploraciones de ensayos geotécnicos: 8 calicatas distribuidas equitativamente, 5 densidades de campo, 12 ensayos de densidad de penetración dinámica ligera (DPL) y 11 auscultaciones manuales haciendo uso de una posteadora.

Las muestras extraídas en campo fueron analizadas a través de ensayos del laboratorio de mecánica de suelos para determinar la humedad, límites de Atterberg, granulometría y corte directo. Esta información permitió obtener luego los parámetros de cohesión y ángulo de fricción de los suelos que sirven para el cálculo de la capacidad portante.

2. GEOMORFOLOGÍA

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

El estudio de la geodinámica externa se efectúa en un sistema proceso-respuesta, siendo el primero el agente creador (origen) y el segundo la geoforma resultante. El término geoforma es un concepto genérico que designa todos los tipos de formas de relieve independientemente de su origen y dimensión (Zinck, 1988; Zinck & Valenzuela, 1990).

En este estudio se describen las características físicas de las geoformas existentes en Querecotillo, en relación a su origen. Para este objetivo, es necesario realizar la digitalización del plano geomorfológico a partir de los planos del Modelo Digital de Elevación (MDE) y de pendientes. Sobre el plano geomorfológico se delimitaron las unidades geomorfológicas del terreno (geoformas), para luego ser verificadas y validadas durante el trabajo de campo.

2.1. Modelo Digital de Elevación (MDE)

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

Para la elaboración del MDE de Querecotillo (Figura 1), se tomó en cuenta el uso de herramientas SIG sobre las curvas de nivel diseñadas a partir de ortofotos, obteniendo como resultado la representación digital de la superficie del terreno del área de estudio. En base al MDE se ha reconocido que hacia el noroeste en los sectores de Cabo Verde Alto y Santa Elena Alto, se encuentran las mayores elevaciones entre 80 y 95 m.s.n.m., la parte central urbana se asienta sobre los 64 m.s.n.m.; mientras que, hacia el río Chira las altitudes varían entre los 50 a 58 m.s.n.m.

2.2. Pendientes

Es el ángulo que expresa en grados o porcentajes las inclinaciones del terreno. 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 para Querecotillo (Figura 2), fue desarrollado a partir del MDE haciendo uso de herramientas de geoprocésamiento (área de influencia, construcción de modelos, análisis espacial, etc) y así, diferenciar gráficamente los ángulos de inclinación del relieve en el área de estudio. Para la clasificación de los rangos de pendientes se usó la propuesta de Fidel (2006), ver Tabla 1.

Tabla 1: Rangos de pendientes del terreno.

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

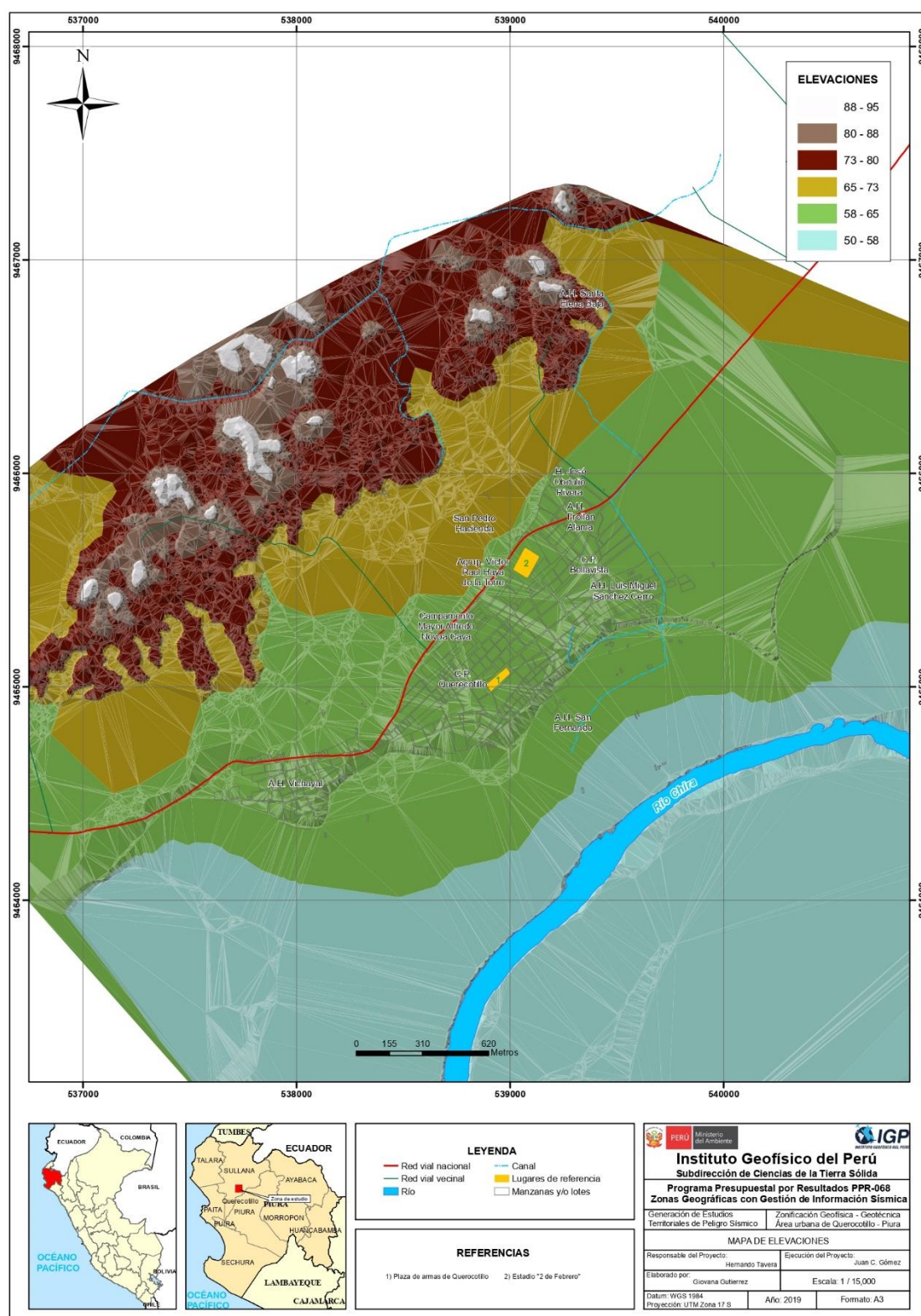


Figura 1: Mapa de elevación digital del terreno para Querecotillo y alrededores.

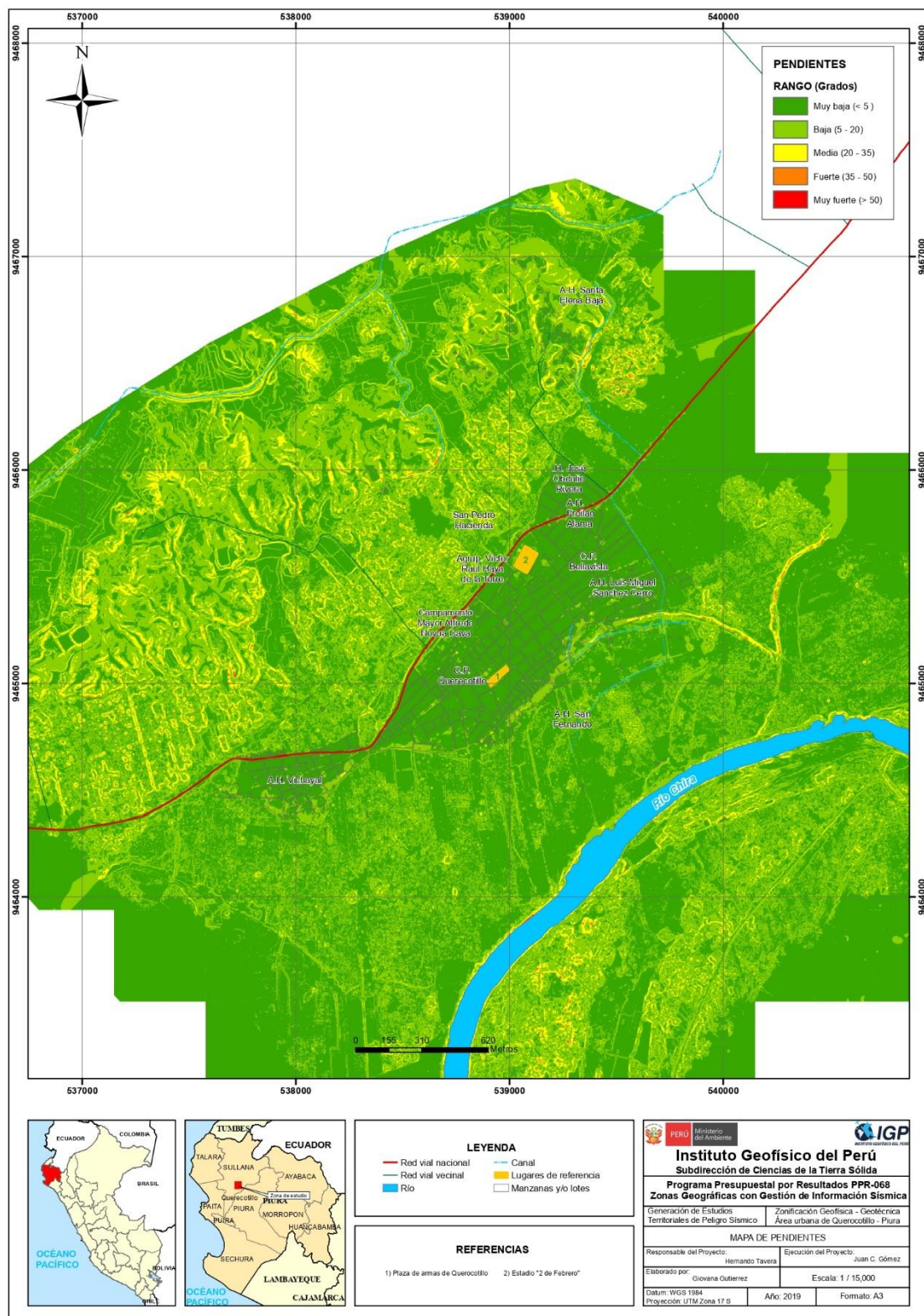


Figura 2: Mapa de pendientes del terreno para Querecotillo y alrededores.

De acuerdo a estos mapas, la mayor parte del área de Querecotillo, se encuentra asentada sobre una terraza con pendientes menores $<5^\circ$; sin embargo, hacia el noroeste del centro urbano, en el sector de Cabo Verde Alto y Santa Elena Alto se observan relieves con pendientes de 20° a 35° .

2.3. Unidades geomorfológicas

Estas unidades están compuestas por materiales que presentan su propia génesis, pero que explican la dinámica de cómo se formaron, así sus características físicas para conformar relieves (forma, altura, pendiente, drenaje, textura de vegetación, color, etc.), que las diferencian entre sí. En conclusión, las geoformas son generadas por procesos geodinámicos de tipo endógeno (internos) y exógenos (externos) que dan lugar a relieves positivos y negativos.

.- Características físicas: Las características físicas de 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 parámetros son directamente accesibles a la percepción visual proximal o distal, sea humana o instrumental.

.- Procesos: Los agentes modeladores como el agua, el viento, temperatura, entre otros, desencadenan diversos procesos externos tales como: intemperismo, meteorización, erosión, transporte y depositación, que al final del proceso generan diferentes geoformas. Estos son clasificados de acuerdo a su origen, en depositacional y denudacional (erosional). Otros procesos internos como el magmatismo y tectonismo generan geoformas de origen estructural.

En base a las características físicas de las geoformas y su origen, en Querecotillo se cartografiaron la estructura de 4 geoformas: lecho fluvial, llanura de inundación, lomas y terrazas (Tabla 2 y Figura 3).

Tabla 2: Descripción de las unidades geomorfológicas, en la ciudad de Querecotillo, en base a las características físicas y su origen

GEOMORFOLOGÍA PATRON			
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		PROCESO	GEOFORMA
Pendiente	<5°	Denunacional	Lecho fluvial
Geometría	alargada		
Drenaje	rectangula		
Pendiente	<35°		Loma
Altura	<300 m		
Geometría	alargada		
Drenaje	dendrítico	Depositacional	Llanura de inundación
Pendiente	<5°		
Geometría	alargada		
Drenaje	paralelo		
Pendiente	<5°		Terraza
Geometría	alargada		
Drenaje	paralelo		

2.3.1. Lecho fluvial: Es un área de relieve con pendiente suave (<5°) y de origen depositacional con geometría alargada y drenaje rectangular del régimen fluvial constante del río Chira. En la margen izquierda y derecha de esta geoforma se realizan las actividades agrícolas de sembrío y cultivo de banano de exportación (Figura 4).

2.3.2. Lomas: Es un área de relieve semi ondulado en la parte alta con pendientes suaves (< 35°) y de origen depositacional; además presenta geometría alargada y drenaje dendrítico activados en épocas de precipitaciones extremas (evento El Niño).

Esta geoforma está presente al noroeste del centro urbano de Querecotillo, donde se asientan en los sectores de Cabo Verde Alto y Santa Elena Alto, poco urbanizadas (Figura 5).

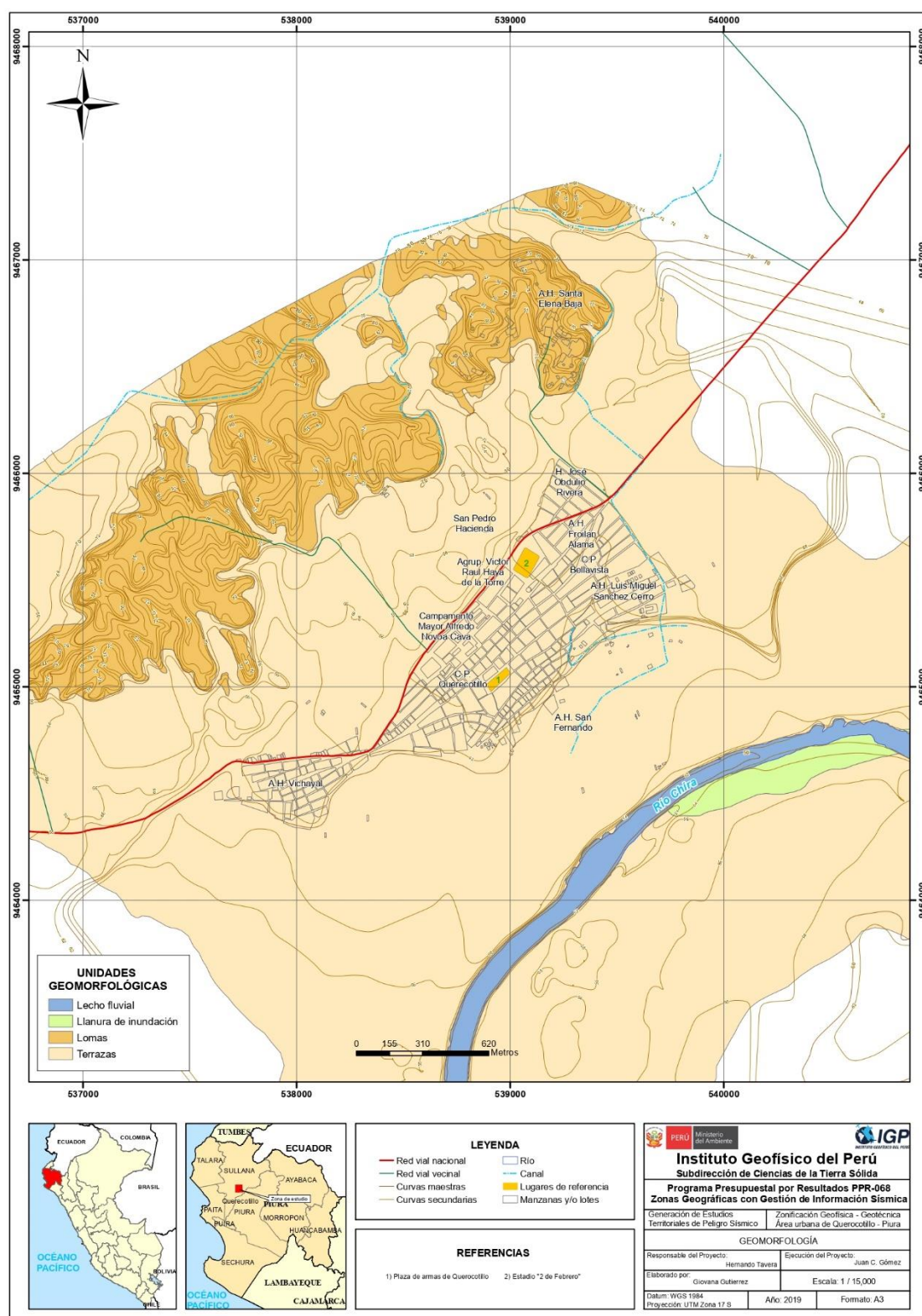


Figura 3: Mapa geomorfológico para Querecotillo y alrededores.



Figura 4: Lecho fluvial del río Chira en el distrito de Querecotillo.



Figura 5: Geoforma lomas en el distrito de Querecotillo.

2.3.3. Llanura de inundación: Geoforma con pendiente menor a 5° y de relieve plano con origen depositacional generado por la dinámica del río Chira (aumento y descenso del caudal). Esta unidad se ha reconocido en la margen izquierda del río en mención (Figura 6).



Figura 6: Llanura de inundación ubicada en la margen izquierda del río Chira, que corresponde al distrito de Sullana-Bellavista.

2.3.4. Terrazas: En Querecotillo se ha identificado 2 terrazas; la primera, corresponde a la zona contigua a la margen derecha del río Chira, donde se desarrolla la actividad agrícola (sembrío de banano orgánico de exportación) (Figura 7); y la segunda, con desnivel del orden de 5 metros respecto a la primera donde se asienta el casco urbano de Querecotillo (Figura 8). Ambas presentan pendientes menores a 5° y geometría alargada.



Figura 7: Terraza 1, se ubica en la margen derecha del río Chira (evento fenómeno El Niño), precipitaciones extremas, es afectado por inundaciones.



Figura 8: Terraza 2, sobre esta geoforma se asienta el casco urbano de Querecotillo y presenta un desnivel de 5 m con respecto a la terraza 1.

3. GEOLOGÍA

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

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

Para entender el comportamiento dinámico del terreno, es necesario conocer los procesos geológicos externos (meteorización, erosión, transporte

y sedimentación) en las rocas y los suelos que provienen de las mismas, analizando las propiedades asociadas al comportamiento mecánico.

La geología comprende varias disciplinas y en conjunto permiten explicar el cómo, cuándo y que procesos actuaron en el desplazamiento de las rocas y materiales que constituyen los suelos sobre los que se asienta la zona de estudio.

3.1. Geología Local

La zona de estudio está conformada por rocas sedimentarias de la formación Miramar y depósitos aluviales descritos en la Tabla 3 y Figura 9. Las características de estas unidades se detallan a continuación.

Tabla 3: Columna cronolitoestratigráfica de la zona de estudio.

ERA TEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS	SÍMBOLO	LITOLOGÍA
CENOZOICA	CUATERNARIO	RECIENTE	Depósitos aluviales	Qr-al	Conformado por cantos rodados, arenas, limos , arcillas
	TERCIARIO	MIOCENO	Formación Miramar	Tm-mi	Constituida por secuencias de areniscas arcosas con conglomerados con matriz arenas y lentes de arcillas

3.1.1. Formación Miramar (Tm-mi)

Conformada por secuencias de areniscas poco compactas con conglomerados que presentan matriz arenosa-arcillosa con lentes de lutitas. En superficie, los materiales están cubiertos por arenas de grano grueso producto de la erosión de la roca (arenisca) y conglomerados. La Formación Miramar aflora en la geoforma descrita como lomas, identificados en los sectores Cabo verde Alto y Santa Helena Alta (Figuras 10, 11 y 12).

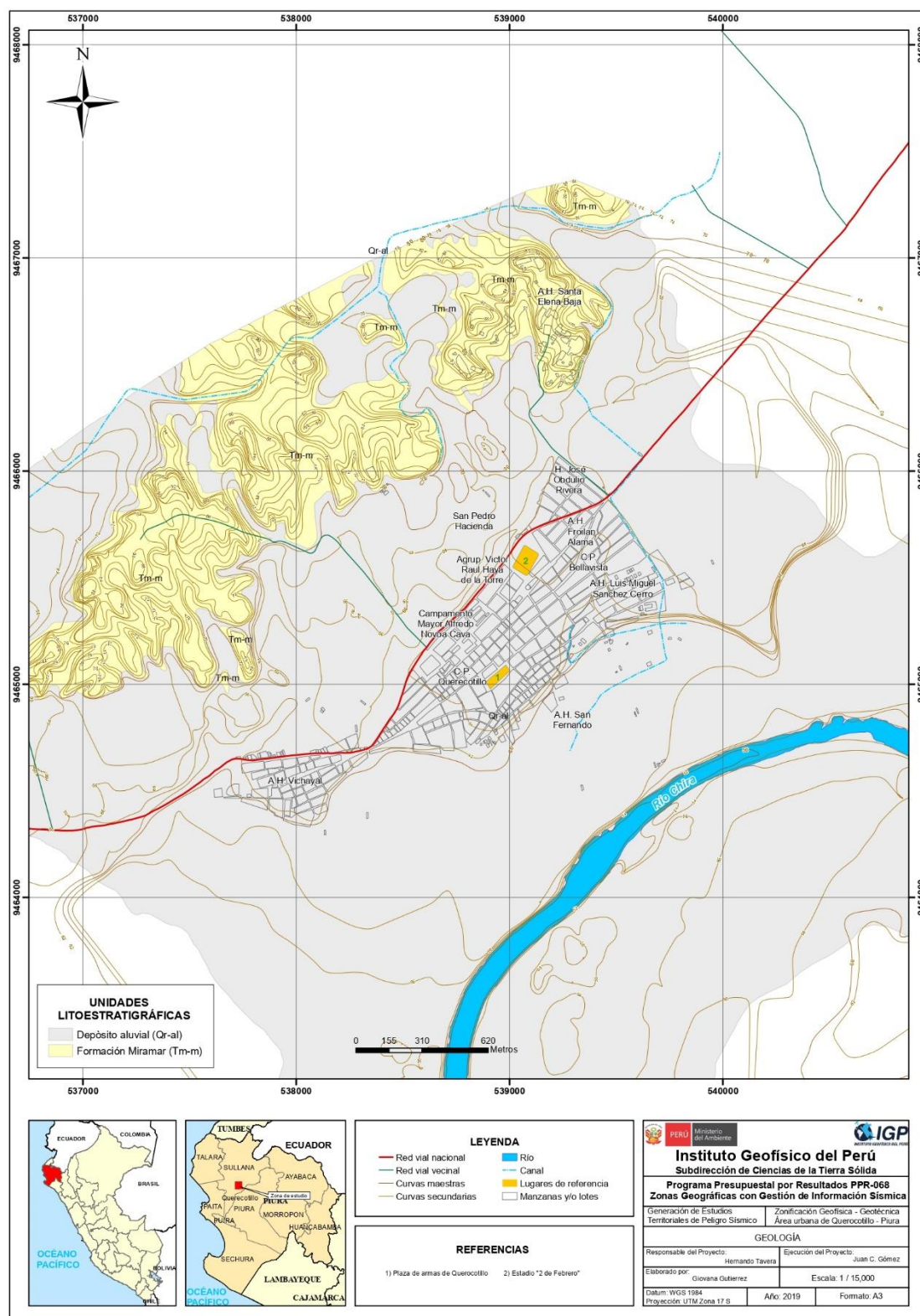


Figura 9: Mapa de geología local para Querecotillo y alrededores.

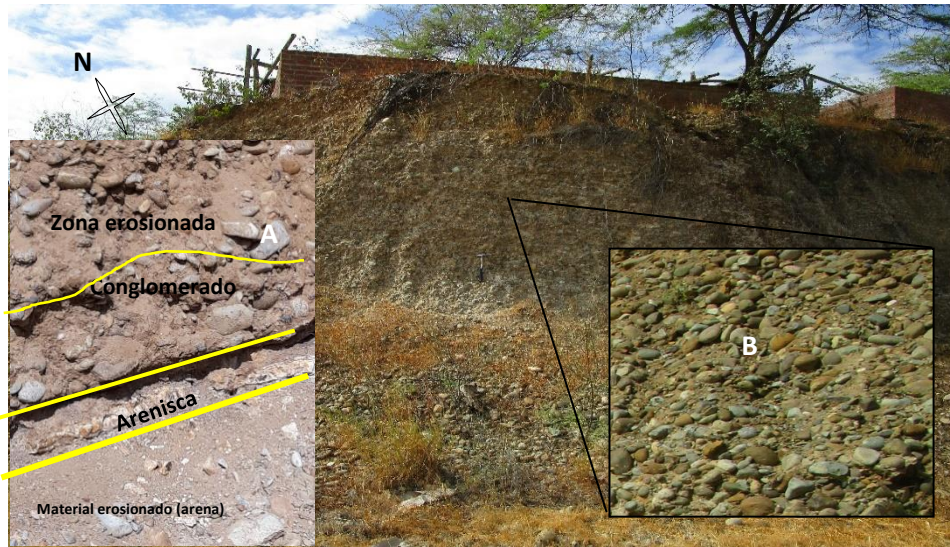


Figura 10: Conglomerados de la formación Miramar ubicados en el distrito de Querecotillo, sector Santa Elena Alta. (A) Conglomerados y areniscas, (B) conglomerados en matriz areno limosa.



Figura 11: Conglomerados en matriz areno limosa de la formación Miramar ubicados en el distrito de Querecotillo entre los sectores Cabo Verde Alto y Santa Elena Alta.

3.1.2. Depósitos Cuaternarios

Suprayaciendo al sustrato rocoso conformado por rocas marino sedimentaria, se encuentran los depósitos cuaternarios de edad Holocena. En la zona de estudio se han delimitado los depósitos aluviales, eólicos y marinos.



Figura 12: Areniscas de la formación Miramar que afloran en el distrito de Querecotillo en el sector Cabo Verde Alto.

3.1.3. Depósitos aluviales (Qh-al)

Conformados por arenas, limos, con lentes de arcillas que fueron transportados y depositados por la dinámica del río Chira, siendo recientes los que se ubican en ambos márgenes del río y los antiguos, los más distales. Estos materiales se encuentran en la geoforma terraza y sobre, se asienta el casco urbano de Querecotillo (Figura 13).

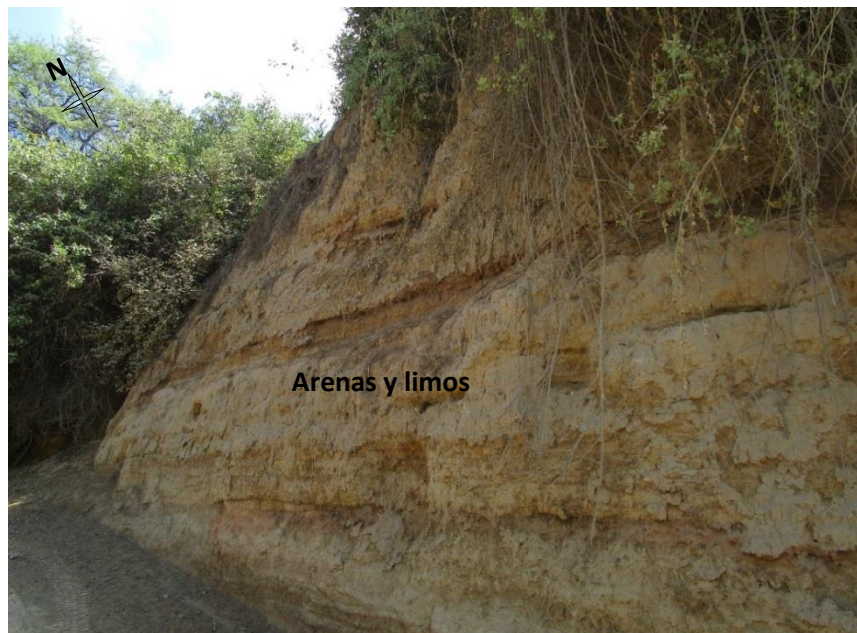


Figura 13: Intercalación de limos y arenas ubicados en la terraza donde se asienta el casco urbano de Querecotillo.

4. GEODINÁMICA SUPERFICIAL

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

Los procesos de erosión (carcaveo, incisión y desgaste laminar), son originados por las precipitaciones que se presentan en la cuenca fluvial, generando escorrentía superficial que arrastra los materiales a posiciones de menor pendiente. La carga de sedimentos transportados por los Flujos de Detritos y/o Inundación a lo largo de las quebradas o ríos, incrementan la acción erosiva y son capaces de producir remoción de los materiales (Brusi, 2013), como: Flujos de detritos e inundación. En Querecotillo se ha identificado la ocurrencia de solo un evento geodinámico, la inundación (Figura 14).

4.1. Inundación

A pesar que el caudal del río Chira es controlado por la presa Sullana, en épocas de El Niño, este río se desborda generando escenarios críticos. En el año 2017 El Niño produjo precipitaciones extremas que aumentó el caudal del río Chira a 3000 m³/seg,; es decir, supero el 395% el caudal habitual. El 22 de marzo de 2017 a las 16:00 hrs se registró un caudal de 2,768 m³/seg, que causó la inundación de zonas de sembrío de banano, entre otros, tanto en Querecotillo como en otros distritos (SENAMHI) (Figura 15).

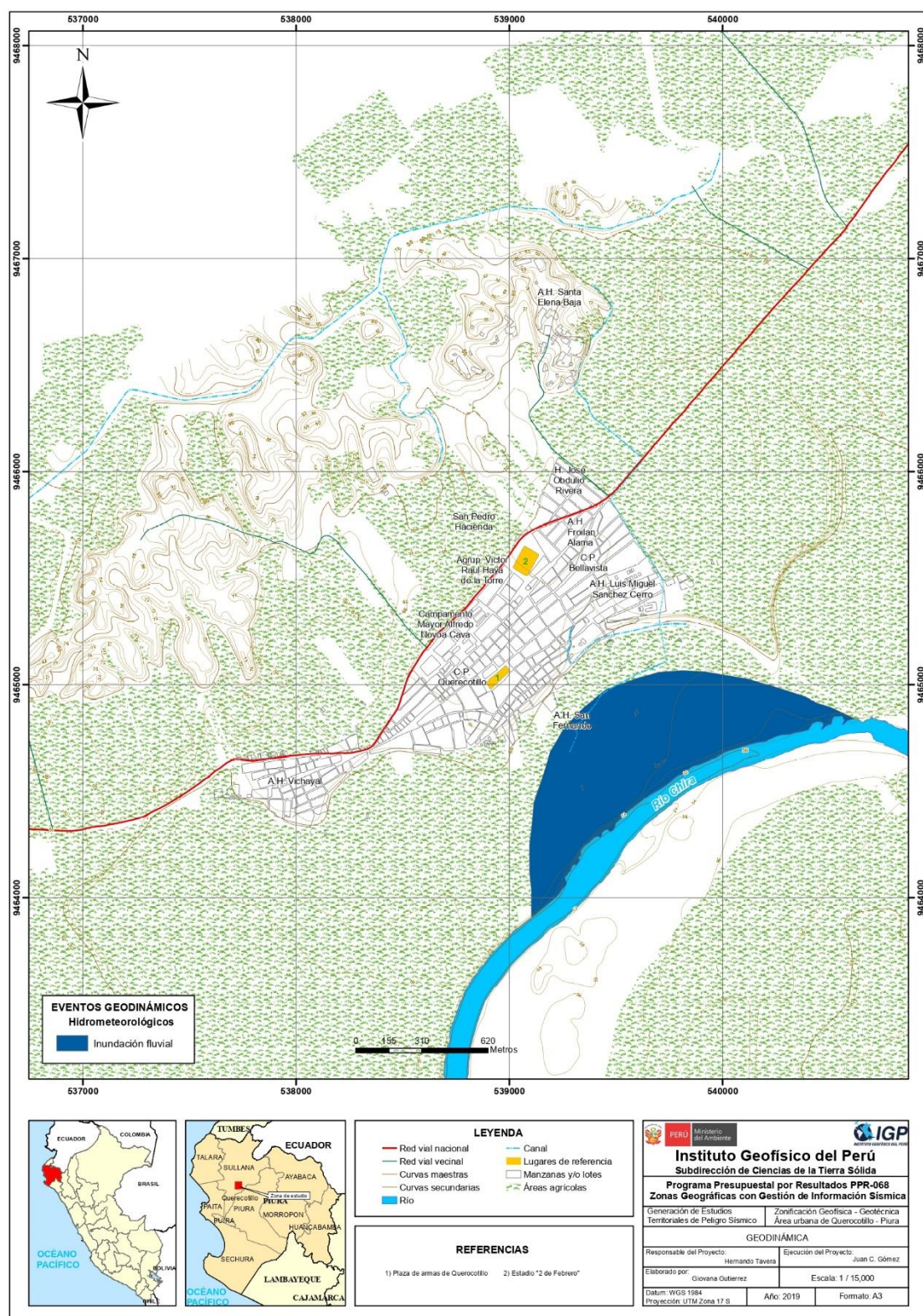


Figura 14: Mapa geodinámico de Querecotillo y alrededores.

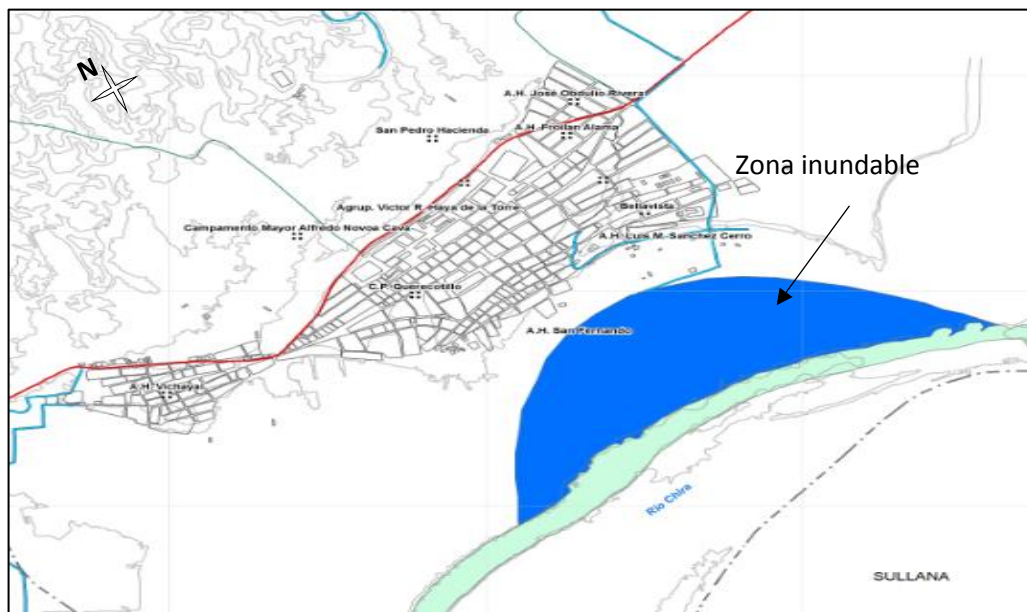


Figura 15: Zona de sembrío (polígono azul) inundada por el aumento de caudal en el río Chira a causa de la ocurrencia del evento El Niño en el año 2017 (marzo), la zona fue demarcada según relato de pobladores (SENAMHI).

Como medida de emergencia ante la inundación en el 2017 (marzo), en el distrito de Querecotillo se optó por la colocación de diques de material acopiado desechos antrópicos (Figura 16).



Figura 16: Como medida de emergencia en el distrito de Querecotillo se construyó un dique con altura aproximada de 3 metros para evitar la inundación por el aumento del caudal del río Chira

Asimismo, en el año 2017 y en el sector de Cabo Verde Alto, el campo deportivo de la Institución Educativa N° 15081 fue afectada por inundaciones pluviales a causa de las precipitaciones excepcionales por la ocurrencia del evento El Niño (Figura 17).

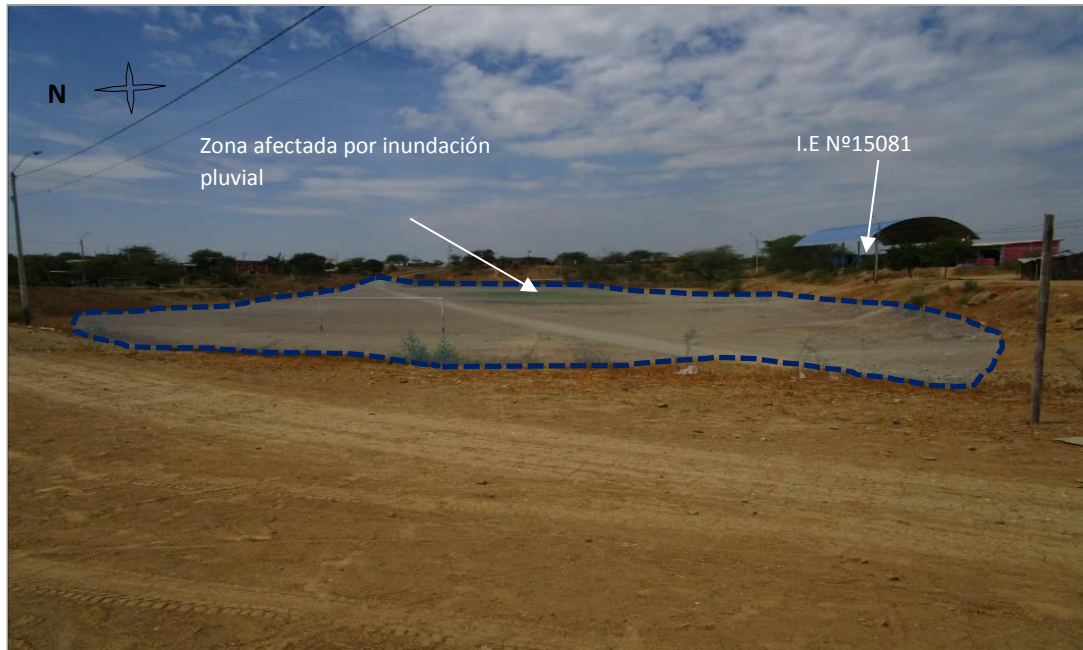


Figura 17: Zona de inundación pluvial (polígono en color celeste) en el sector Cabo Verde Alto.

4.2. Elementos expuestos

En el área de estudio se encuentran los elementos expuestos a nivel económico susceptibles ante el impacto del peligro por ocurrencia de inundaciones del río Chira. Haciendo uso de la superposición del área de influencia de los eventos geodinámicos con el área urbana de la localidad, se reconoció que la infraestructura de interés económico expuesto al evento citado es el área de cultivo (Figura 18).

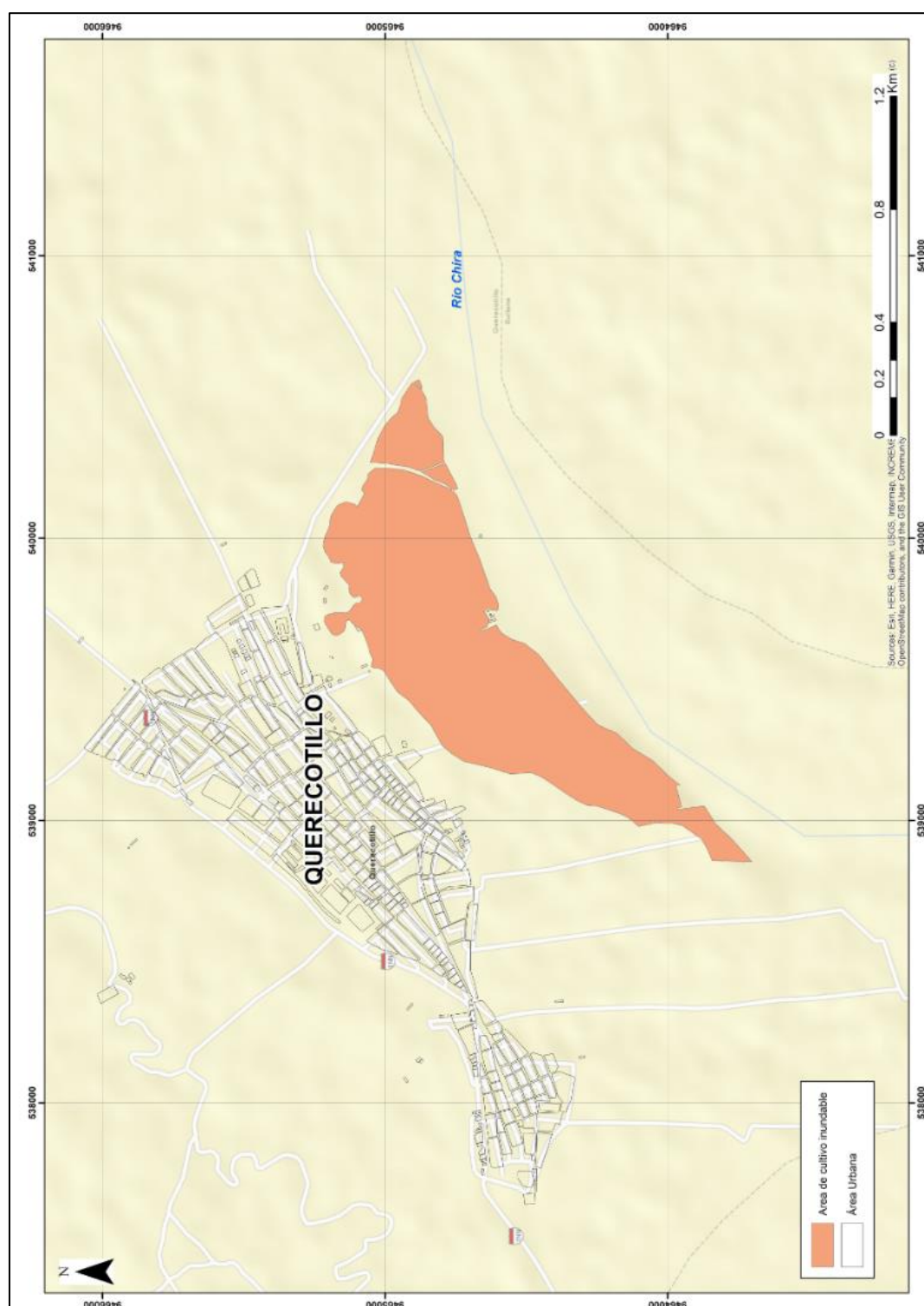


Figura 18: Delimitación de elementos expuestos ante la ocurrencia de inundaciones en Querecotillo.

5. ASPECTOS GEOTÉCNICOS

Los suelos son materiales no consolidados conformados por minerales, materia orgánica, agua y aire entre sus poros; generados por la alteración de la roca madre por agentes atmosféricos mediante procesos de meteorización y erosión hasta formar una cobertura de variado espesor de sedimentos. Estos sedimentos son posteriormente transportados y depositados en las partes bajas de las cuencas hidrográficas, sobre los cuales se asientan las áreas urbanas. La Figura 19, muestra el diagrama del origen de los suelos.

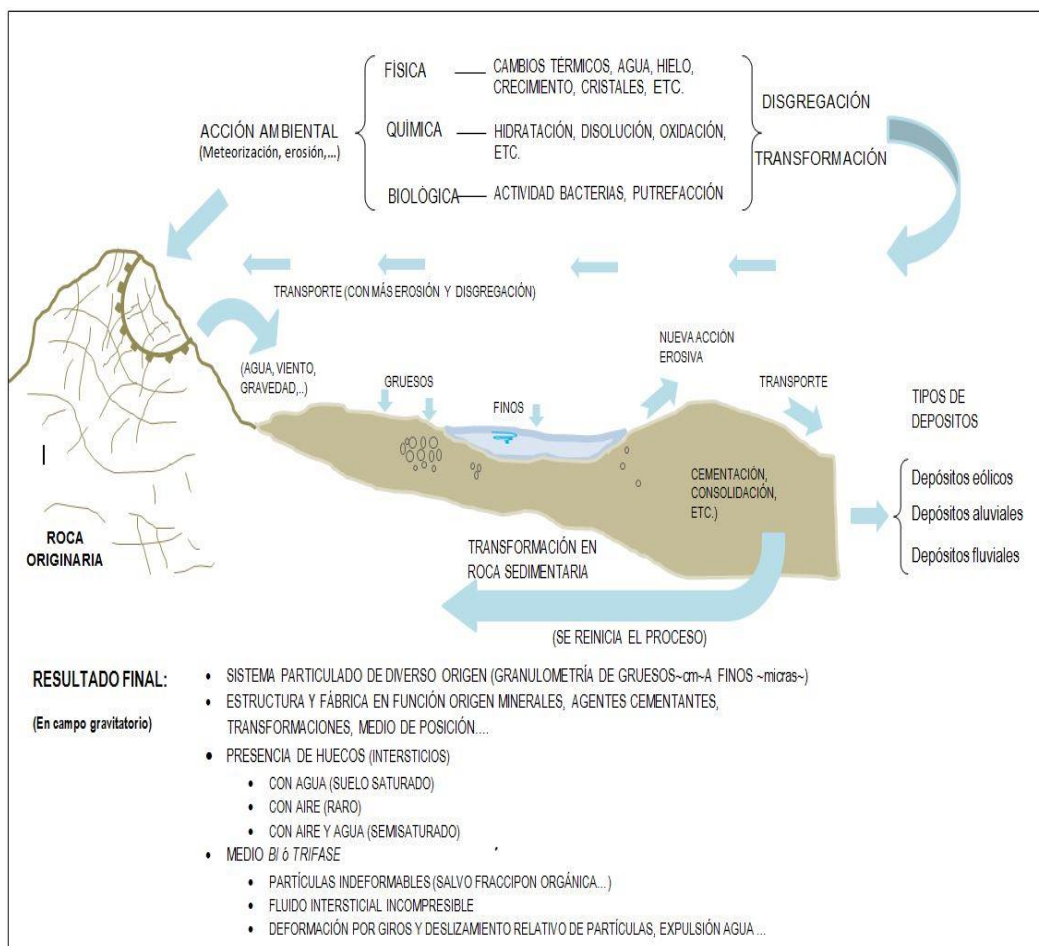


Figura 19: Diagrama del origen de los suelos (Vallejo 2002).

La geotecnia es la rama de la geología aplicada a la ingeniería que se encarga del estudio de las propiedades físicas y mecánicas de los suelos, de cimentación, en condiciones estáticas mediante la aplicación de técnicas de exploración: calicatas, auscultaciones, perforaciones, ensayos de DPL, SPT,

etc.). Es debido a estos conceptos que la clasificación del suelo es de suma importancia para la elaboración de modelos geotécnicos y el diseño de cimentaciones en un terreno específico.

En este estudio, la clasificación geotécnica de suelos se realizó en base al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y a partir de las características granulométricas, la carta de plasticidad de Casagrande, tipo de depósito, consistencia o densidad relativa, permeabilidad y parámetros de resistencia (capacidad de carga portante de los materiales).

En Querecotillo, se elaboraron 8 calicatas, 5 densidades de campo, 11 posteos y 12 ensayos de penetración dinámica ligera (DPL) (Figura 20). Las 8 muestras extraídas se analizaron en el laboratorio de mecánica de suelos del Instituto geofísico del Perú (IGP) con la finalidad de determinar la composición granulométrica, plasticidad, corte directo y así, realizar el cálculo de la capacidad portante de los suelos de cimentación. A continuación, se detallan las técnicas de exploración geotécnica consideradas en este estudio.

4.1. Exploraciones a cielo abierto (calicatas, norma ASTM D 420)

Es un método de exploración directa que consiste en realizar una excavación en el terreno para la observación y descripción del suelo. Estas exploraciones se realizaron aproximadamente hasta 3 m de profundidad y así, describir los estratos que lo conforman; además de extraer muestras disturbadas que fueron analizadas y almacenadas en bolsas herméticas (las fichas de descripción se adjuntan en los Anexos). Las excavaciones fueron realizadas en puntos cuyas coordenadas UTM se detallan en la Figura 20 y Tabla 5.

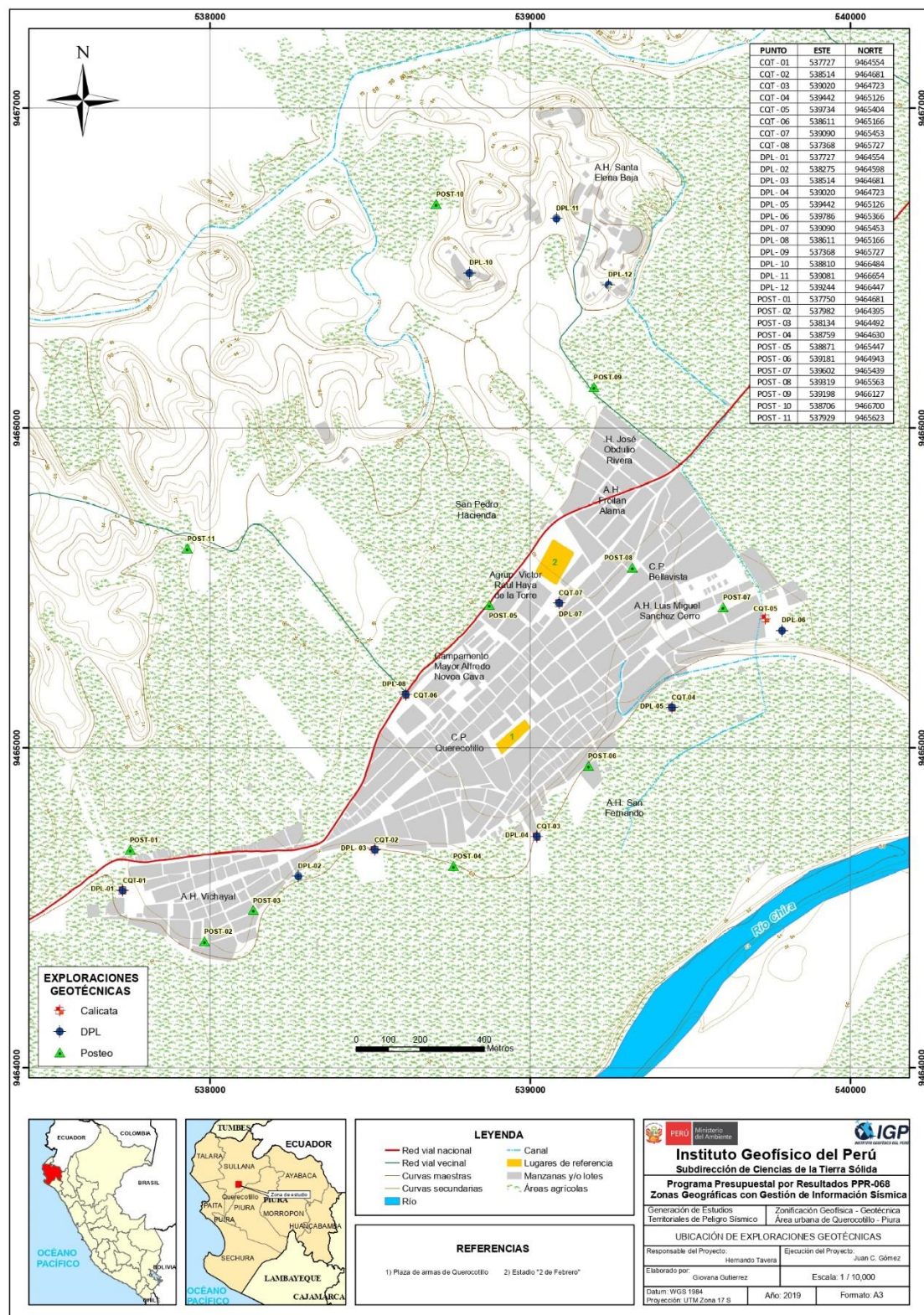


Figura 20: Mapa de distribución de exploraciones geotécnicas en Querecotillo y alrededores

Tabla 5: Ubicación de calicatas

CÓDIGO DE CALICATA	COORDENADAS UTM		ELEVACIÓN (m.s.n.m.)	PROFUNDIDAD (m)	NIVEL FREÁTICO A (m)
	ESTE (m)	NORTE (m)			
CQT-01	537727	9464554	45 m	2.70	N.P.
CQT-02	538514	9464681	45 m	1.30	1.1 m
CQT-03	539020	9464723	44 m	1.60	1.4 m
CQT-04	539442	9465126	50 m	1.60	1.4 m
CQT-05	539734	9465404	45 m	2.70	N.P.
CQT-06	538611	9465166	47 m	2.70	N.P.
CQT-07	539090	9465453	47 m	2.70	N.P.
CQT-08	537368	9465727	67 m	2.00	N.P.

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

Este método permite conocer la densidad o peso unitario de los suelos in situ con cierto grado de compactación natural. Consiste en extraer material del suelo a través de un orificio de 10 cm de profundidad realizado en el interior de la calicata, a fin de obtener una relación entre la masa de este y el volumen que ocupa la arena calibrada del cono de densidad.

En cada estrato muestreado se realizó un ensayo de densidad de campo haciendo uso del método del cono de arena, y así obtener el grado de compactación o consistencia y el contenido de humedad del suelo en condiciones naturales, en otros casos para conocer el grado de compactación. Esta información es 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 clastos o materiales gruesos de diámetro mayor a 1 ½ pulgada (38 mm).

En la Tabla 6, se presenta los resultados obtenidos para las densidades in situ de las calicatas elaboradas para el área de estudio y sus fichas se adjunta en los Anexos.

Tabla 6: Resultado de densidades in – situ

CÓDIGO DE CALICATA	MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	DENSIDAD HÚMEDA (gr/cm ³)	DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)
CQT-01	DC-QT- 01	2.60	1.66	1.45	12.72
CQT-02	DC-QT- 02	1.10	--	--	15.21
CQT-03	DC-QT- 03	1.40	--	--	9.57
CQT-04	DC-QT- 04	1.40	--	--	14.04
CQT-05	DC-QT- 05	2.60	1.26	1.22	2.54
CQT-06	DC-QT- 06	2.60	1.71	1.60	6.66
CQT-07	DC-QT- 07	2.60	1.42	1.35	4.80
CQT-08	DC-QT- 08	1.80	1.35	1.21	9.82

A partir de los resultados obtenidos en el ensayo de densidad de campo y laboratorio, en Querecotillo los suelos presentan rangos de densidad húmeda entre 1.26 y 1.71 gr/cm³, mientras que, las densidades secas oscilan entre 1.21 y 1.60 gr/cm³. Los materiales identificados en las calicatas corresponden a arenas y arcillas, de acuerdo a la referencia.

5.2. Exploraciones con posteadora manual

Se define posteadora como un barredor manual en forma de "T" que permite realizar sondeos exploratorios (perforaciones) en suelos blandos (arcillas y arenas) para extraer muestras hasta una profundidad de 5 a 6 m. En cada una de las perforaciones se llevó a cabo una detallada descripción de los tipos de suelos encontrados: Asimismo, las muestras extraídas se obtienen trituradas y completamente alteradas; sin embargo, sirven para conocer el tipo de suelo y el contenido de humedad que presentan. Una de

las restricciones para la ejecución de este ensayo es la presencia de gravas y gravillas (la cuchara saca muestra se entrampan con este tipo de suelos).

Estas exploraciones fueron distribuidas entre los puntos de las calicatas con la finalidad de obtener mejor caracterización de los suelos en Querecotillo. En la Tabla 7, se muestran los resultados obtenidos en el área de estudio y los registro de perforación se adjunta en los Anexos.

Tabla 7: Ubicación de posteos y clasificación de suelos SUCS (NP=no presenta).

CÓDIGO DE POSTEO	COORDENADAS UTM		ELEVACIÓN (m.s.n.m.)	PROFUNDIDAD (m)	TIPO DE SUELO	NIVEL FREÁTICO (m)
	ESTE (m)	NORTE (m)				
POST-01	537750	9464681	56 m	1.50	ML	0.50
POST-02	537982	9464395	53 m	1.00	SM	N.P.
POST-03	538134	9464492	54 m	2.70	SP y SM	N.P.
POST-04	538759	9464630	45 m	1.50	SC y CL	1.10
POST-05	538871	9465447	56 m	0.35	SM	N.P.
POST-06	539181	9464943	46 m	0.60	SP	N.P.
POST-07	539602	9465439	60 m	1.60	SM y CH	N.P.
POST-08	539319	9465563	55 m	2.80	SM y SP	N.P.
POST-09	539198	9466127	46 m	1.60	SM y CL	1.00
POST-10	538706	9466700	68 m	2.20	SM y SP	N.P.
POST – 11	537929	9465623	65 m	1.00	SC	N.P.

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

El DPL es un equipo de campo de registro continuo dónde se contabiliza y registra el “N”, que es el número de golpes dados por un martillo de 10 Kg que se deja caer por gravedad desde una altura de 0.50 m (medida desde la parte superior del tambor de acero) para hincar una varilla de acero de 1.0 m de longitud, en cuyo extremo inferior se encuentra una punta cónica de 60°. Este proceso se repite para profundizar tramos de 10 cm de la varilla con la finalidad de estimar el ángulo de fricción de suelos

específicos que ayudarán a calcular, mediante fórmulas empíricas, la capacidad portante (resistencia al corte) de los suelos de cimentación en Kg/cm²; además, se puede tener las propiedades de compacidad de los suelos.

Como ventaja, este instrumento es muy práctico y de fácil transportación, y aplicable a todos los suelos a excepción de terrenos arenosos, areno-arcillosos y limo-arenosos. Tampoco es recomendable utilizarse en gravas, fragmentos gruesos, conglomerados y terrenos rocosos. Por otro lado, los ensayos de DPL deben ubicarse a inmediaciones de una o dos calicatas donde se tienen suelos conocidos con la finalidad de conocer la resistencia al corte de los distintos estratos.

En la Tabla 8, se indica las coordenadas UTM de los ensayos de Penetración Dinámica Ligera (DPL) realizados en Querecotillo, registrándose el número de golpes y el ángulo de fricción interna calculado en base a los parámetros de compacidad y densidad relativa según la fórmula de Meyerhof (1956). Las fichas de los ensayos se adjuntan en los Anexos.

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

Dónde:

Φ = Ángulo de fricción interna

Dr = Densidad relativa

Según los parámetros obtenidos en este estudio, los suelos identificados en los DPL 1, 2, 3, 4 y 8 presentan compacidad baja y se ubican en la parte suroeste de Querecotillo. Los suelos con compacidad muy baja están ubicados al sureste de la ciudad y en las inmediaciones de la calle San Fernando y más al sur de ésta. La compacidad media identificados en los DPL 6, 9 y 11 se localizan al oeste y al noroeste de la ciudad, principalmente en las nuevas zonas de expansión urbana delimitadas al noroeste.

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

CODIGO DE DPL	COORDENADAS UTM		ELEVACIÓN (m.s.n.m.)	PROFUNDIDAD (m)	Nº DE GOLPES	ϕ
	ESTE (m)	NORTE (m)				
DPL-01	537727	9464554	45	2.80	7	28.9
DPL-02	538275	9464598	57	2.80	8	29.3
DPL-03	538514	9464681	45	1.80	4	27.6
DPL-04	539020	9464723	44	2.80	4	27.6
DPL-05	539442	9465126	45	2.60	2	26.8
DPL-06	539786	9465366	50	2.80	11	30.4
DPL-07	539090	9465453	40	2.80	3	27.2
DPL-08	538611	9465166	40	2.80	9	29.6
DPL-09	537368	9465727	70	0.90	25	34.7
DPL-10	538810	9466484	66	0.20	45	39.7
DPL-11	539081	9466654	57	2.30	10	30
DPL-12	539244	9466447	62	0.20	45	39.7

5.4. Clasificación de suelos SUCS

En base a la información geotécnica de calicatas, posteos y DP, obtenida para el área urbana de Querecotillo; así como los resultados obtenidos de los ensayos granulométricos y plasticidad, han permitido identificar, de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), la existencia de 6 tipos de suelos detallados en la Tabla 9 y Figura 21.

Suelos tipo GP: Están conformados por grava mal graduada que se caracteriza porque no retiene agua debido a los espacios existentes entre partículas (huecos intersticiales). Constituyen suelos con grado de baja compacidad. Este tipo de suelo se ha identificado en el posteo 11 y abarca aproximadamente el 22% del área de estudio.

Suelos tipo SP: Están conformados por arena mal graduada y diámetro promedio de 0.015 mm hacia el grano fino. Constituyen suelos con grado de compacidad media a alta. Este tipo de suelos se ha identificado en los posteos P-06, P-08 y P-10; abarcando aproximadamente el 32% del área de estudio.

Suelos tipo SM: Están conformados por arena limosa con contenido de humedad entre 2 y 13 %. Constituyen suelos con grado de compacidad media a baja. Este tipo de suelos se ha identificado en las calicatas CQT-01, CQT-05 y CQT-06, así como en los posteos P-03 y P-05; abarcan aproximadamente 13% del área de estudio.

Suelo tipo ML: Están conformados por limos inorgánicos que presentan plasticidad baja a media, con contenido de humedad entre 6.66 % y 15.21 %. Constituyen suelos con grado de compacidad baja. Este tipo de suelos se ha identificado en las calicatas CQT-02, CQT-03 y CQT-07, así como en el posteo P-01; abarcan aproximadamente el 12 % del área de estudio.

Suelo tipo CL: Están conformados por arcillas inorgánicas de plasticidad media, con contenido de humedad de 14.04 %. Constituyen suelos con grado de compacidad media a baja. Estos suelos se han identificado cerca a la quebrada La Ballena, correspondientes a la calicata CTQ- 04, así también en los posteos P-02, P-04, P-07 y P-09; abarcan aproximadamente el 13 % de la zona de estudio.

Suelo tipo MH: Están conformados por limos inorgánicos, de alta plasticidad, con contenido de humedad de 9.82 %. Constituyen suelos con grado de compacidad media a alta. Este suelo se ha identificado en la calicata CTQ-08 y abarcan aproximadamente el 8 % de la zona de estudio.

Tabla 9: Clasificación SUCS del área urbana de Querecotillo

CÓDIGO DE CALICATA	PROFUNDIDAD (m)	PRESENCIA DE AGUA		GRANULOMETRÍA (%)			LÍMITES ATTERBERG (%)			CLASIFICACIÓN SUCS	DESCRIPCIÓN
		NIVEL FREÁTICO A (m)	CONTENIDO DE HUMEDAD	GRAVAS (>4.76 mm)	ARENAS (>0.074 mm, <4.76 mm)	FINOS (<0.074 mm)	LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE PLÁSTICO		
CQT-02	1.3	1.1	15.21	1	17.9	81.14	35.5	29.3	6.2	ML	Limo inorgánico
CQT-03	1.6	1.4	9.57	1.7	23.5	74.8	44	N.P.	N.P.	ML	Limo inorgánico
CQT-04	1.6	1.2	14.04	0	2.3	97.7	32.06	22.56	9.5	CL	Arcilla inorgánica
CQT-05	2.7	N.P.	2.54	3.3	66.2	30.52	36.5	N.P.	N.P.	SM	Arena limosa
CQT-06	2.7	N.P.	6.66	6.5	59.2	34.31	28	N.P.	N.P.	SM	Arena limosa
CQT-07	2.7	N.P.	4.8	--	4.15	95.85	28.22	22.93	5.29	ML	Limo inorgánico
CQT-08	2	N.P.	9.82	--	6.95	93.05	66.15	36.54	29.61	MH	Limo inorgánico

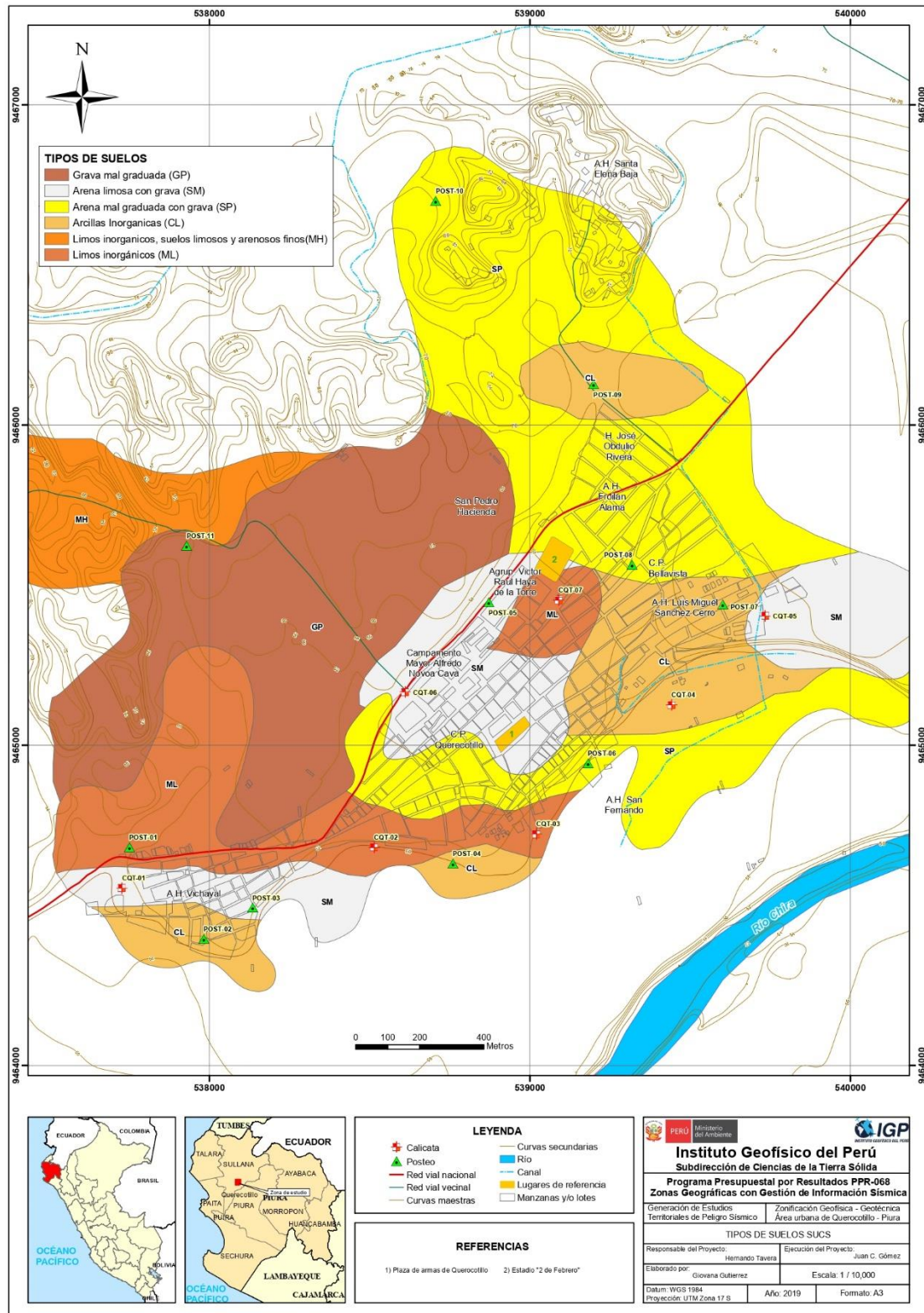


Figura 21: Mapa de clasificación SUCS para los suelos de Querecotillo y alrededores.

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

La finalidad de este ensayo es determinar la resistencia al esfuerzo de corte de una muestra de suelo, sometida a fatigas y/o deformaciones (esfuerzos verticales y horizontales) que simulen lo que existe o existiría en el terreno producto de la aplicación de una carga. Esta resistencia al corte en los suelos se debe a dos componentes: la cohesión (comportamiento plástico que presentan las partículas finas de una muestra) y el ángulo de fricción interna (rozamiento que existe en las partículas granulares).

Los valores finales de la capacidad portante de los suelos en Querecotillo, están basados en datos de laboratorio de mecánica de suelos, corroborados con datos teóricos de los parámetros de ángulo de fricción y cohesión de Terzaghi e información de DPL realizados en campo, haciendo uso de las fórmulas de falla general o local según el tipo de suelo.

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

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

Los resultados de capacidad de carga portante para las 8 muestras de suelos extraídas en Querecotillo, se presentan en la Tabla 10.

Según los valores del ángulo de fricción corregido a partir de la correlación del "N" del DPL en función al del SPT y los datos de cohesión de los suelos obtenidos mediante el corte directo realizado en el laboratorio de mecánica de suelos, se determinó las capacidades portantes de los suelos investigados (Tabla 11).

Tabla 10: Capacidad de carga portante de las muestras extraídas en la ciudad de Querecotillo.

CÓDIGO DE MUESTRA	Capacidad de carga última (kg/cm ²)	Capacidad de carga portante (Kg/cm ²)
CQT - 01	1.95	0.65
CQT - 02	2.43	0.81
CQT - 03	2.44	0.81
CQT - 04	2.73	0.91
CQT - 05	1.48	0.49
CQT - 06	2.01	0.67
CQT - 07	2.42	0.81
CQT - 08	2.96	0.99
DIMENSIONES DE CIMENTACIÓN	Profundidad: 1.00 m y ancho:1.00	

Tabla 11: Capacidad de carga portante (Criterio de falla general y local) en base al ángulo de fricción corregido del N del DPL vs SPT y cohesión obtenida del ensayo de corte directo.

CÓDIGO DE DPL	Capacidad de carga última (kg/cm ²)	Capacidad de carga portante(Kg/cm ²)	Tipo de corte
DPL-01	2.3	0.77	Falla general
DPL-02	3.59	1.2	Local
DPL-03	3.17	1.06	Local
DPL-04	5.44	1.81	Falla general
DPL-05	3.67	1.22	Local
DPL-06	2.35	0.78	Falla general
DPL-07	3.4	1.13	Local
DPL-08	3.19	1.06	Falla general
DPL-11	2.92	0.97	Falla general
DIMENSIONES DE CIMENTACIÓN	Profundidad: 1 m y ancho:1 m		

De acuerdo a los resultados obtenidos en este estudio, se ha determinado que el área urbana de Querecotillo, en su mayoría ha sido construida con cimentaciones de 1 m de profundidad. Ante ello, se ha clasificado los suelos con la siguiente capacidad de carga portante.

5.5.1.1. Tipos de capacidad de carga portante

En Querecotillo se han identificado los siguientes tipos de capacidad de carga portante (Figura 22):

.- Capacidad de carga portante muy baja: Comprende rangos de capacidad de carga portante menores a 1 kg/cm^2 y corresponden a suelos compuestos por arenas limosas (SM), limos inorgánicos (ML), arcillas de baja plasticidad (CL) y limos de alta plasticidad (MH). Esta capacidad de carga portante es valida a un metro de profundidad y considera 100% de los suelos de cimentación del area de Querecotillo y alrededores.

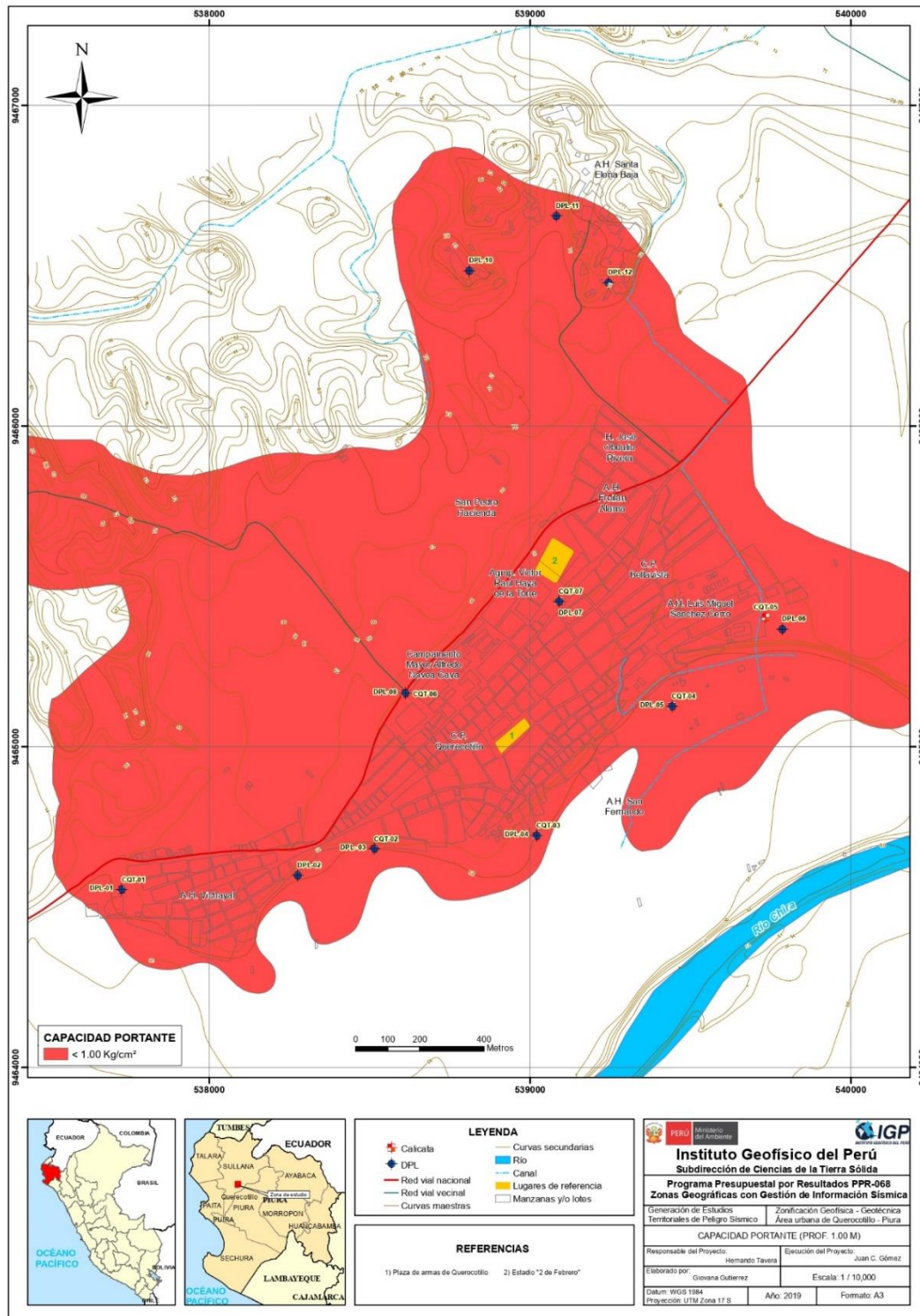


Figura 22: Mapa de capacidad de carga portante para el área de Querecotillo y alrededores.

CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA DE SUELOS EN EL ÁREA URBANA DE QUERECOTILLO

CONTENIDO

1. METODOLOGÍA

1.1. Método de Razones Espectrales (H/V)

1.1.1. Adquisición y Procesamiento

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

1.2.1. Adquisición y Procesamiento

1.3. Método de Tomografía de Resistividad Eléctrica (ERT)

1.3.1. Adquisición y Procesamiento

2. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN

2.1. Razones espectrales H/V

2.1.1. Frecuencia predominante

2.1.2. Periodos dominantes

2.2. Perfiles de MASW

2.3. Tomografía Eléctrica

3. ZONIFICACIÓN GEOFÍSICA – GEOTÉCNICA DE SUELOS

3.1. Integración de resultados

3.2. Mapa de Zonificación Geofísica de Suelos

CONCLUSIONES

1. METODOLOGÍA

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

1.1. Método de Razones Espectrales (H/V)

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

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

1.1.1. Adquisición y Procesamiento

La adquisición de datos en campo se realizó utilizando sensores Lennartz y registradores CityShark II, llegándose a recolectar 60 registros de vibración ambiental (Figura 1). Los puntos de adquisición de datos se

distribuyen espacialmente formando una grilla en el área urbana y zonas de expansión, con intervalos de 200 metros en promedio. Cada registro de vibración ambiental tiene una duración de 15 minutos, lo cual permite disponer de buena cantidad de datos para su posterior análisis.

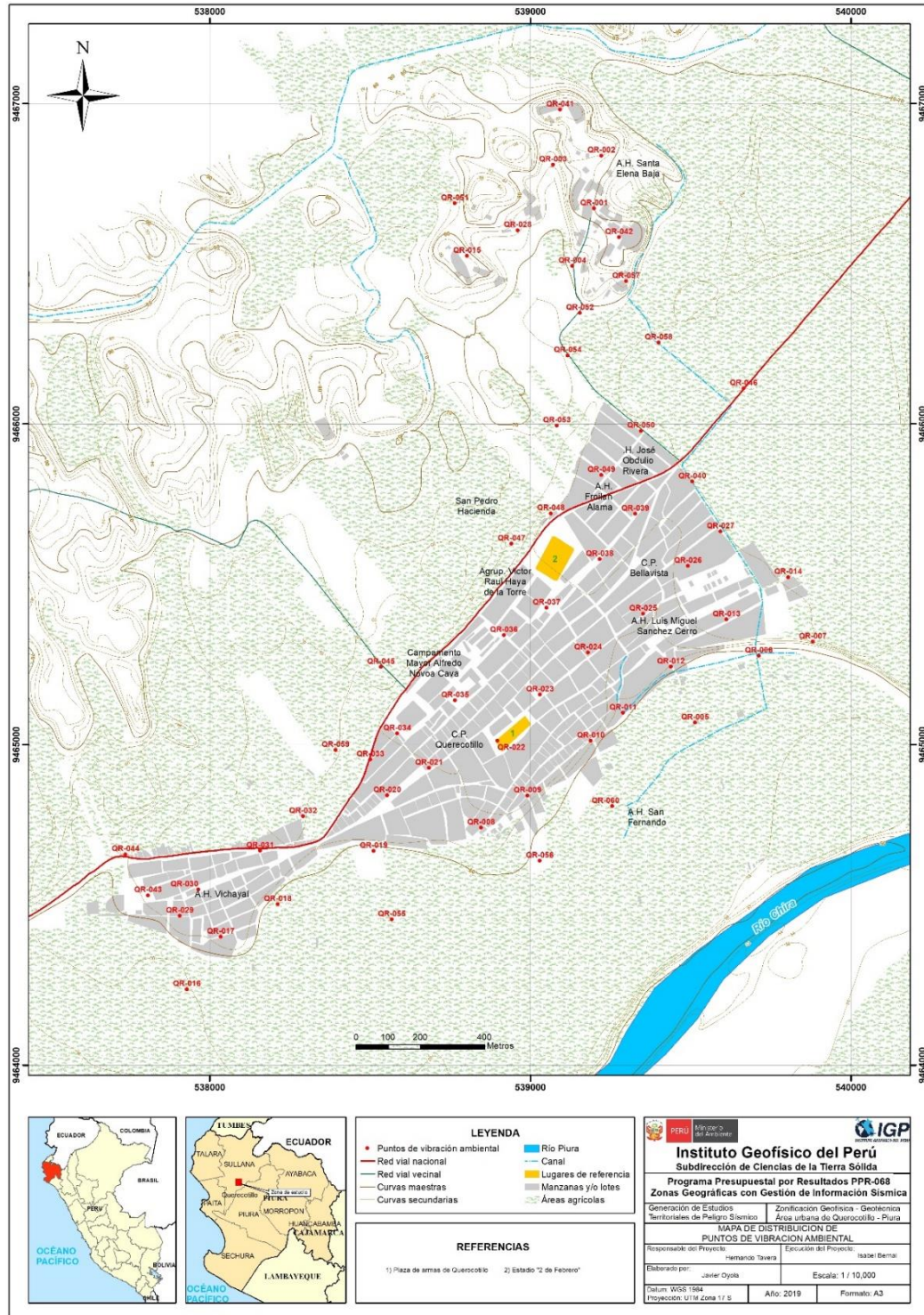


Figura 1: Distribución espacial de los puntos de registros de vibración ambiental del área urbana de Querecotillo.

La Figura 2, muestra la disposición del equipo sísmico al momento del registro de datos, además de ejemplos de registro de vibración ambiental para sus tres componentes (vertical, E-O y N-S). La señal registrada en el punto QR-19 presenta bajos niveles de ruido; mientras que, la señal en QR-49, 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.

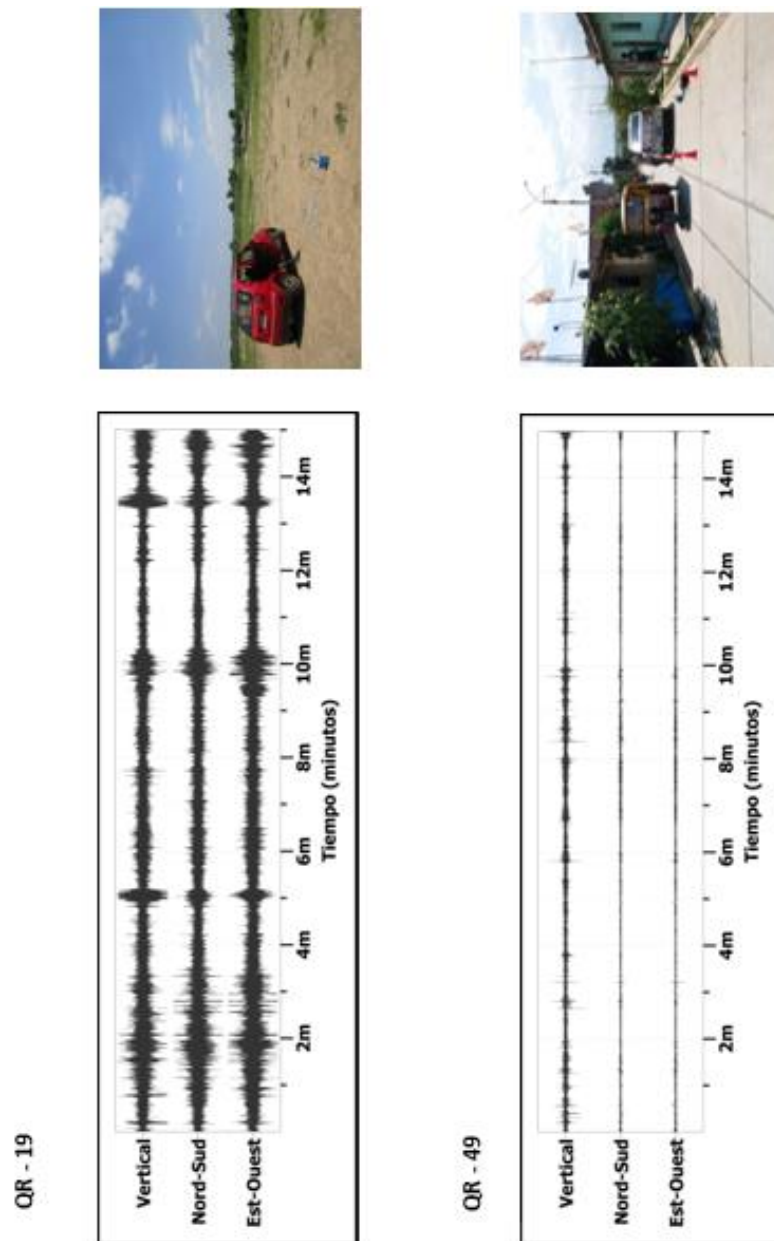


Figura 2: Disposición del equipo sísmico para la adquisición de los registros de vibración ambiental. Ejemplos de registros obtenidos sobre una zona con ruido transitorio (QR-19) y otro con ruido de fondo constante (QR-49). Obsérvese las diferentes amplitudes de la señal registrada en cada punto.

En la Figura 3, se muestra un ejemplo del procesamiento y resultado obtenido para el punto QR-36. El registro es sectorizado en ventanas de 20 segundos y analizado individualmente, para luego obtener el promedio espectral para las curvas, y así identificar el rango de las frecuencias y/o periodos predominantes, que caracterizan al suelo bajo el punto de observación. También es visible el factor de amplificación del suelo ante la incidencia de las ondas sísmicas.

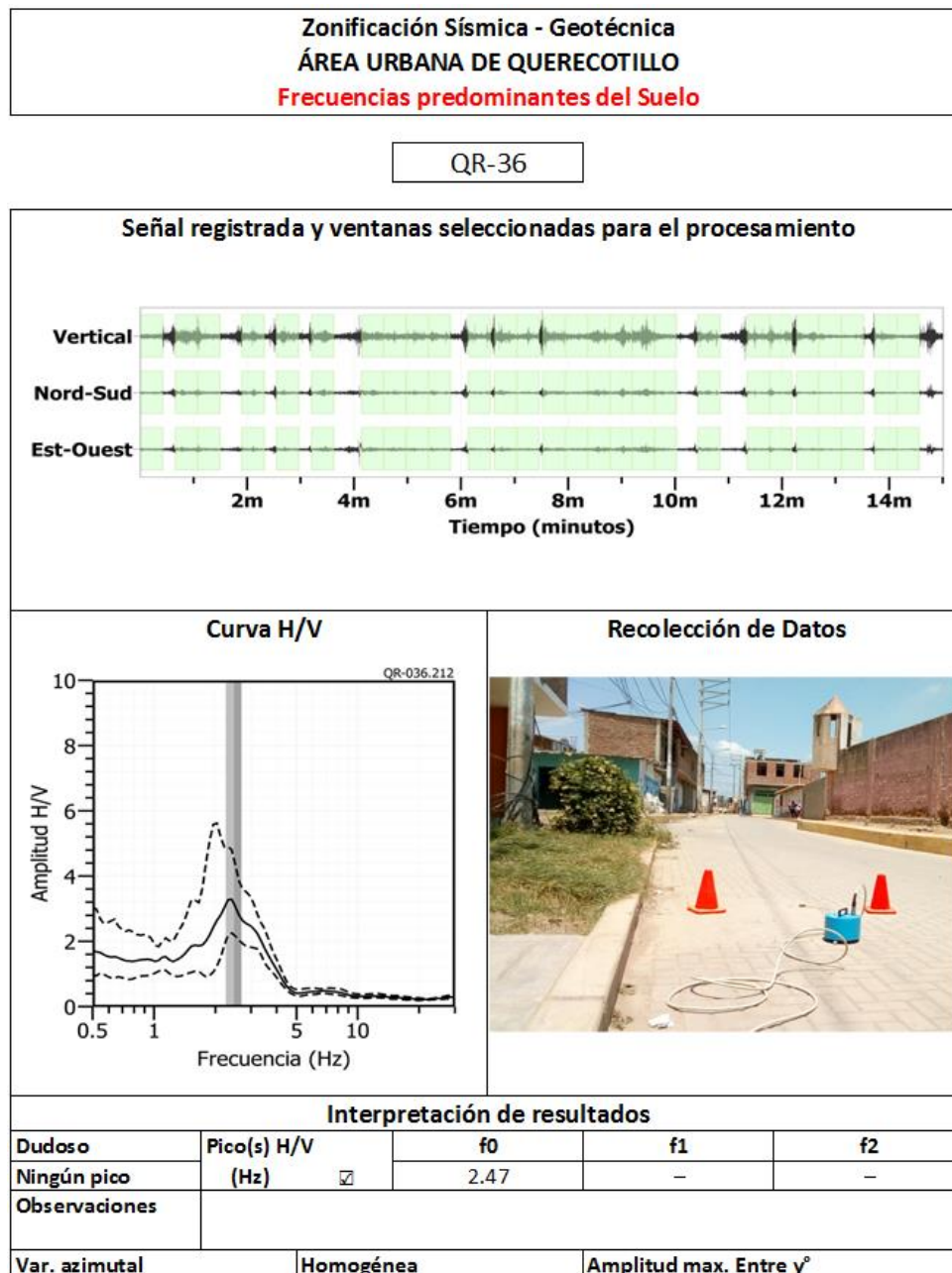


Figura 3: Ejemplo de la ficha H/V para el punto QR-36 en la cual se recopila la información registrada y analizada. Arriba, señal registrada; Medio; razón espectral (H/V) en línea gruesa y su desviación estándar en líneas discontinuas y Abajo resultados.

Para la interpretación de la información sísmica se debe considerar los siguientes criterios: 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, 2004; Bernal, 2006). Asimismo, se evalúa la correspondencia de los parámetros físicos-dinámicos encontrados con los aspectos geológicos, geomorfológicos y geotécnicos que domina a la zona de estudio.

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

El método de arreglo lineal MASW permite determinar la estratigrafía del subsuelo bajo un punto; conocer los espesores de las capas y la velocidad de propagación de las ondas de corte V_s en el subsuelo, 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 sensores sísmicos.

1.2.1. Adquisición y Procesamiento

La adquisición de datos de MASW se ha realizado utilizando un equipo sísmico modelo GEODE de Geometrics con 24 sensores o geófonos de baja frecuencia (4.5 Hz). Como fuente de impacto y/o energía para generar las ondas sísmicas se utiliza un martillo de 20 lb. Los parámetros de registro, tales como la geometría del tendido y el espaciamiento entre geófonos, fueron variables debido a la geomorfología de la zona de estudio y la accesibilidad a los puntos seleccionados. En el área urbana de Querecotillo se realizaron 5 arreglos lineales MASW, codificados como: LS01-QR,...LS05-QR (Figura 4) y cuyas coordenadas (UTM -WGS84) se muestran en la Tabla 1.

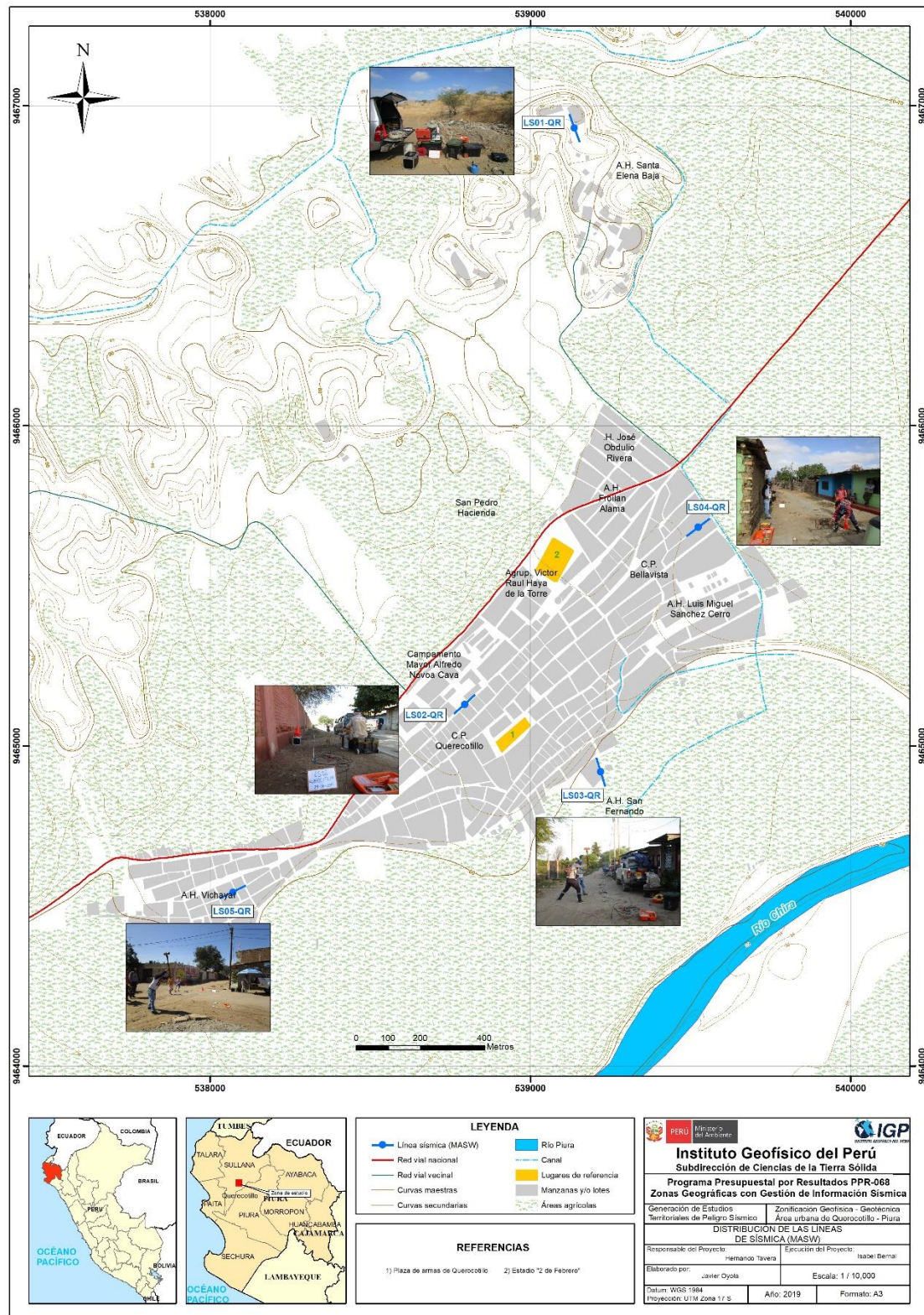


Figura 4: Distribución espacial de los ensayos MASW codificadas como LS01-QR,..., LS05-QR en el área urbana Querecotillo.

Tabla 1. Coordenadas y características de los arreglos lineales MASW.

Arreglo lineal MASW	Este (m)	Norte (m)	Cota (m.s.n.m.)	Espaciamiento entre geófonos (m)	Longitud total (m)
LS01-QR	539154	9466886	85	4	92
	539121	9466974	85		
LS02-QR	538827	9465160	68	4	92
	538761	9465100	68		
LS03-QR	539234	9464873	57	4	92
	539205	9464964	58		
LS04-QR	539487	9465655	63	4	92
	539560	9465711	63		
LS05-QR	538111	9464564	65	4	92
	538029	9464523	66		

Durante los trabajos de campo, los datos y/o formas de onda son visualizados, para verificar la calidad del registro y los niveles de ruido de fondo. En la Figura 5, se muestra como ejemplo el registro obtenido considerando un golpe de martillo a 3 metros al final del arreglo lineal.

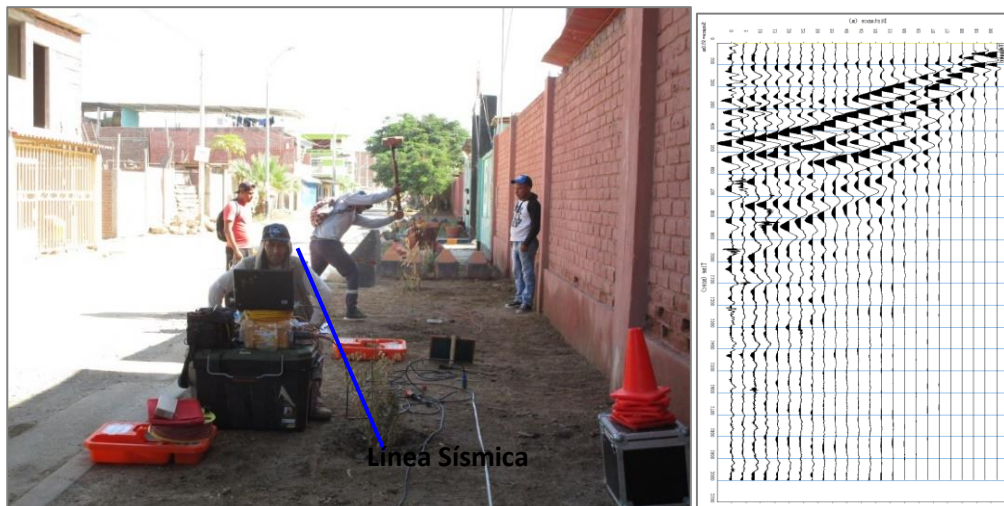


Figura 5: Disposición del equipo de adquisición de registro sísmico.

Para el procesamiento de datos MASW se procedió a aplicar la transformada rápida de Fourier (FFT) a los registros sísmicos obtenidos para cada punto de disparo (Reynolds, 2011), para luego tener como resultado, la imagen de dispersión que relaciona la velocidad de fase de las ondas superficiales con la frecuencia. Una vez obtenidas las

curvas de dispersión, son sometidas de forma individual a un proceso de inversión, a fin de obtener los perfiles de velocidad V_s en una dimensión (1D), tal como se muestra en la Figura 6.

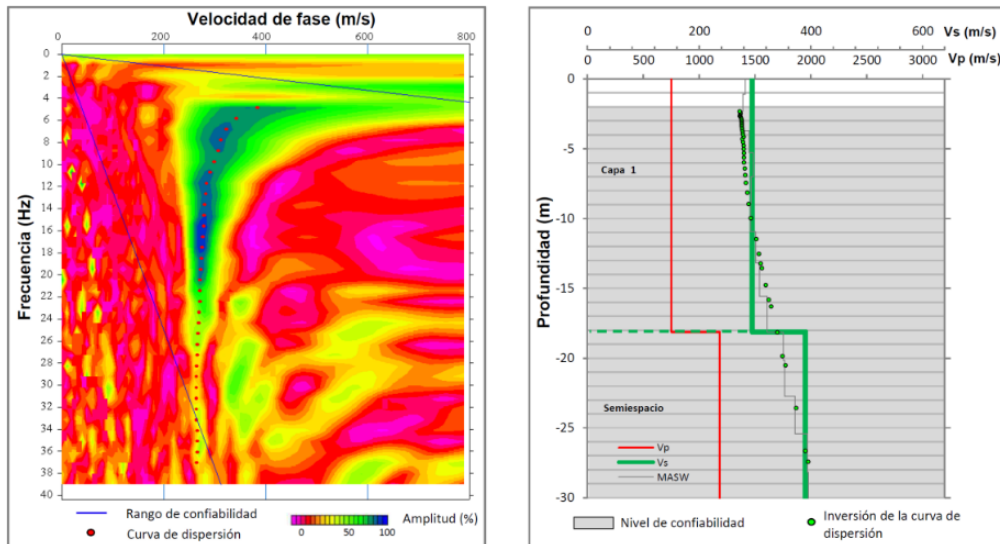


Figura 6: a) Curva de dispersión y b) perfil de velocidad obtenido a partir del ensayo MASW.

Para el análisis e interpretación de los resultados obtenidos en este estudio se debe considerar la clasificación de suelos según la Norma E.030; es decir, la velocidad promedio de propagación de las ondas de corte para los 30 metros superiores (V_{s30}). En este caso, las velocidades de los perfiles de suelo S1 y S2 se subdividen, a fin de considerar dos clasificaciones adicionales (Tabla 2). Asimismo, los valores de perfiles de velocidad son representados en colores, para una mejor interpretación de los resultados obtenidos.

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

Clasificación de los perfiles de Suelo					
N°	V_s	Norma E.030		Descripción	
1	< 180 m/s	S_3	Suelo blando	Suelo blando	
2	180 m/s a 350 m/s	S_2	Suelo medianamente rígido	Suelo moderadamente rígido	
3	350 m/s a 500 m/s			Suelo rígido	
4	500 m/s a 800 m/s	S_1	Roca o suelo muy rígido	Suelo muy rígido o roca blanda	
5	800 m/s a 1500 m/s			Roca moderadamente dura	
6	> 1500 m/s	S_0	Roca dura	Roca dura	

1.3. Método de Tomografía de Resistividad Eléctrica (ERT)

El ensayo de tomografía eléctrica permite determinar las variaciones de resistividad y conductividad eléctrica en las rocas y suelos para conocer su grado de saturación. En general, los materiales que conforman el subsuelo muestran ciertos rangos de resistividad (ρ) al paso de la corriente eléctrica, y que pone en evidencia el contenido de agua, de sales disueltas en las fracturas de las rocas o en la porosidad del suelo.

1.3.1. Adquisición y Procesamiento

Los datos recolectados en campo corresponden al registro de valores de resistividad obtenidos en 4 líneas de ERT distribuidas en la zona de estudio. El instrumental utilizado en campo corresponde a un Equipo de Resistividad / IP Syscal Pro. En la Tabla 3, se muestra las coordenadas UTM (WGS84) de los puntos en los cuales fueron tomados los datos para las líneas eléctricas LE01-LU..., LE07-LU y su distribución espacial en la Figura 7.

Tabla 3: Coordenadas y características del ensayo ERT realizados en el área urbana de Querecotillo.

Línea Eléctrica	Este (m)	Norte (m)	Cota (m.s.n.m.)	Espaciamiento entre electrodos (m)	Longitud total (m)
LE01-QR	538994	9466934	82	10	290
	539102	9466664	77		
LE02-QR	538719	9465278	68	10	260
	538549	9465071	67		
LE03-QR	539197	9465023	66	10	260
	538991	9464843	68		
LE04-QR	539567	9465711	71	10	160
	539433	9465608	68		

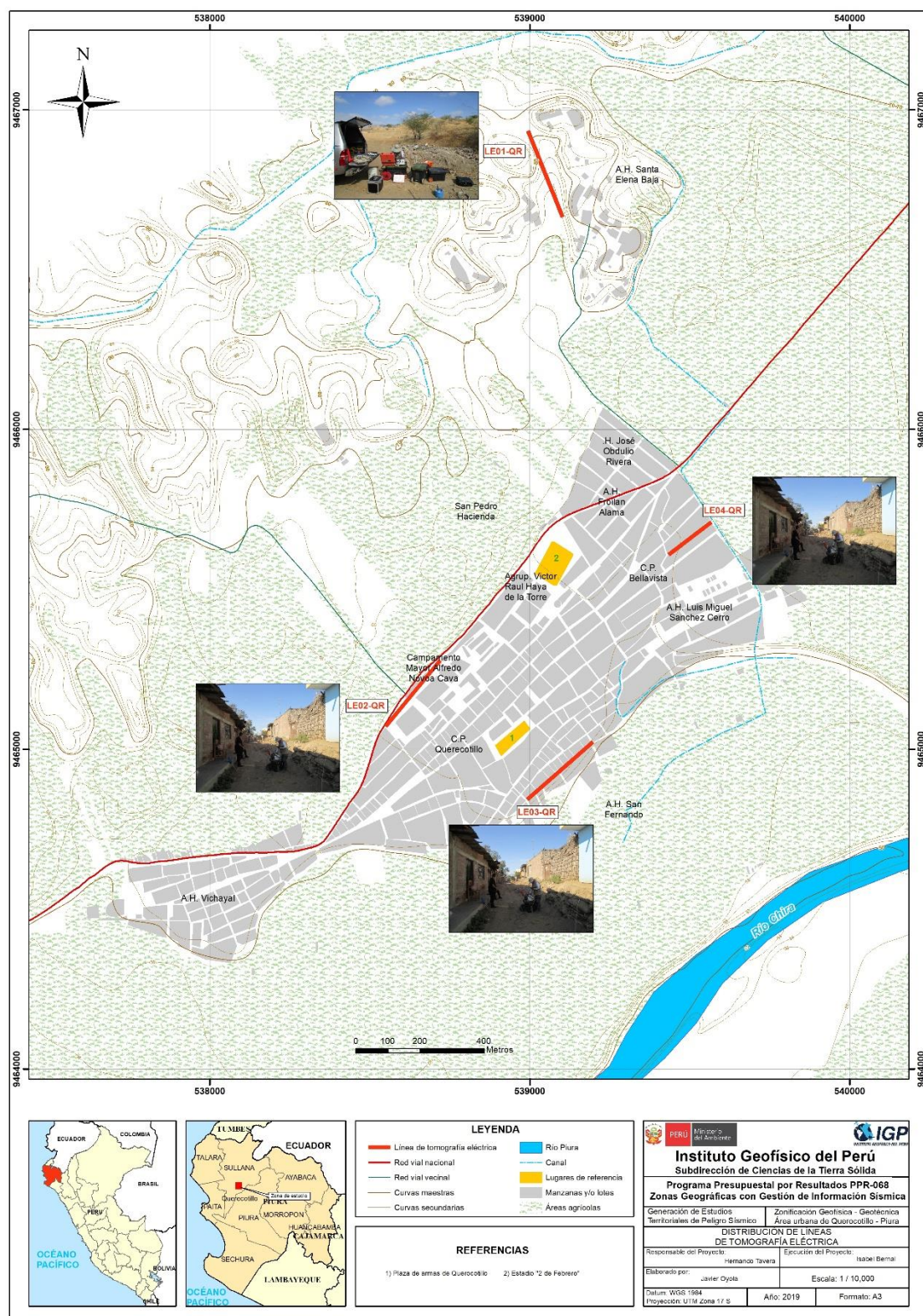


Figura 7: Distribución espacial de las líneas de tomografía eléctrica codificadas como: LE01-QR, ... LE04-QR en el área urbana de Querecotillo.

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

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

Tabla 4: Valores de resistividad de suelos y rocas presentes en la naturaleza (UNC, 2000).

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

2. ANALISIS E INTERPRETACIÓN

En este estudio se ha realizado la aplicación de métodos geofísicos como las razones espectrales (H/V), análisis multicanal de ondas superficiales (MASW) y tomografía de resistividad eléctrica (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 la correlación de los resultados obtenidos en cada caso para el área urbana de Querecotillo.

2.1. Razones espectrales H/V

En el área urbana de Querecotillo y alrededores los suelos responden a frecuencias predominante (F_0) mayores a 1.8 Hz con diferentes amplificaciones. A continuación, se describe y analiza la distribución espacial de las frecuencias predominantes identificadas en el área de estudio.

2.1.1. Frecuencia predominante

.- La frecuencia predominante F_0 : En la Figura 8, se muestra el mapa con la distribución espacial de los valores de F_0 , donde predominan valores entre 1.8 a 4.4 Hz estos se distribuyen de manera uniforme en toda el área de estudio.

En la Figura 9, se muestra ejemplos de razones espectrales característicos para los puntos QR-22(D), QR-47(F) y QR-53(G), realizados en la zona céntrica y hacia el Norte del área urbana, próximos a la plaza de armas, por el estadio Dos de Febrero y A.H. José Obdulio Rivera, donde se identifica un pico a frecuencias de 3.4, 3.1 y 3.0 Hz, con amplificaciones de 3.6, 2.7 y 3.1 veces respectivamente. Hacia el extremo Sur y SE del área urbana, las razones espectrales (H/V) obtenidas para los puntos QR-12(B), QR-55(H) y QR-60(I), ubicados próximos a los AA. HH. San Fernando y Luis Miguel Sánchez

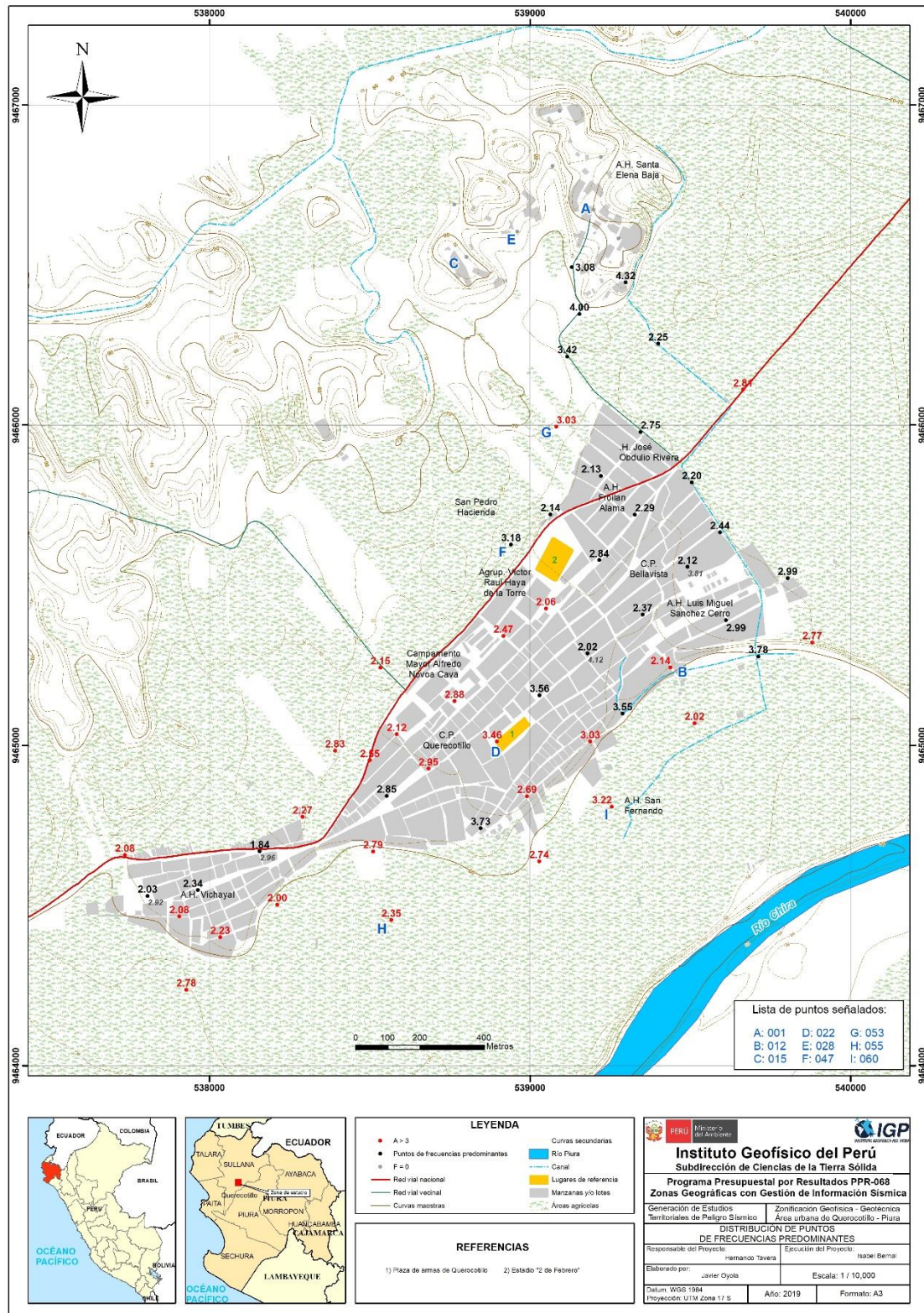
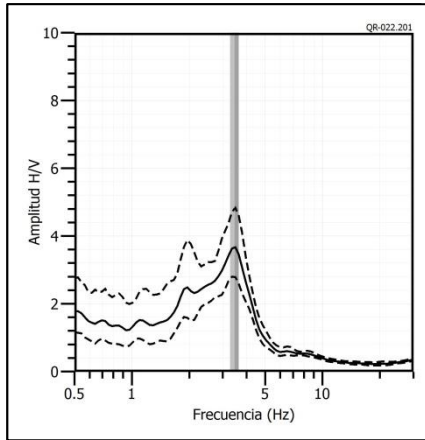
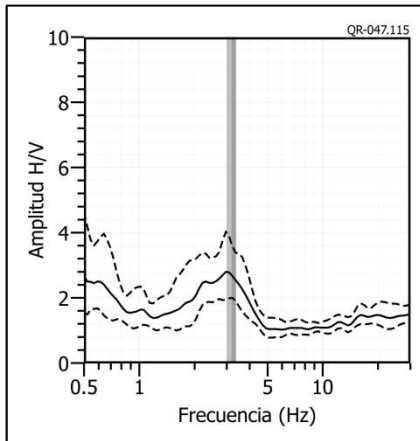


Figura 8: Mapa del área de estudio con la distribución espacial de las frecuencias predominantes F_0 . Los valores en rojo corresponden a puntos con amplificaciones mayores a 3 veces.

QR - 22



QR - 47



QR - 53

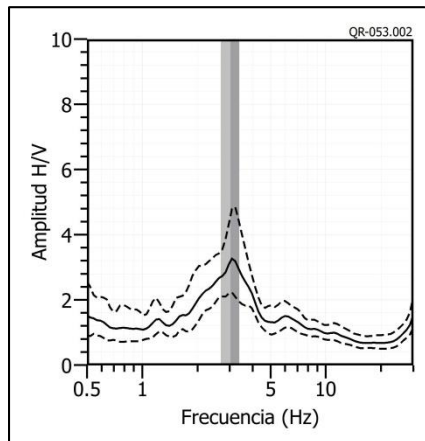


Figura 9: Ejemplos de razones espectrales (H/V): Puntos QR-22(D), QR-47(F) y QR-53(G), realizados próximo a la Plaza de Armas, por el Estadio Dos de Febrero por el A.H. José Obdulio Rivera. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

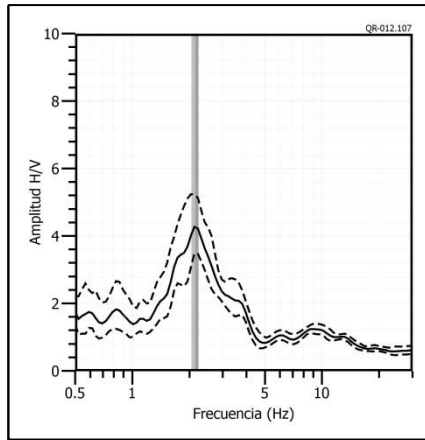
Cerro, donde sobresale un pico a frecuencias de 2.1, 2.3 y 3.2 Hz con amplificaciones de 4.2, 4.8 y 5.4 veces respectivamente. Estos resultados muestran un ligero incremento del valor de frecuencias, hacia el extremo Norte del área de estudio, con un factor de amplificación menor respecto a lo observado hacia su extremo Sur con dirección al río Chira, evidenciando que los suelos son consistentes hacia el extremo norte del área de estudio.

Asimismo, en los puntos QR-01(A), QR-15(C) y QR-28(E) realizados en el extremo Norte del área urbana de Querecotillo, por el A.H. Santa Elena Baja, no sobresale ningún pico de frecuencia. En el punto E, sobresale un pico a altas frecuencias (30 Hz) asociado a un efecto local de la actividad de la población. En general, se evidencia en este sector la presencia de suelos consistentes. Los valores de bajas frecuencia se asocian a estratos del suelo de gran espesor y los factores de amplificación mayores a 3 veces, sugieren que estos suelos presentan baja consistencia.

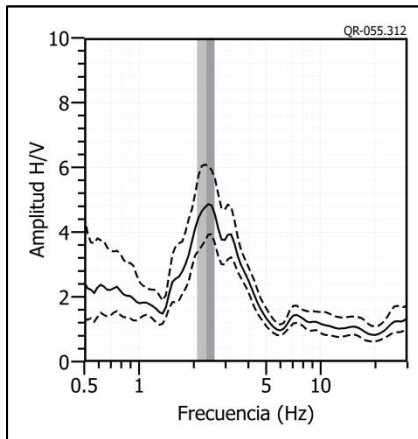
2.1.2. Periodos dominantes

Los valores de frecuencias fueron transformados a periodos dominantes, con el fin de construir el mapa de isoperiodos. En la Figura 10, se muestra la distribución espacial de los periodos (T_0) de respuesta del suelo que varían entre 0.3 y 0.5 segundos, los valores en rojo corresponden a puntos con amplificaciones mayores a 3 veces y los puntos en gris a puntos que no mostraron ningún periodo. Los periodos de 0.3 segundos se distribuyen en gran parte del área urbana y los periodos de 0.4 a 0.5 segundos principalmente hacia el sureste, próximos a terrenos de. Asimismo, las mayores amplificaciones se presentan hacia el extremo sureste del área de estudio en dirección al río Chira. Hacia el extremo Norte (A.H. Santa Elena Baja) no sobresale ningún periodo, evidenciando la presencia de suelos de mayor consistencia a diferencia del resto del área de estudio.

QR - 12



QR - 55



QR - 60

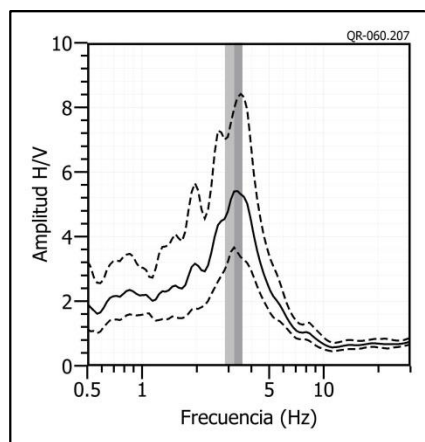


Figura 9: ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V): Puntos QR-12(B), QR-55(H) y QR-60(I), ubicados en el extremo Sur y Este del área urbana, por el A. H. San Fernando. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

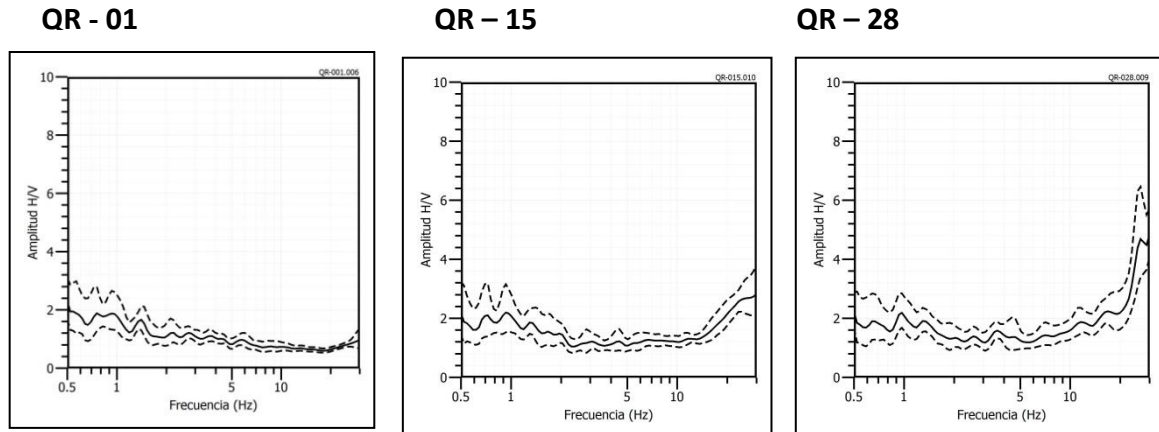


Figura 9: ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V): Puntos QR-01(A), QR-15(C) y QR-28(E), ubicados en el extremo Norte del área urbana, por el A. H. Santa Elena Baja. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

En general, los periodos dominantes se encuentran relacionados con las condiciones físicas del suelo a través de la relación $T_0 = 4H/V_s$, donde T_0 es el periodo dominante, H el espesor del estrato y V_s es la velocidad de onda de corte. Para estimar los espesores de capas de suelos, en este estudio se asume velocidades de 280 m/s y 340 m/s para las ondas de corte (V_s) y periodos de 0.3 y 0.4 segundos, lo que permite estimar la presencia de una capa superficial con espesores entre 28 y 34 metros. Los resultados de este análisis, sugieren que la capa superficial del suelo presenta mayor espesor hacia el extremo suroeste (A.H. Vichayal) y al sureste en dirección al río Chira.

2.2.- Perfiles de MASW

En el área de estudio se realizaron 05 líneas sísmicas aplicando la técnica MASW, permitiendo identificar velocidades de ondas de corte (V_s) confiables hasta los 30 metros de profundidad (ver Figura 4). El resultado obtenido para la línea LS01-QR se muestra en la Figura 11. Los demás perfiles se adjuntan en los Anexos.

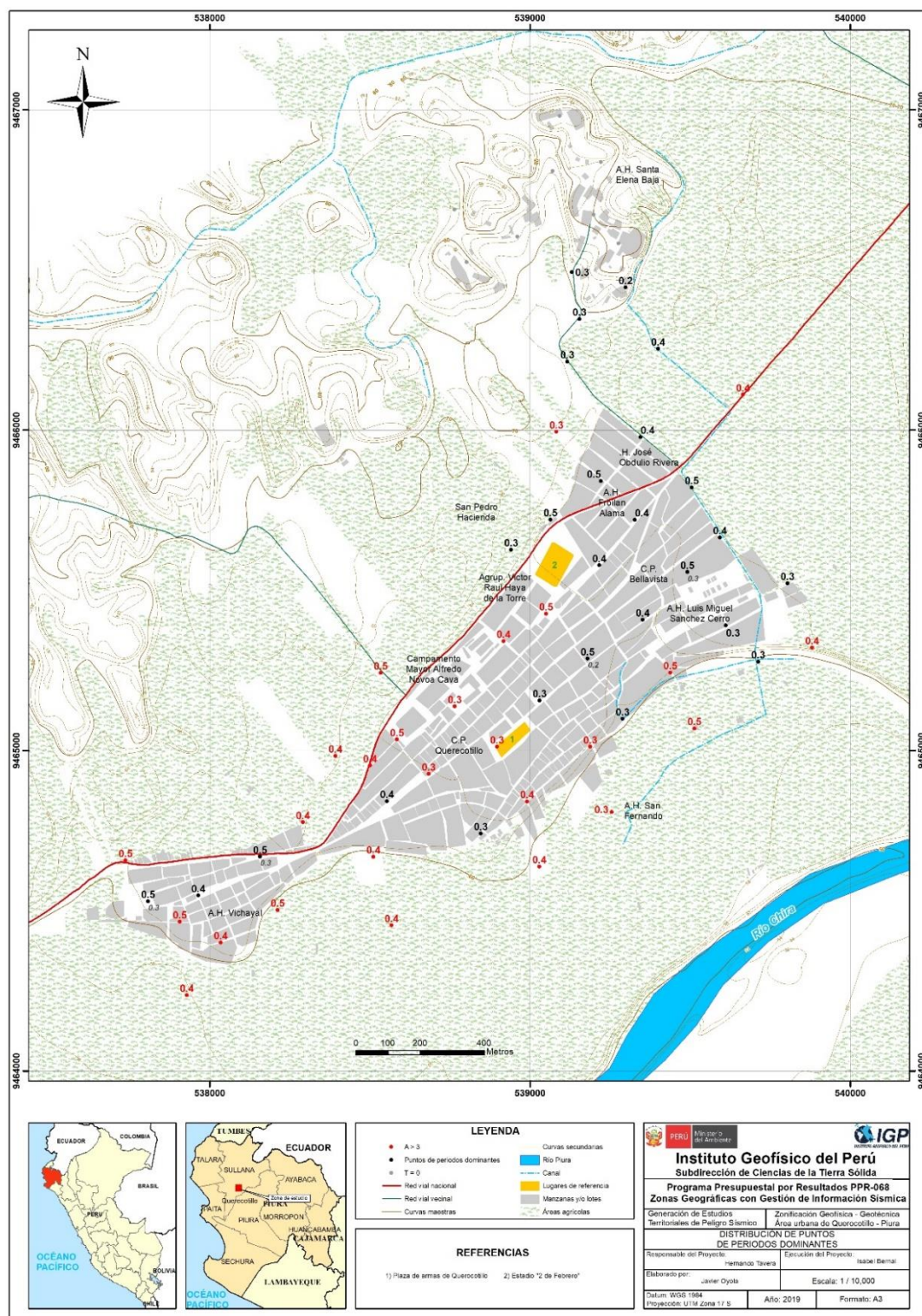


Figura 10: Mapa de la distribución espacial de los valores de periodos dominantes.

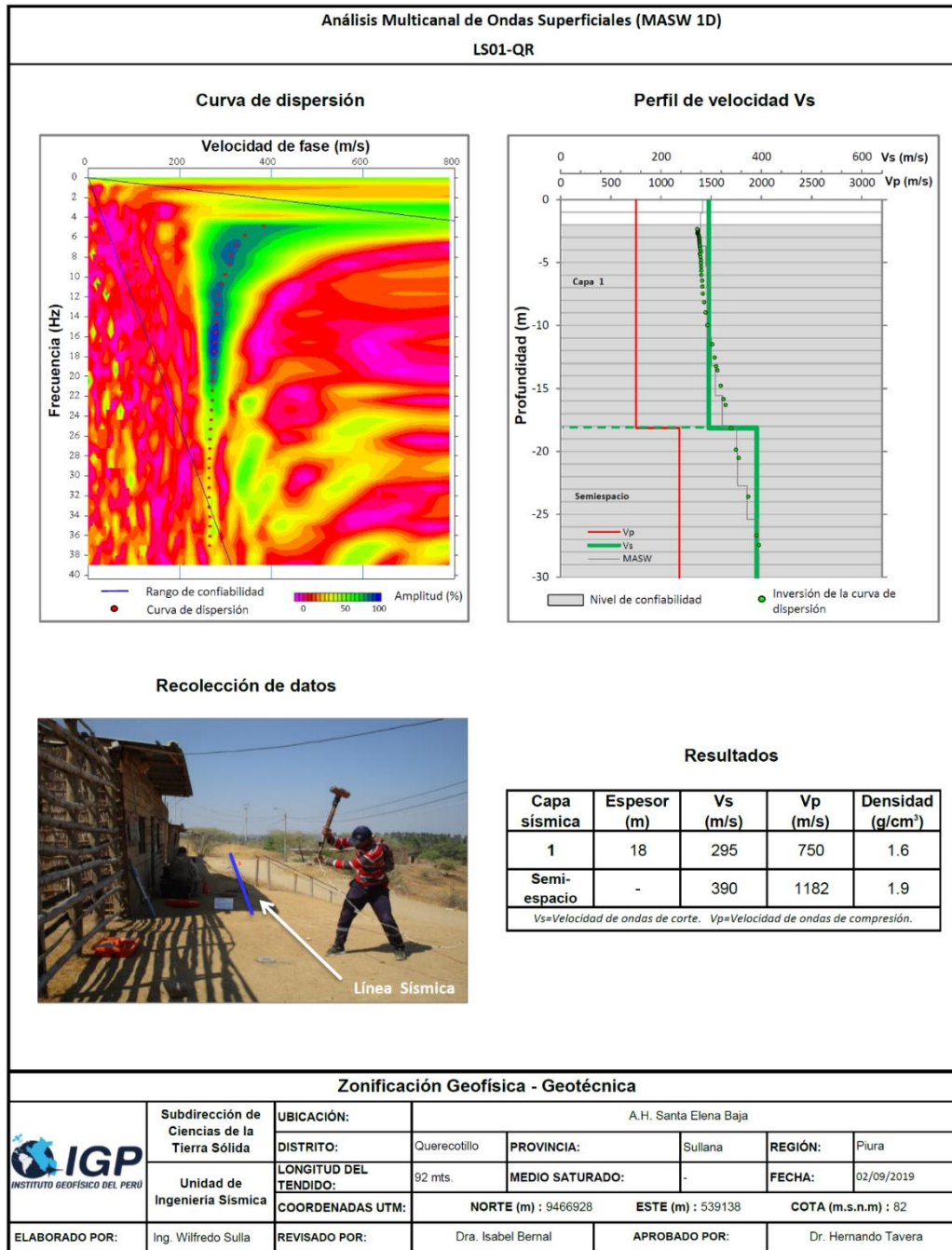


Figura 11: Resultado obtenido con el método MASW para el arreglo lineal LS01-QR.

Línea sísmica LS01-QR: Realizada en el extremo Norte del área urbana de Querecotillo, en el A.H. Santa Elena Baja. Aquí se identifica la presencia de una capa de 18 metros de espesor y velocidades Vs de 295 m/s, correspondiente a suelos moderadamente rígidos. El semi-espacio presenta velocidades Vs > 390 m/s y considera suelos rígidos.

Línea sísmica LS02-QR: Realizada en el cercado del área urbana; frente al campamento Mayor Alfredo Navoa Caba. Aquí se identifica la presencia de dos capas sísmicas: la primera de 11 metros de espesor con velocidades V_s de 193 m/s, la segunda de 12 metros y velocidades V_s de 313 m/s; ambas capas definen la existencia de suelos moderadamente rígidos a rígido. Para el semi-espacio los suelos presentan velocidades $V_s > 467$ m/s; es decir, suelos rígidos.

Línea sísmica LS03-QR y LS04-QR: Realizada hacia el extremo sureste de Querecotillo, en el A.H. San Fernando y C.P. Bellavista. Aquí se identifica la presencia de dos capas sísmicas: la primera de 7 metros de espesor con velocidades V_s entre 138 a 171 m/s; la segunda capa, de 11 a 18 metros de espesor con V_s entre 251 a 310 m/s; ambas corresponden a suelos blandos a moderadamente rígidos. El semi-espacio presenta velocidades $V_s > 435$ m/s; es decir, suelos rígidos.

Línea sísmica LS05-QR: Realizada al suroeste del área urbana de Querecotillo, en el A.H. Vichayal. Aquí se identifica la existencia de una capa de 15 metros de espesor y con velocidades V_s de 193 m/s; asimismo, el semi-espacio presenta velocidades $V_s > 425$ m/s; en este caso ambas capas corresponden a suelos moderadamente rígidos.

En la Tabla 5, se muestra el resumen de los valores de espesor de capas, velocidades de ondas de corte V_s y velocidad V_{s30} .

En general, los resultados obtenidos para el área urbana de Querecotillo, sugieren el predominio de suelos moderadamente rígidos en superficie con espesores que varían entre 18 metros hacia el Norte (A.H. Santa Elena Baja y hacia las estribaciones de la cordillera) hasta mayores a 30 metros en dirección suroeste (A.H. Vichayal, próximos al río Chira). De manera sectorizada, hacia Este (A.H. San Fernando, C.P. Bellavista), se identifica suelos blandos en superficie como parte de una capa de 7 metros

de espesor que yace suelos moderadamente rígidos. En las proximidades de estas zonas prevalecen la presencia de terrenos de cultivo (Figura 12).

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

Superficie —————> Profundidad							
Línea Sismica	N° DE CAPA						VS30 (m/s)
	1		2		Semiespacio		
	Vs (m/s)	Esp. (m)	Vs (m/s)	Esp. (m)	Vs (m/s)	Esp. (m)	
LS01-QR	295	18	390	-	-	-	322
LS02-QR	193	11	313	12	467	-	263
LS03-QR	138	7	310	18	437	-	247
LS04-QR	171	7	251	11	435	-	258
LS05-QR	193	15	341	-	-	-	236

Suelo blando (Vs < 180 m/s)

Suelo moderadamente rígido (180 – 350 m/s)

Suelo rígido (350 – 500 m/s)

Suelo muy rígido o roca blanda (500 – 800 m/s)

Roca moderadamente duro (800 – 1500 m/s)

Roca dura (Vs > 1500 m/s)



Figura 12: Lugares ubicados al sureste de Querecotillo, cuyos suelos son blandos en superficie

2.3. Tomografía Eléctrica

Se describe los resultados obtenidos para 04 líneas de tomografía eléctrica realizados en el área urbana de Querecotillo, información que permitirá conocer el grado de saturación del suelo mediante los valores de resistividad (ver Figura 7). Las Figuras 13 y 14 muestran la disposición de las diferentes líneas y la Figura 15, el resultado obtenido para la línea LE01-QR. Para los demás perfiles de tomografía eléctrica ver Anexos.

Línea LE01-QR: Realizada en el extremo norte del área de estudio, por el A.H. Santa Elena Baja. Aquí se identifica el predominio de valores muy bajos resistivos ($<20 \Omega.m$), lo que indica la presencia de un alto contenido de humedad. Los suelos están compuestos de arcillas y arenas limosas influenciados por la presencia de canales de regadío, el Dren y terrenos de cultivo (Figura 13).

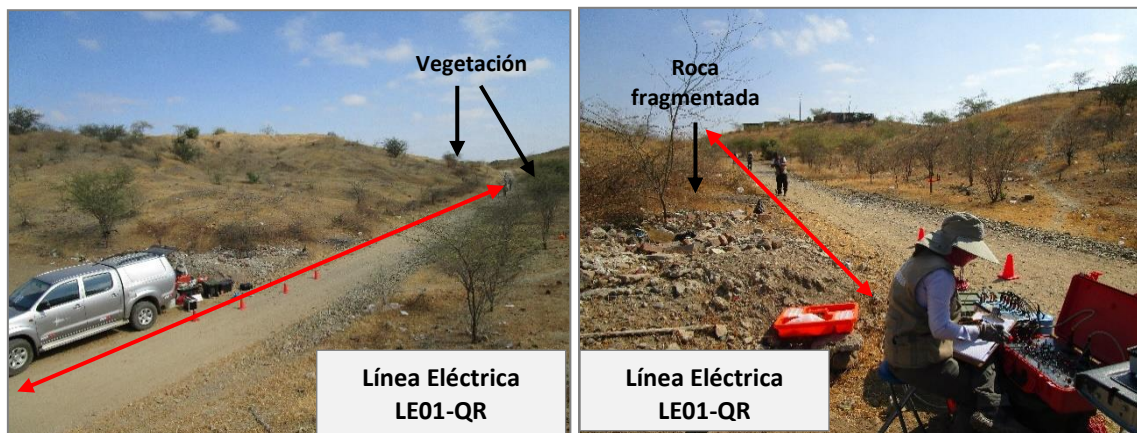


Figura 13: Vista de la línea eléctrica LE01-QR

Líneas LE02-QR, LE03-QR y LE04-QR: Realizadas al oeste, este y noreste de la Plaza de Armas de Querecotillo, por el Campamento Mayor Alfredo Novoa Cava, próximo al A.H. San Fernando y al C.P. Bellavista. Aquí se identifican valores bajos resistivos a muy bajos resistivos ($<100 \Omega.m$) desde la superficie, estando todos asociados a la presencia de humedad en el subsuelo y por la influencia de canales de regadío, el río Chira y los terrenos de cultivo presentes en los

alrededores. En las líneas **LE02-QR** y **LE03-QR** se ha identificado la presencia de material acarreado por inundaciones con suelos compuestos por bolones, gravas, arenas, limos y arcillas; todos ellos presentan moderado contenido de humedad por la presencia del río Chira. Los valores medianamente resistivos (100 a 500 $\Omega.m$) son debidos a la presencia de bolones de depósitos aluviales (Figura 14).



Figura 14: Vista de la línea eléctrica LE02-QR, LE03- QR y LE04- QR.

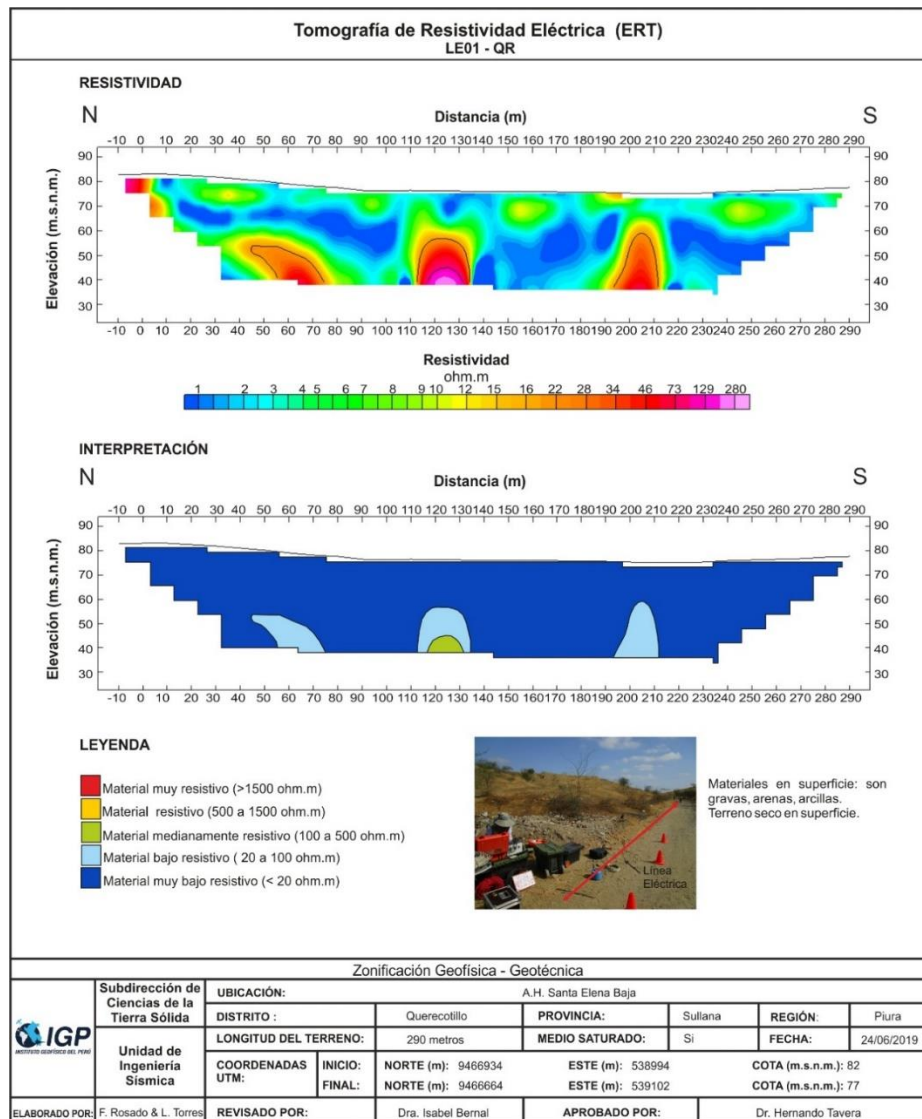


Figura 15: Resultado de tomografía de resistividad eléctrica para la línea LE01-QR.

De acuerdo a los resultados obtenidos, en el extremo sur del área de estudio, los cortes geoeléctricos evidencian la presencia de suelos saturados a niveles superficiales (3 a 5 metros) debido a la presencia de los canales de regadío, terrenos de cultivo y por estar cerca al río Chira. Hacia el extremo norte (en el sector del A.H. Santa Elena Baja), la existencia de dren y canales favorecen a que el medio saturado se encuentre a más de 5 metros de profundidad. Estos suelos están compuestos por arenas y limos no consolidados que permiten el almacenamiento del agua.

3.- ZONIFICACION GEOFÍSICA – GEOTÉCNICA DE SUELOS

El mapa de Zonificación Geofísica - Geotécnica de suelos se elabora a partir de la integración de los resultados obtenidos de la aplicación de métodos geofísicos y geotécnicos, así como, los aspectos geológicos, geomorfológicos y geodinámicos que se presentan en la zona en estudio. Finalmente, con estos resultados y de acuerdo a la información contenida en la Norma Técnica E.030 de Diseño Sismorresistente, se delimita zonas cuyos suelos presenten similares características físicas y dinámicas.

3.1. Integración de resultados

El área urbana de Querecotillo se encuentra a una altura promedio de 65 m.s.n.m. y presenta una superficie plana con pendiente baja a moderada, aunque en dirección norte se identifica la presencia de lomadas que son parte de las estribaciones andinas, condiciones geomorfológicas que influyen en los resultados.

En general, el suelo responde a periodos entre 0.3 y 0.5 segundos, estando los valores mayores distribuidos principalmente en dirección del A.H. Vichayal (extremo SE del área de estudio). De acuerdo con el análisis sísmico, en la zona céntrica predominan suelos moderadamente rígidos ($V_s = 193$ a 341 m/s) con espesores a más de 25 metros y hacia el A.H. San Fernando y Luis Miguel Sánchez Carrión, predominan suelos blandos a moderadamente rígidos ($V_s = 170$ a 250 m/s) con espesores que superan los 18 metros. En la Figura 16, se muestra la correlación geofísica entre los puntos ubicados en los extremos sureste (punto “a”) y norte (punto “b”): aquí los puntos presentan periodos bajos y estratos de menor espesor (A.H. Santa Elena Baja).

En el área de estudio se tiene el predominio de suelos saturados en superficie. Por ejemplo, hacia el sureste se tiene la influencia de los canales de regadío y del río Chira. Asimismo, se identifica alto grado de humedad en

los suelos areno limosos presentes en el A.H. Santa Elena Baja debido a la presencia de canales de regadío. Estos sectores llegan a inundarse durante el periodo de lluvias intensas y/o el Fenómeno de El Niño.

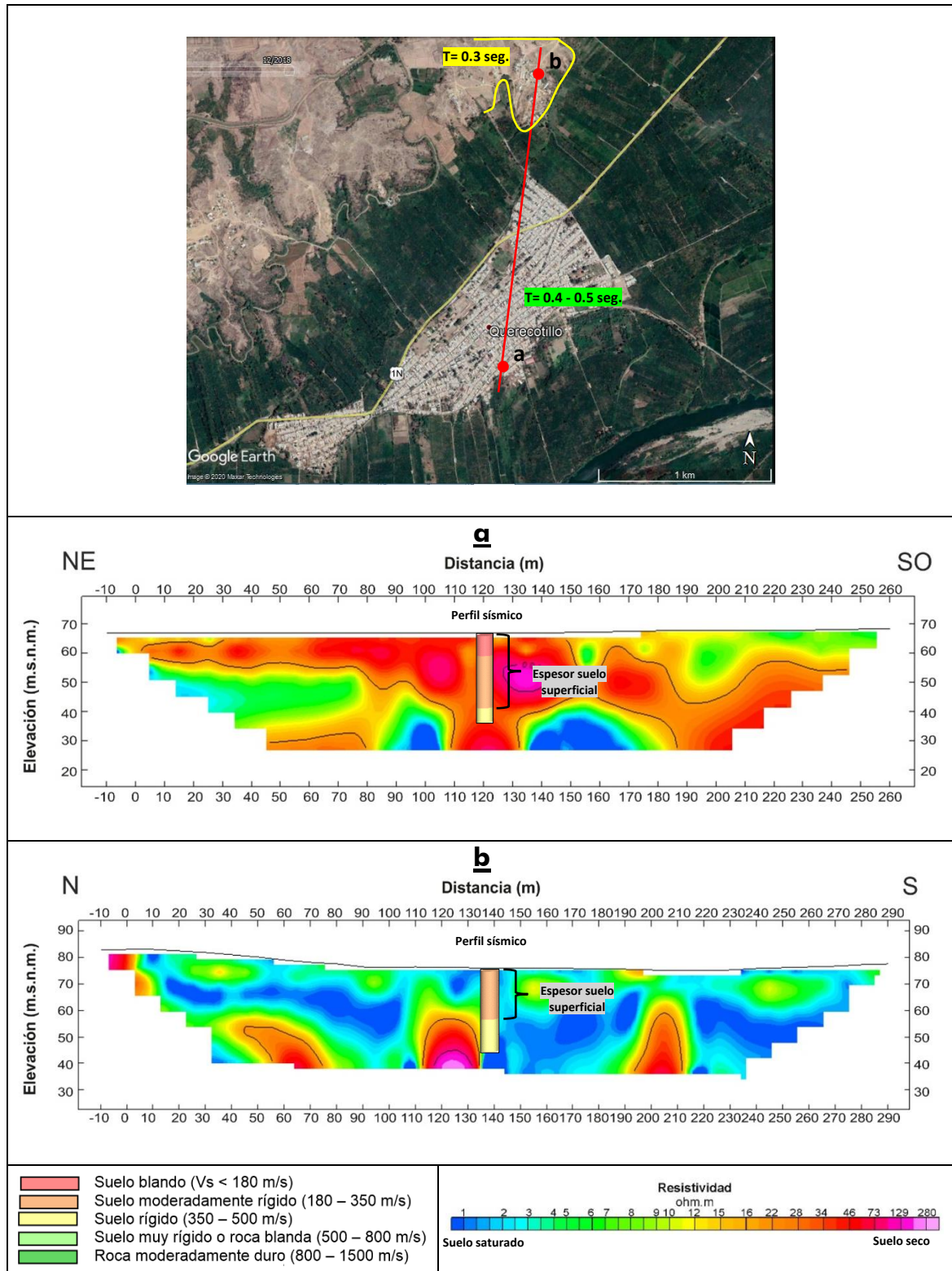


Figura 16: Correlación de los ensayos geofísicos, periodos dominantes, tipo de suelo y grado de saturación.

En el área de estudio, las amplificaciones máximas relativas alcanzan valores de hasta 3 veces, evidenciando que los suelos menos consistentes y con alto nivel freático se presentan en sectores del Campamento Mayor Alfredo Novoa Cava, los AA.HH. Vichayal y San Fernando.

A la ocurrencia de un evento sísmico, los suelos al estar constituido por arenas, limos y acillas, sumado a la saturación a nivel superficial, generaran altas amplificaciones (grandes sacudimientos) que podrían dar origen a procesos de licuación, principalmente al extremo suroeste y sureste del área de estudio. En este sentido, es necesario e indispensable que esta información sea considerada como base para nuevos proyectos de la GRD y en la toma de decisiones.

3.2. Mapa de Zonificación Geofísica y Geotécnica de Suelos

El mapa de Zonificación Geofísica - Geotécnica de suelos para el área urbana de Querecotillo, se elabora integrando los resultados obtenidos con la aplicación de métodos geofísicos y geotécnicos. Las características dinámicas del suelo y sus propiedades mecánicas han permitido identificar en el área de estudio, considerando lo indicado en la Norma de Construcción Sismorresistente E.030, la existencia de suelos Tipo S1 y S2; equivalente a las Zonas I y II respectivamente.

Para el área urbana de Querecotillo y alrededores, se propone la siguiente Zonificación Geofísica - Geotécnica de suelos (Figura 17):

- **ZONA I:** Considera suelos constituidos por material areno limosos, conglomerados y conchuelas distribuidos a nivel superficial. Esta zona presenta, suelos con velocidades de ondas de corte V_s de 295 m/s en promedio para la capa superficial y de hasta 400 m/s; a la profundidad investigada de 30 metros. Asimismo, presenta periodos de vibración natural ≤ 0.3 . Según la NTE.030 estos suelos tienen un comportamiento rígido que corresponde a suelos Tipo S1. Los suelos presentan

moderada saturación y una capacidad de carga admisible entre 1.0 a 2.0 Kg/cm² hasta un metro de profundidad. Esta zona comprende el 5 % del área de estudio: A.H. Santa Elena Baja.

En la Figura 17, las líneas inclinadas en negro delimitan áreas de muy baja amplificación, lo que sugieren que los suelos presentan mayor consistencia.

- **ZONA II:** Considera suelos constituidos por estratos de arenas, limos y arcillas (depósito aluvial) con velocidades de ondas de corte Vs de 173 m/s en promedio para la capa superficial y de hasta 467 m/s en profundidad. Los suelos presentan periodos de vibración natural que varía entre 0.3 y 0.5 segundos. Según la NTE.030 los suelos tienen comportamiento medianamente rígido; es decir, suelos Tipo S2. Los suelos presentan alto grado de saturación y una capacidad de carga admisible de entre 1.0 a 2.0 Kg/cm² hasta un metro de profundidad. Esta zona se encuentra gran parte del área urbana de Querecotillo: A.H. Vichayal, A.H. San Fernando, Plaza de Armas, C.P. Bellavista, entre otros.

Las líneas rojas inclinadas delimitan áreas donde los suelos presentan amplificaciones relativas mayores a 3 veces, sugiriendo que el mayor sacudimiento del suelo a la ocurrencia de un sismo se presentará en sectores del A.H. Vichayal, A.H. San Fernando, Plaza de Armas, Campamento Mayor Alfredo Novoa Cava y hacia el sureste, en sectores próximos a terrenos de cultivo.

Asimismo, en la Figura 17 se delimita con una línea discontinua, los sectores en donde se desarrollan procesos de inundación pluvial y fluvial originada por el fenómeno El Niño en el año 2017. Estos sectores se ubican en el extremo sureste del área urbana de Querecotillo, en áreas que presentar las cotas más bajas por su cercanía al río Chira.

En general, los mapas de zonificación de suelos condicionan el tipo de estructura que se debe construir; es decir, tipo de material, geometría y el número de pisos en las viviendas o en 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.

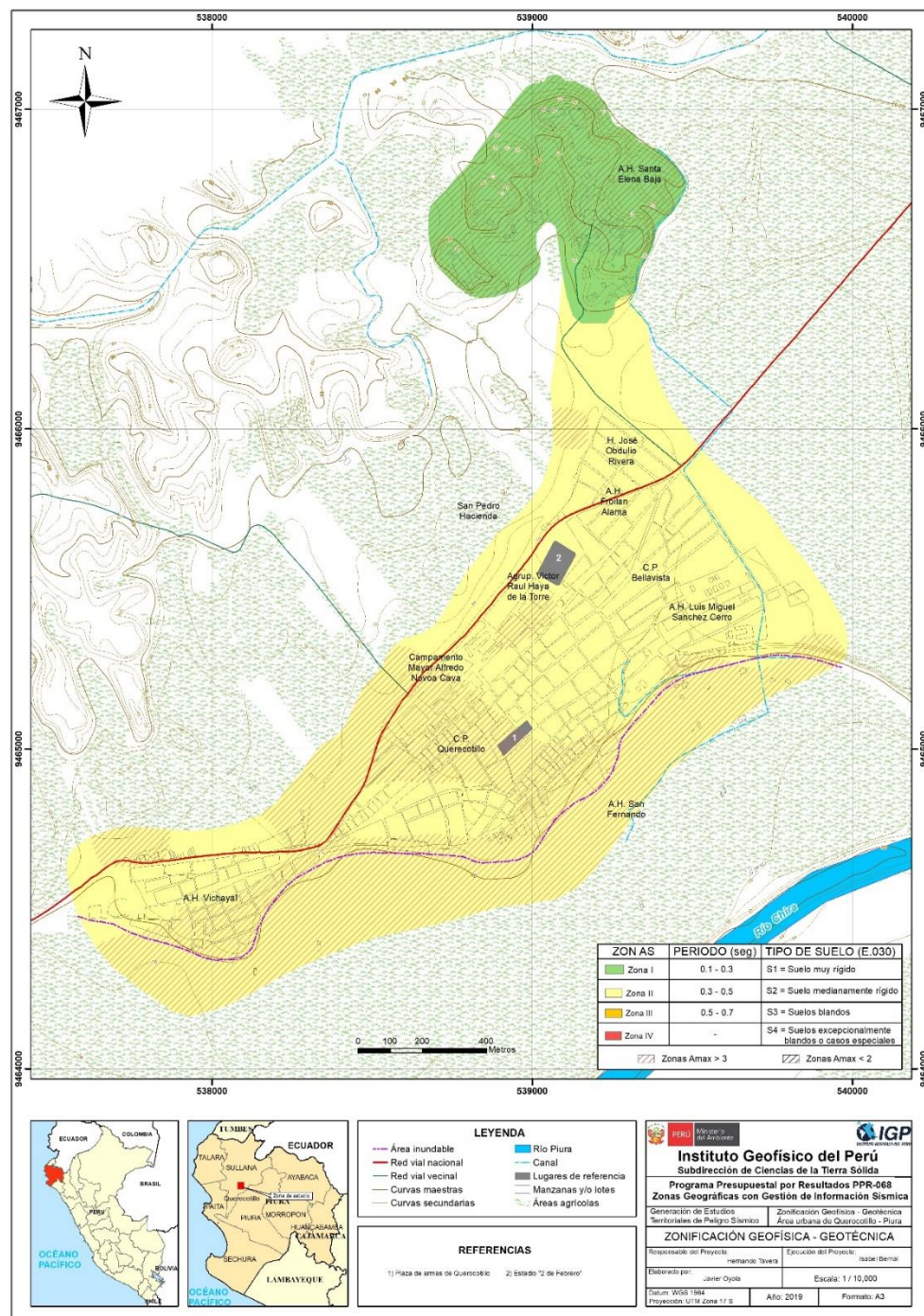


Figura 17: Mapa de Zonificación Geofísica - Geotécnica del área urbana de Querecotillo.

CONCLUSIONES

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

- En el área urbana de Querecotillo se ha identificado 6 tipos de suelos: grava mal graduada (GP), arena limosa (SM), arena mal graduada (SP), arcillas inorgánicas (CL), limos inorgánicos con limos y arenas (MH) y limos inorgánicos (ML). Estos suelos presentan capacidad de carga portante muy baja ($< 1.00 \text{ kg/cm}^2$)
- El área urbana de Querecotillo se caracteriza por presentar cuatro unidades geomorfológicas: lecho fluvial, llanura de inundación, terrazas y lomas. Las tres primeras están conformadas por materiales aluviales (arenas, limos, arcillas); mientras que, rocas tipo areniscas con intercalación de conglomerados en matriz arenosa limosa arcillosa poco consolidados, afloran en los sectores de Santa Elena Alta y Cabo Verde Alto. El evento geodinámico que causó daños en el distrito de Querecotillo son las inundaciones fluviales en la margen derecha del río Chira, ocasionadas por el desborde del río a causa del evento El Niño (precipitaciones extremas) de marzo - 2017, afectando importantes zonas de sembrío de banano de exportación.
- Los suelos del distrito de Querecotillo responden principalmente a frecuencias de entre 1.8 y 4.4 Hz con amplificaciones de hasta 4 veces, principalmente hacia el extremo sureste del área urbana (río Chira, A.H. Vichayal, A.H. San Fernando, Plaza de Armas, Campamento Mayor Alfredo Novoa Cava) y hacia el sureste, en sectores próximos a terrenos de cultivo. Estos resultados sugieren la presencia de suelos de menor consistencia en estos sectores.

- Mediante la relación $T_0=4H/V_s$ y asumiendo velocidades de 280 m/s y 340 m/s para las ondas de corte (V_s) con periodos de 0.3 y 0.4 segundos; se estima la presencia de una capa superficial con espesores de entre 28 y 34 metros.
- En el área de estudio predominan, en superficie, suelos moderadamente rígidos (V_s 193 a 295 m/s) con espesor de 18 metros hacia el norte (A.H. Santa Elena Baja), que conforme se tiende hacia el suroeste y sureste (A.H. Vichayal y A.H. San Fernando), el espesor supera los 30 metros.
- Hacia el sur del área urbana de Querecotillo, se identifica la presencia de suelos saturados desde niveles próximos a la superficie (3 a 5 metros) debido a su proximidad a los canales de regadío y al río Chira. Mientras que, hacia el norte en el sector del A.H. Santa Elena Baja, se identifica sectores con moderado grado de humedad asociado a su proximidad a canales de regadío. El suelo está caracterizado por arenas, limos y arcillas no consolidadas que permiten el almacenamiento del agua.
- Los resultados obtenidos para el área urbana de Querecotillo a partir de sus características físicas y dinámicas del suelo, han permitido identificar, de acuerdo con las consideraciones indicadas en la Norma de Construcción Sismorresistente E.030, la existencia de suelos de Tipo S1 y S2.

BIBLIOGRAFÍA

- ANA. (1980). Inventario y evaluación nacional de aguas subterráneas Cuenca del río Chira. Pag. 79.
- Bard, P-Y. (1995) Effects of surface geology on ground motion: Recent results and remaining issues, In Proc. 10 European Conf. Earth. Eng., ed. Duma, Balkema, Rotterdam, 305-323
- Bard, P-Y y SESAME (2004) The SESAME project: an overview and main results. 13 World Conference on Earthquake Engineering Vancouver, B.C., Canada August 16, 2004 Paper No. 2207
- Beresnev, I.A., K.L. Wen, and Y.T. Yeh 1995a, "Nonlinear Soil Amplification: It's Corroboration in Taiwan. Bull, Seism. Soc. Am., Vol. 85, pp. 496-515
- Bernal, I. (2006) Microzonificación sísmica de la ciudad de Tlaxcala, México. Tesis de Maestría en Ciencias, UNAM, pág. 130.
- Bernal, I., Tavera, H., Sulla, W., Arredondo, L., & Oyola, J. (2018). Geomorphology characterization of Ica basin and its influence on the dynamic response of soils for urban seismic hazards in Ica, Peru. International Journal of Geophysics, 2018, article ID 9434251, 12. <https://doi.org/10.1155/2018/9434251>
- Braja Das, (2011) - Principles of Foundation Engineering, Seven Edition, pág. 139-140.
- Brusi, D., et al (2013) - Enseñanza de las Ciencias de la Tierra. ISSN: 1132-9157. Pág. 181-194.
- Cahill & Isacks (1992) - Seismicity and shape of the subducted Nazca Plate. Journal Geophys. Res., 97, 17503-17529.
- CENEPRED. (2017). Informe de evaluación de riesgo por inundación pluvial en el centro poblado de Querecotillo, distrito de Querecotillo, provincia de Sullana departamento de Piura. Pag. 59.

CENEPRED, (2017) - Informe De Evaluación De Riesgo Por Inundación Pluvial En El Centro Poblado De Querecotillo, Distrito De Querecotillo, Provincia De Sullana, Departamento De Piura

COEN-INDECI (Informe N° 62), 2017-INFORME N° 855-21/12/2017.

CISMID, (2016) - Densidad de campo. Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres. Laboratorio Geotécnico.

Crespo V., C., (2004) - Mecánica de Suelos y Cimentaciones, 5ta edición.

Diario El Comercio, (2015) – Máncora pierde el 70% de su humedal debido a invasiones

Dorbath, L., Cisternas, A., Dorbath, C. (1990). Assessment of the size of large and great historical earthquakes in Peru. Bull. Seismol. Soc. Am., 80 (30), 551-576.

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

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

Harvey, A., M., 1987. Patterns of Quaternary aggradational and dissectional landform development in the Almeria region, southeast Spain: a dry-region tectonically-active landscape. Die Erde 118, 193-215.

Hartzel, S. H. (1992). Site response estimation from earthquake data. Bull. Seism. Soc. Am. 82, 2308-2327

Howie D., & Sy, (2003) - A method for correlating large penetration test (LPT) to standard penetration test (SPT) blow counts.

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

- INEI. (2007). Censo Nacional 2007: XI de Población y VI Vivienda. Lima-Perú. INE Recuperado de <http://censos.inei.gob.pe/cpv2007/tabulados/#>
- INEI (2017). Censo Nacional 2017: XII de Población, VII Vivienda y III de comunidades indígenas. Lima- Perú. Inei. Recuperado de <http://censos.inei.gob.pe/cpv2017/tabulados/#>
- Juárez, E., y Rico, A. (2005) - Fundamentos de la Mecánica de Suelos. Segunda Edición. Limusa S.A. México D.F.
- Jica (Agencia de Cooperación Internacional Japonesa- Ministerio de Agricultura, (2012) Hidrología de Máximas avenidas del río Chira, Apéndice – 5
- Lermo, J. and Chavez-Garcia, F.J. (1993). Site Effect Evaluation Using Spectral Ratios with Only One Station. Bulletin of the Seismological Society of America, 83, 1574-1594.
- Lermo, J. y F.J. Chávez-García (1994a). Are microtremors useful in site response evaluation, Bull. Seism. Soc. Am. 84, 1350-1364 pp.
- Lermo, J. y F.J. Chávez-García (1994b). Site effect evaluation at Mexico City. Dominant period and relative amplification from strong motion and microtremors records, Soil. Dyn. & Earthq. Eng. 13, 413-423 pp.
- Loke, M.H. (2004). Tutorial 2D and 3D electrical imaging surveys.
- Meyerhof, G., G., (1956) – Penetración Test and Bearing Capacity of Cohesionless Soils. Journal of the Soils Mechanics and Foundations División, ASCE, Vol 82 N°SM1, Proc. Paper 886, Jan. 1956, pp-19.
- Ministerio de Economía y Finanzas, (2017) - Informe de seguimiento y Gestión a la Inversión Pública.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2015). <http://renac.mtc.gob.pe/inventariovial/default2.aspx>.
- Nakamura Y. (1989). A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. Quaterly Report Railway Tech. Res. Inst., 30-1, 25-30.

- Norma Técnica de edificaciones E.030. 2018. Aprobada por Decreto Supremo N° 011-2006-VIVIENDA, modificada por Decreto Supremo N° 003-2016-VIVIENDA.
- Orellana, E. (1982). Prospección geoeléctrica en corriente continua. Madrid: Ediciones Paraninfo.
- Palacios, O, (1994) - Geología de los cuadrángulos Paita 11-a, Piura11-b, Talara 10-a , Sullana 10-b, Lobitos 9-a, Quebrada Seca 9-b, Zorritos 8-b, Tumbes 8-c y Zarumilla 7-c. Serie A: Carta Geológica Nacional. Boletín N° 54. Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico- INGEMMET.
- Park, C.B. (2015). Data acquisition. Retrieved 23 June, 2015, from <http://www.masw.com/DataAcquisition.html>
- Park, C.B. (2014). MASW for geotechnical site investigation. *The Leading Edge*, 32(6):656-662.
- Park, C. B., Miller, R. D., Xia, J., & Ivanov, J. (2007). Multichannel analysis of surface waves (MASW)—active and passive methods. *The Leading Edge*, 26 (1), 60–64.
- Park, C. B., Miller, R. D. y Xia, J. (1999). Multichannel analysis of surface waves *Geophysics* 64 800-8.
- Perrone, A., Iannuzzi, A., Lapenna, V., Lorenzo, P., Piscitelli, S., Rizzo, E., and Sdao, F. (2004). Highresolution electrical imaging of the Varco d'Izzo earthflow (southern Italy), *J. Appl. Geophys.*, 5 56, 17–29, doi:10.1016/j.jappgeo.2004.03.004
- Pike, R. J., I. S. Evans, and T. Hengl. 2009. *Geomorphometry: A brief Guide*. *Dev. Soil Sci.* 33: 3-30.
- PRASDES y CIIFEN. (2016). Implementación de Sistema de Alerta Temprana (SAT) en las cuencas binacionales Suches –Titicaca y Catamayo – Chira. Pag. 44.
- Reynolds, J.M. (2011). *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, 2nd ed., 712 pp.
- Rivera, P., A., (2013). Proyecto: Mejoramiento y ampliación del parque Grau del balneario de Máncora, provincia de Talara, departamento de Piura,

estudio de Preinversión a nivel de perfil. Municipalidad Distrital de Máncora.

Samouëlian, A., I. Cousin, A. Tabbagh, A. Bruand y G. Richard, (2006). Electrical resistivity survey in soil science: a review. *Soil Till Res* 83, 173-193

SESAME European research project WP12 – Deliverable D23.12: (2004). Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations measurements, processing and interpretation.

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), (2018). <http://www.senamhi.gob.pe/>

Sieberg, A. (1930). Los Terremotos en el Perú. Capítulo VI, Geología del Perú de G. Steinmann, Heidelberg Carl Winster Universitat-Shuchhan-Lunc, p. 406.

Silgado, E. (1978). Historia de los sismos más notables ocurridos en el Perú (1513 -1974). INGEMMET. Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 3, 130 p.

Silgado, E (1978) Historia de sismos más notables ocurridos en el Perú (1513-1974) primera edición digital, noviembre 2012.

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

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

Tavera, H., Bernal, I., Condori, C., Ordaz, M., Zeballos, A. y Ishizawa, O. (2014) Re-evaluación del peligro sísmico probabilístico para el Perú. Instituto Geofísico del Perú. P. 91.

Tavera, H. y Buforn, E. (2001). Source Mechanism of Earthquakes in Perú, *Journal of Seismology*, 5, 519-539.

Tavera, H., Agüero, C y Fernández, E. (2016). Catálogo general de isosistas para sismos peruano. Instituto Geofísico del Perú. Pag. 196

- Terzaghi, K. Peck, B., G. & Mesri, G., (1948) – Soil mechanics in engineering practice, New York: Wiley.
- Varnes, D.J., (1958) - Landslide types and processes in Eckel E.B., ed., Landslides and Engineering Practice, Highway Research Board Special Report 29, NAS-NRC Publication 544, Washington, D.C. 20-47 p.
- Varnes, D. J., (1978) - Slope Movement: Types and Proceses. In Scuster R. L. y Krizek, R. J., ed. Landslides analysis and control: Washington, D. C. National Academy Press, Transportation Research Board Special report 176. 9-33 p.
- Wyllie, D., C. & Norrish, N., I., (1996). "Stabilization of rock slopes". Landslides investigation and mitigation. Special report 247. Transportation Research Board. National research council, pp. 474-504.
- Xia, J., Miller, R.D., and Park, C.B., 1999, Estimation of near-surface shear-wave velocity by inversion of Rayleigh wave: Geophysics, 64, 691–700.
- Zinck, J. & Valenzuela, C., (1990) – Soil geographic database: structure and application examples. ITC Journal, 1990(3), 270-294.

ANEXOS

La documentación del presente Informe Técnico: “Zonificación Geofísica – Geotécnica de suelos en el área urbana de Querecotillo”, se adjunta en DVD.

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 temáticos

2.- Información Geofísica

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