



PERÚ

Ministerio
del Ambiente



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

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



ZONIFICACIÓN SÍSMICA – GEOTÉCNICA DEL ÁREA URBANA DE CIUDAD NUEVA

Lima - Perú
2018

Instituto Geofísico del Perú

Presidente Ejecutivo: Hernando Tavera

Director Científico: Danny Scipion

Autores

Isabel Bernal

Caracterización Sísmica y Geofísica de Ciudad Nueva

Juan Carlos Gómez

Caracterización Geológica y Geotécnica de Ciudad Nueva

Equipo de Evaluación Geológica y Geotécnica: Segundo Ortiz

Equipo de Evaluación Sísmica y Geofísica: Fabiola Rosado / Henry Salas / Wilfredo Sulla
Liliana Torres / Javier Oyola / Kelly Pari / Luz Arredondo / Jesús Huarachi / Jorge Salas

Personal de apoyo: Augusto Cárdenas / Roberth Yupanqui

Personal administrativo: Marisol Enriquez

Este Informe ha sido producido por:

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

**ZONIFICACIÓN SÍSMICA – GEOTÉCNICA DEL ÁREA
URBANA DE CIUDAD NUEVA**

**Distrito de Ciudad Nueva – Provincia de Tacna
Región Tacna**

RESUMEN

En el marco del Programa Presupuestal por Resultados N°068: Reducción de la Vulnerabilidad y Atención de Emergencias por Desastres se ejecutó el proyecto “Zonas Geográficas con Gestión de Información Sísmica”, el mismo que tuvo como una de sus actividades la “Generación de Estudios Territoriales de Peligro Sísmico” obteniéndose como resultado final, la Zonificación Sísmica - Geotécnica de las áreas urbanas de las ciudades/localidades de Tacna (distrito de Cercado), Alto de la Alianza (distrito de Alto de la Alianza), Ciudad Nueva (distrito de Ciudad Nueva), Boca del Río (distrito de Sama), Ite (distrito de Ite), Ilo y Pampa Inalámbrica (distrito de Ilo), Moquegua (región Moquegua) y Torata y Yacango (distrito de Torata). Estos estudios permiten conocer el Comportamiento Dinámico de los Suelos a partir de la recolección de datos de campo utilizando técnicas geofísicas, sísmicas, geológicas y geotécnicas.

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

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

ÍNDICE

RESUMEN

ÍNDICE

PARTE 1: Presentación

1. Introducción

1.1. Objetivo

1.2. Historia

1.3. Accesibilidad y clima

1.4. Economía

1.5. Estudios Previos

2. Condiciones locales de sitio

2.1. La Norma Técnica E.030

Conclusiones

PARTE 2: Caracterización geológica y geotécnica de Ciudad Nueva.

PARTE 3: Caracterización sísmica y geofísica de Ciudad Nueva.

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS: Documentos y Anexos se adjunta en un DVD.

1. INTRODUCCIÓN

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

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

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

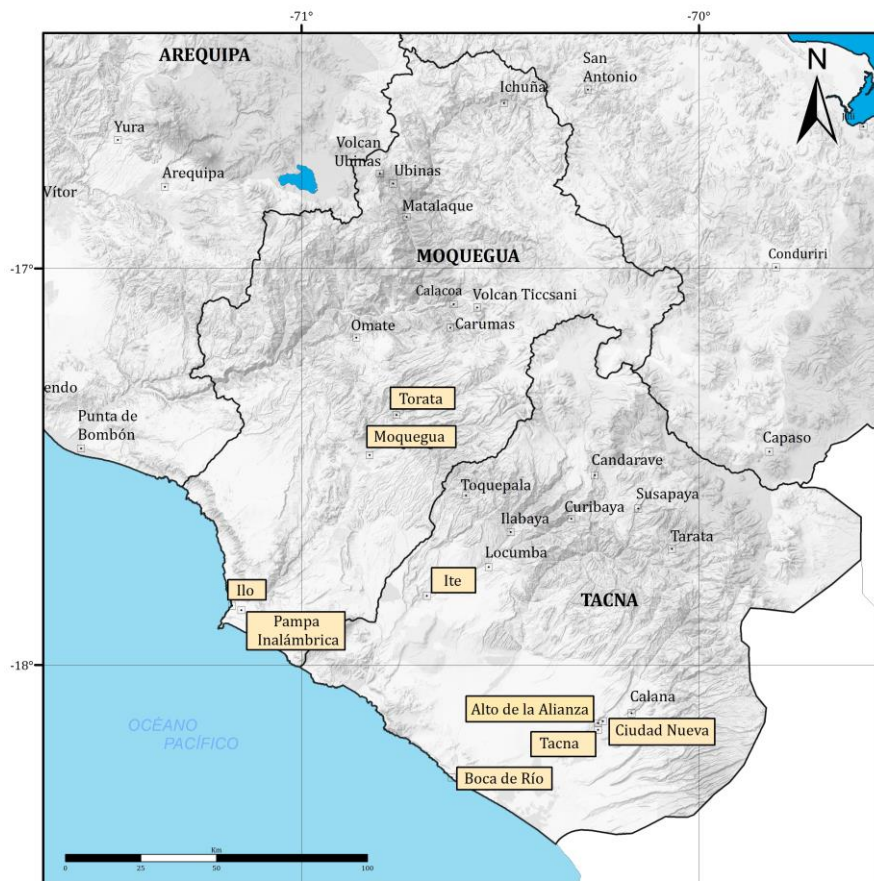


Figura 1: Distribución espacial de las ciudades intervenidas durante el año 2017: Zonificación Sísmica - Geotécnica de suelos.

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

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

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

arquitectos, etc.

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

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

1.1. Objetivo

El principal objetivo a cumplir en este estudio es obtener el mapa de Zonificación Sísmica - Geotécnica para el área urbana de Ciudad Nueva, provincia de Tacna, región de Tacna, a partir de la integración de los resultados obtenidos con los estudios sísmicos, geofísicos, geológicos y geotécnicos. Asimismo, es de interés del presente estudio que las autoridades dispongan de un documento técnico que les ayude en el desarrollo y ejecución de proyectos orientados a la gestión del ordenamiento territorial y desarrollo sostenible de la ciudad.

1.2. Historia

La presión migratoria en la ciudad de Tacna se intensifica en los años 1970, ocupando diversos espacios aledaños al área urbana de la ciudad en mención, especialmente en la parte norte. Por esta razón la Dirección Regional de Vivienda y Construcción, en el año 1979, elabora un proyecto de vivienda de 621 433.84 m² denominado “Asentamiento A”, ubicado en el cono norte como continuación del distrito de Alto Alianza, incluido dentro del plan regulador como “área de expansión urbana”.

A partir de setiembre de 1980, mediante sorteo se inicia la adjudicación de lotes para vivienda en las áreas correspondientes a los actuales comités 1 y 2, posteriormente 28 de junio de 1981, se aprobó el nombre de Asentamiento Ciudad Nueva.

En el año 1984 se aprueba el plano de lotización perimétrica, considerándose en la memoria descriptiva, áreas destinadas para la construcción de obras importancia económica, tales como: mercados, centros educativos, iglesia, puesto policial y local comunal.

Para el año 1986 se le otorga la categoría de Centro Poblado Menor y en 1990 se inician los trámites de reconocimiento como distrito, aprobándose el 6 de noviembre del 1992 y publicándose el 20 de noviembre del mismo año, bajo la ley 25851 (Municipalidad de Ciudad Nueva), ver Figura 2.



Figura 2: Plaza principal de Ciudad Nueva.

Ciudad Nueva es un distrito periférico al distrito de Tacna, está situada en un valle y en la ladera del cerro Intiorko, cuyo crecimiento poblacional en los últimos años ha sido acelerado y desordenado, donde la mayoría de los habitantes son emigrantes del departamento de Puno. Por la característica topográfica no tiene grandes áreas de terreno para la expansión urbana, y su crecimiento está dado por núcleos independientes adecuados a la topografía existente. La población beneficiada en Ciudad Nueva tiene una población de 34,412 habitantes (INEI, 2015) y limita por el norte con la provincia de Tarata, por el sur con el distrito de Pocollay, por el este con los distritos de Pachía, Calana y Pocollay y al oeste con el distrito de Alto de la Alianza. El distrito de Ciudad Nueva ocupa un área de 173 km² y fue reconocido como distrito en 1992 en el gobierno del Presidente Alberto Fujimori (Figura 3).



Figura 3. Mapa de ubicación geográfica del área urbana de Ciudad de Nueva.

1.3. Accesibilidad y Clima

El acceso al área urbana de Ciudad Nueva se realiza por la carretera Panamericana Sur, vía asfaltada en buen estado de conservación hasta la ciudad de Ilo (1091 km), luego se continúa por la costanera (recorrido de 94 km), hasta llegar a la municipalidad distrital de Tacna. Luego recorriendo 8 minutos hacia el noreste, se llega al distrito Ciudad Nueva (MTC, 2580).

El distrito de Ciudad Nueva, por su ubicación geográfica, presenta características propias de una zona árida intertropical. Sus principales características son: alta humedad atmosférica, de 75 % a 85%; y debido a sus escasas precipitaciones, solo se registran finas garuas o lloviznas insignificantes e irregulares en años normales. Existe alta nubosidad y se perciben dos estaciones bien constantes: el verano (diciembre-marzo) y el invierno (julio-septiembre); mientras que, el otoño y la primavera son estaciones intermedias.

Las temperaturas medias en Ciudad Nueva alcanzan, la máxima de 27.2° C en verano (febrero) y la mínima de 9.5° C en invierno (julio), tal como lo señalan los registros de la estación climática Jorge Basadre-Tacna, ver Tabla 1.

Tabla 1: Información climatológica de Ciudad Nueva – Período 2005 - 2009 (Fuente SENAMHI y Municipalidad distrital de Ciudad Nueva)

ESTACIÓN / AÑO	TEMPERATURAS MEDIAS (°C)			PRECIP. TOTAL (mm.)
	Máxima	Mínima	Promedio	
2005	28.10	9.20	18.60	10.00
2006	28.00	13.10	20.50	81.10
2007	29.70	10.40	20.00	30.60
2008	27.30	9.50	18.40	12.50
2009	27.20	9.50	18.30	46.10

1.4. Economía

El 50% el total del presupuesto institucional de Ciudad Nueva proviene del canon y regalías mineras. De este, el 40% está destinado para gastos de mejoramiento de infraestructuras para el desarrollo del comercio y turismo.

1.5. Estudios previos

Para Ciudad Nueva, se ha recopilado información sobre estudios previos de geología, geotécnica, sísmica y geofísica realizados por diversos investigadores e instituciones a fin de ser considerada para proyectar los objetivos del presente estudio; además de, complementar los resultados a obtenerse. Entre los

principales documentos técnicos consultados, se tiene:

- Tavera (2001): El terremoto de Arequipa del 23 de junio del 2001, Informe Preliminar. Este documento describe que, el sábado 23 de junio del año 2001, cerca de las 15:33H (hora local), se produjo un terremoto en el sur del Perú de magnitud M 7.9, con epicentro a 82 kilómetros de la localidad de Ocoña, en la Región Arequipa, afectando a las Regiones de Arequipa, Moquegua y Tacna; además de ser percibido en Bolivia y Chile. Este fue el más devastador terremoto del Perú desde la catástrofe de 1970 en Áncash. El distrito más afectado en Tacna fue, Ciudad Nueva.
- Chura (2012): Evaluación y propuesta de un plan de gestión del riesgo de origen sísmico en el distrito de Ciudad Nueva. En este documento se identifica; el riesgo sísmico de las viviendas en este distrito es de un nivel alto en 82,56%. Se concluye que frente a un evento sísmico, las estructuras podrían presentar problemas de asentamientos por estar construidos sobre suelos flexibles y de baja capacidad portante; además, posee un suelo de cimentación conformado por materiales areno limosos con capacidad portante de 0,30 a 1 ,00 kg/cm²; asimismo la topografía de la zona define un relieve plano y pendientes en las laderas del Cerro Intiorko.
- Alva y Ortiz (2015): Caracterización dinámica de los suelos en la ciudad de Tacna – Ciudad Nueva. En este estudio se determinan las características dinámicas de los suelos de la ciudad de Alto de la Alianza mediante el uso de análisis de información acelerográfica e investigación geofísica (MASW). Concluyen que las mayores amplificaciones sísmicas estarán en este distrito.
- Luque y Gómez (2016): Evaluación Geológica – Geodinámica en la quebrada del Diablo. Este documento describe que, la quebrada del Diablo se encuentra sobre la geoforma del Valle Caplina con pendiente moderada de 5°. Además, describe las unidades litológicas presentes en el área de estudio, pertenecientes a rocas volcánicas del Paleógeno-Neógeno (Formación Huaylillas y Millo) y depósitos del Cuaternario (Cenizas volcánicas, aluvial y antropogénicos). Finalmente, en geodinámica identificó movimientos en masa antiguos y activos, cuyos principales peligros geológicos inventariados son flujos, caídas y derrumbes. De acuerdo al mapa de susceptibilidad a los movimientos en masa del Perú (Fidel et al, 2010), se identifica que el área de estudio se encuentra en zona de moderada susceptibilidad a la generación de movimientos en masa.

2. CONDICIONES LOCALES DE SITIO

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

Las condiciones locales de sitio son evaluadas en los estudios de Zonificación Sísmica - geotécnica y el resultado es considerado como una de las herramientas más importantes para minimizar los daños producidos por los sismos. La finalidad es evaluar el comportamiento dinámico de los suelos (CDS), teniendo en cuenta que la intensidad de las sacudidas sísmicas varía considerablemente a distancias cortas y áreas pequeñas. Diversos estudios muestran, que los suelos ante la incidencia de ondas sísmicas asociadas a movimientos débiles y/o fuertes, responden de acuerdo a sus condiciones locales, pudiendo estos modificar el contenido frecuencial de las ondas y/o generar amplificaciones de las ondas sísmicas (Hartzell, 1992; Beresnev et al., 1995; Bard 1995; Lermo y Chávez-García, 1993, 1994 a, b; Bard y Sesame, 2004; Bernal, 2002), ver Figura 4.

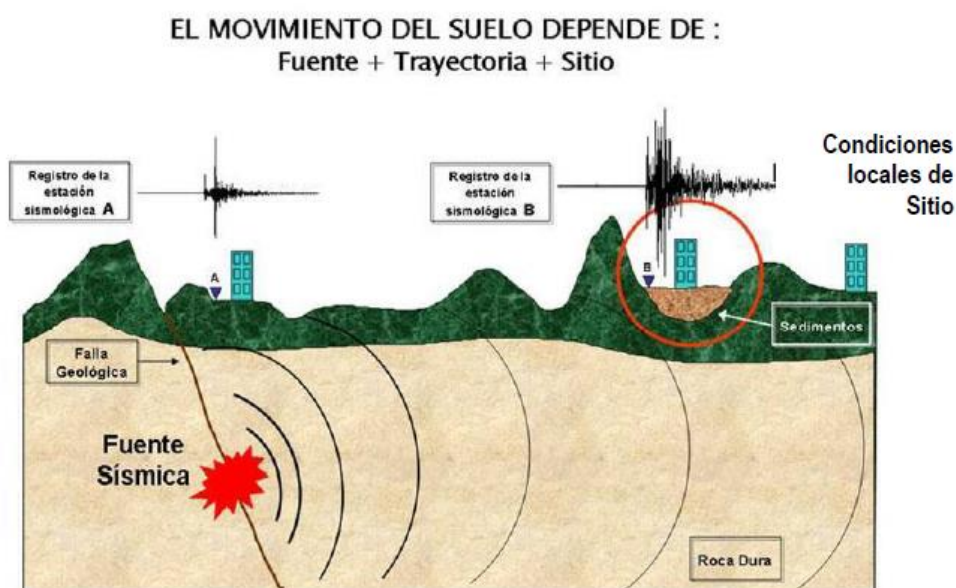


Figura 4: Las condiciones locales de sitio controlan la amplificación del sacudimiento del suelo, puesto en evidencia con la amplitud del registro sísmico obtenido sobre roca y sedimentos.

La metodología a seguir para lograr el mayor conocimiento sobre el comportamiento dinámico del suelo o efectos de sitio en regiones de moderada a alta sismicidad, considera estudios geológicos, geomorfológicos, geotécnicos, sísmicos y geofísicos. Cada uno de estos campos de investigación proveen de información básica a partir de observaciones de campo y la toma de data in situ, para lo cual es necesario disponer de mapas catastrales actualizados de las zonas en estudio, así como los correspondientes a las zonas de futura expansión urbana.

En conclusión, los efectos que produce cada tipo de suelo sobre la propagación y amplitud de las ondas sísmicas, permiten tipificar los suelos y estimar su comportamiento dinámico. El resultado final es el Mapa de Zonificación Sísmica - Geotécnica que debe constituirse como el documento más importante en las tareas y programas de gestión del riesgo ante la ocurrencia de sismos.

2.1.- La Norma Técnica E.030

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

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

Perfil	V_{s30} (m/s)	Descripción
S₀	> 1500	Roca dura
S₁	500 a 1500	Roca o suelo muy rígido
S₂	180 a 500	Suelo medianamente rígido
S₃	< 180	Suelo blando
S₄	Clasificación basada en el EMS	Condiciones Excepcionales

- **Perfil Tipo S₃: Suelos Blandos**, corresponden suelos flexibles con velocidades de propagación de onda de corte V_s menor o igual a 180 m/s.
- **Perfil Tipo S₄: Condiciones Excepcionales**, corresponde a suelos excepcionalmente flexibles y los sitios donde las condiciones geológicas y/o topográficas son particularmente desfavorables, en los cuales se requiere efectuar un estudio específico para el sitio. Será determinado con un Estudio de Mecánica de Suelos (EMS).

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

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

Dónde:

d_i = espesor de cada uno de los estratos n.

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

En general, para cualquier estudio se deberá considerar el tipo de suelo que mejor describa las condiciones locales de cada zona de interés. Para este estudio, la Zonificación Sísmica – Geotécnica se realiza en función de las características mecánicas y dinámicas de los suelos que conforman el terreno de cimentación del área de estudio y de las consideraciones dadas por Norma E.030 (Diseño Sismorresistente). En tal sentido y de acuerdo a los estudios realizados, se establece la existencia de 5 zonas cuyas características son:

ZONA I: Comprende a suelos Tipo S1, cuyas velocidades de ondas de corte (V_s) varían entre 500 y 1500 m/s, correspondiendo a suelos rígidos a muy rígidos. Esta zona está conformada por estratos de grava coluvial que se encuentra a nivel superficial o cubiertos por un estrato de material fino. Los periodos predominantes en esta zona son de 0.1 y 0.3 segundos.

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

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

ZONA IV: Zona conformada por depósitos de arena eólicas de gran espesor, depósitos fluviales, depósitos marinos y suelos pantanosos. Su comportamiento dinámico ha sido tipificado como suelo Tipo S4 de la norma sismorresistente peruana (Según la Norma E.030, es un caso especial y/o condiciones excepcionales).

ZONA V: Comprende a suelos Tipo S4, cuyas características físicas y dinámicas son excepcionales. Esta zona está conformada por:

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

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

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

Esta zonificación condiciona el tipo de estructura que se debe construir; es decir, tipo de material, geometría y el número de pisos en las viviendas o de grandes obras de ingeniería. Se debe buscar que el periodo fundamental de respuesta de la

estructura no coincida con la del suelo a fin de evitar el fenómeno de resonancia y/o una doble amplificación sísmica.

CONCLUSIONES

El estudio de Zonificación Sísmica - Geotécnica de Ciudad Nueva, ha permitido llegar a las siguientes conclusiones:

- En el área de estudio se han identificado dos unidades geomorfológicas: terraza aluvial (sobre el cual se asienta el casco urbano de Ciudad Nueva) y lomas (identificadas a 1 km al norte y noreste de Ciudad Nueva).
- En Ciudad Nueva se ha identificado un evento geodinámico de flujo de detritos, que se evidencia en el sector de quebrada Caramoye, ubicada a 2 km al noreste de dicha ciudad. En caso de reactivarse la quebrada afectaría a las asociaciones: Santa Cruz de Belén, Alto Belén, AAPITAC, Tacna Heroica y Virgen del Carmen.
- Según los resultados de Tomografía eléctrica, en la zona norte del área urbana de Ciudad Nueva predominan medios saturados (bajas resistividades) asociadas a la formación Huaylillas y a quebradas estacionales; mientras que al Este predominan medios no saturados (altas resistividades), asociada a depósitos de cenizas y aluviales. El nivel freático en Ciudad Nueva se encontraría a profundidades mayores a las que alcanzó el estudio (39 metros).
- Según los resultados de Tomografía eléctrica, en la zona norte del área urbana de Ciudad Nueva predominan medios saturados (bajas resistividades) asociadas a la formación Huaylillas y a quebradas estacionales; mientras que al Este predominan medios no saturados (altas resistividades), asociada a depósitos de cenizas y aluviales. El nivel freático en Ciudad Nueva se encontraría a profundidades mayores a las que alcanzó el estudio (39 metros).
- Los resultados obtenidos para el área urbana de Ciudad Nueva han permitido identificar, según las características dinámicas del suelo, sus propiedades mecánicas y el procedimiento establecido en la Norma E.030, la existencia de dos zonas sísmicas correspondientes a suelos Tipo S1 y S4 que comprenden a suelos muy rígidos a semi-rígidos y excepcionales. Asimismo, se define como caso especial al sector ubicado al suroeste por presentar altas amplificaciones, (Figura 5).

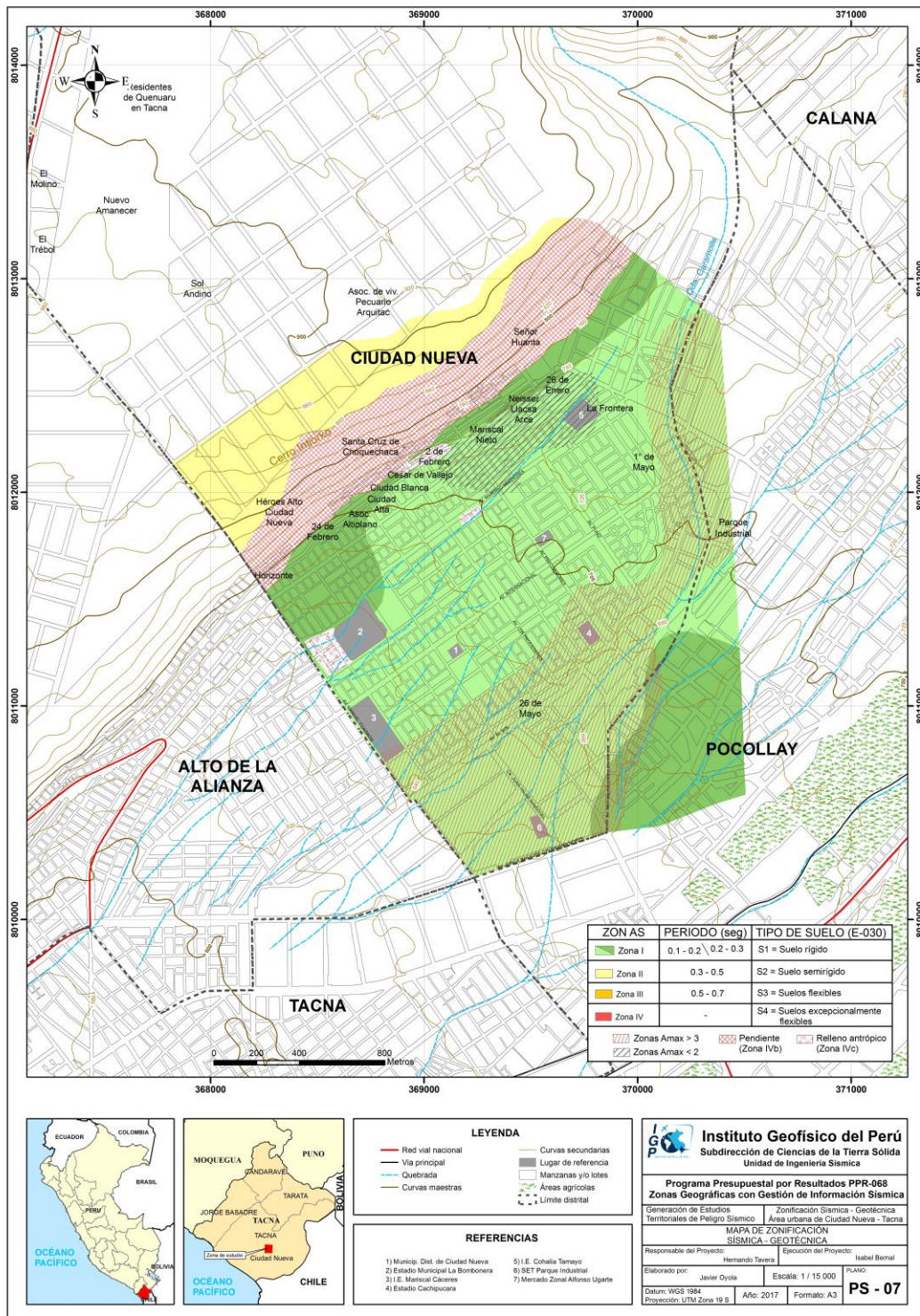


Figura 5: Mapa de Zonificación Sísmica – Geotécnica para el área urbana de Ciudad Nueva y alrededores.

**CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA
DEL ÁREA URBANA DE CIUDAD NUEVA**

CONTENIDO

1. METODOLOGÍA

2. GEOMORFOLOGÍA

- 2.1. Modelo Digital de Terreno (MDT)
- 2.2. Pendientes
 - 2.2.1. Clasificación del grado de pendientes
- 2.3. Unidades geomorfológicas

3. GEOLOGÍA

- 3.1. Geología regional
 - 3.1.1. Geología histórica
 - 3.1.2. Geología estructural
- 3.2. Geología local
 - 3.2.1. Formación Huaylillas (Nm-hu)
 - 3.2.1. Formación Millo (NP-mi)
 - 3.2.1. Depósitos Cuaternarios

4. GEODINÁMICA

- 4.1. Procesos de geodinámica interna
- 4.2. Procesos de geodinámica externa

5. ASPECTOS GEOTÉCNICOS

- 5.1. Exploraciones a cielo abierto (calicatas, norma ASTM D 420)
- 5.2. Densidad del suelo in-situ (Norma ASTM D1556)
- 5.3. Exploraciones con posteadora manual o mecánica (Norma ASTM D1452)
- 5.4. Ensayos de penetración dinámica ligera (norma DIN 4094)
- 5.5. Correlación entre el “N” DPL y el “N” SPT (ASTM D1586)
- 5.6. Clasificación de suelos SUCS en Ciudad Nueva
- 5.7. Ensayos de corte directo (Norma, ASTM D-3080)
- 5.8. Capacidad de carga admisible
 - 5.8.1. Carga última (qu)
 - 5.8.2. Tipos de capacidad de carga admisible

CONCLUSIONES

1. METODOLOGÍA

Para realizar la caracterización geológica y geotécnica de los suelos de Ciudad Nueva se ha seguido la siguiente metodología:

- **Gabinete I:** Las actividades realizadas incluyeron la revisión de imágenes satelitales (WorlView-2 con resolución 0.5m., del servidor DigitalGlobe, año2010), que fueron georreferenciadas mediante el uso de sistemas de información geográfica (SIG). Asimismo, se procedió con la recopilación de información geológica regional y local existente (boletines geológicos, informes técnicos, entre otros).

- **Campo I:** Se realizó el cartografiado de las unidades geomorfológicas y litológicas aflorantes a escala 1:15 000. Asimismo, se identificó y delimitó los eventos geodinámicos relacionados al flujo de lodos hacia el noreste de la ciudad de Ciudad Nueva e inundaciones, si las quebradas se reactivaran en tiempos de precipitaciones pluviales.

- **Campo II:** Elaboración de ensayos geotécnicos de acuerdo al siguiente detalle:
Elaboración de calicatas a una profundidad promedio de 3.00 m. En Ciudad Nueva se realizaron 09 calicatas distribuidas en el centro urbano y zonas de expansión urbana.

Ensayos de penetración dinámica ligera (DPL), éstos se elaboraron con el fin de determinar la resistencia de los suelos al ser penetrado. En Ciudad Nueva se realizaron 14 DPLs.

Extracción y perforación superficial haciendo uso de una posteadora, en zonas intermedias a la ubicación de las calicatas más próximas. En el área de estudio se realizaron a cabo 9 posteos.

- **Laboratorio:** Análisis de las muestras de suelos, a través de ensayos de laboratorio, tales como granulometría, (tipo de suelos SUCS), humedad, densidad y corte directo (capacidad portante).

- **Gabinete II:** Análisis de los resultados obtenidos en campo y de laboratorio, de Mecánica de suelos. Cálculo de las capacidades portantes de los suelos y

registro de resultados de los ensayos geotécnicos realizados en campo. Además, de la elaboración de fichas geotécnicas (Densidades, logueo de calicatas, clasificación SUCS, etc.).

2. GEOMORFOLOGÍA

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

El estudio de la geodinámica externa se efectúa en un sistema proceso-respuesta, siendo el primero el agente creador (origen) y el segundo la geoforma resultante. El término geoforma es un concepto genérico que designa todos los tipos de formas de relieve independientemente de su origen y dimensión (Zinck, 1988; Zinck & Valenzuela, 1990). En este capítulo se describen las características físicas de las geoformas existentes en Ciudad Nueva, en relación a su origen.

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

2.1. Modelo Digital del Terreno (MDT)

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

Para la elaboración del MDT del distrito de Ciudad Nueva, se utilizó como herramientas SIG sobre las curvas de nivel diseñadas anteriormente, obteniendo como resultado la representación digital de la superficie del terreno de la localidad, que cubre un área de 20.20 km², que corresponden al 11.30% de la superficie distrital.

En base al MDT elaborado para Ciudad Nueva, se ha reconocido que la zona urbana se asienta sobre una terraza aluvial, la cual presenta un rango de cotas entre 550 y 750 m.s.n.m. En la parte alta del cerro Intiorko se encuentra en un rango de cotas de 850 a 1000 m.s.n.m. (Figura 1)

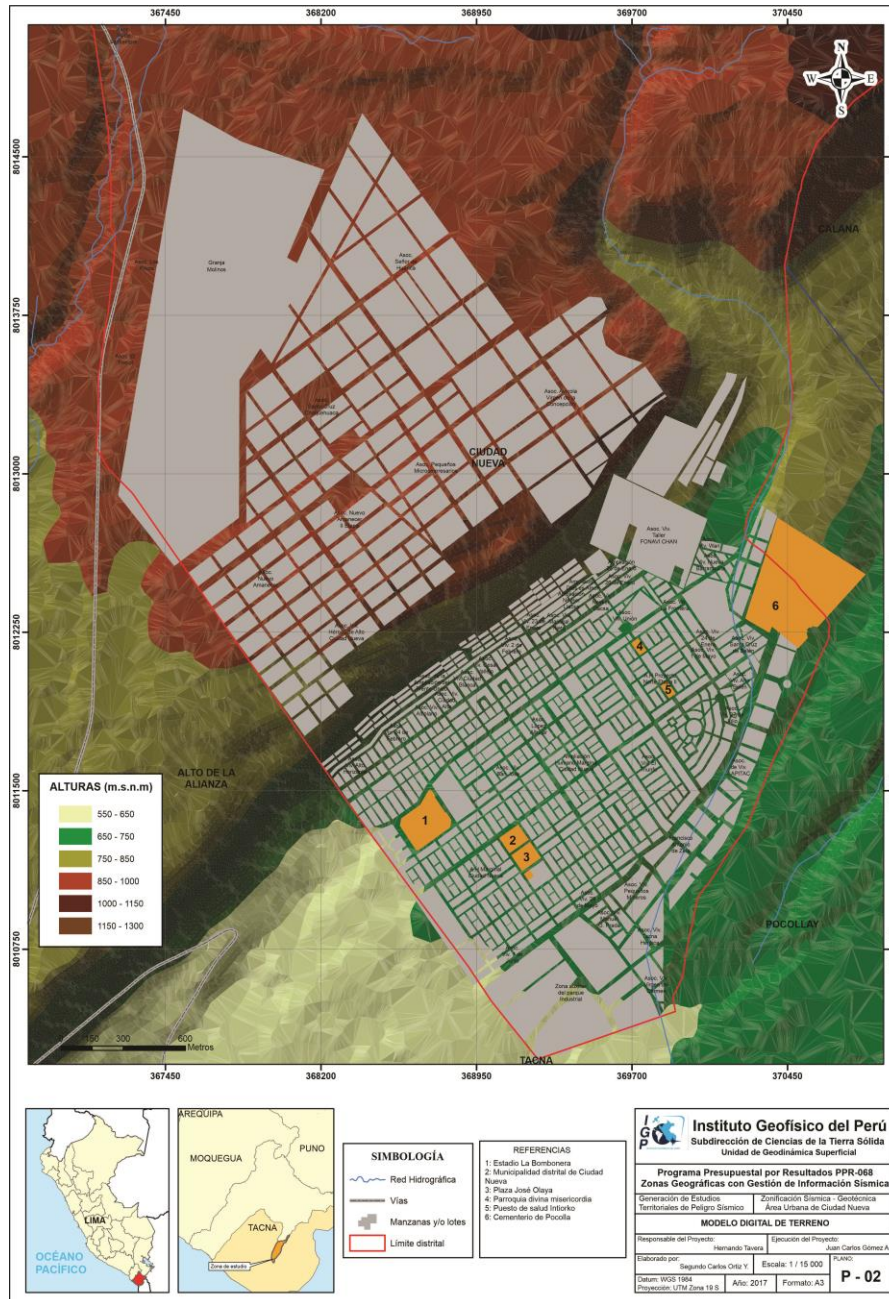


Figura 1: Mapa de modelo digital de elevación para el área urbana de Ciudad Nueva y alrededores.

2.2. Pendientes

Este parámetro influye en la formación de los suelos y condiciona el proceso erosivo, puesto que, mientras más pronunciada sea la pendiente, la velocidad del agua

de escorrentía será mayor, no permitiendo la infiltración del agua en el suelo (Belaústegui, 1999).

El diseño del mapa de pendientes de la ciudad de Ciudad Nueva fue desarrollado a partir del MDT elaborado anteriormente, haciendo usos de herramientas de geoprocésamiento (área de influencia, construcción de modelos, análisis espacial, etc.) para diferenciar gráficamente los ángulos de inclinación del relieve en el área de estudio (Figura 2).

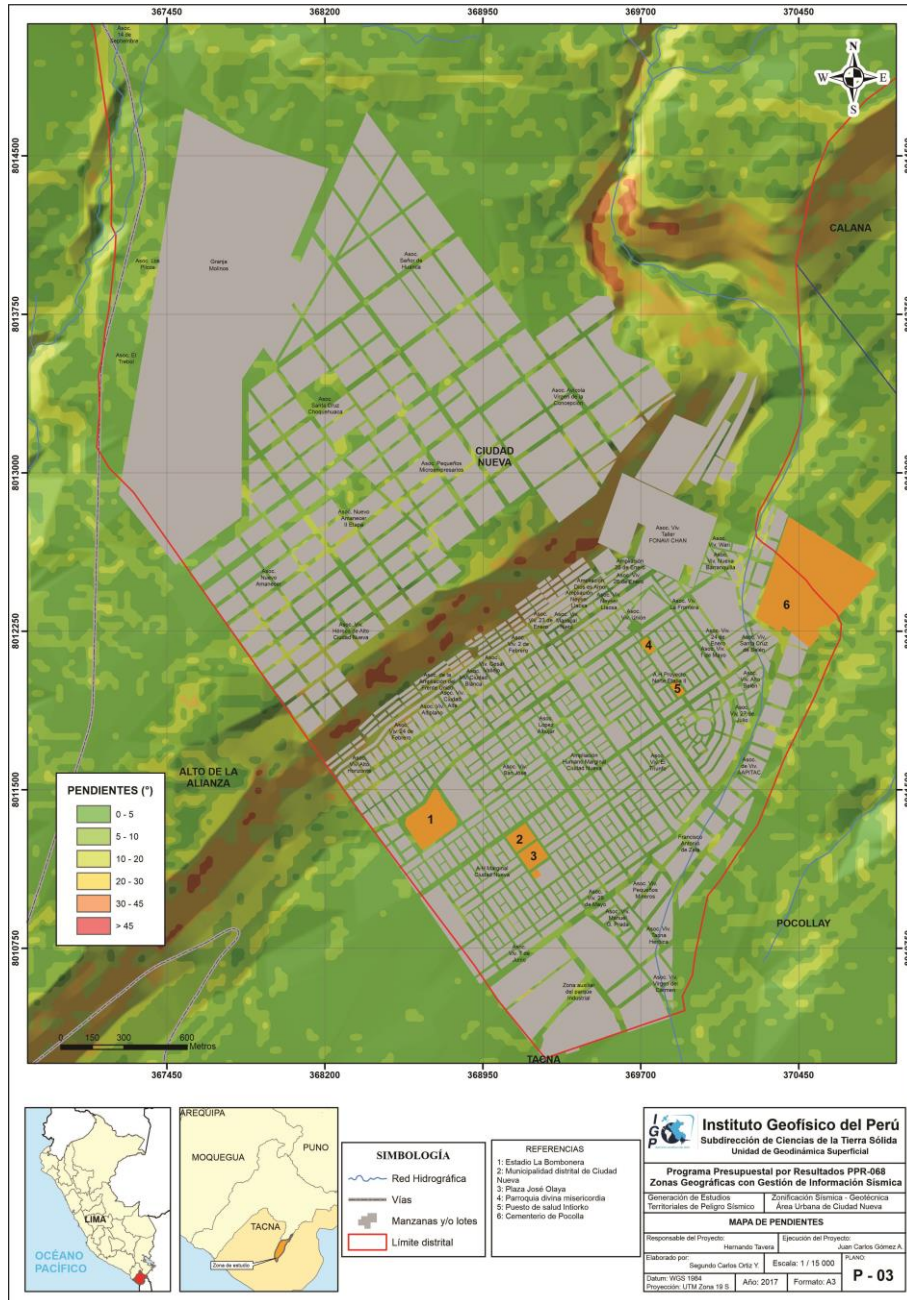


Figura 2: Mapa de pendientes del terreno para el área urbana de Ciudad Nueva y alrededores.

2.2.1. Clasificación del grado de pendientes

Para la clasificación de los rangos de pendientes se usó la hipótesis de Fidel et al. (2006), ver Tabla 1:

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

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

La mayor parte del área urbana de Ciudad Nueva se encuentra asentada sobre una terraza aluvial que presenta pendientes menores a 10° en promedio. Por otro lado las asociaciones de Nuevo Amanecer, Héroes de Alto Ciudad Nueva, Nuevo Amanecer II Etapa, Pequeños Microempresarios, Avícola Virgen de la Concepción y señor de Huanca; presentan pendientes de 5° y 10°.

2.3. Unidades geomorfológicas

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

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

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

En base a las características físicas de las geoformas y su origen, en Ciudad Nueva, se cartografiaron 2 unidades: terraza aluvial y lomas, ver Tabla 2 y Figura 3.

Tabla 2: Determinación de geformas en base a las características físicas y su origen.

GEOMORFOLOGÍA PATRÓN			
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		ORIGEN	UNIDAD GEOMORFOLÓGICA
Pendiente	<35°	Denudacional	Lecho fluvial
Altura	<300 m		Loma
Geometría	alargada		
Drenaje	dendrítico		
Pendiente	<5°	Depositacional	Playa
Geometría	irregular		
Drenaje	variable		
Geometría	redondeada		Terraza aluvial
	alargada		

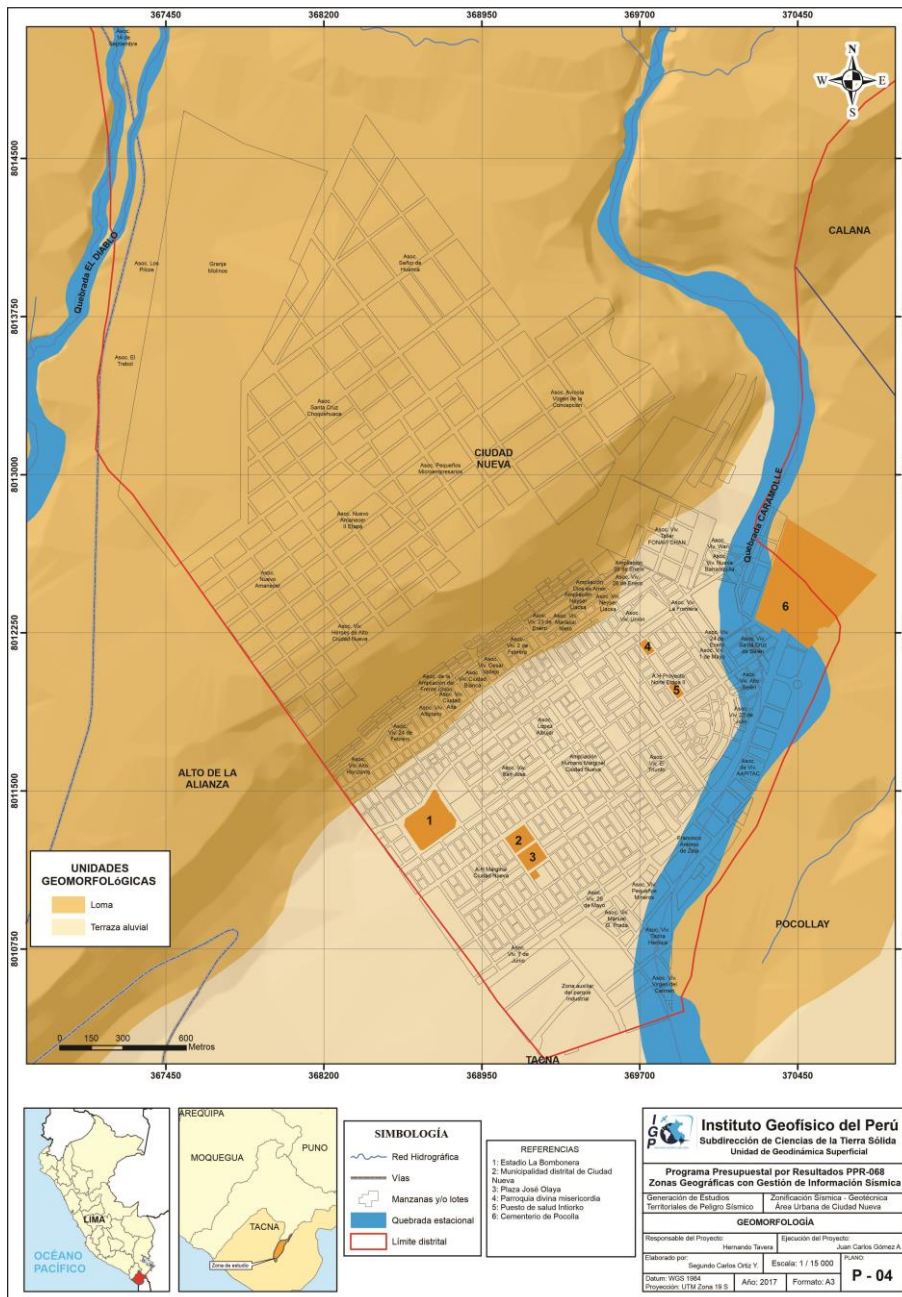


Figura 3: Mapa geomorfológico para el área urbana de Ciudad Nueva y alrededores.

Terraza aluvial: Las terrazas aluviales son plataformas planas, más o menos extensas y continuas, que tienen un desnivel constante en relación con el lecho fluvial. Esta unidad geomorfológica de origen depositacional presenta una pendiente $< 10^\circ$, así como una geometría irregular y drenaje variable. Abarca el 30% de la zona de estudio (Figura 4). Sobre esta terraza se asienta la el casco urbano de Ciudad Nueva.

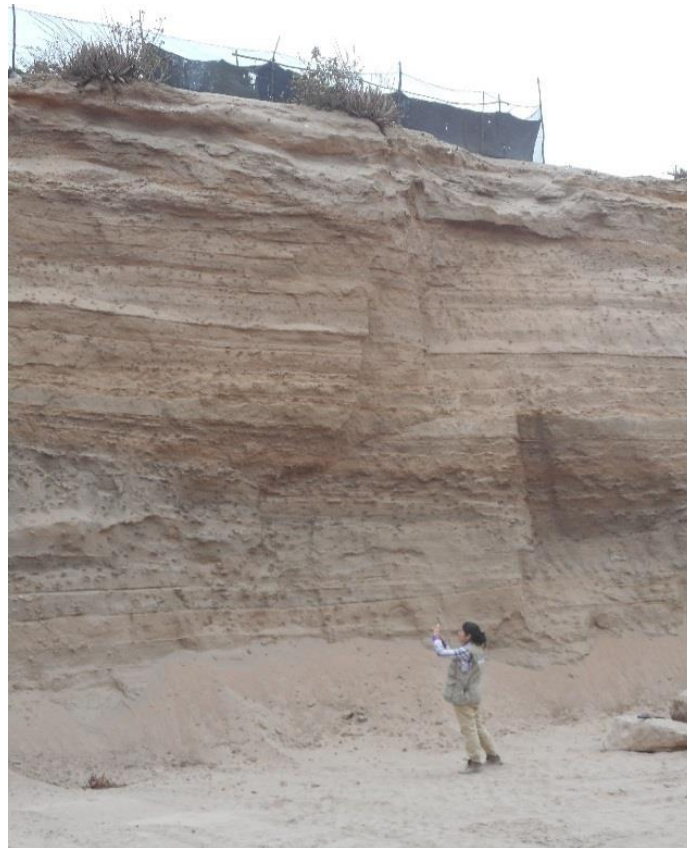


Figura 4: Ciudad Nueva se asienta sobre una antigua terraza aluvial.

Loma: Esta geoforma presenta pendiente menor a 35° , altura menor a 300 m, geometría alargada, drenaje dendrítico y un origen denudacional.

Recientemente, han sido modificadas (redondeadas y/o cubiertas por mantos de arenas) por la acción del viento (erosión eólica), escorrentía de las aguas superficiales y la actividad antrópica. Abarca el 70% de la zona de estudio, Ver Figura 5.



Figura 5: Loma (línea amarilla), identificado a 1 km al norte y noreste de la Ciudad Nueva.

3. GEOLOGÍA

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

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

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

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

3.1. Geología regional

El marco geológico regional de una ciudad es importante para comprender los procesos y eventos geológicos que ocurrieron a gran escala. Es así que, se recopiló la información geológica regional del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET, 2012) a escala 1:50,000. En ésta, se describen las unidades litológicas aflorantes cuyas edades se encuentran desde el Cretáceo Inferior (145 Ma) hasta el Cuaternario Reciente, (Figura 6).

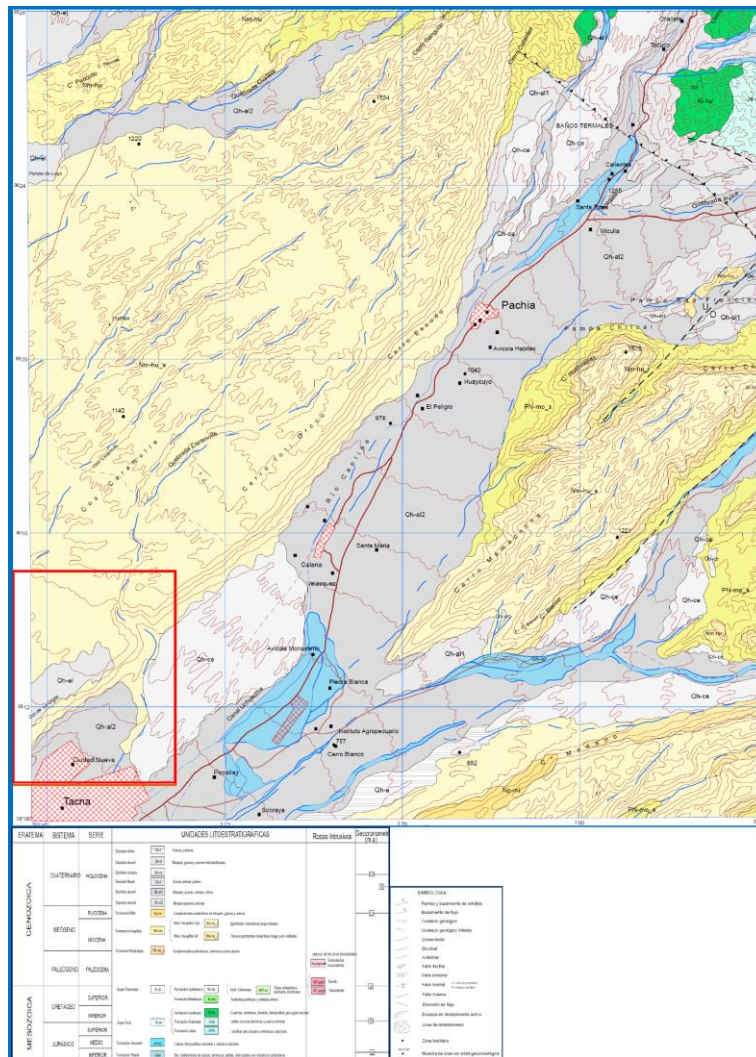


Figura 6: Parte del mapa geológico del cuadrángulo de Pachía, hoja 36v-II, escala 1:50 000. El cuadrado rojo es el área de trabajo (Ciudad Nueva).

3.1.1. Geología histórica

Según Acosta (2012), hace 252 millones de años (Ma), en la zona de estudio que produjeron los siguientes sucesos:

A fines del Triásico e inicios del Jurásico Inferior (201 Ma) en la Cordillera de la Costa se produce la depositación de una serie volcano sedimentaria, Formación Chocolate.

Durante el Jurásico Medio, ocurrió la sedimentación dando origen a rocas calizas, areniscas y conglomerados de la Formación Socosani que corresponden a un medio somero, seguidas de areniscas y lutitas de la Formación Puente-Cachios del Grupo Yura. Posteriormente, a fines del Cretáceo (125 Ma) e inicios de Paleoceno (61 Ma) la zona de la Cordillera de la Costa emerge hacia el este y continúa la depositación de conglomerados y areniscas continentales de la formación Moquegua Superior, a los que suprayacen niveles ignimbríticos de la formación Huaylillas.

Finalmente, a partir del Mioceno (23 Ma) se inicia el socavamiento de las zonas costeras y se produce el levantamiento acelerado de la Cordillera Occidental y parte de la cuenca Moquegua, donde la actividad tectónica del sistema de fallas Incapuquio juega un papel importante para culminar con la sedimentación de la formación Millo, que utiliza como cuenca sedimentaria el espacio producido por la erosión de los ríos Sama, Caplina que transportan conglomerados arenas y limos hacia el mar, es decir la depositación de materiales recientes (Cuaternario) como son aluviales, eólicos y fluviales.

3.1.2. Geología estructural

Los eventos de deformación y metamorfismo produjeron el plegamiento de las estribaciones andinas y fallamientos en bloques evidenciados en esta parte de la costa.

A continuación, se detallan las estructuras resultantes de dichos eventos geológicos: En la zona se encuentran alineamientos con rumbo NO-SE, a 20 km en promedio al suroeste y sureste de Tacna.

Falla Cuaternaria Mesacalane: es poco estudiada, sus trazas de la falla afectan a depósitos recientes y a lavas del volcán activo Mesacalane. Se encuentra entre el límite de Moquegua y Tacna, y en el margen sureste de dicho volcán. La falla se ubicada a 20 km aproximadamente hacia el oeste de Tacna.

Falla Cuaternaria Chulibaya: se ubica al NO de Tacna, entre Locumba y Llabaya, al límite de piedemonte Pacífico y la Cordillera Occidental. Pertenece al gran sistema de

fallas Incapuquio, que separa el antearco (cuenca Moquegua y la Cordillera Occidental), con un Rumbo NO-SE, y un ángulo de 70°(Sebrier et al., 1982).

El escarpe de falla afecta a terrenos volcánicos de la formación Toquepala (Paleoceno) y depósitos aluviales recientes a lo largo de 5 km, desplazando la topografía actual con un escarpe de 2m de altura (Sebrier et al., 1982), ver Figura 7.

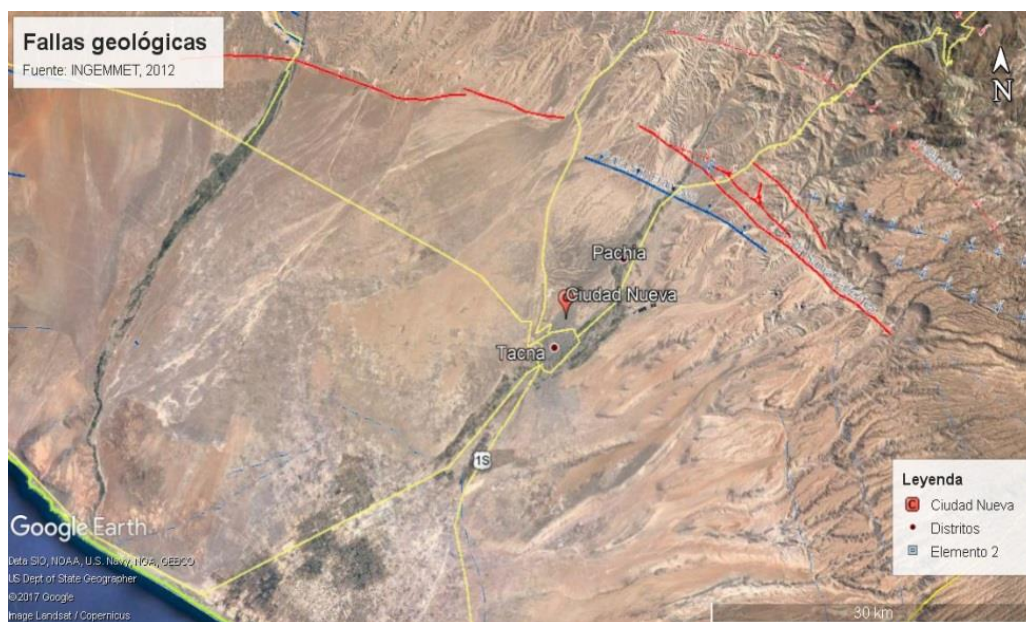


Figura 7: En el área de estudio se encuentran alineamientos a 18 km al sureste de la ciudad de Alto Alianza, y a 20 km al noreste de dicha ciudad se aprecian 02 fallas cuaternarias, una de color rojo llamada falla Chulibaya y una de color azul llamada Mesacalane ambas son potencialmente activas afectando depósitos recientes

3.2. Geología local

La geología local, consistió en el reconocimiento y cartografiado de las unidades litológicas aflorantes en Ciudad Nueva a escala 1:15,000, sobre un área de 20.20 km² aproximadamente (Figura 8). La Tabla 3 describe las unidades geológicas que se muestra a continuación:

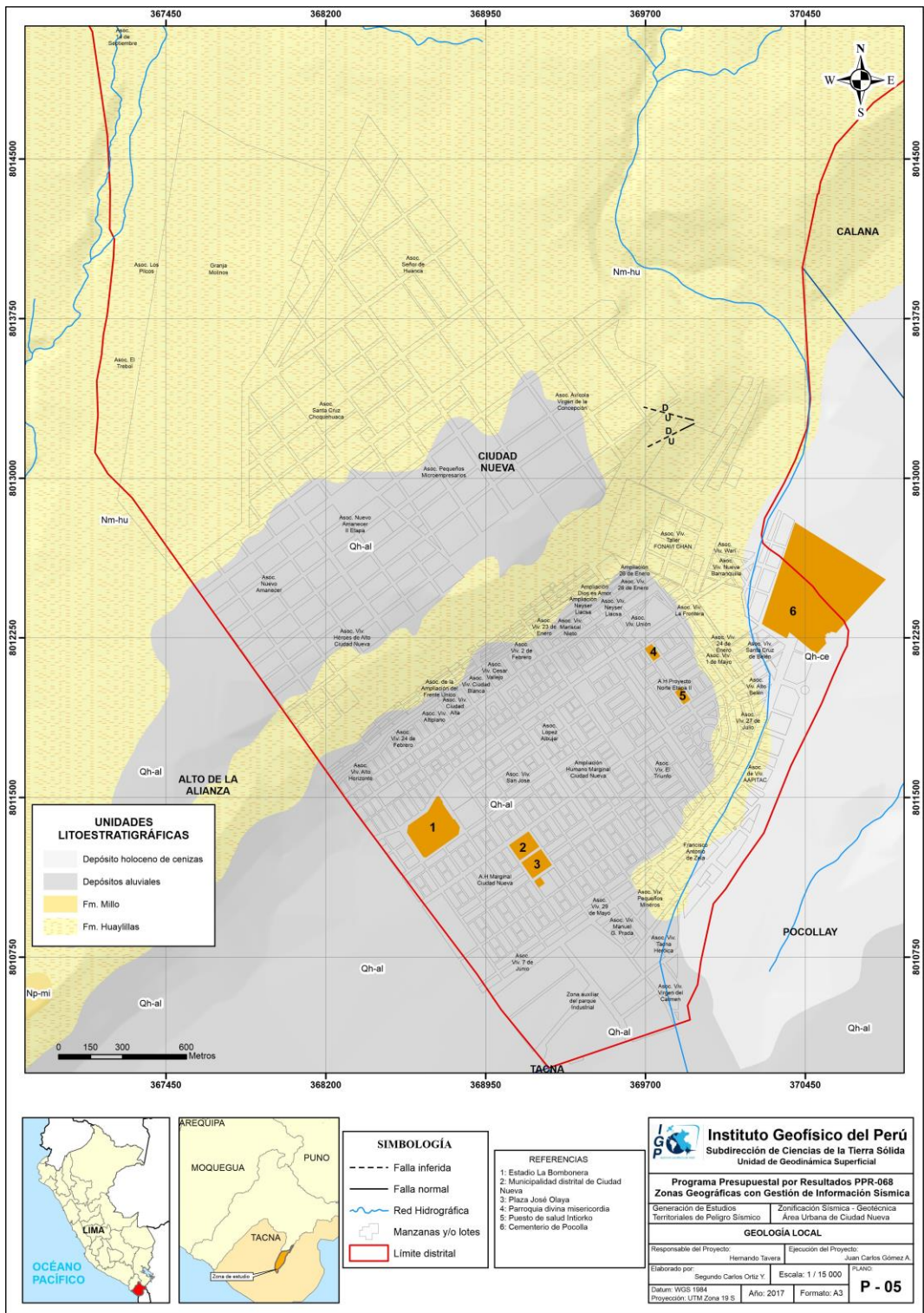


Figura 8: Mapa de Geología local del área urbana de Ciudad Nueva y alrededores.

Tabla 3: Columna crono-litoestratigráfica de la zona de estudio.

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOESTRATIGRAFICAS	SÍMBOLO	LITOLOGÍA
CENOZOICA	CUATERNARIO	HOLOCENO	DEPÓSITO DE CENIZAS	Qh-ce	Cenizas volcánica Blancas
			DEPÓSITO ALUVIAL	Qh-al	Gravas y arenas
	NEOGENO	PLIOCENO	FORMACIÓN MILLO	Np-mi	Conglomerados, polimícticos, con tobas retrabajadas.
		MIOCENO	FORMACIÓN HUAYLILLAS	Nm-hu	Tobas soldadas cristalolíticas de biotitas, plagioclasas y cuarzo.

3.2.1. Formación Huaylillas (Nm-hu)

Es una secuencia de una serie de piroclásticos, principalmente tufos que cubren discordantemente a la formación Moquegua, cuya edad varía entre el Mioceno y Plioceno. Litológicamente están constituidos por tobas blancas volcánicas en la parte inferior y tobas riolíticas pardo rosadas en la parte superior, tiene un espesor estimado de 500 m. Afloran en el extremo noroeste, este y noreste de Ciudad Nueva. Esta unidad litológica representa el basamento rocoso e infrayace a la formación Millo (Figuras 9 y 10).



Figura 9: En la quebrada Caramolle se puede evidenciar la litología de la formación Huaylillas.



Figura 10: A inmediaciones del sector Señor de Huanta, en el margen derecho de la quebrada seca Honda afloran rocas tobáceas riolíticas, de color pardo rojizas del miembro Huaylillas

3.2.2. Formación Millo (NP-mi)

Están compuestos por conglomerados polimícticos, con tobas retrabajadas, afloran a 2.5 km al noreste de Ciudad Nueva, en el corte de una trocha en la parte alta de la loma, a inmediaciones del sector Señor de Huanta (Figura 11).



Figura 11: Zona de contacto (línea amarilla) entre la formación Millo y la formación Huaylillas, afloran a 3 km al suroeste de Ciudad Nueva

3.2.3. Depósitos Cuaternarios

Suprayaciendo al substrato rocoso conformado por rocas volcánicas, se encuentran los depósitos Cuaternarios de edad Holocena, tales como aluviales y cenizas. Las características de estos materiales se describen a continuación.

Depósitos de cenizas (Qh-ce):

Son pequeños depósitos de ceniza volcánica color blanca afloran a 1.30 k, aproximadamente, al este de la localidad de Ciudad Nueva (Figura 12).



Figura 12: A 1 km aproximadamente hacia el norte de la ciudad de Alto de la Alianza, afloran cenizas blancas en el sector de Vista Alegre.

Depósitos aluviales (Qh-al)

Los depósitos aluviales están constituidos por gravas subredondeadas a angulosas de 2" de diámetro y arenas de grano fino a medio decolor gris. Estos son acarreados cuando se activan las quebradas secas de la parte Occidental de Alto Alianza alcanzando espesores de hasta 7 metros. Sobre estos suelos se asienta la parte urbana de Ciudad Nueva (Figura 13).



Figura13: Sobre estos depósitos se encuentra asentada el casco urbano de Ciudad Nueva, este corte de aproximadamente 7.00 m., conformada por intercalaciones de arenas de grano grueso y limos, con algunas capas de gravillas.

4. GEODINÁMICA

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

Es importante recalcar que, analizar factores como la litología permite explicar el origen de los materiales que constituyen las geoformas (colinas, lomas, entre otras) y en las cuales se generan procesos como meteorización y erosión que contribuyen a la ocurrencia de eventos geodinámicos (Figura 14)

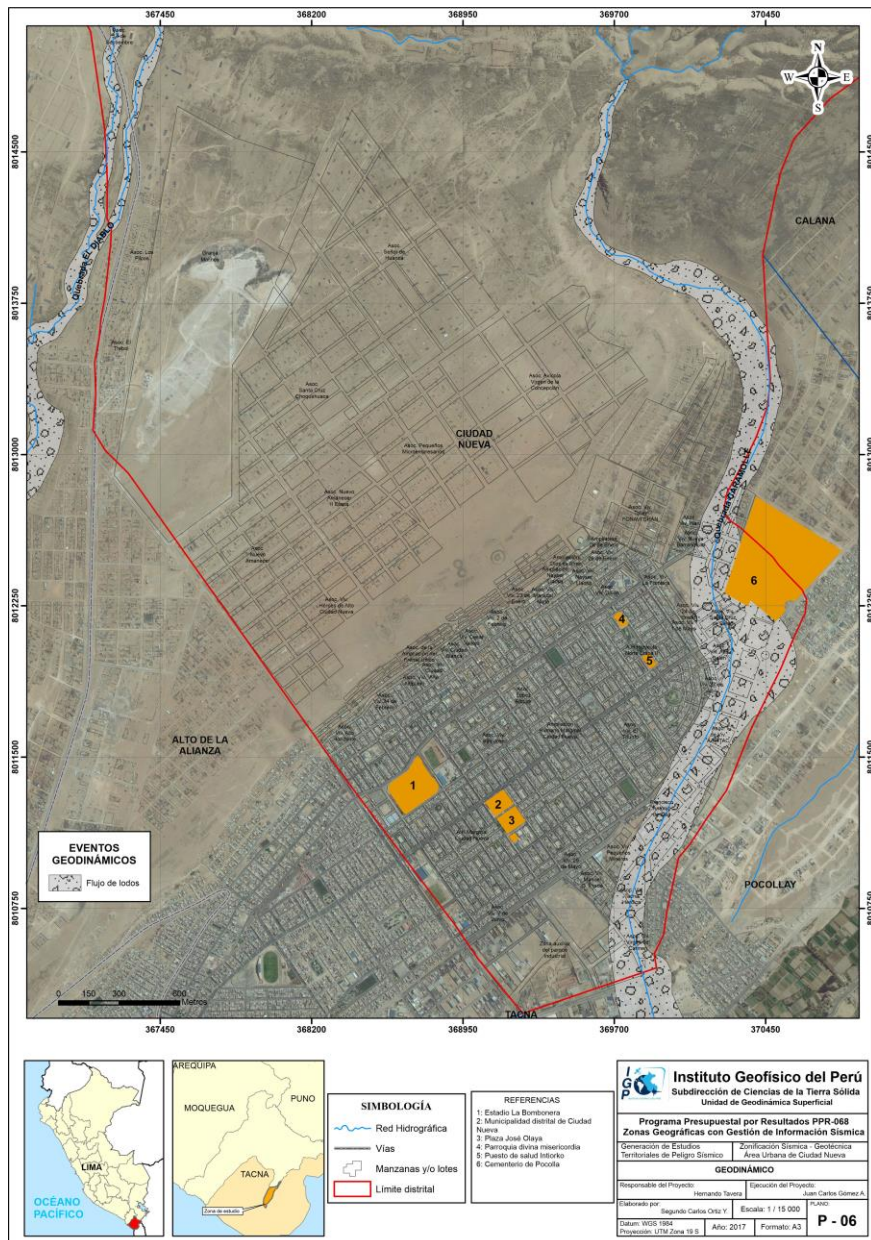


Figura 14: Mapa Geodinámico del área urbana de Ciudad Nueva y alrededores.

4.1. Procesos de geodinámica interna

Son transformaciones de la estructura interna de la Tierra en relación con los agentes (magmáticos, sísmicos y tectónicos). El territorio peruano está sometido a una constante actividad sísmica, debido a la subducción de la Placa de Nazca debajo de la Placa Sudamericana, considerada como la principal fuente sismogénica en el Perú, produciendo los eventos de mayor magnitud conocidos hasta el presente.

Otra fuente, la constituye la deformación de la zona continental, que ha dado origen a la formación de fallas de diversas longitudes con la consecuente ocurrencia de magnitudes menores (Cahill & Isacks, 1992; Tavera & Buforn, 2001).

4.2. Procesos de geodinámica externa

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

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

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

b) **Erosión:** Desgaste de los suelos y rocas de la superficie terrestre resultado de la acción combinada de varios factores, como la temperatura, los gases, el agua, el viento, la gravedad y la vida vegetal y animal, así como, se produce una erosión

acelerada como el resultado de la acción humana. La erosión presenta tres fases: desgaste, transporte y depósito de los materiales, esto trae como consecuencia que se formen relieves por desgaste (degradación) y por depósito (agradación).

La acción por separado o en conjunto de los factores que dan origen a los procesos externos, favorecen a la ocurrencia de los eventos geodinámicos (Figura 15), los cuales se dividen según su origen en: fluvio-aluvial e hidro-gravitacional, descritos a continuación.

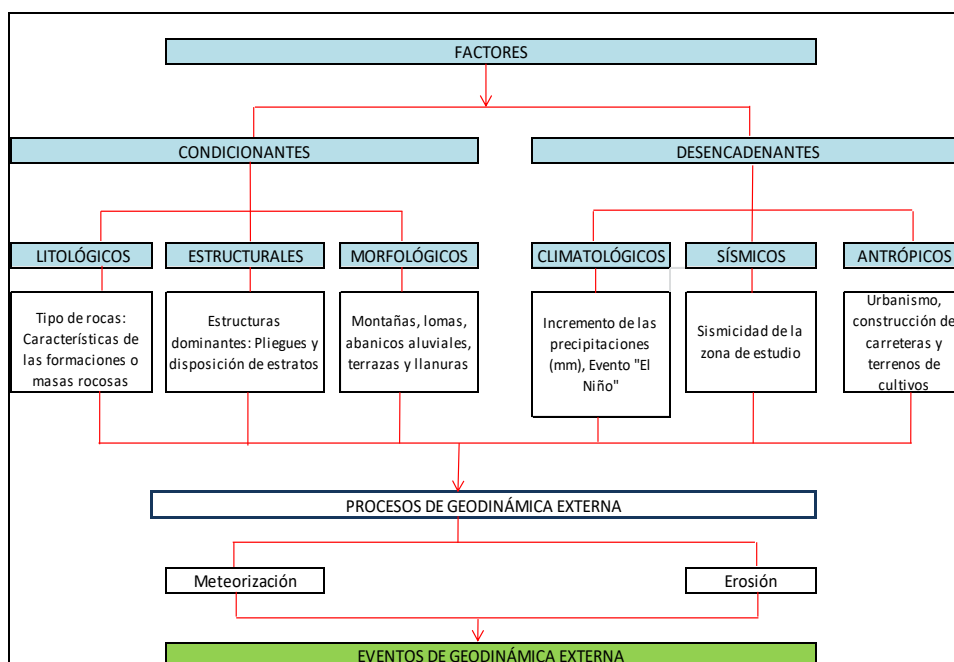


Figura 15: Factores asociados a procesos de geodinámica externa que contribuyen a la ocurrencia de eventos geodinámicos.

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

- Flujos de detritos (huaicos): movimiento de materiales sin cohesión (materiales sueltos) que se comportan como fluidos a causa del agua (provoca la pérdida total de resistencia de estos materiales) y se desplazan sin presentar

superficies de rotura definidas, en algunos casos depositan sus materiales en forma de conos de deyección (Figura 16).

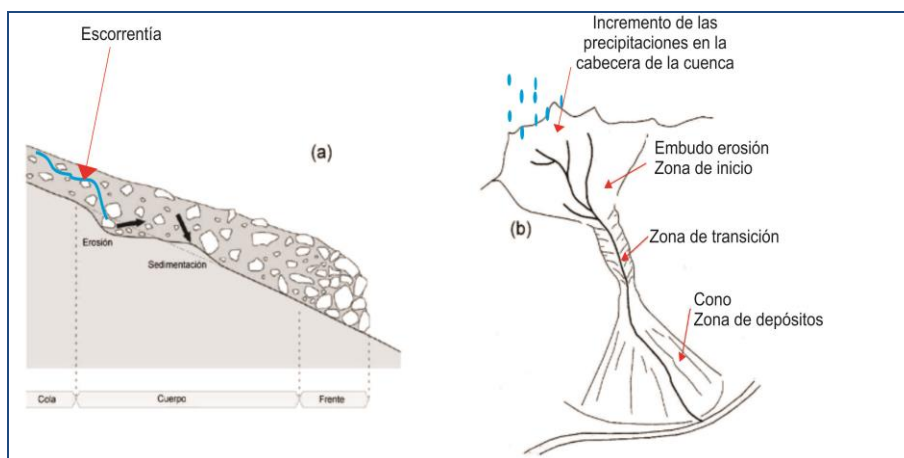


Figura 16: a) Proceso de erosión por las aguas de escoorrentía y acumulación de material. b) Vista frontal de la cuenca y desarrollo del evento en cabecera de la cuenca por incremento de las precipitaciones, zona de transición (zona de almacenamiento de material y la depositación del material), modificado del GITS (Grupo de investigación de transportes de sedimentos).

En la zona de estudio los flujos de detritos han formado una terraza aluvial sobre la cual se asienta en Ciudad Nueva.

Actualmente, hay acumulación de detritos en los cauces de la quebrada Caramolle, ubicados a 2 km hacia el noreste de Ciudad Nueva, estimando que en épocas de lluvias esta se activaría arrastrando detritos en forma de flujos ocasionando daños a la población. En este caso la más cercana sería la Asociación de pesqueros artesanales.

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

Las inundaciones pueden ser consecuencia de varios factores naturales y humanos (Tarbuck, 2005). Cuando las lluvias superan el promedio normal de precipitación (mayor al 50%) de una zona se le denominan lluvias

extraordinarias o tormenta extrema. Estas al desarrollarse generan crecidas causando inundaciones de las áreas circundantes al río, esta anomalía es conocida como un evento hidrometeorológico, ver Figura 17.

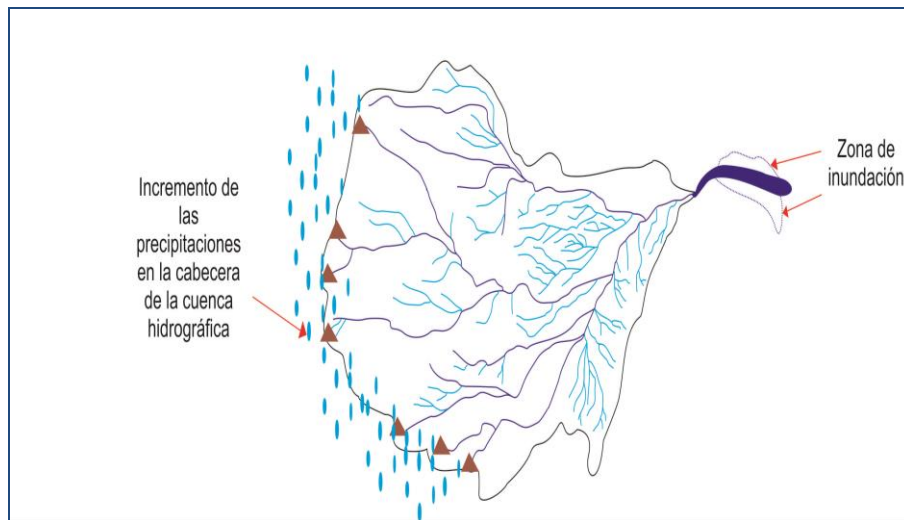


Figura 17: Inundación por incremento de las precipitaciones en la cabecera de la cuenca hidrográfica.

Las inundaciones en la zona se produjeron en los años 1950, 1982, 1983, 1998, 2001, que ocasionaron pequeños daños a las zonas agrícolas, infraestructura de riego, en el trayecto del río Caplina ubicado a 4 km aproximadamente al sureste de Alto de la Alianza.

Cabe mencionar que la quebrada Caramoye, ubicada a 2 km hacia el noreste de Ciudad Nueva, en tiempo de precipitaciones pluviales se estima que podría activarse y arrastrar detritos desde aguas arriba hacia las zonas más bajas donde se asienta la población de Ciudad Nueva y/o provocar inundaciones.

4.3. Zonas susceptibles a procesos geodinámicos

La susceptibilidad está referida a la probabilidad de que suceda un evento geodinámico durante un período de tiempo en un sitio dado (Hauser, 1985 y 1993; Sepulveda, 2000). Es la mayor o menor predisposición a que un proceso geodinámico suceda u ocurra sobre determinado espacio geográfico y tiempo, lo cual depende de los factores: litología, tectonismo, agentes geológicos y actividad humana (taludes de corte). La identificación y delimitación de zonas afectadas por procesos de geodinámica externa, ha permitido reconocer zonas probables a la ocurrencia de estos.

A 2 km al noreste de Ciudad Nueva, se ubica la asociación de pesqueros artesanales en el cauce de la quebrada Caramolle, es una zona potencial de peligro por lo expuesto anteriormente si esta se activara en periodos de lluvia arrastraría detritos afectando a la zona urbana y a la población de Ciudad Nueva. También podría causar inundación en esta zona (Figura 18).



Figura 18: Población situada en el cauce de la quebrada seca, ubicada a 2 km al noreste de Ciudad Nueva, zona potencial de peligro ante una avenida de flujo de detritos acarreado por las escorrentías desde las parte altas.

5.- ASPECTOS GEOTÉCNICOS

Los suelos son materiales inconsolidados conformados por minerales, materia orgánica, agua y aire entre sus poros, que se generan a partir de la alteración de la roca madre por agentes atmosféricos, erosionándola y formando una cobertura de variado espesor de sedimentos, que posteriormente han sido transportados y redepositados en las partes bajas de las cuencas hidrográficas, sobre los cuales se asientan las áreas urbanas. En geotecnia para clasificar los tipos de suelos se hace uso del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) para determinar las características granulométricas y los límites plásticos, mientras que, la capacidad de carga admisible de los materiales (arcillas, limos, arenas, gravas y clastos) se encuentra condicionada a las características litológicas de las rocas pre-existentes y la dinámica con que fueron depositados. En el diagrama líneas abajo se indica el origen de los suelos (Figura 19).

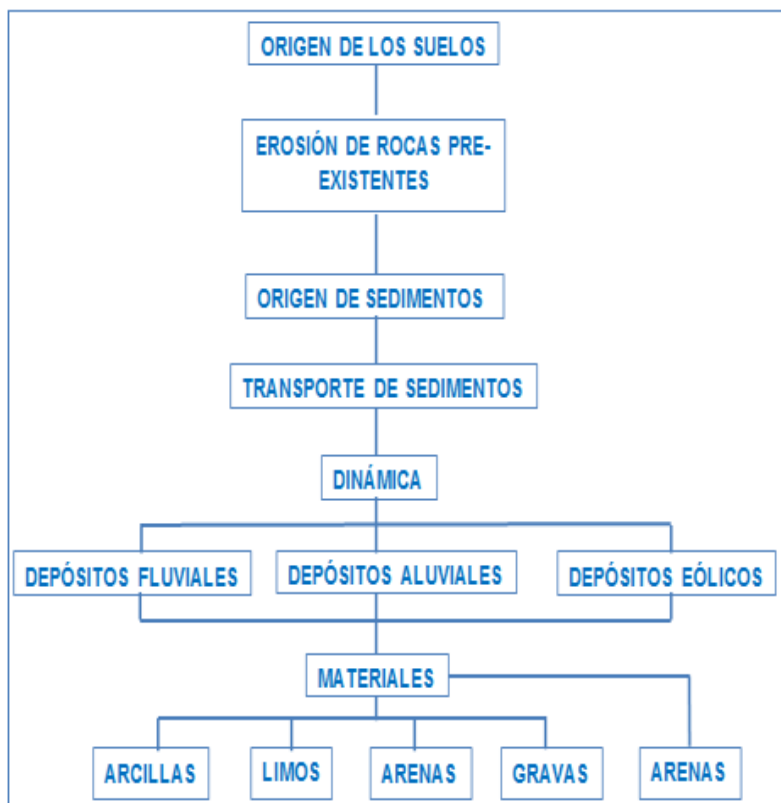


Figura 19: Diagrama del origen de los suelos.

La geotecnia es la rama de la geología aplicada a la ingeniería que se encarga del estudio de las propiedades físicas 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.) y del análisis de suelos en laboratorio. En Ciudad Nueva, se realizó el estudio geotécnico que consistió en la elaboración de calicatas, densidad de campo, posteos y ensayos de penetración dinámica ligera (DPL), ver Figura 20.

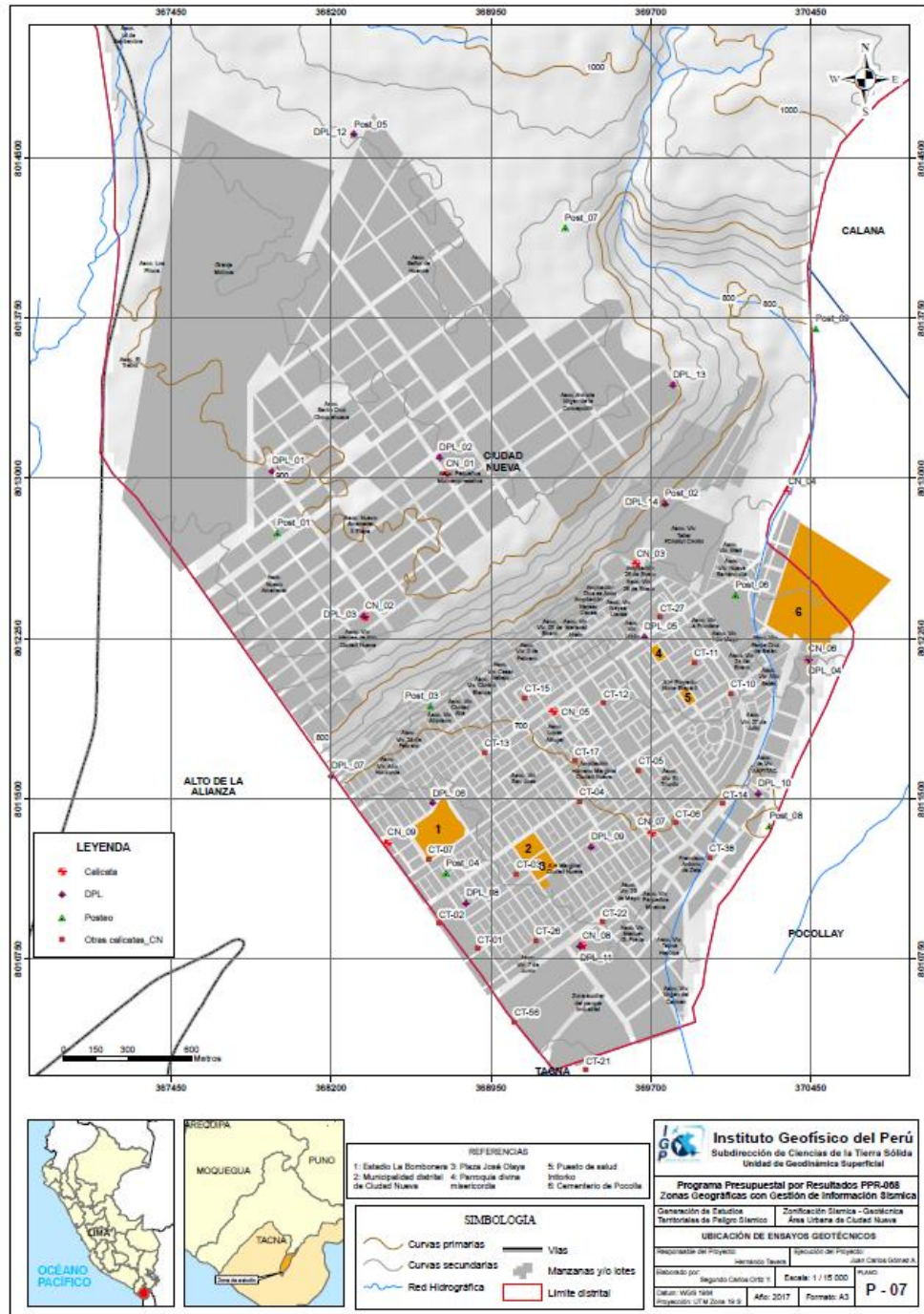


Figura 20: Mapa de ubicación de ensayos Geotécnicos del área urbana de Ciudad Nueva.

Asimismo, de las calicatas se extrajeron ocho (08) muestras, de las cuales tres (03) fueron enviadas al laboratorio de suelos y las otras cinco (05) restantes, se analizaron en el IGP. Los ensayos geotécnicos considerando parámetros como: granulometría, plasticidad, corte directo y cálculo de la capacidad portante de los suelos.

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

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

5.1.1. Procedimiento

El procedimiento de campo incluyó las siguientes actividades:

Reconocimiento de la zona de estudio: Las exploraciones se realizaron de tal manera que se distribuyan de forma geométrica uniforme en Ciudad Nueva, se consideró las características del terreno, accesibilidad y lugares apropiados donde ubicarlas.

Excavaciones: Estas tuvieron las siguientes dimensiones: 1.5 x 1.5 m. y aproximadamente 3.00 m. de profundidad en promedio.

Muestreo: Proceso de extracción de dos muestras alteradas de suelo (para la identificación y la otra para determinar las propiedades de resistencia del suelo), en bolsas herméticas con capacidad de 5 kg aproximadamente.

5.1.2. Descripción de calicatas

Una vez terminada la excavación de la calicata, se procede a describir el perfil estratigráfico del subsuelo, se adjuntan en los anexos y fichas elaboradas. Las coordenadas de los puntos en donde se realizan las excavaciones se presenta en la Tabla 4.

Tabla 4: Ubicación de calicatas. (N.P. = No presenta nivel freático)

CALICATA	UTM ESTE(m)	UTM NORTE(m)	ELEVACIÓN (m.s.n.m)	PROFUNDIDAD (m)	NIVEL FREÁTICO A (m)
CN - 01	368740	8013017	902	2.00	N.P
CN - 02	368361	8012351	845	1.20	N.P
CN - 03	369633	8012596	699	2.60	N.P
CN - 04	370344	8012936	741	2.50	N.P
CN - 05	369243	8011907	698	3.00	N.P
CN - 06	370440	8012151	715	1.40	N.P
CN - 07	369703	8011339	657	2.00	N.P
CN - 08	369380	8010809	589	2.50	N.P
CN - 09	368466	8011293	615	2.50	N.P

Cabe mencionar que, la profundidad de investigación promedio es de 2.20 m. En algunas calicatas no se ha llegado a dichas profundidades ya que se encontró en el subsuelo roca volcánica (Figura 21).



Figura 21: Calicata CN-01 ubicada en el sector de Arquipate.

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

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

En cada exploración (estratos muestreados), se debe llevar a cabo un ensayo de densidad de campo, haciendo uso del método del cono, para conocer la compactación y el contenido de humedad del suelo en condiciones naturales. 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 cantidad excesiva de roca o materiales gruesos de diámetro mayor a 1 ½ pulgada (38 mm), así como en suelos saturados; sino más bien, en suelos que presentan cierta cohesión, tales como: arenas limosas y arenas arcillosas con contenido de gravas inferiores a 38 mm de diámetro, ver Figura 22.



Figura 22: Ensayo de densidad del suelo in-situ en la calicata CN-01.

5.2.1. Procedimiento

El procedimiento de campo incluyó las siguientes actividades:

Excavación: Proceso de diseño de agujero (profundidad de 10 a 12 cm) haciendo uso de cinceles y comba, se tiene como guía el diámetro de la placa metálica.

Extracción de la muestra de suelo del agujero elaborado anteriormente y pesado de este material extraído.

Posicionamiento de cono de arena pesado sobre la placa, se espera hasta que este deje de vaciar arena y se llene el agujero.

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

A continuación, en la Tabla 5 se presenta los resultados obtenidos para las calicatas a través del método del cono y las fichas de densidades se adjuntan en los Anexos.

Tabla 5: Resultado de densidades in - situ.

CALICATA	MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	DENSIDAD HUMEDAD (gr/cm ³)	DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)
CN - 01	DC-CN - 01	2.00	1.23	1.21	1.08
CN - 02	DC-CN - 02	1.20	1.58	1.52	3.64
CN - 03	DC-CN - 03	2.60	1.68	1.67	0.66
CN - 04	DC-CN - 04	2.50	1.48	1.47	0.45
CN - 05	DC-CN - 05	3.00	1.36	1.35	0.71
CN - 06	DC-CN - 06	1.40	0.88	0.86	2.70
CN - 07	DC-CN - 07	2.00	1.53	1.52	0.79
CN - 08	DC-CN - 08	2.50	2.16	2.15	0.13
CN - 09	DC-CN - 09	2.50	0.99	0.98	0.69

Las densidades mostradas son características de suelos granulares, tales como arenas y gravas; además se encuentra dentro del rango establecido por el Centro Peruano Japonés de Investigación Sísmicas y Mitigación de Desastres – CISMID (Tabla 6). El contenido de humedad es muy baja, no supera el 3.6 %. El bajo contenido de humedad es típico de zonas con climas muy secos y semí-cálidos.

Tabla 6: Valores típicos de densidad de suelos (CISMID, 2016)

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

5.3. Exploraciones con posteadora (Norma ASTM D1452)

Se define como posteadora a barreador manual en forma de "T" que permite realizar sondeos exploratorios (perforaciones) en suelos blandos (arcillas y arenas) hasta profundidades de 5 a 6 m. Las muestras extraídas se obtienen trituradas y completamente alteradas; sin embargo, sirven para reconocer en tipos de suelo, y el contenido de humedad que presentan.

La posteadora presenta restricciones en suelos con presencia de gravas y gravillas (las cucharas sacamuestras se entranpan con este tipo de suelos).

En Ciudad Nueva se han realizado 09 ensayos con posteadora manual distribuidos en toda al área urbana y anexos. Uno de los ensayos (Post – 03) alcanzo una profundidad de 1.40 m; mientras que el resto alcanzaron profundidades entre 0.20 m a 1.00 m, puesto que son suelos gravosos.

5.3.1. Procedimiento

Con la posteadora se penetra el subsuelo, desde la superficie, de tal manera que se gira manualmente el equipo ejerciendo presión sobre el suelo. A medida que va incrementando la profundidad, se va conectando y añadiendo las varillas de 1 m. de extensión para la obtención de muestras con las cucharas acopladas en el extremo.

Estas exploraciones fueron distribuidas entre las calicatas, lugares donde no existía información geotécnica (Figura 23). En la Tabla 7 se presenta las coordenadas de los puntos de medida.



Figura 23: Ensayo con posteadora manual, realizado inmediaciones del sector Residentes de Quenuaru, ubicada a 1 km al este del Botadero Municipal.

Tabla 7: Ubicación de Posteos y clasificación de suelos SUCS

POSTEOS	UTM ESTE(m)	UTM NORTE(m)	ELEVACIÓN (m.s.n.m)	PROFUNDIDAD (m)	TIPO DE SUELO (SUCS)	NIVEL FREÁTICO A (m)
Post - 01	367948	8012746	867	0.20	ML	N.P
Post - 02	369768	8012880	782	0.30	ML	N.P
Post - 03	368665	8011935	712	1.40	SP	N.P
Post - 04	368739	8011148	654	0.40	SP	N.P
Post - 05	368307	8014611	938	0.40	SP	N.P
Post - 06	370098	8012453	726	0.90	SM	N.P
Post - 07	369297	8014175	932	0.60	ML	N.P
Post - 08	370256	8011373	691	0.30	ML	N.P
Post - 09	370474	8013700	789	1.00	SM	N.P

5.4. Ensayos de penetración dinámica ligera (norma DIN 4094)

Se realizan con un equipo de campo de registro continuo (se contabiliza el número de golpes para penetrar un tramo de varillaje a lo largo de todo el ensayo), que permite estimar la resistencia del material (suelo) en kg/cm² al hincado del cono dinámico. La ventaja es que este equipo es muy práctico y se puede transportar fácilmente.

El método consiste en introducir al suelo una varilla de acero con una punta cónica de 60°, mediante la aplicación de golpes con un martillo de 10 kg, que se deja caer desde una altura de 0.50 m. Como medida de la resistencia a la penetración, se registra el número “N” (número de golpes en 10 cm de penetración), información que luego se correlaciona con algunas propiedades relativas del suelo, en particular, con sus parámetros de resistencia al corte, capacidad portante, densidad relativa, etc. Luego, usando a través de fórmulas empíricas donde se introduce el “N” y se obtiene el ángulo de fricción interna de los materiales.

En general, este ensayo es aplicable en terrenos arenosos, arcillosos y limo-arenosos, no recomendables en gravas, fragmentos gruesos, conglomerados y terrenos rocosos.

5.4.1 Procedimiento

El procedimiento de campo incluyó las siguientes actividades:

Ubicación de ensayos: Se distribuyeron generalmente al costado y en puntos intermedios a algunas de las calicatas y posteos, a fin de obtener mayor información de la resistencia del suelo en el área estudiada.

Ensamble de equipo: Consiste en conectar los accesorios del equipo, considerando la punta cónica al final de la varilla de penetración, esta se une a la guía que contiene el yunque. Posteriormente, se ajusta las uniones y finalmente se empieza a hincar el suelo con la caída libre del martillo (acción de la gravedad).

Proceso de toma de datos: Se debe registrar el número de golpes por cada 10 cm que la varilla penetra el suelo. Este procedimiento se sigue hasta que el suelo ofrezca resistencia (no exceder los 45 golpes de acuerdo a norma técnica).

La Tabla 8, indica la ubicación de los ensayos DPL realizados en las inmediaciones de Ciudad Nueva, asimismo se indica la profundidad alcanzada y los datos obtenidos del ensayo (número de golpes y ángulo de fricción). Posteriormente, estos valores se van a correlacionar y corregir, para obtener el N del SPT, que permitirá calcular algunos parámetros geotécnicos, tales como: ángulo de fricción y cohesión, y luego la capacidad admisible (Figura 24). Las fichas de los ensayos se adjuntan en los Anexos.

Tabla 8: Parámetros Ubicación de posteos realizado en Ciudad Nueva (Φ = Ángulo de fricción interna).

ENSAYO N°	UTM ESTE (m)	UTM NORTE (m)	ELEVACIÓN (m.s.n.m)	PROFUNDIDAD (m)	# DE GOLPES	Φ
DPL-01	367924	8013035	883	0.25	20	33.30
DPL-02	368709	8013098	903	1.45	25	34.70
DPL-03	368354	8012354	863	0.80	45	39.70
DPL-04	370439	8012158	714	0.90	45	39.70
DPL-05	369671	8012259	722	1.13	16	32.00
DPL-06	368677	8011478	657	0.50	45	39.70
DPL-07	368202	8011608	716	0.30	45	39.70
DPL-08	368834	8011011	661	1.65	25	34.70
DPL-09	369420	8011275	638	1.75	35	37.30
DPL-10	370204	8011525	661	2.56	35	37.30
DPL-11	369368	8010810	657	0.43	5	28.10
DPL-12	368307	8014611	938	0.53	14	31.40
DPL-13	369805	8013438	905	0.15	20	33.30
DPL-14	369765	8012881	781	0.73	8	29.30

De acuerdo a la Tabla 8, para los cuatro ensayos DPL (02, 08, 09 y 10) se ha logrado alcanzar entre 1.00 a 2.56 m y para el resto de ensayos, a poca profundidad la presencia de materiales granulares, conformados por gravas y arenas de grano grueso con alta resistencia a la penetración.



Figura 24: Ensayo de penetración dinámica ligera (DPL-13).

5.5. Correlación entre el “N” DPL y el “N” SPT (ASTM D1586)

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

La correlación entre el número de golpes del ensayo DPL y SPT, se realizó en base a las características del terreno (compacidad, resistencia y deformabilidad), y para ello se utilizó la siguiente fórmula empírica:

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

Dónde:

N₁= Número de golpes equivalente en SPT

N₂= Número de golpes obtenidos en DPL

W₁= Peso del martillo del DPL

W₂= Peso del martillo SPT

H₁= Altura de caída de DPL

H₂= Altura de caída del SPT

A₁= Área de la punta cónica del DPL

A₂= Área de la punta cónica del SPT

e₁= Espesor de la hincia del DPL

e₂= Espesor de la hincia del SPT

Una vez calculado los valores de golpes con el SPT (NSPT), se realizaron las correcciones por: nivel freático, eficiencia, longitud y diámetro; para así obtener un nuevo valor de número de golpes por ensayo SPT (N'SPT). Este último parámetro permite con el cual se procede a estimar el ángulo de fricción interna de los suelos (Figura 25).

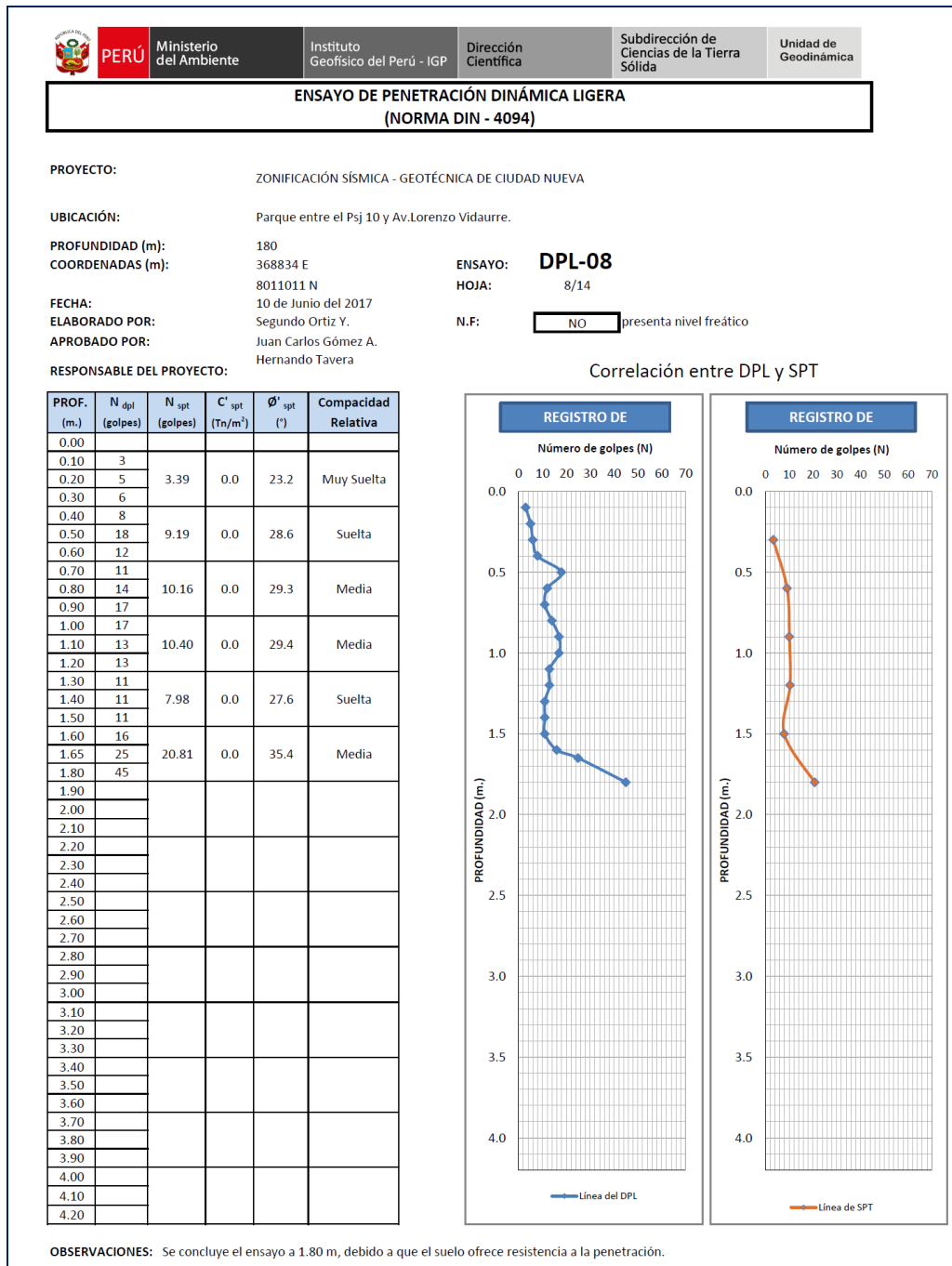


Figura 25: Diagrama de correlación entre el número de golpes del DPL y el número de golpes del SPT, y cálculo del ángulo de fricción interna corregido.

5.6. Clasificación de suelos SUCS en Ciudad Nueva

En base a la información geotécnica recopilada de las calicatas, posteos y DPL realizados en Ciudad Nueva, se ha identificado 05 tipos de suelos, los mismos que han sido agrupados haciendo uso del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), ver Figura 26 y Tabla 9. Las principales características de estos suelos son:

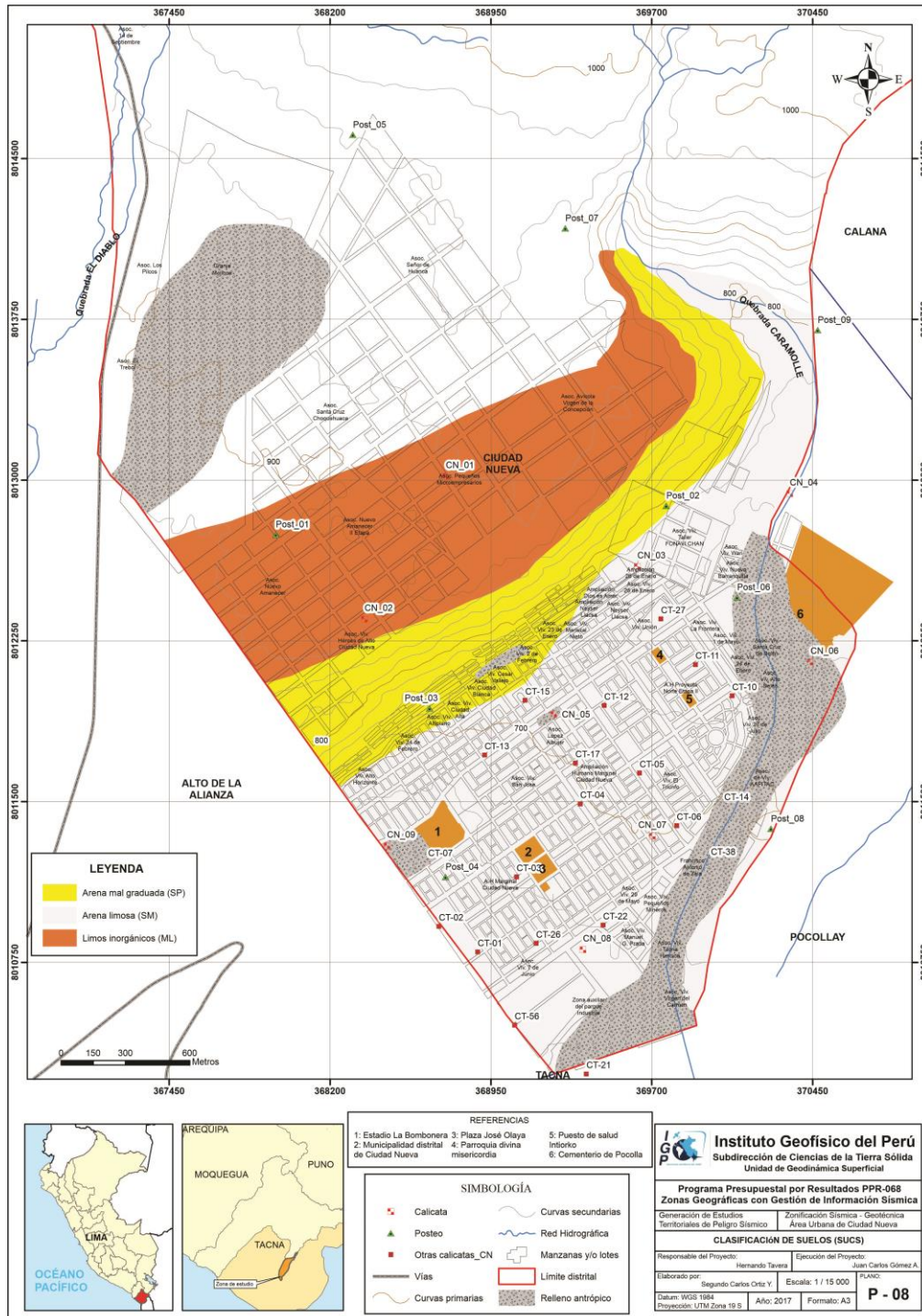


Figura 26: Clasificación de SUCS de suelos para la Ciudad Nueva.

Tabla 9: Clasificación SUCS de los suelos de las nueve (9) calicatas elaboradas en la localidad de Ciudad Nueva. (N.P. =No presenta)

CALICATA	PROFUNDIDAD (m)	NIVEL FREÁTICO A (m)	GRAVAS % (>4.76 mm)	ARENAS % (>0.074 mm, <4.76 mm)	FINOS % (<0.074 mm)	LÍMITE LÍQUIDO (%)	LÍMITE PLÁSTICO (%)	ÍNDICE PLÁSTICO	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	CLASIFICACIÓN SUCS	DENOMINACIÓN
CN-01	2.00	N.P.	0.00	34.30	65.70	-	-	-	16.70	ML	Limo arenoso
CN-02	1.20	N.P.	18.20	32.60	49.13	23.60	21.50	2.10	0.11	ML	Limo arenoso
CN-03	2.60	N.P.	8.20	75.70	16.14	-	-	-	0.76	SM	Areno limosa
CN-04	2.50	N.P.	0.00	71.00	29.00	-	-	-	3.20	SM	Arena limosa
CN-05	3.00	N.P.	6.20	28.10	9.50	-	-	-	0.88	SM	Areno limosa
CN-06	1.40	N.P.	8.50	53.70	37.85	-	-	-	0.12	SM	Areno limosa
CN-07	2.00	N.P.	0	67.70	32.33	-	-	-	10.20	SM	Areno limosa
CN-08	2.50	N.P.	0.90	59.60	39.50	-	-	-	1.60	SM	Areno limosa
CN-09	2.50	N.P.	19.30	51.50	29.19	-	-	-	1.26	SM	Areno limosa

- Suelos tipo SP: Constituidos, por arena fina mal graduada con contenido de limos, cuya humedad es entre 0.70 - 1.38%, constituyen suelos de compacidad muy sueltas a sueltas, no presentan plasticidad (debido a la escasa presencia

de material fino). Abarcan el 15% de la zona de estudio y están presentes en las siguientes asociaciones: Ampliación del Frente Único, Ciudad Alta, Ciudad Blanca y 2 de Febrero.

- Suelos tipo SM: Están conformados por arenas limosas mal graduadas, el contenido de humedad varía entre 0.66 - 2.70%; por lo cual, se considera que su capacidad de retención (permeabilidad) es muy baja, son suelos de compactación suelta a media, no presentan plasticidad. Abarcan el 41% de la zona de estudio y se identificaron en: A.H Marginal Ciudad Nueva, Asoc. de Viv. 7 de Junio, Asoc. de Viv. 9 de Mayo, Asoc. de Viv. San José, Asoc. López Albuja, Ampliación Humana Marginal Ciudad Nueva, Asoc. de Viv. El Triunfo, A.H Proyecto Norte Etapa II, Asoc. de Viv. Unión, Asoc. de Viv. Neyser Llacsá, Ampliación 26 de Enero, Asoc. Viv. La Frontera y Asoc. de Viv. Taller FONAVI CHAN.

- Suelos tipo ML: Están conformados por limos inorgánicos y arenas muy finas de baja plasticidad, el contenido de humedad es de 3.64%, constituyen suelos con grado de consistencia compacta. Abarcan el 24% de la zona de estudio y se identificaron en la Asoc. de Viv. Héroes de Alto Ciudad Nueva (Calicata CN-02), Asoc. Pequeños Microempresarios, Asoc. Nuevo Amanecer y Asoc. Avícola Virgen de la Concepción.

- Rellenos antrópicos (RA): Bajo esta denominación se incluyen los depósitos de material variado colocados por la acción del hombre. Son sedimentos heterométricos, con bolos y bloques angulosos a subangulosos y abundantes finos en la matriz (arenas y limos), en determinadas circunstancias pueden contener materiales de reciclaje y residuos de la actividad humana. El grado de compactación de estos depósitos, depende de cómo han sido tratados y la finalidad para la que fueron destinados (vías de comunicación, edificaciones, viviendas u otra infraestructura). Abarcan el 20% de la zona de estudio y se identificaron en la Asoc. de Viv. Virgen del Carmen, Asoc. Viv. Tacna Heroica, Francisco Antonio de Zela, Asoc. Viv. AAPITAC, Asoc. Viv. Alto Belén y Asoc. Viv. Santa Cruz de Belén.

5.7. Ensayos de corte directo (Norma, ASTM D-3080)

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

Para conocer esta resistencia en laboratorio se usa el equipo de corte directo, siendo el más usado una caja de sección cuadrada o circular dividida horizontalmente en dos mitades. Dentro de ella se coloca la muestra de suelo con piedras porosas en ambos extremos, se aplica una carga vertical de confinamiento (P_v) y luego una carga horizontal (P_h) creciente que origina el desplazamiento de la mitad móvil de la caja originando el corte de la muestra.

Para el área de estudio, los valores de los ensayos de corte directo se presentan en la Tabla 10.

Tabla 10: Valores obtenidos del ensayo de corte directo (N.P.= No presenta).

MUESTRA	Ángulo de fricción interna del suelo (°)	Cohesión aparente del suelo (kg/cm ²)	Densidad natural (gr/cm ³)
CN - 01	30.36	0.04	1.23
CN - 02	31.00	-	1.58
CN - 03	31.70	-	1.68
CN - 04	27.86	-	1.48
CN - 05	31.70	-	1.36
CN - 06	35.40	-	0.88
CN - 07	32.90	-	1.53
CN - 08	31.70	-	2.16
CN - 09	31.70	0.04	0.99

De los resultados obtenidos anteriormente se evidencia que los suelos en Ciudad Nueva, presentan cohesión muy baja, algunos para algunas zonas no se identificó valores de cohesión. Estos valores son típicos de suelos granulares y con muy poco contenido de limos. Los valores del ángulo de fricción interna son menores a 32°, característicos de los suelos granulares de compacidad suelta a media.

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

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

5.8.1. Carga última (qu)

Es la presión última por unidad de área de la cimentación soportada por el suelo, en exceso de la presión causada por el suelo alrededor y al nivel de la cimentación. Para determinar la carga última, se usaron los resultados de los ensayos de corte directo y en base al Nspt (ángulo de fricción y la cohesión). Estos datos que se usaran para determinar la capacidad de carga última, haciendo uso de las fórmulas de corte general (suelos granulares densos y cohesivos de consistencia dura a rígida) y local (suelos granulares sueltos y cohesivos de consistencia media a semidura) de Terzaghi:

Fórmula para falla por corte general:

$$q_u = cN_c S_c + qN_q + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma S_\gamma$$

Fórmula para falla por corte local:

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

Donde:

C: cohesión

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

N_c, N_q, N_γ: Factores de carga, (Tabla 11).

Tabla 11: Factores de cohesión, carga y volumétricos. Modificado por Terzaghi (1943).

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

Luego, en base a los resultados obtenidos para de la carga última (q_u), se calculó la capacidad admisible de los suelos para una profundidad de cimentación de 1.00 m. y ancho de zapata de 1.00 m., así como para una profundidad de cimentación

de 1.50 m y ancho de zapata de 1.00 m. Los resultados obtenidos para la capacidad de carga admisible se presentan en las Tablas 12 y 13 y en la Figura 27.

Tabla 12: Capacidad de carga admisible para suelos extraídos en de Ciudad Nueva.

MUESTRA	Capacidad de carga última (Kg/m ²)	Capacidad de carga admisible (Kg/cm ²)	Capacidad de carga última (Kg/m ²)	Capacidad de carga admisible (Kg/cm ²)
CN - 01	2.16	0.72	2.69	0.90
CN - 02	1.98	0.66	2.78	0.93
CN - 03	2.28	0.76	3.19	1.06
CN - 04	1.66	0.55	2.17	0.72
CN - 05	1.84	0.61	2.58	0.86
CN - 06	1.80	0.60	2.51	0.84
CN - 07	2.36	0.79	3.30	1.10
CN - 08	2.93	0.98	4.66	1.55
CN - 09	2.25	0.75	1.88	0.63
DIMENSIONES DE CIMENTACIÓN	Profundidad: 1.00 m y ancho:1.00		Profundidad: 1.50 m y ancho:1.00	

Tabla 13: Capacidad de carga admisible de suelos en base a los ensayos de DPL en la localidad de Ciudad Nueva.

ENSAYO	Capacidad de carga última (kg/cm ²)	Capacidad de carga admisible (Kg/cm ²)	Capacidad de carga última (kg/cm ²)	Capacidad de carga admisible (Kg/cm ²)
DPL-02	1.37	0.46	3.23	1.08
DPL-08	0.98	0.33	1.17	0.39
DPL-09	2.86	0.95	2.91	0.97
DPL-10	1.64	0.55	2.22	0.74
DIMENSIONES DE CIMENTACIÓN	Profundidad: 1.00 m y ancho:1.00		Profundidad: 1.50 m y ancho:1.00	

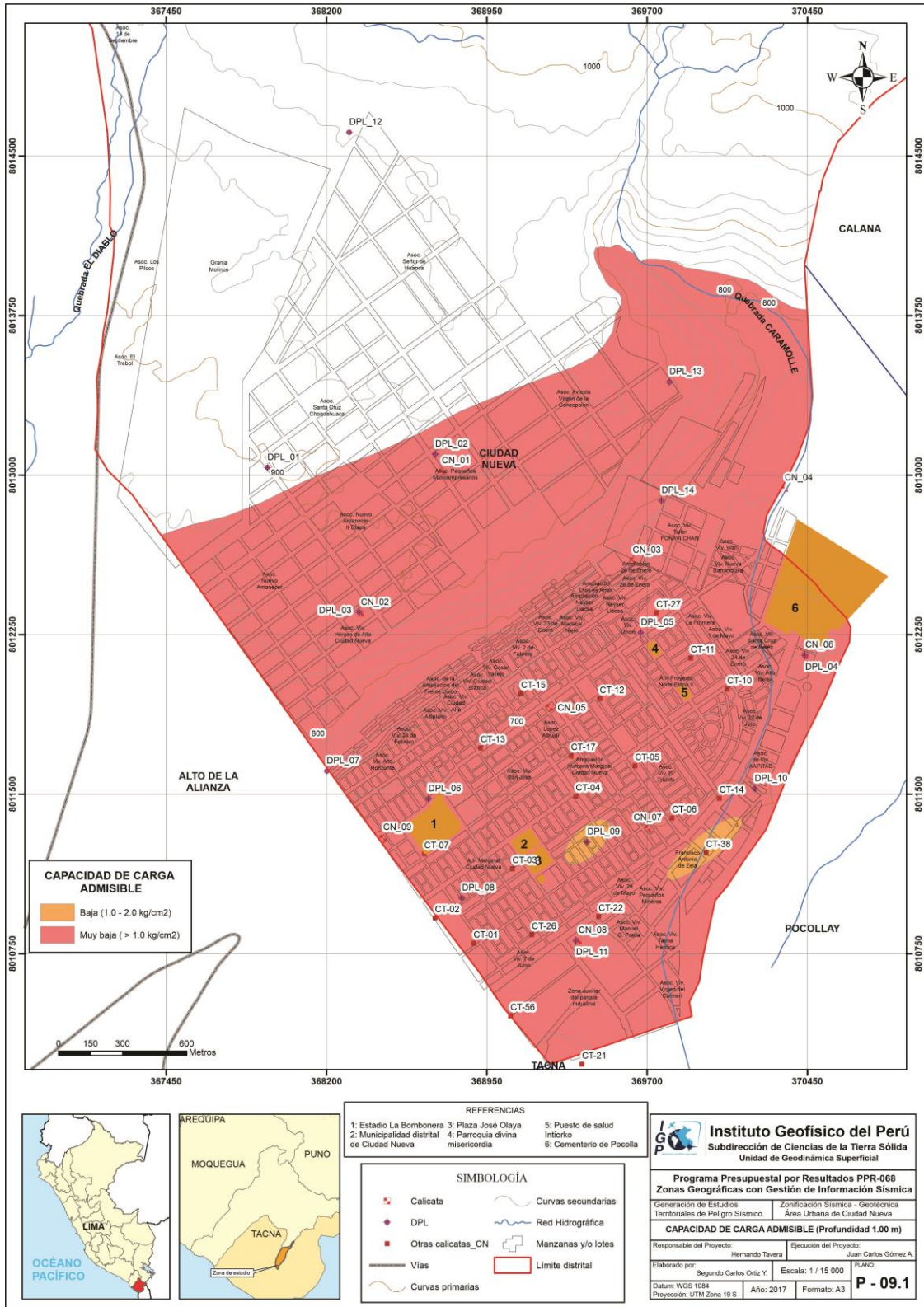


Figura 27: Mapa de capacidad de carga admisible para Ciudad Nueva.

De acuerdo a los resultados obtenidos y considerando los valores de la Tabla 14, se ha determinado para la zona urbana de ciudad Nueva su capacidad de carga admisible.

Tabla 14: Rangos de capacidad de carga admisible

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

5.8.2. Tipos de capacidad de carga admisible

En la localidad de Ciudad Nueva se han identificado los siguientes tipos de capacidad de carga admisible:

A) Capacidad de carga admisible muy baja

Comprende rangos de capacidad de carga admisible menores a 1.00 kg/cm², se consideran suelos granulares de compacidad suelta a media. Abarca el 97% del área estudiada. Sobre este tipo de suelos se encuentra asentado, casi toda el área urbana de Ciudad Nueva.

B) Capacidad de carga admisible baja

Comprende rangos de capacidad de carga admisible entre 1.00 – 2.00 kg/cm², se consideran suelos granulares con un mínimo porcentaje de finos de compacidad suelta a media. Abarca el 3% del área estudiada. Sobre este tipo de suelos se asienta el sector San Francisco de Zela, Asociación 26 de Enero y parte de la ampliación marginal de Ciudad Nueva.

6. CONCLUSIONES

- En el área de estudio se ha identificado dos unidades geomorfológicas: terrazas aluviales (sobre el cual se asienta el casco urbano de Ciudad Nueva) y lomas (identificadas a 1 km al norte y noreste de Ciudad Nueva).
- Los materiales que conforman el subsuelo en Ciudad Nueva corresponden a depósitos aluviales (gravas redondeadas a subredondeadas envueltos en matriz areno-limosa y arcillosa) con espesores aproximados de 7 m. El sustrato rocoso consta de rocas volcánicas (Tobas soldadas blancas y tufos rosados), cuyos afloramientos se encuentran al norte de la localidad de Ciudad Nueva.
- En el área de estudio se ha identificado un solo evento geodinámico: flujos de detritos, presentes en el sector de quebrada Caramoye, ubicada a 2 km al noreste de dicha ciudad. En caso de reactivarse la quebrada, afectaría a las asociaciones: Santa Cruz de Belén, Alto Belén, AAPITAC, Tacna Heroica y Virgen del Carmen.
- En ciudad Nueva, se han identificado tres tipos de suelos: arenas mal graduadas (SP) con contenido de limos de compacidad suelta a muy sueltas. Esta presente en las asociaciones de Ampliación Frente Único, Ciudad Alta, Ciudad Blanca y 2 de Febrero, suelos confinados por arena limosa (SM) mal graduadas de compacidad suelta a media. Presentes en los sectores de: A.H Marginal Ciudad Nueva, Asoc. de Viv. 7 de Junio, Asoc. de Viv. 9 de Mayo, Asoc. de Viv. San José, Asoc. López Albuja, Ampliación Humano Marginal Ciudad Nueva, Asoc. de Viv. El Triunfo, A.H Proyecto Norte Etapa II, Asoc. de Viv. Unión, Asoc. de Viv. Neyser Llacsá, Ampliación 26 de Enero, Asoc. Viv. La Frontera y Asoc. de Viv. Taller FONAVI CHAN. Finalmente limos inorgánicos (ML) con arenas muy finas de consistencia compacta. Presente en los sectores de Asoc. de Viv. Héroes de Alto Ciudad Nueva (Calicata CN-02), Asoc. Pequeños Microempresarios (CN-01), Asoc. Nuevo Amanecer y Asoc. Avícola Virgen de la Concepción.
- En la zona de estudio, el 97% de los suelos presentan capacidad de carga admisible muy baja (menores a 1.00 kg/cm²) y el 3%, carga admisible baja (1.00 – 2.00 kg/cm²), en los sectores de: San Francisco de Zela, Asociación 26 de Enero y parte de la Ampliación Marginal Ciudad Nueva.

**CARACTERIZACIÓN SÍSMICA Y GEOFÍSICA
DE CIUDAD NUEVA**

CONTENIDO

1. METODOLOGÍA

- 1.1. Razones Espectrales (H/V)
- 1.2. Multicanal de ondas Superficiales (MASW)
- 1.3. Tomografía de Resistividad Eléctrica (ERT)

2. ADQUISICIÓN DE DATOS

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

3. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS GEOFÍSICOS

- 3.1. Frecuencias Predominantes
- 3.2. Perfiles de velocidad de ondas de corte (V_s)
- 3.3. Periodos Dominantes
- 3.4. Secciones de resistividad geoeléctrica

4. RESULTADOS

- 4.1. Mapa de Zonificación Sísmica

CONCLUSIONES

1. METODOLOGÍA

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

1.1. Razones Espectrales (H/V)

El método de razones espectrales (H/V) descrito por Nakamura (1989), permite caracterizar la respuesta dinámica del sitio y estimar la amplificación sísmica. Para la aplicación de esta técnica se obtiene registros de vibración ambiental y se procede a construir las razones espectrales H/V que consiste en obtener el cociente de los espectros de Fourier de las componentes horizontales entre la vertical (Nakamura, 1989), a fin de identificar las frecuencias predominantes y amplificaciones máximas relativas que caracterizan al tipo de suelo presente en el área de estudio (Figura 1).

Estas características son definidas por las condiciones geológicas y geomorfológicas de las primeras decenas de metros por debajo de la superficie. Debe entenderse que la variación de las propiedades físicas de cada capa estratigráfica superficial de diferente espesor, geometría y composición litológica, causaran o no, la amplificación de las ondas sísmicas incidentes, propiedad que es utilizada para conocer las características físicas del suelo.

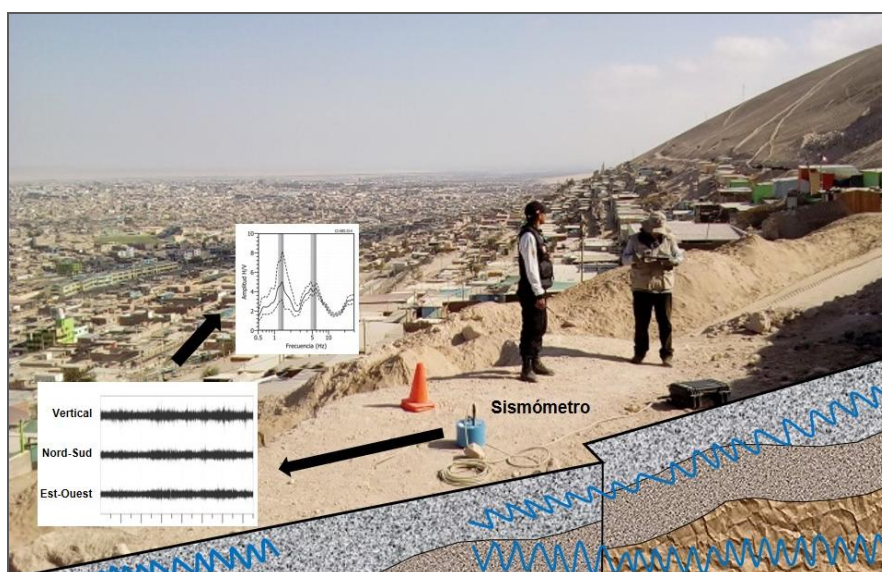


Figura 1: Esquema que muestra el registro de vibraciones ambientales.

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

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

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

- **Interpretación:** Para la interpretación de los valores obtenidos se considera los siguientes puntos: 1) Las frecuencias predominantes menores a 1 Hz corresponden a vibraciones generadas por el oleaje del mar, y/o cambios meteorológicos (periodos muy largos), 2) Las bajas frecuencias o periodos largos son debidas a la presencia de depósitos profundos y 3) Las frecuencias altas o periodos cortos son debidos a depósitos superficiales blandos y de poco espesor (SESAME, 2006; Bernal, 2006). Asimismo, se utilizan mapas geológicos, geomorfológicos, geodinámicas y capacidad de carga admisible.

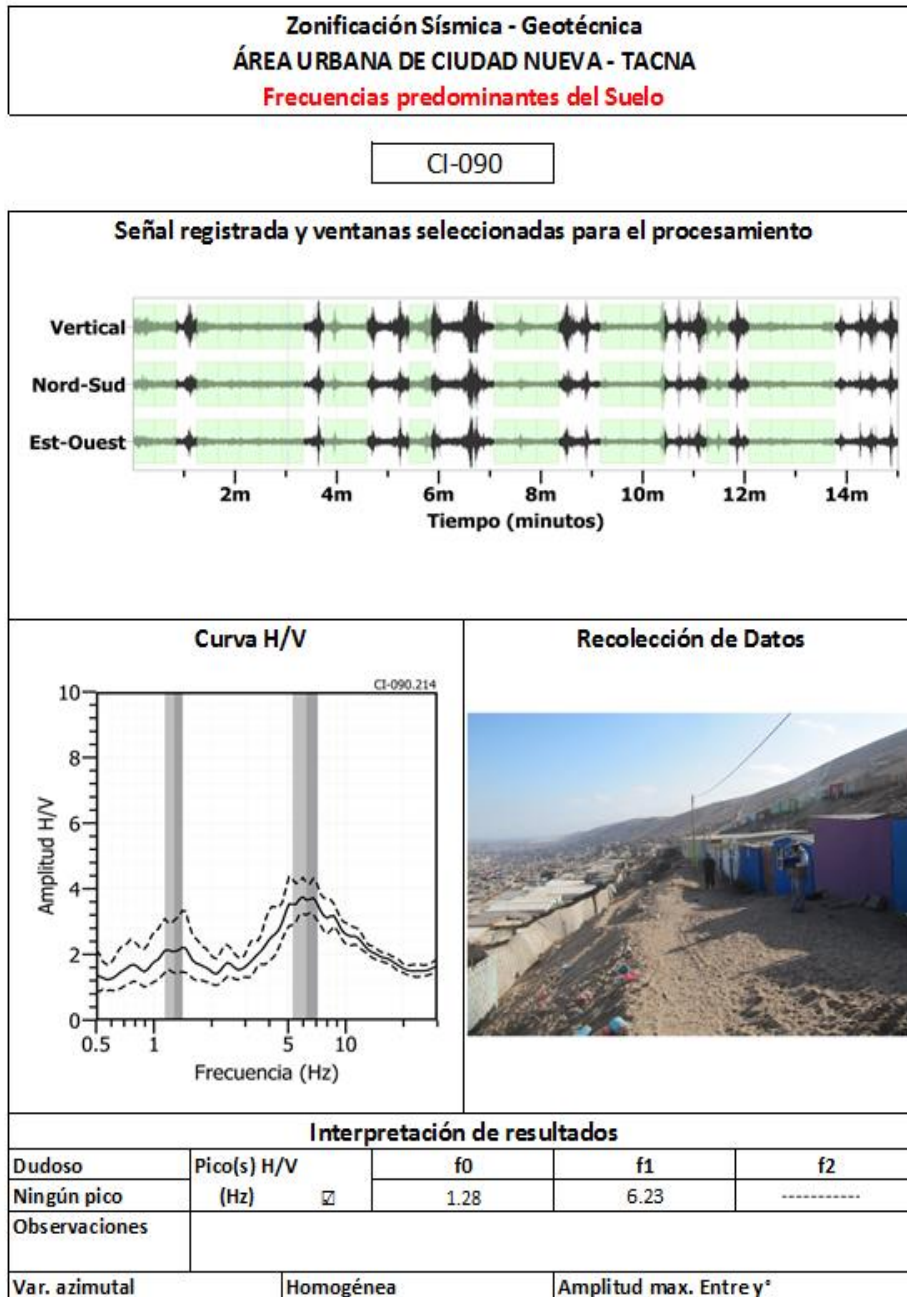


Figura 2: Ejemplo de la ficha H/V para el punto CI-090 en la cual se recopila la información registrada y analizada. Arriba, señal registrada; Medio; razón espectral (H/V) en línea gruesa y su desviación estándar en línea discontinua y Abajo; resultados.

1.2. Análisis Multicanal de ondas Superficiales (MASW)

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

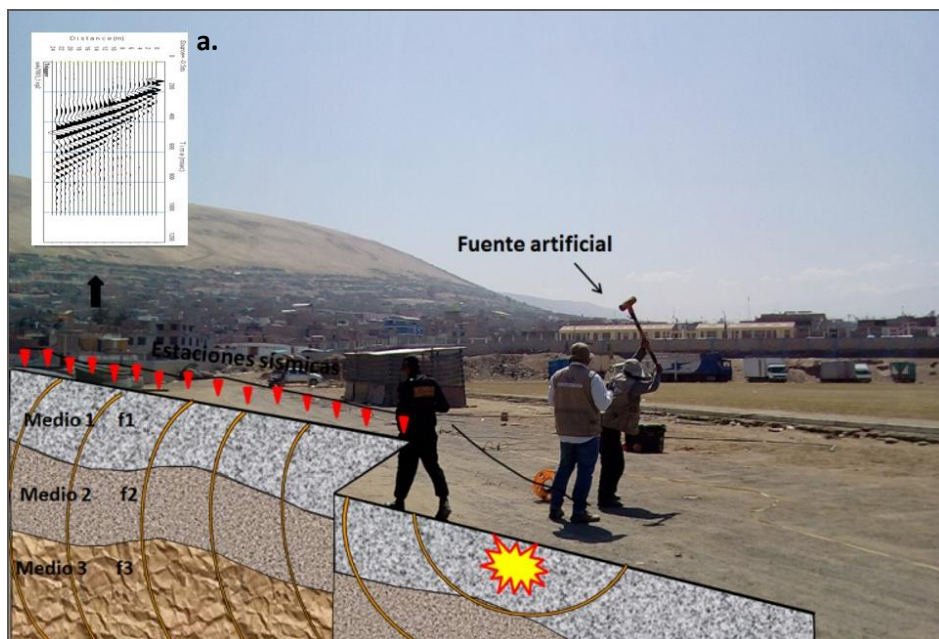


Figura 3: Generación de ondas Rayleigh usando fuentes artificiales. a. Curva de dispersión para ondas Rayleigh.

La longitud de la línea sísmica (D), depende de la profundidad máxima de investigación (Z_{max}). Y usualmente D es más grande que Z_{max} (Park, 20015), es decir: $D=nZ_{max}$, donde ($1 \leq n \leq 3$). Para fines geotécnicos, la profundidad máxima de investigación suele estar en el rango de 10 a 30 m, pero puede variar según el tipo de suelo, a estudiar (Park, 2007).

- Procesamiento: Consiste en aplicar la transformada rápida de Fourier (FFT) en los registros sísmicos obtenidos para cada punto de disparo (Reynolds, 2011), lo cual permite la transformación de los datos en series de tiempo, dando como resultado una imagen de dispersión que relaciona la velocidad de fase de las ondas superficiales con la frecuencia. Una vez obtenidas las curvas de dispersión para a un mismo perfil MASW, de forma individual son sometidos a un proceso matemático de inversión con el fin de obtener los perfiles V_s en una dimensión (1D). En este proceso, se considera como parámetros de entrada la profundidad (30 m) y el número de capas (15 capas). Finalmente, los perfiles V_s son promediados obteniendo un perfil unidimensional para cada línea sísmica. Los resultados, al ser analizados, proporcionan información útil sobre las características geotécnicas del subsuelo (Park, 2014; Roma, 2010; Socco et al., 2008).

En la Figura 4, se muestra un ejemplo de los resultados que se obtiene a partir de la técnica de MASW. La imagen de la izquierda muestra la curva de dispersión

obtenida y el de la derecha, el perfil de velocidad de ondas de corte Vs (línea verde); Además a el promedio final de los perfiles obtenidos post inversión. (Círculos de color verde representa la inversión de la curva de dispersión del dominio de frecuencia a profundidad). Esta curva permite verificar el nivel de confiabilidad o la profundidad mínima y máxima de investigación (área sombreada), en este caso; el perfil presenta una capa sísmica y un semiespacio, donde, el nivel de confiabilidad es de 2 para una profundidad de 30 metros.

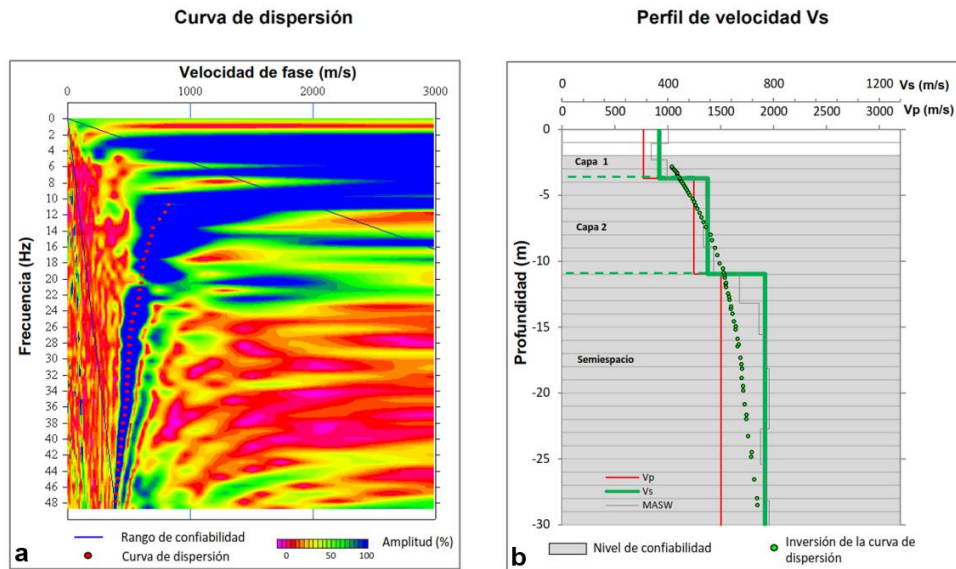


Figura 4: a) Curva de dispersión y b) perfil de velocidad obtenido a partir del ensayo realizado en la asociación de vivienda La Frontera.

- **Interpretación:** Para el análisis e interpretación de los resultados obtenidos en este estudio se considera la clasificación de suelos según la Norma E.030. En este caso, el rango de velocidad de los perfiles de suelo S1 y S2 se subdividen, a fin de considerar dos clasificaciones adicionales. Asimismo, esta nueva clasificación del perfil del suelo, es representado con colores, para su mejor comprensión (Tabla 1).

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

Clasificación de los perfiles de Suelo				
N°	Vs		Norma E.030	Descripción
1	< 180 m/s	S ₃	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	

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

1.3. Tomografía de Resistividad Eléctrica (ERT)

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

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

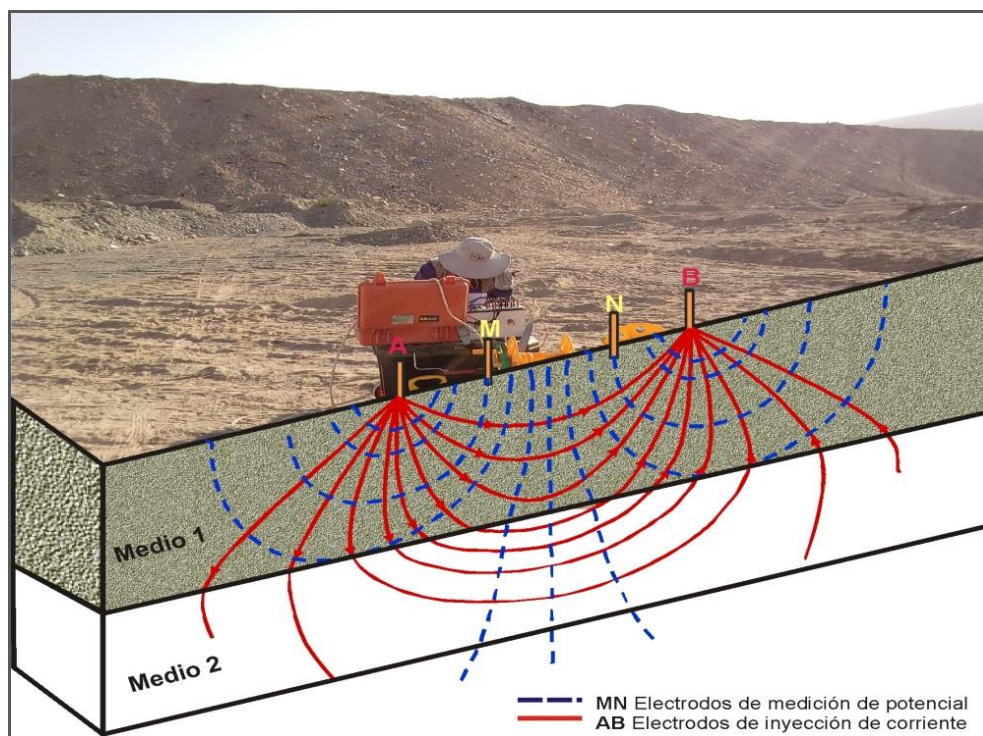


Figura 5: Principio del método de resistividad. Modificado de Orellana, E. (1982).

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

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

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

- **Interpretación:** La interpretación de la información considera todos los factores posibles que puedan influir en los resultados; es decir, grado de saturación del terreno, porosidad y la forma del poro, la salinidad del fluido, el tipo y composición de la roca, la temperatura, los procesos geológicos que afectan a los materiales y la presencia de materiales arcillosos con alta capacidad de intercambio catiónico. Considerando la existencia de una estrecha relación entre la resistividad eléctrica y el grado de saturación del terreno, es posible definir la posible ubicación de las áreas de filtración y las zonas saturadas en el subsuelo. De existir incrementos de fluidos en el terreno estos se verán reflejados por una disminución en valores de resistividad.

En este estudio se considera 5 rangos de resistividad (Muy alto resistivo, Alto resistivo, resistivo, bajo resistivo y muy bajo resistivos), los cuales presentan las siguientes características (Tabla 2).

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

Rango de resistividades	ohm.m	Tipo de suelo	
Material muy resistivo	> 1500	Suelo muy seco o roca intacta	
Material resistivo	500 a 1500	Suelo seco o roca fracturada	
Material medianamente resistivo	100 a 500	Suelo con poco contenido de humedad	
Material bajo resistivo	20 a 100	Suelo saturado o roca con contenido de sales	
Material muy bajo resistivo	< 20	Suelo muy saturado	

- **Muy Alto Resistivo (color rojo):** Comprende valores mayores a 1500 ohm.m. Se considera dentro de este grupo a rocas Ígneas y metamórficas, y dentro de las sedimentarias, a los conglomerados. Un factor importante a señalar es que estos materiales estarán bajo condiciones de ausencia de agua; sin embargo, si hay presencia de arcilla, su grado de alteración permitiría la disminución en los valores de resistividad del suelo.
- **Alto Resistivo (color anaranjado):** Comprende valores entre los 500 y 1500 ohm.m. Se considera dentro de este grupo a las rocas sedimentarias, ya sean de origen detrítico o químico. Asimismo, incluye a los suelos con muy baja composición de materiales orgánicos.
- **Medianamente Resistivo (color verde):** Comprende valores entre los 100 y 500 ohm.m. Dentro de este grupo se considera a suelos sedimentarios de composición variada; es decir, arenas, arcillas y limos, cada vez con mayor contenido de materiales orgánicos.
- **Bajo Resistivo (color celeste):** Comprende valores entre los 20 y 100 ohm.m. Según Loke (2001), estas resistividades corresponden a suelos saturados de agua y su variación depende de la relación existente entre la resistividad, porosidad y la permeabilidad de los materiales. Así mismo, se puede considerar dentro de este grupo a los suelos orgánicos, arcillosos, limosos y aquellos con contenido de carbón, los cuales se comportan como buenos conductores de corriente.
- **Muy Bajo Resistivo (color azul):** Comprende valores menores a 20 ohm.m y estos están referidos a suelos con presencia de agua, material orgánico, arcillas. Se debe considerar que el grado de salinidad del agua afecta los valores de resistividad, permitiendo que estos alcancen valores del orden del 0.2 ohm.m., equivalente al agua de mar. Para el presente estudio se han resumido el rango de resistividades en la Tabla 2.

Considerando la estrecha relación entre la resistividad eléctrica y el grado de saturación del terreno, estos modos de saturación permite definir la posible ubicación de las áreas de filtración y las zonas saturadas del subsuelo. En tal sentido, se puede decir que al haber incrementos de fluidos en el terreno estos se verán reflejados por una disminución en valores de resistividad.

2. ADQUISICIÓN DE DATOS

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

2.1. Registro de vibración ambiental (H/V)

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



Figura 6: Equipo sísmico utilizado para el registro de vibraciones ambientales en Ciudad Nueva: sensores Lennartz (2N) y registrador CityShark II.

Para la aplicación de esta técnica se procedió, sobre el mapa catastral del área urbana de Ciudad Nueva, a definir la distribución y el número de puntos para el registro de vibraciones ambientales teniendo en cuenta la información geológica y geomorfológica de la zona de estudio. Cada uno de los puntos de registro de vibración ambiental obtenidos en campo, tienen una duración de 15 minutos, lo cual permite disponer de buena cantidad de información para su posterior análisis. En el área urbana de Ciudad Nueva, se consideró 126 registros de vibración ambiental obtenidos de manera puntual, todos distribuidos según la Figura 7.

En la Figura 8, se muestra la disposición del equipo sísmico al momento del registro de información, además de ejemplos de señales de vibración ambiental. La señal registrada en el punto CI-036 presenta bajos niveles de ruido; mientras que, la señal en CI-040, presenta diversidad de pulsos de variada amplitud, que al momento de su análisis, pueden ser filtrados, para no afectar a la información a utilizarse en este estudio.

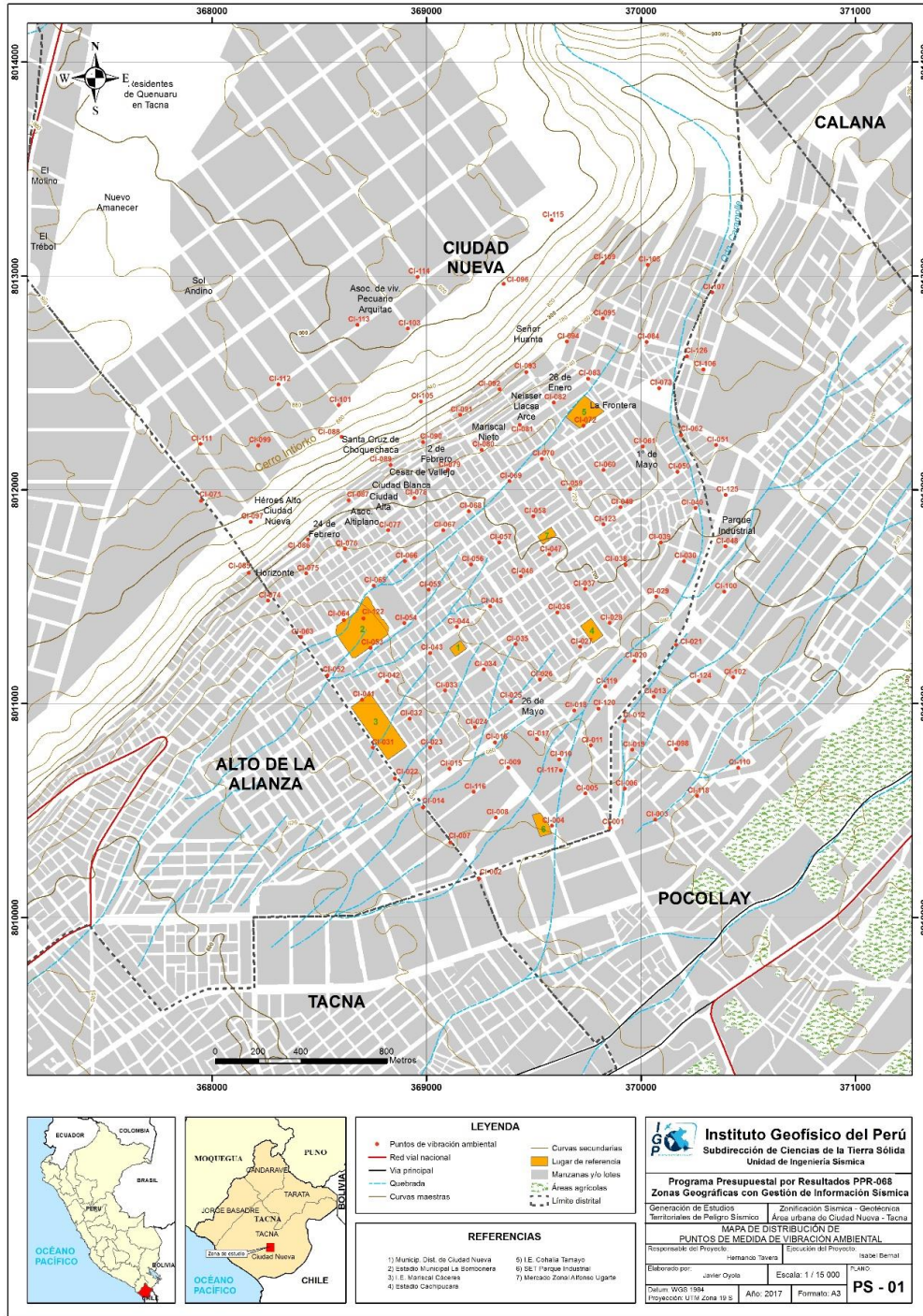


Figura 7: Distribución de los puntos de medida de vibraciones ambientales para el área urbana de Ciudad Nueva.

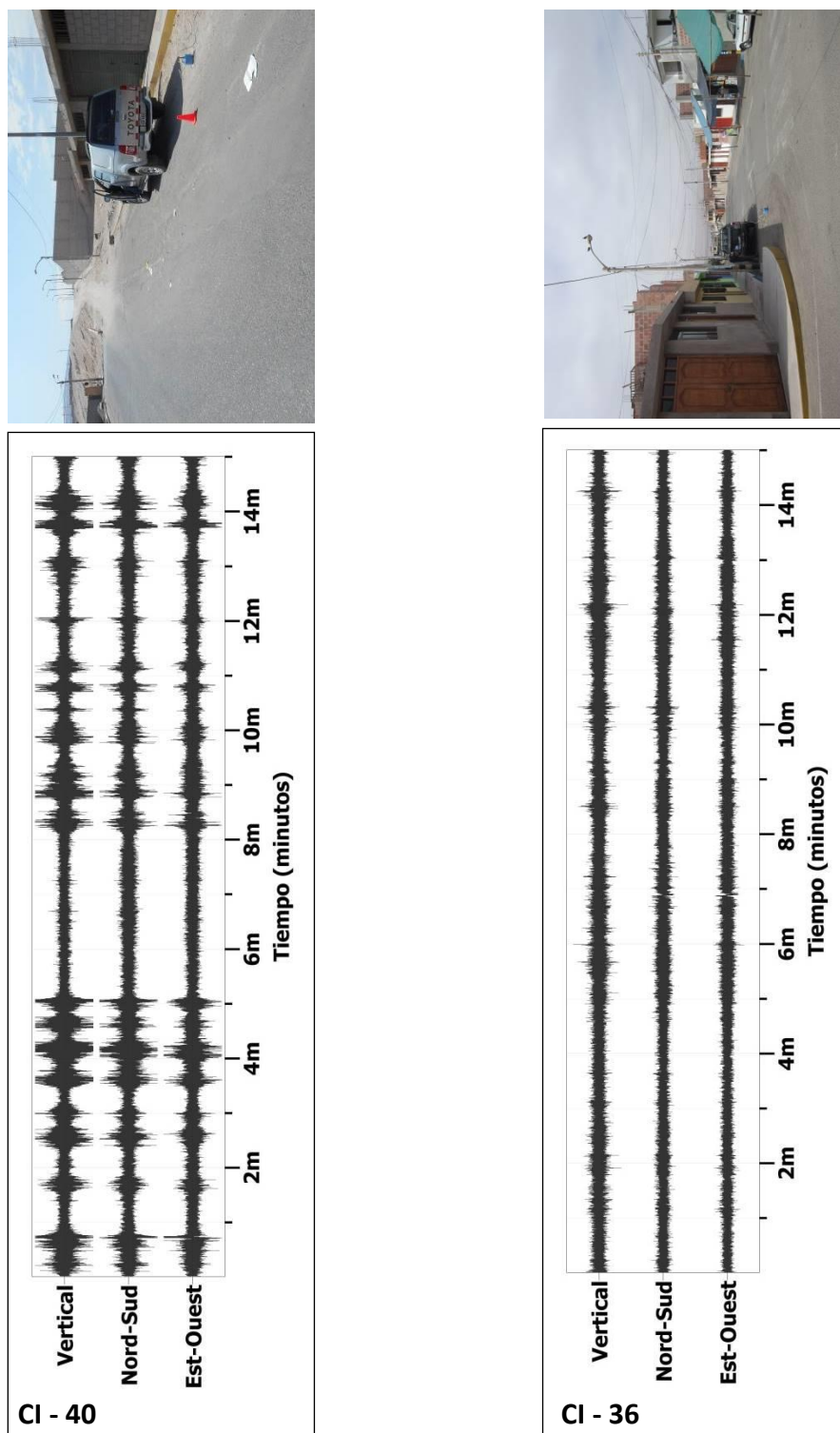


Figura 8: Ejemplos de la disposición del equipo sísmico para el registro de vibraciones ambientales. Ejemplos de registros de vibración ambiental obtenidos sobre una zona con ruido transitorio (CI-040) y otro con ruido de fondo constante (CI-036). Obsérvese las diferentes amplitudes de la señal registrada en cada punto.

2.2. Registro de arreglos lineales (MASW)

Para el registro de información se ha utilizado un equipo sísmico (sismómetro) de uso multipropósito, modelo GEODE de Geometrics, 24 sensores o geófonos de baja

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



Figura 9: Equipos utilizados en la toma de datos de MASW en la Calle Raúl Jiménez.

En el área urbana de Ciudad Nueva se realizaron 8 arreglos sísmicos como: LS01-CI, LS02-CI,..., LSO8-CL (Figura10). Asimismo, en la Tabla 3 se presentan las coordenadas geograficas de cada línea.

Tabla3: Coordenadas y características de las Líneas Sísmicas realizados en Ciudad Nueva.

Línea Sísmica	Este (m)	Norte (m)	Cota (m)	Espaciamiento entre geófonos (m)	Longitud total (m)
LS01-CI	369658	8010512	657	4	92
	369726	8010566	657		
LS02-CI	370243	8011524	691	4	92
	370271	8011613	691		
LS03-CI	370060	8012391	718	4	92
	370125	8012456	718		
LS04-CI	369191	8011863	650	4	76
	369256	8011904	650		
LS05-CI	368659	8011333	658	4	92
	368683	8011421	658		
LS06-CI	368727	8011978	726	4	92
	368804	8012027	726		
LS07-CI	368113	8012131	852	4	92
	368039	8012082	852		
LS08-CI	368648	8013113	911	4	92
	368703	8013041	911		

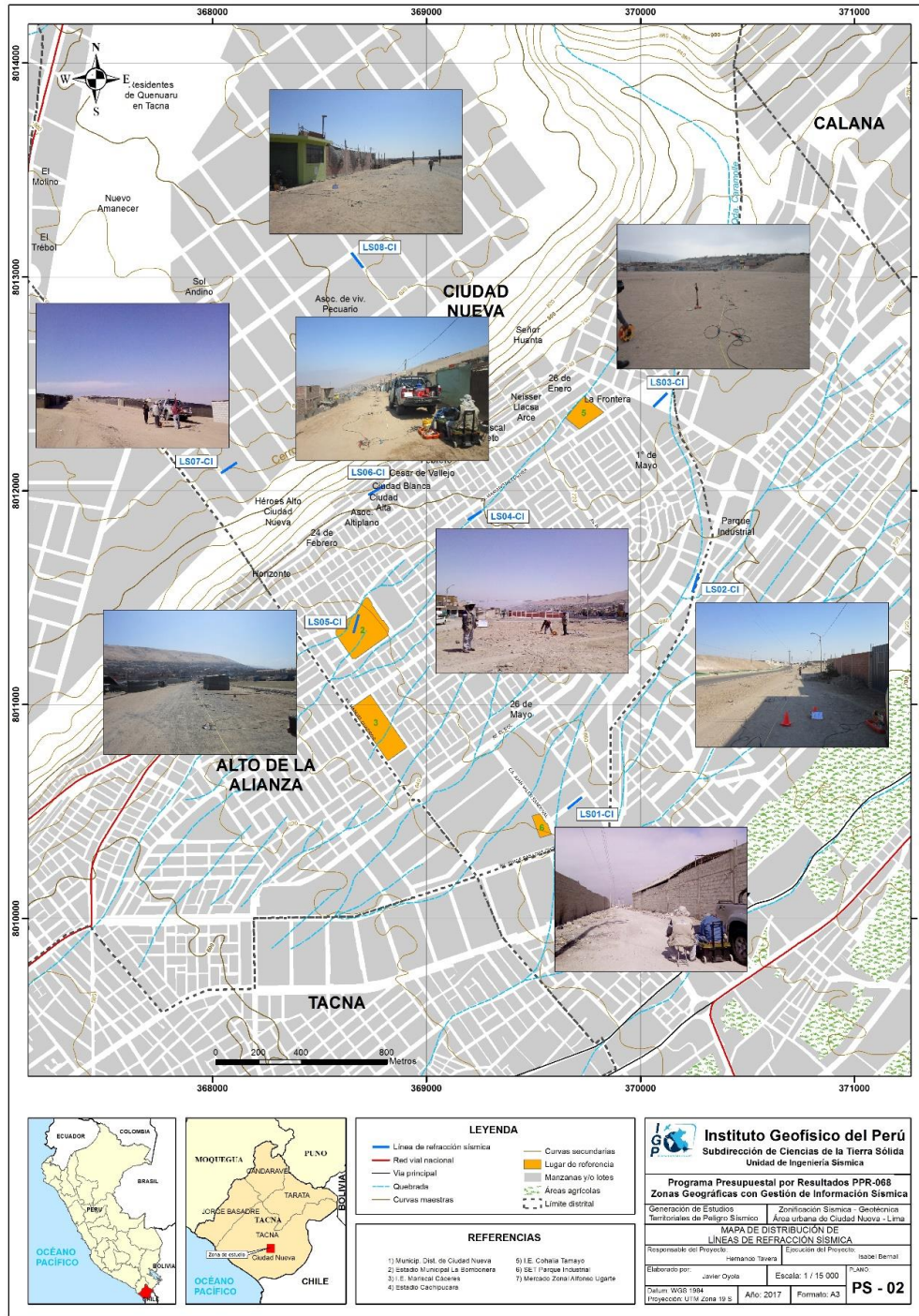


Figura 10: Mapa del área urbana de Ciudad Nueva y distribución espacial de las líneas sísmicas codificadas como: LS01-CI, ..., LS08-CI.

Durante su adquisición de datos se visualiza los datos sísmicos sismogramas, a fin de verificar la calidad del registro y el nivel de ruido, tal como se observa en la Figura 11. Para mejorar la relación señal/ruido fue necesario realizar apilamientos de señales (en cada punto de disparo se registran varios golpes y es acumulado al anterior), considerando de cuatro a cinco golpes, en cada punto “shot”. Finalmente, se realiza el procesamiento preliminar para determinar, si la profundidad y la velocidad sísmica, tienen coherencia con la geología y complementando con los objetivos del

estudio. El procesamiento de los datos obtenidos con MASW, fue realizado en el programa de computación SeisImager.

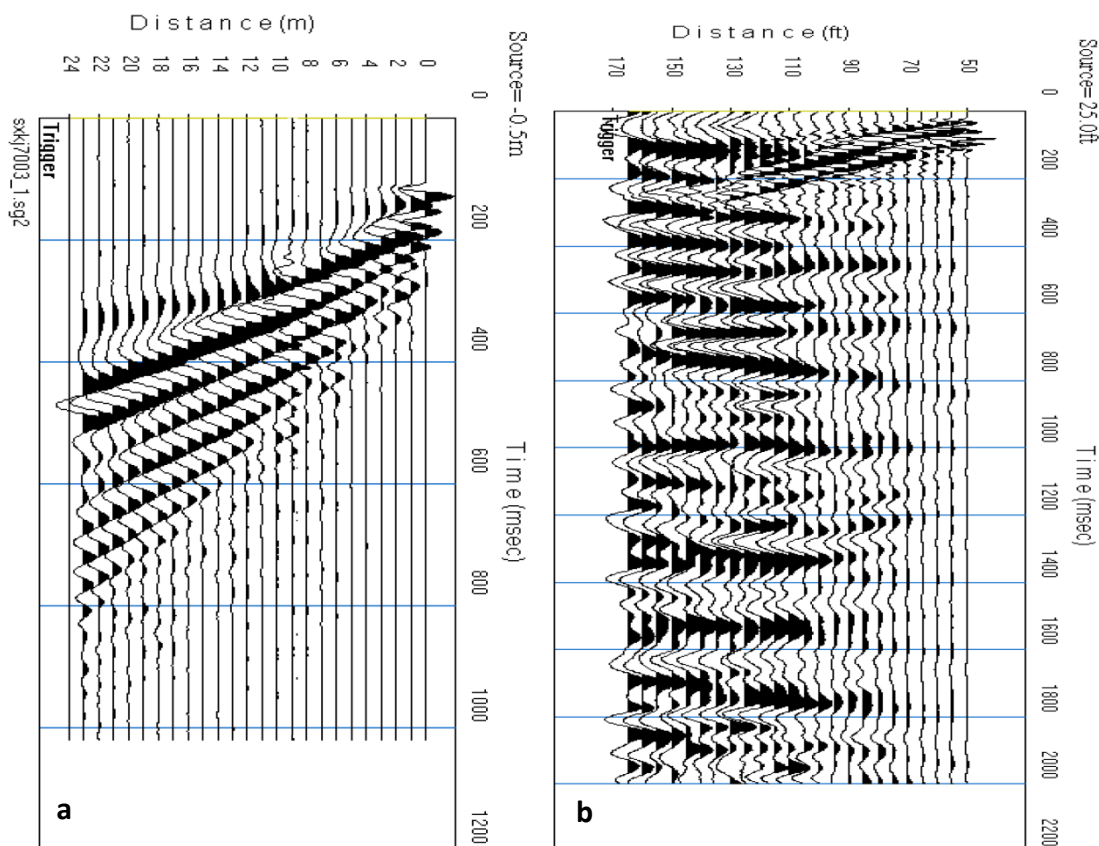


Figura 11: a) Registro sísmico con bajo contenido de ruido ambiental, es decir, alta calidad. b) Registro sísmico con alto contenido de ruido ambiental.

En la Figura 12, como ejemplo, se muestra la disposición del equipo y el registro sísmico obtenido para la línea sísmica LS08-CI, ubicada en la Asociación de Vivienda Pecuarios Arquítac sector 8. El sismograma contiene las señales sísmicas con presencia de bajo ruido ambiental, registrados por sensores ubicados a lo largo de la línea y cuyo punto de disparo, se encuentra a una distancia de 6 metros al final de la línea sísmica.

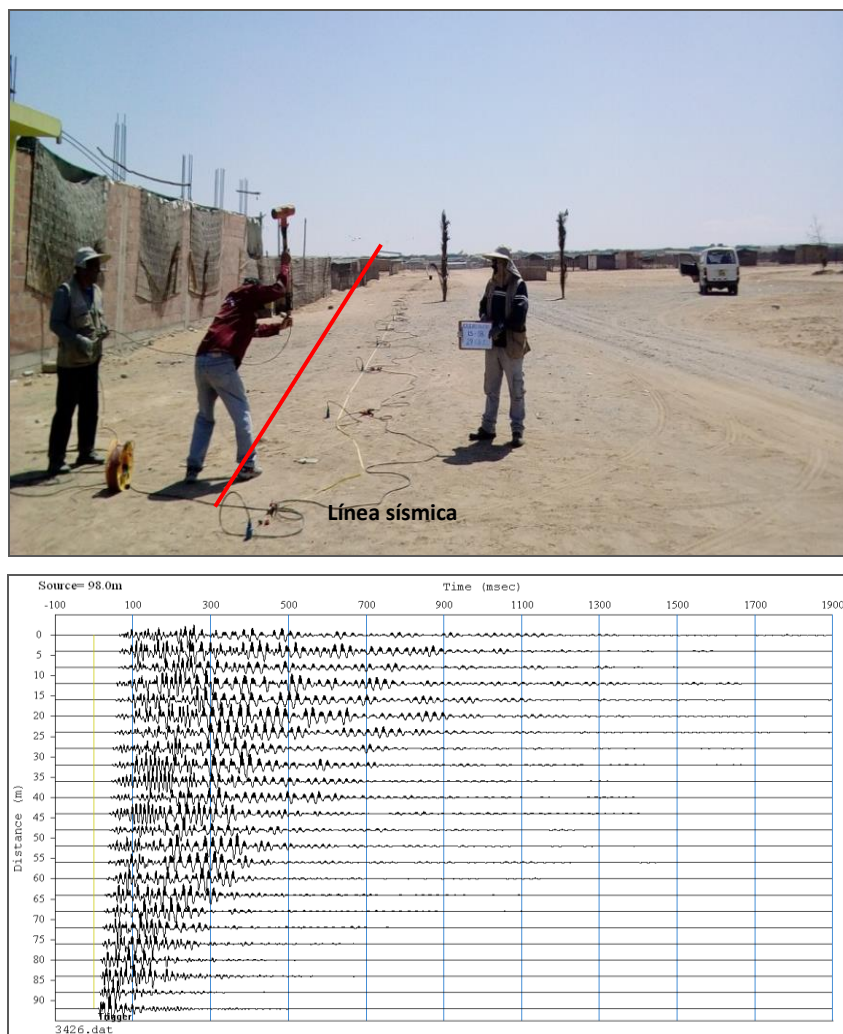


Figura 12: Disposición del equipo de adquisición por el método de MASW y el registro sísmico obtenido.

2.3. Registro de la resistividad del suelo (ERT)

Para el registro de datos se ha utilizado un equipo de Resistividad / IP Syscal Pro de marca Iris Instruments, 30 electrodos de acero y 10 cables de potencial multiconductor. En Ciudad Nueva se realizó 05 líneas de tomografía eléctrica con el dispositivo polo-dipolo y la distribución de 30 electrodos. Para las líneas se consideró un espaciamiento de 10 metros, entre cada electrodo sobre un tendido longitudinal que variaba de 260 y 290 metros, lo cual permitió tener alcances en profundidad mayores a los 39 metros. En la Figura 13 se presenta la ubicación geográfica de cada línea de tomografía eléctrica.

La Tabla 4, muestra las coordenadas UTM (WGS84) que corresponden a los puntos extremos de la líneas.

Tabla 4: Coordenadas geofísicas de las Líneas eléctricas (LE) elaboradas en Ciudad Nueva.

Línea Eléctrica	Este (m)	Norte (m)	Cota (m)	Espaciamiento entre electrodos (m)	Longitud total (m)
LE01-CI	369333	8010786	669	10	190
	369449	8010620	666		
LE02-CI	370349	8011751	710	10	290
	370255	8011469	702		
LE03- CI	370043	8012491	740	10	240
	370161	8012279	732		
LE04- CI	368719	8011970	729	10	290
	368484	8011806	722		
LE05- CI	368929	8012982	924	10	290
	368691	8012803	906		

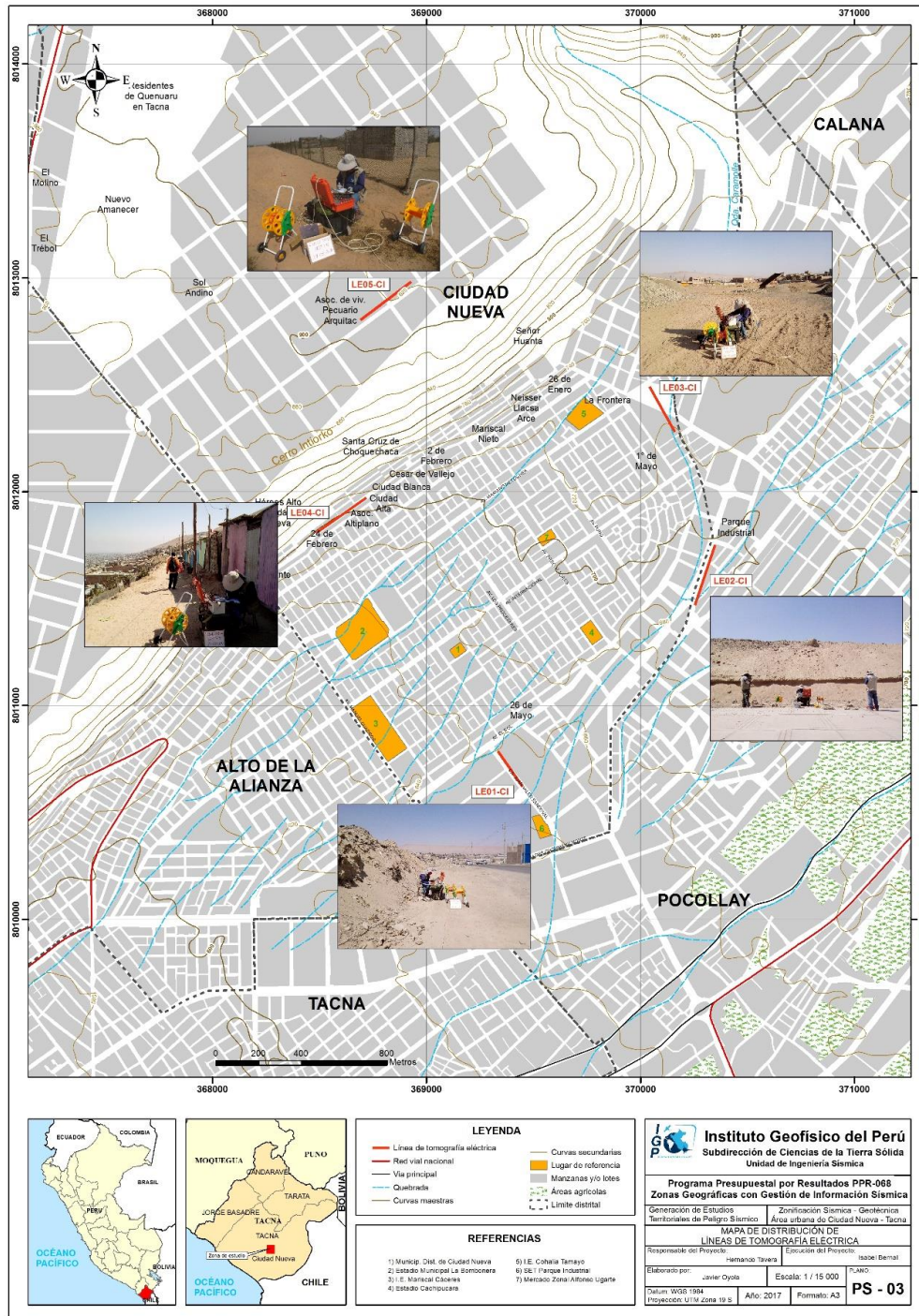


Figura 13: Mapa del área urbana de Ciudad Nueva y distribución espacial de las líneas de tomografía eléctrica codificadas como: LE01-CI, ..., LE05-CI.

La calidad de la señal eléctrica de todos los registros se evaluó mediante un test de resistencia de contacto entre los electros y el terreno, garantizando el registro de datos confiables para el procesamiento. Con cierto proceso donde se busca mejorar las imágenes con el uso de filtros que disminuyeran los efectos de borde, medidas negativas de resistividad aparente y la obtención de dos ciclos de registro por cada punto de medida de resistividad. Este hecho permitió evaluar la fiabilidad de los datos

mediante la comparativa de los dos valores de resistividad, siendo los más fiables, aquellos con menores diferencias.

En este proceso se consideró los siguientes criterios:

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

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

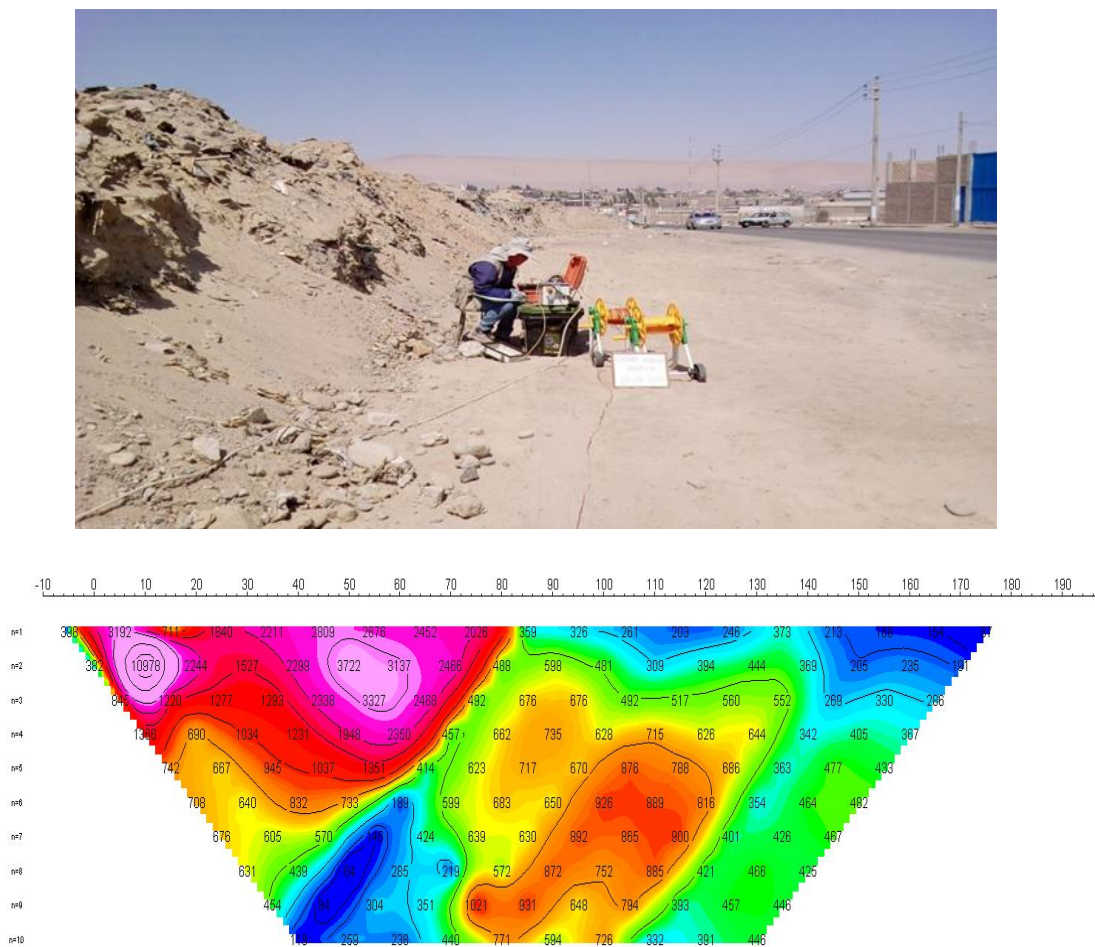


Figura 14: Disposición del equipo de adquisición por la técnica ERT (LE01-CI) y registro eléctrico obtenido en campo.

3. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS GEOFÍSICOS

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

3.1. Frecuencias Predominantes

Esta información permite obtener espectros de Fourier para las tres componentes de registro de vibración ambiental obtenidos de manera puntual en 126 puntos y a partir de la razón de estos (componentes horizontales/componente vertical), conocer las frecuencias predominantes y/o periodos dominantes de vibración natural del suelo y en algunos casos, la amplificación sísmica relativa para cada punto.

- **Distribución de frecuencias predominantes:** A partir de los valores extraídos de las razones espectrales H/V, se obtiene mapas con la distribución espacial de los valores de frecuencias predominantes. A continuación, se describe y analiza la distribución espacial de las frecuencias predominantes identificadas en el área urbana de Ciudad Nueva.

- **Frecuencia predominante F_0 :** En la Figura 15, se muestra el mapa con la distribución espacial de los valores de F_0 , en la cual predominan valores entre 1.0 y 1.5 Hz. Estos valores están presentes de manera dispersa por la urb. La Frontera, Héroes de Alto Ciudad Nueva y sobre cerro Intiorko.

Las razones (H/V) obtenidas para los puntos CI-71(A), CI-94 (E) y CI-113(F), ubicados al norte de la ciudad, sobre el cerro Intiorko, presentan un pico con frecuencias predominantes de 1.22, 1.25 y 1.14 Hz; y amplificaciones de 3.7, 3.2 y 2.9 veces respectivamente (Figura 16). Los resultados sugieren la existencia de una capa sedimentaria de gran espesor. Los puntos CI-74(B), CI-78(C) y CI-84(D), ubicados al norte sobre la ladera del cerro Intiorko, presentan frecuencias predominantes de 1.19, 1.21 y 1.31Hz con amplificaciones de hasta 2, 1.8 y 2.5 veces. Además los suelos de

esta zona responden un segundo pico de frecuencia 4.01, 3.53 y 3.03Hz con amplificaciones menores a 2 veces. Estos resultados muestran la existencia de dos capas sedimentarias en esta zona. La presencia de dos picos de frecuencia evidencia mayor complejidad en la respuesta de los suelos, a pesar de presentar baja amplificación.

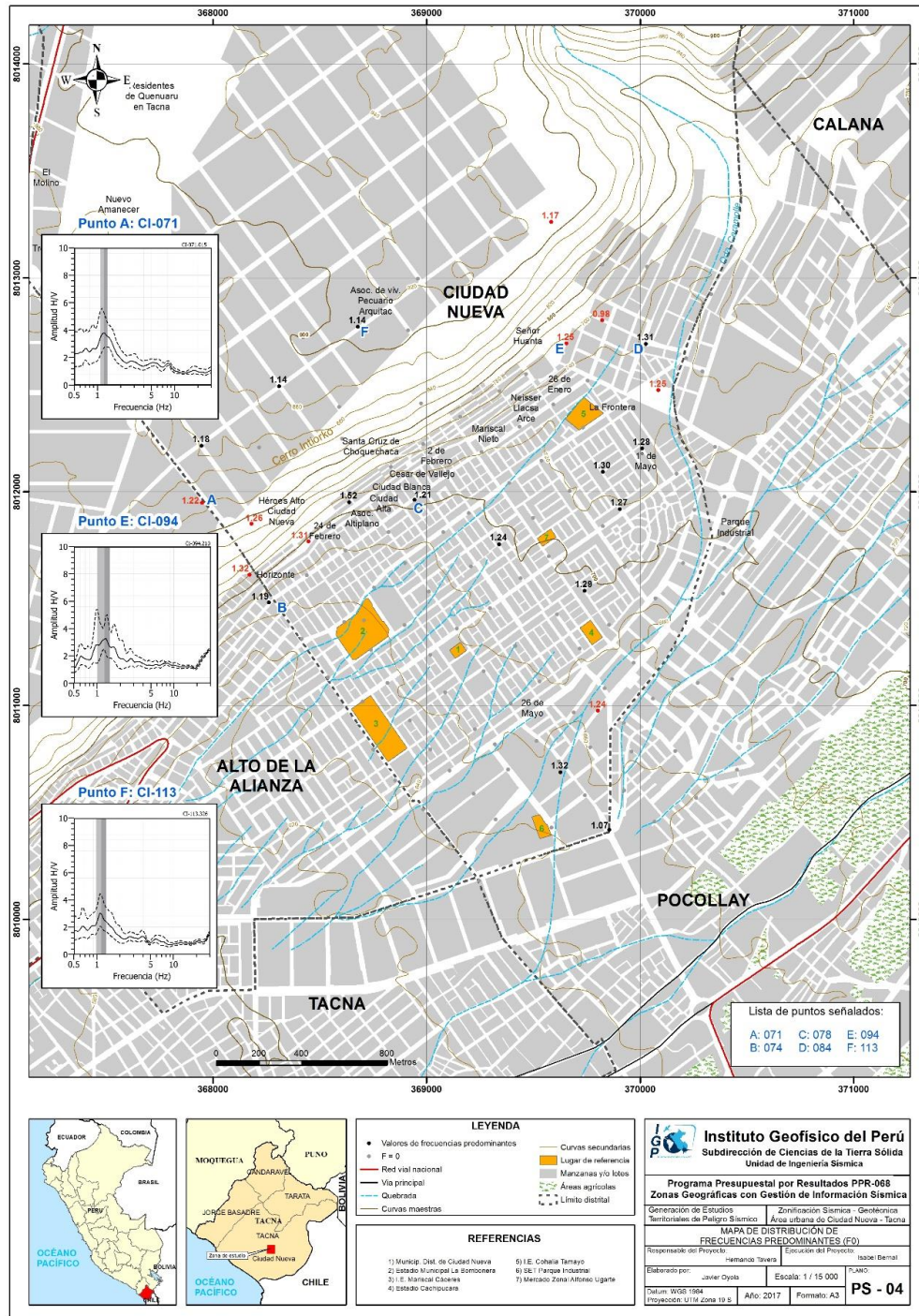
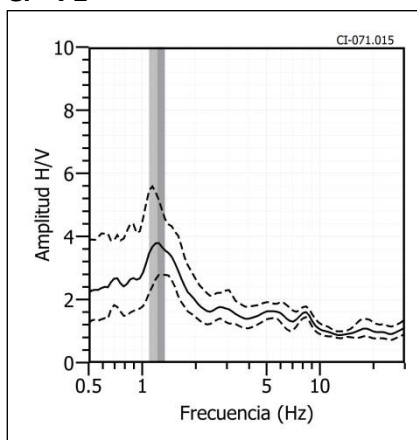
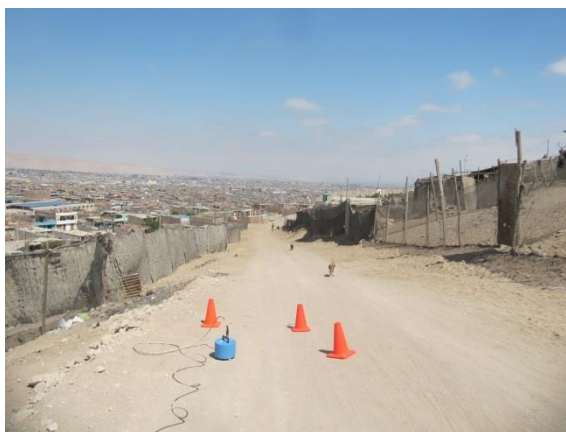
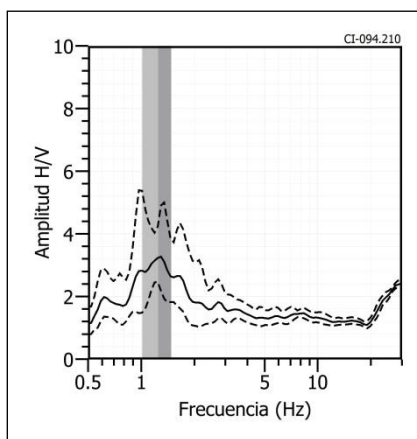


Figura 15: Mapa del área de estudio con la distribución espacial de las frecuencias predominantes F_0 ($F \leq 2.0\text{Hz}$) definidas en cada punto.

CI - 71



CI - 94



CI - 113

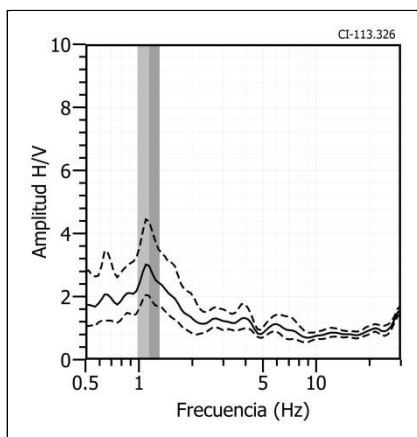
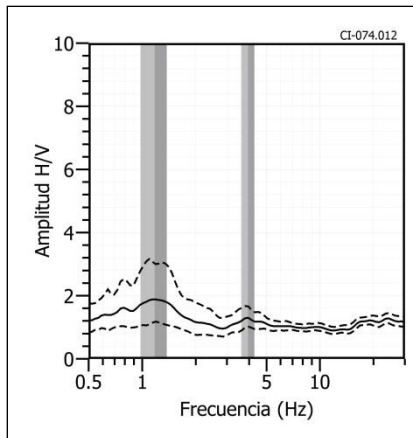
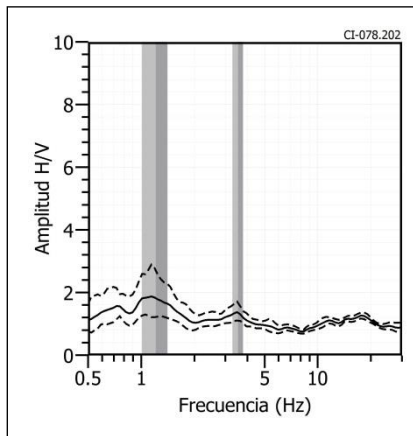


Figura 16: Mapa del área de estudio con la distribución espacial de las frecuencias predominantes F_0 ($F \leq 2.0\text{Hz}$) definidas en cada punto.

CI - 74



CI - 78



CI - 84

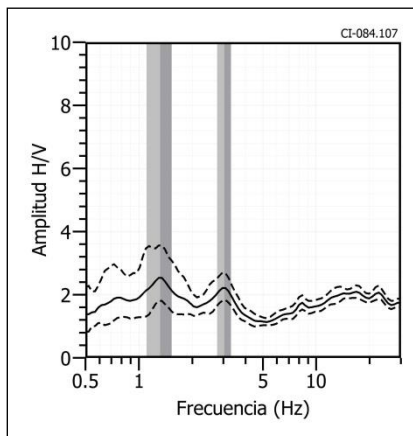


Figura 16....continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F_0 ($F \leq 2.0\text{Hz}$): Para los puntos CI -74(B), CI-78(C) y CI-84(D), ubicados al norte sobre la ladera del cerro Intiorko. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

- **Frecuencia predominante F1:** En la Figura 17, se muestra la distribución espacial de las frecuencias predominantes F1 ($F > 2.0\text{Hz}$) y en la Figura 18, ejemplos de los gráficos de razones espectrales que caracterizan los suelos.

Las razones (H/V) obtenidas para los puntos CI-05(A), CI-24(B) y CI-37(C), ver Figura 18, ubicados al sur por el parque industrial, Urb.26 de Mayo, límite con el distrito de Pocollay; presentan un pico con frecuencias predominantes de 3.54, 3.48 y 3.50 Hz y amplificaciones de 6.3, 3.8 y 3.1 veces respectivamente. Los resultados evidencian la existencia de suelos con probabilidades de amplificación sísmica.

Los puntos CI-85(J), CI-89(K) y CI-92(L) ubicados en la ladera del cerro Intiorko, presentan frecuencias predominantes 5.32, 5.64 y 8.34Hz con amplificación de 4, 2.4 y 3.9 veces. Además, el primer punto es influenciado por un segundo pico de frecuencia a 1.32 Hz, mostrando así, la complejidad del comportamiento dinámico de los suelos de la ladera del cerro Intiorko, sumando, a esto la probable amplificación de la señal sísmica. La presencia de dos picos de frecuencia evidencia mayor complejidad en la respuesta de los suelos a pesar de presentar baja amplificación.

Asimismo, los puntos CI-47(D), CI-52(E) y CI-68(F), ubicados en la zona central, por el estadio municipal La Bombonera y el mercado zonal Alfonso Ugarte, los suelos responden a frecuencias predominantes a 3.61, 3.67 y 3.62 con amplificaciones de 1.6, 2.3 y 1.4 veces respectivamente. Estos valores muestran la existencia de suelos homogéneos.

Los puntos CI-69(G), CI-72(H) y CI-80(I), ubicados por la urb. 2 de febrero y la I.E. Cesar Cohaila Tamayo, sugieren la existencia de suelos que no presentan frecuencias predominantes, lo que evidencia que estas zonas son dinámicamente más estables que el resto de la ciudad.

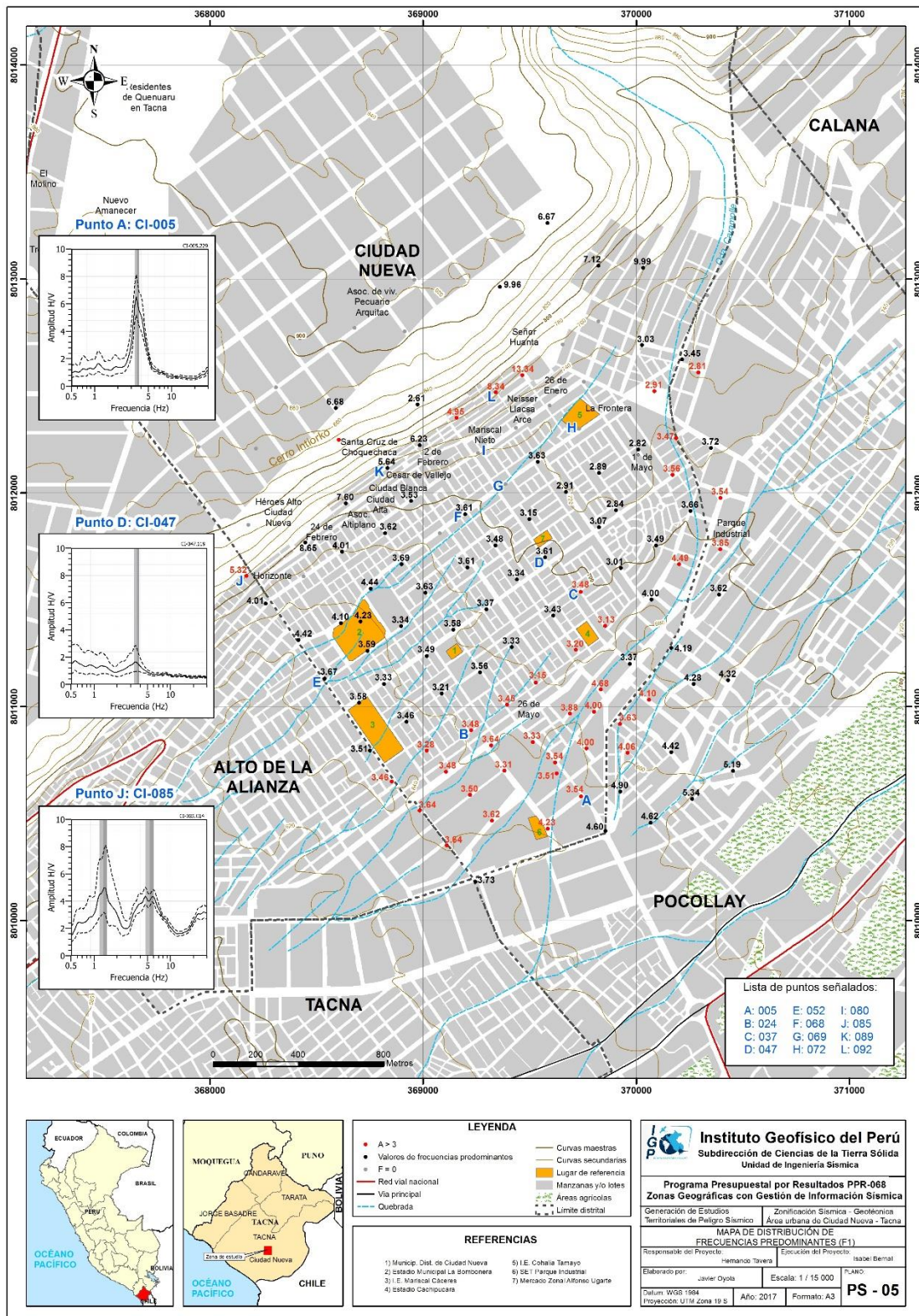
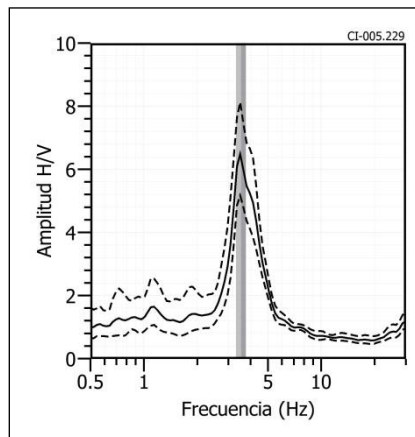
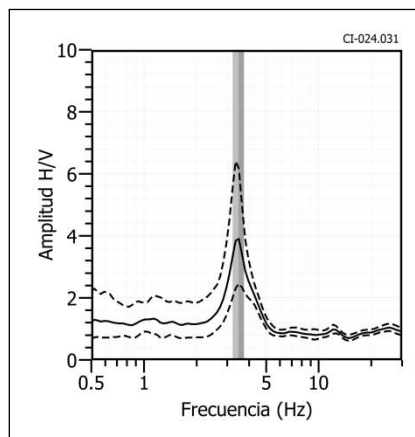


Figura 17: Mapa del área de estudio con la distribución espacial de las frecuencias predominantes F1 ($F > 2.0\text{Hz}$) definidas en cada punto.

CI - 05



CI - 24



CI - 37

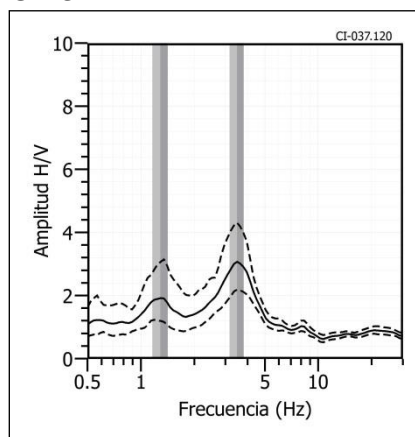
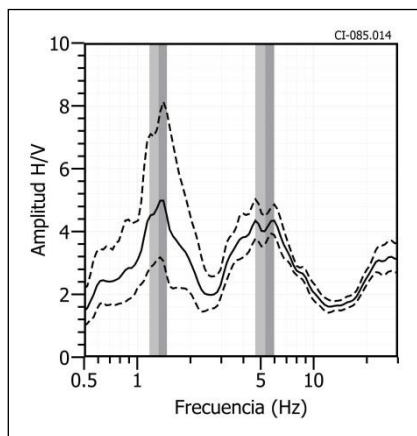
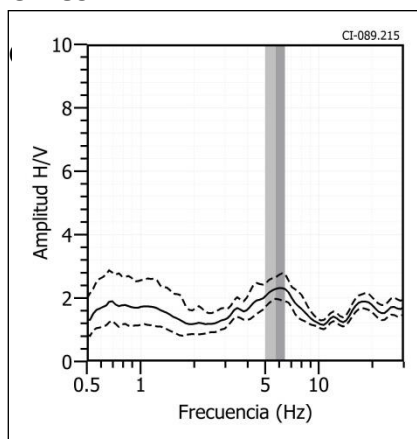


Figura 18: Mapa del área de estudio con la distribución espacial de las frecuencias predominantes F1 ($F > 2.0\text{Hz}$) definidas en cada punto. Las letras indican la ubicación de los gráficos que se están considerando en la Figura 20 como característicos de este rango.

CI- 85



CI - 89



CI - 92

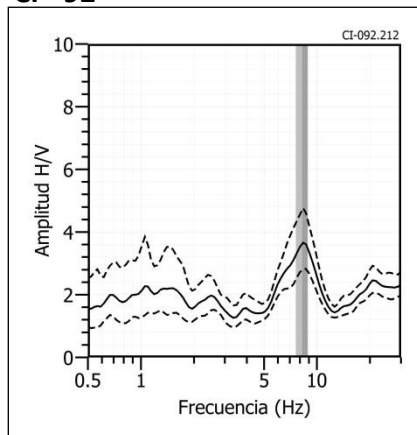
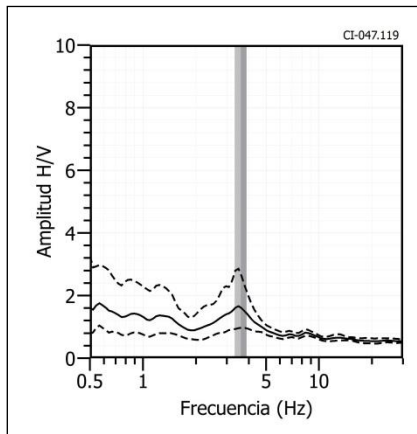
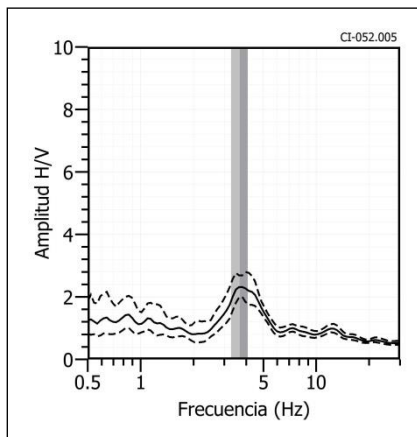


Figura 18: ...Continuación.../Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F1 ($F > 2.0\text{Hz}$). Para los puntos CI-85(J), CI-89(K) y CI-92(L), ubicados en la ladera del cerro Intiorko. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

CI - 47



CI - 52



CI - 68

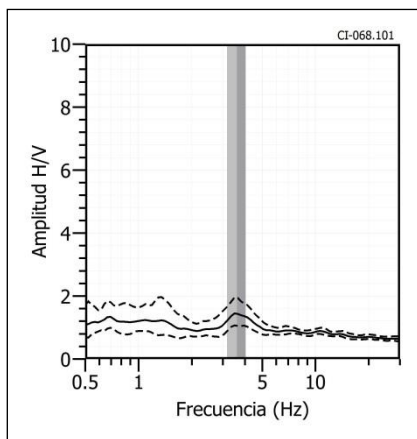
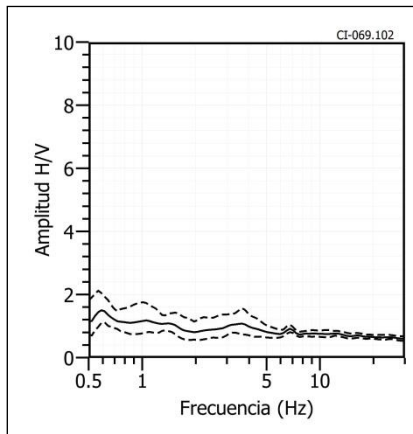
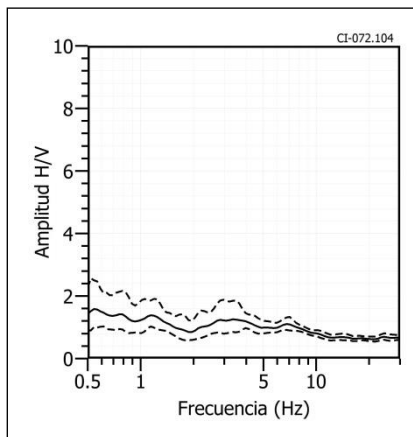


Figura 18: ...Continuación.../Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F1 ($F > 2.0\text{Hz}$). Para los puntos CI-85(J), CI-89(K) y CI-92(L), ubicados en la ladera del cerro Intiorko. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

CI - 69



CI - 72



CI - 80

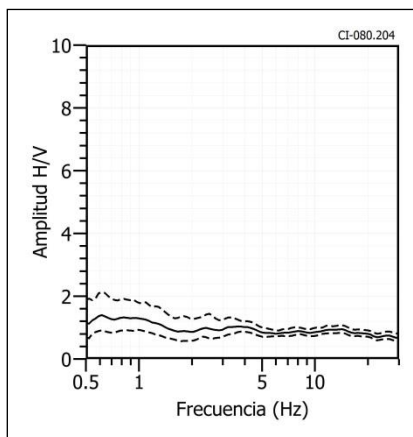


Figura 18: ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F1 ($F > 2.0\text{Hz}$). Para los puntos CI-69(G), CI-72(H) y CI-80(I), ubicados por la urb. 2 de febrero y la I.E. Cesar Cohaila Tamayo. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

El análisis de razones espectrales H/V en el área urbana de Ciudad Nueva ha permitido observar frecuencias predominantes F1 (>2.0 Hz), presentes de manera uniforme en toda el área de estudio y en menor medida F0 (1.0-1.5 Hz), de manera dispersa, por la urb. La Frontera, Héroes de Alto Ciudad Nueva y el cerro Intiorko.

Los suelos del área urbana responden a frecuencias entre 3 y 5.5 Hz principalmente, existiendo zonas puntuales donde el suelo no responde a alguna frecuencia predominante; por ejemplo la urb. 2 de Febrero, Mariscal Nieto, cerca de la I.E. Cesar Cohaila Tamayo y algunos puntos sobre el cerro Intiorko.

Sin embargo, hacia el sur (límite con el distrito de Alto de la alianza Pocollay) y hacia el noreste, siguiendo el curso de la quebrada Caramolle, se presenta grandes amplificaciones (mayores a 3 veces), lo que sugieren la presencia de suelos poco consolidados y/o flexibles.

3.2. Perfiles de velocidad de ondas de corte (Vs)

Los modelos de velocidad de propagación (Vs) son una información muy útil en materia de riesgo sísmico y reconocimiento general, de la estructura y naturaleza del subsuelo. El procesamiento de datos permitió llegar hasta profundidades de 30 metros en cada línea sísmica: LS01 próximo al parque industrial; LS02, LS03, LS04. LS05 y LS06, en el cercado, el parque industrial, Asoc. de vivienda La Frontera, El Altiplano; LS07 y LS08 en Alto Ciudad Nueva y la Asoc. de vivienda Pecuarios. A continuación, se describe los resultados obtenidos, agrupados para cada línea según su similitud de velocidad y ubicación:

Línea sísmica LS01-TC: Realizada en la calle Raúl Jiménez de la Zona Auxiliar, cerca al SET Parque Industrial, presenta una capa de 18 metros de espesor y velocidad Vs de 320 m/s, que sugiere la existencia de suelos moderadamente rígidos. La superficie de contacto con el semiespacio, presenta velocidades Vs > 570 m/s que sugiere la presencia de suelos muy rígidos.

Líneas sísmicas LS02-TC, LS03-TC, LS04-TC, LS05-TC y LS06-TC: Realizadas en la zona central, en el parque industrial (LS02), en la Av. Mariano Necochea - Asoc. de Vivienda La Frontera (LS03), Cruce Av. Mariano Necochea con Calle Hermanos Angulo (LS04), en el Estadio La Bombonera (LS05) y en la Asoc. El Altiplano - Frente Único (LS06). Indican la presencia de suelos conformados por dos capas: la primera de 4 a 9 metros de espesor y velocidades (Vs) entre 230 a 299 m/s y la segunda, con

velocidades V_s de 380 a 460 m/s y espesores de 9 a 16 metros. La primera capa evidencia la existencia de suelos moderadamente rígidos, y la segunda, suelos rígidos. La superficie de contacto con el semiespacio, presenta velocidades $V_s > 500$ m/s que sugiere la presencia de suelos muy rígidos.

Líneas sísmicas LS07-TC y LS08-TC: Realizadas al norte, sobre el cerro Intiorko, en Alto Ciudad Nueva (LS07) y por la Asoc. de vivienda Pecuarios (LS08). Indican la presencia de suelos conformados por una capa de 7 a 9 metros de espesor y velocidades V_s de 580 a 690 m/s, que sugieren la presencia de suelos muy rígidos. La superficie de contacto con el semiespacio presenta velocidades $V_s > 1000$ m/s que sugiere la presencia de roca moderadamente rígidas. En la Tabla 5, se resume los valores de velocidades de ondas de corte V_s para los distintos perfiles de suelo, según lo en la Tabla 2. En la Figura 19, y para las restantes, ver Anexo.

Tabla 5: Valores de espesor y V_s para las líneas sísmicas realizados en Ciudad Nueva.

Superficie → Profundidad							
Línea Sísmica	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-CI	327	18	568	-	-	-	385
LS02-CI	266	5	465	10	598	-	465
LS03-CI	299	7	397	16	547	-	395
LS04-CI	287	4	395	9	518	-	435
LS05-CI	293	9	405	11	565	-	400
LS06-CI	233	5	382	8	658	-	440
LS07-CI	694	9	1008	-	-	-	900
LS08-CI	579	7	973	-	-	-	850

	Suelo blando ($V_s < 180$ m/s)
	Suelo moderadamente rígido (180 – 350 m/s)
	Suelo rígido (350 – 500 m/s)
	Suelo muy rígido o roca blanda (500 – 800 m/s)
	Roca moderadamente duro (800 – 1500 m/s)

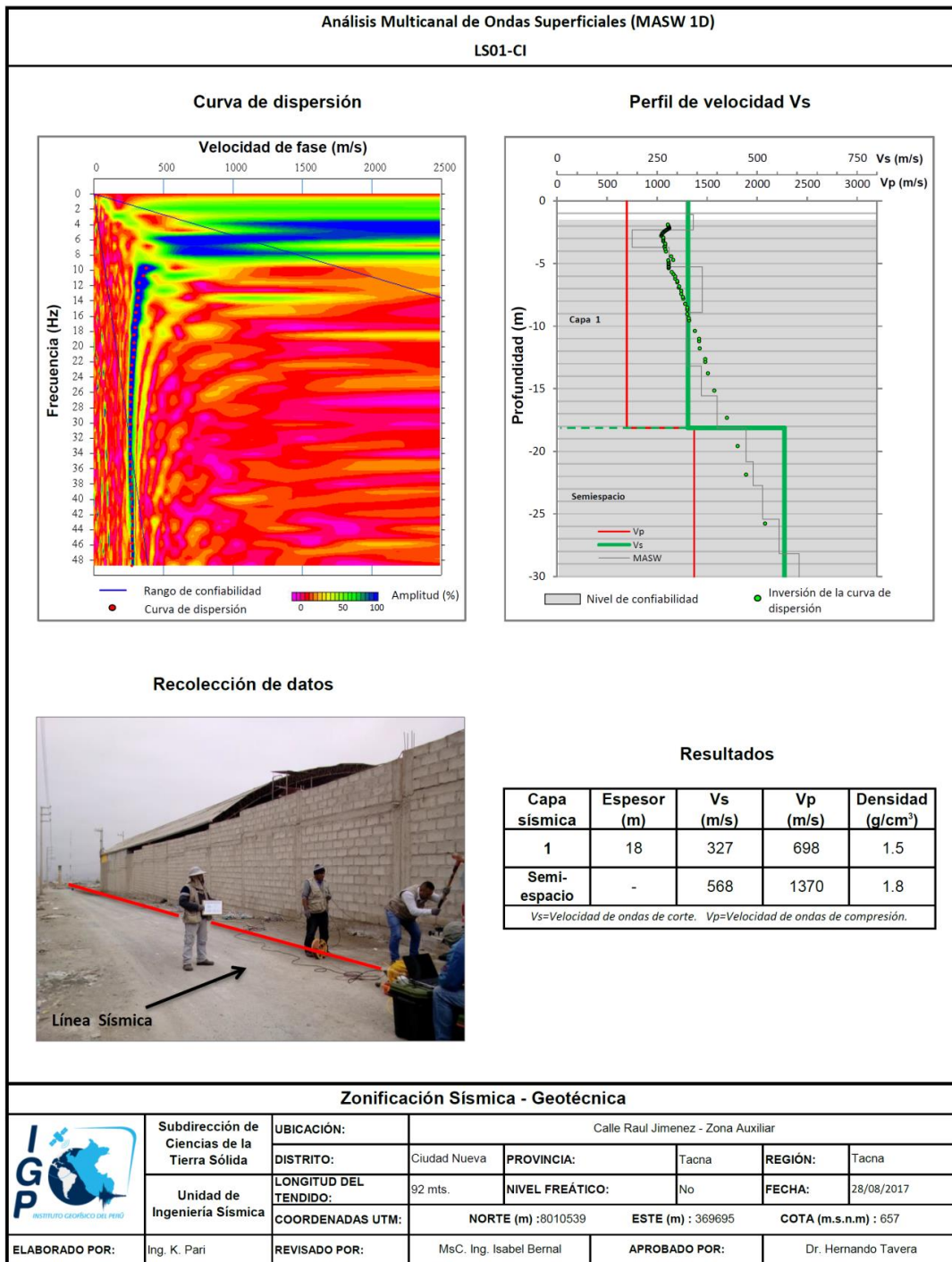


Figura 19: Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo LS01-CI.

Finalmente, los resultados obtenidos definen la existencia de 2 capas sísmicas y un semiespacio. Al norte de la ciudad, sobre el cerro Intiorko, está compuesto por suelos muy rígidos (V_s 580 a 690 m/s) y espesores de 7-9 metros. En profundidad, alcanzan velocidades V_s de 1000m/s, por estar presente formación Huayllillas, a la cual suprayacen depósitos aluviales muy consolidados.

En la zona central de la ciudad, se ha identificado la existencia de suelos moderadamente rígidos para la primera capa (V_s 230 a 299 m/s) y espesores de 13 - 14 metros, que se incrementa aumentan hacia el sur oeste. A mayor profundidad se evidencian suelos muy rígidos con $V_s > 500$ m/s. Estos suelos están conformados, en superficie, por depósitos aluviales.

Al sur de la ciudad, los suelos conforman presentan una capa de 18 m de espesor con velocidades V_s 320 m/s (moderadamente regulares); siendo en profundidad suelos muy rígidos $V_s > 570$ m/s. De acuerdo a la geología los suelos sobre el cual se asienta la ciudad está conformada por depósitos aluviales consolidados.

3.3. Periodos Dominantes

Para presentar los resultados finales, obtenidos con la técnica razones espectrales, los valores de frecuencias fueron transformados a periodos dominantes y para construir el mapa de periodos, se asignó a cada punto de medición un radio de confiabilidad de 10 metros, lo cual facilita los procedimientos seguidos para la zonificación de los suelos. En la Figura 20, se muestra la distribución espacial de los valores de periodos dominantes para el área urbana de Ciudad Nueva, los cuales han sido separados en dos grupos, en color negro para periodos menores a 0.4 segundos, en gris los periodos mayores. Los puntos que no presentan periodos son de color gris; además en color rojo, se muestran zonas con amplificaciones mayores a 3 veces. Los periodos de 0.2 y 0.3 segundos, se distribuyen de manera uniforme y sectorizada sobre toda la ciudad; mientras que, los periodos de 0.1 segundos se presentan sobre el cerro Intiorko. Asimismo, el 18% del área de estudio presenta sensibilidad a periodos de 0.8 y 0.9 segundos.

Los periodos dominantes que caracterizan los suelos de Ciudad Nueva, están relacionados con sus condiciones físico-dinámicas a través de la relación $T_0 = 4H/V_s$, donde T_0 es el periodo dominante, H el espesor del estrato y V_s es la velocidad de onda de corte. Asumiendo, velocidades de 350 m/s y 400 m/s para las ondas de corte (V_s) y periodos de 0.2 y 0.3 segundos, se estima para la capa superficial espesores entre 18 y 30 metros. Para la zona norte, sobre el cerro Intiorko asumiendo velocidades de 500 m/s y periodos de 0.1 segundos, se estima la existencia una capa superficial de 10 metros de espesor aproximadamente. Los espesores de las capas superficiales son confirmados con los modelos de velocidad y espesores de las capas obtenidos con los arreglos sísmicos.

En Ciudad Nueva, la distribución espacial de periodos menores a 0.3 segundos, sugiere la presencia, en el subsuelo, de una capa profunda de gran potencia y los periodos mas pequeños, una capa superficial de menor potencia, donde la primera influye moderadamente sobre la segunda. Por otro lado, los valores de 0.3 segundos con altas amplificaciones se distribuyen principalmente al suroeste de la ciudad, sugiriendo que los suelos en estas zonas son más flexibles, en comparación con el resto del área de estudio.

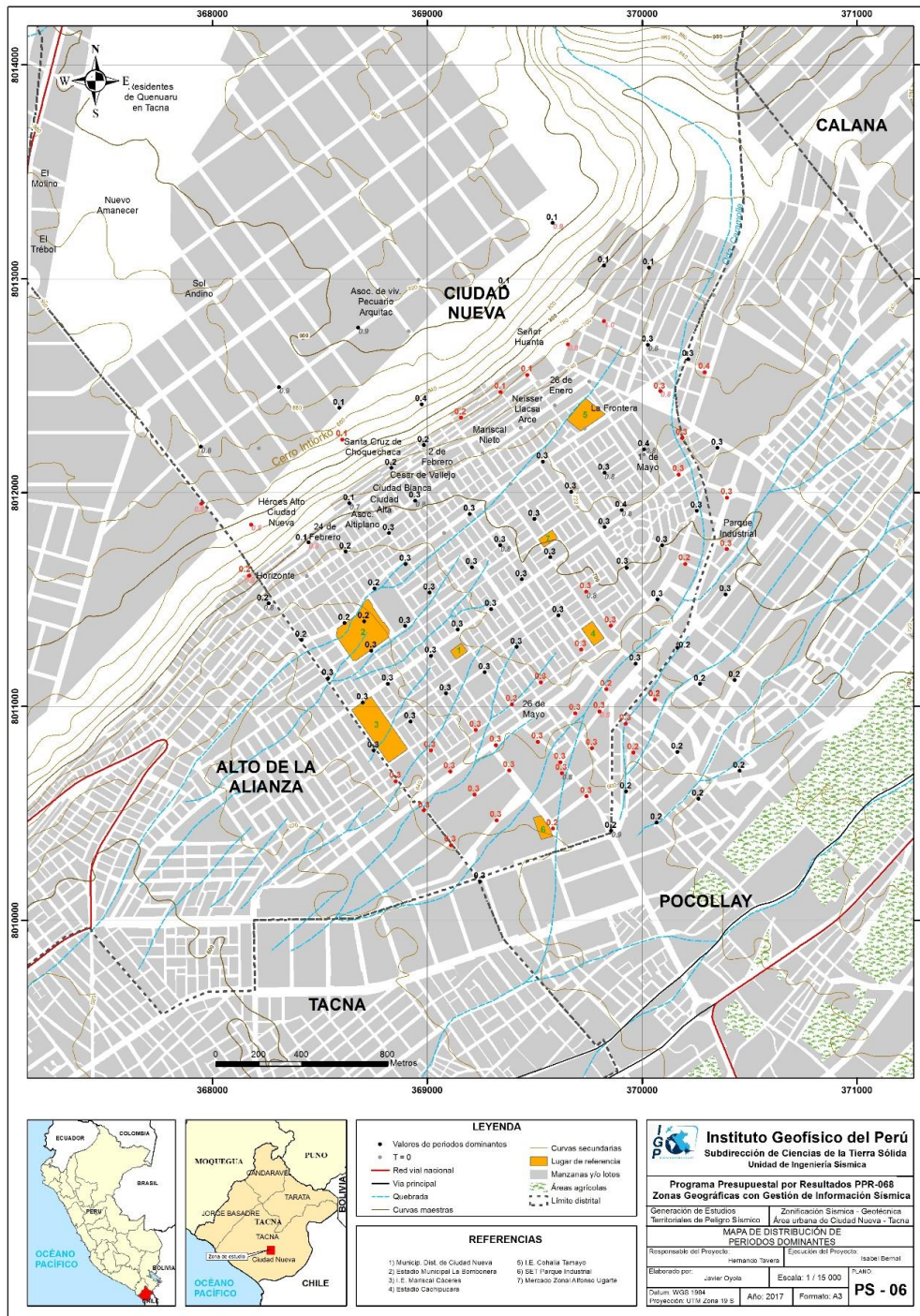


Figura 20: Mapa de la distribución espacial periodos dominantes para el área urbana de Ciudad Nueva.

3.4. Secciones de resistividad geoelectrica

A continuación, se describe los resultados obtenidos con el método de tomografía eléctrica realizados en el área urbana de Ciudad Nueva:

A lo largo de la línea LE01-CI realizada en la calle Juan Valer Sandoval, se identificó la presencia de arenas, limos y cenizas, así como material de desmonte. En la línea LE02-CI, realizada ubicada en la zona industrial próxima al distrito de Pocollay, se puede definir tres horizontes, el segundo conformado por materiales muy resistivos, debido a la presencia de cenizas volcánicas. Finalmente, los suelos están conformadas por materiales medianamente resistivos a muy resistivos ($>100 \Omega.m$), lo que sugiere que corresponderían a materiales como gravas y arenas, asociados a depósitos aluviales; además la presencia de tobas y cuarzo de la formación Huaylillas (Figura 21).

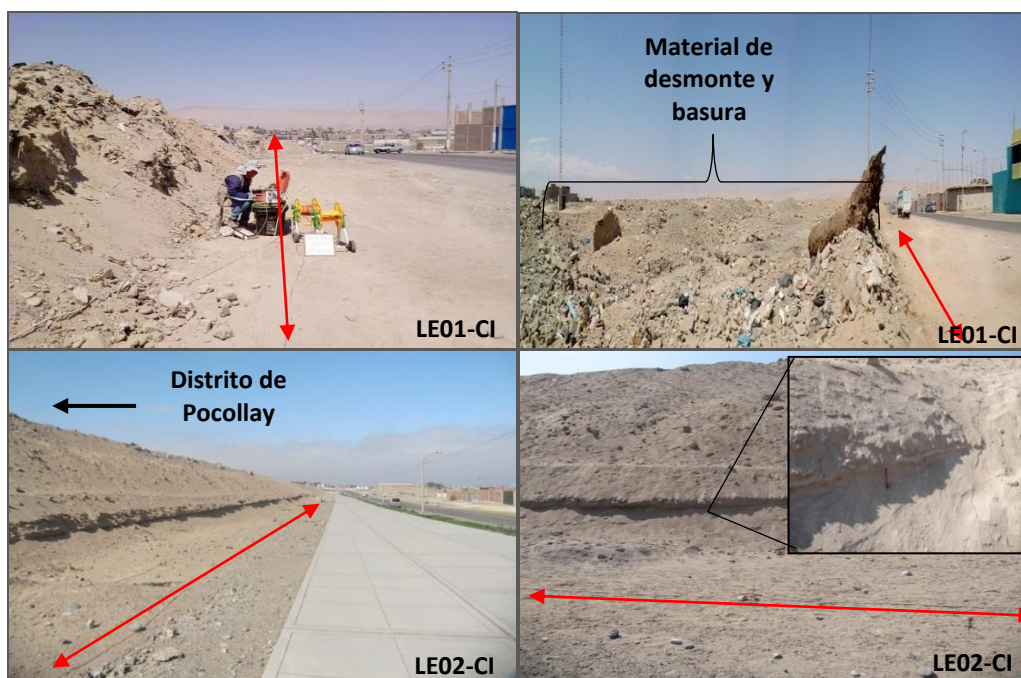


Figura 21: Vista de las líneas eléctricas LE01-CI y LE02-CI.

Las líneas eléctricas LE03-CI y LE04-CI, fueron realizadas están ubicadas en la Asociación de Vivienda La Frontera y en la Asociación El Altiplano (Figura 22). En la línea LE03-CI, se definieron 3 horizontes; el primero asociado a la presencia de una cantera de gravas secas con resistividades $> 500 \Omega.m$; la segunda asociada a materiales saturados por la presencia de la quebrada estacional Caramolle; y el último horizonte se asocia a materiales más compactos.

La línea LE04-CI, se realizó en la ladera de un cerro, donde el predominio de las construcciones son de material ligero, solo se encontró una casa de material noble, y su ubicación coincide con valores de resistividad entre 100 – 1500 Ω .m que pueden asociarse al peso que la estructura sobre el suelo y como consecuencia produce la compactación del suelo. Los valores bajos a muy bajos resistivos se deben principalmente a la presencia de numerosos huertos y baños provisionales en la zona.

En resumen, estas líneas eléctricas fueron tomadas sobre la formación Huaylillas y sus depósitos aluviales. Los materiales presentes son los de baja a muy baja resistividad, tanto en superficie como en profundidad y de forma aislada, materiales resistivos engloban a materiales muy resistivos (>500 Ω .m).

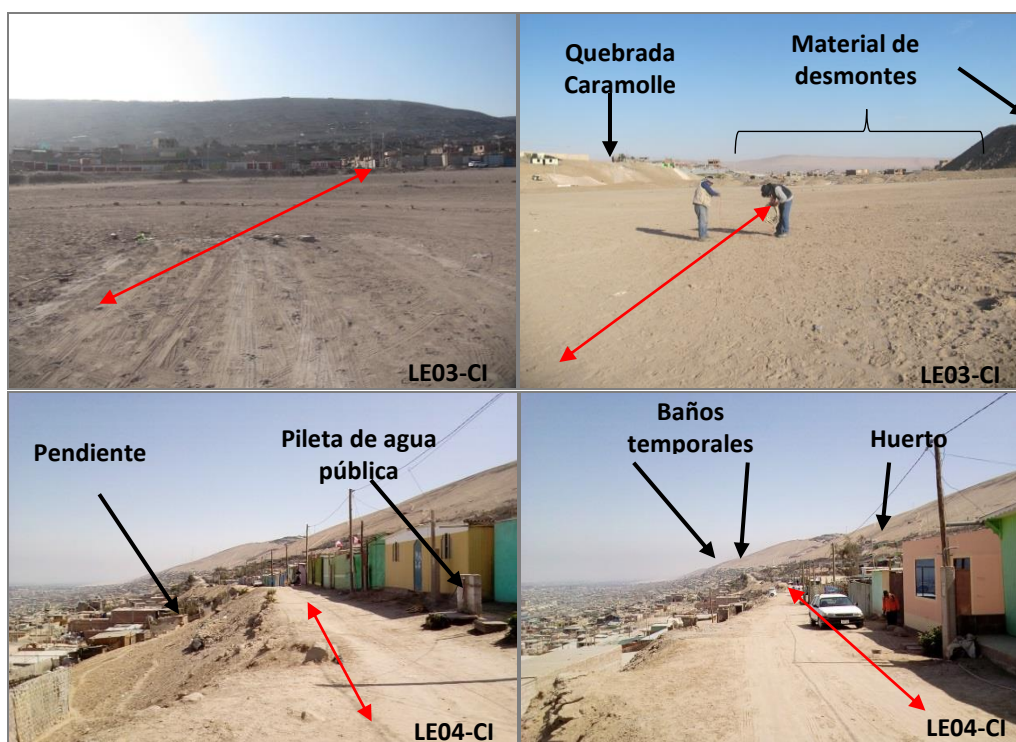


Figura 22: Vista de las líneas eléctricas LE01-CI y LE02-CI.

Por otra parte, la línea eléctrica LE05-CL realizada en la Asociación de Vivienda Pecuarios Arquita Sector 8 (Figura 23). Presenta 2 horizontes el primero se extiende por toda la línea con valores de resistividad >100 Ω .m que tienden a aumentar en su espesor en dirección suroeste y un segundo horizonte, conformado por valores de resistividad <100 Ω .m.



Figura 23: Vista de la línea eléctrica LE05-CI.

En la Tabla 6, se ha realizado la clasificación de los valores acuerdo a los rangos de resistividades de la Tabla 2, desde materiales muy bajos resistivo hasta muy resistivos. En la Figura 24, se presenta el resultado para la línea LE01–TC y los Anexos los resultados para las demás líneas.

Tabla 6: Valores de resistividad obtenidos de las líneas eléctricas obtenidas en Ciudad Nueva. (*(P) Presente, (NP) No presenta.)

Línea Eléctrica	Orientación	Profundidad de alcance (m)	Horizontes geoelectricos	Saturación
LE01-CI	NE-SW	39		NP
LE02-CI	NW-SE	39	Horiz. 1 (<1500 Ω.m)	NP
			Horiz. 2 (>1500 Ω.m)	
			Horiz. 3 (1500 Ω.m)	
LE03- CI	NE-SW	39		SP
LE04- CI	NE-SW	39		SP
LE05- CI	NE-SW	39	Horiz. 1 (<500 Ω.m)	SP
			Horiz.2 (>500 Ω.m)	

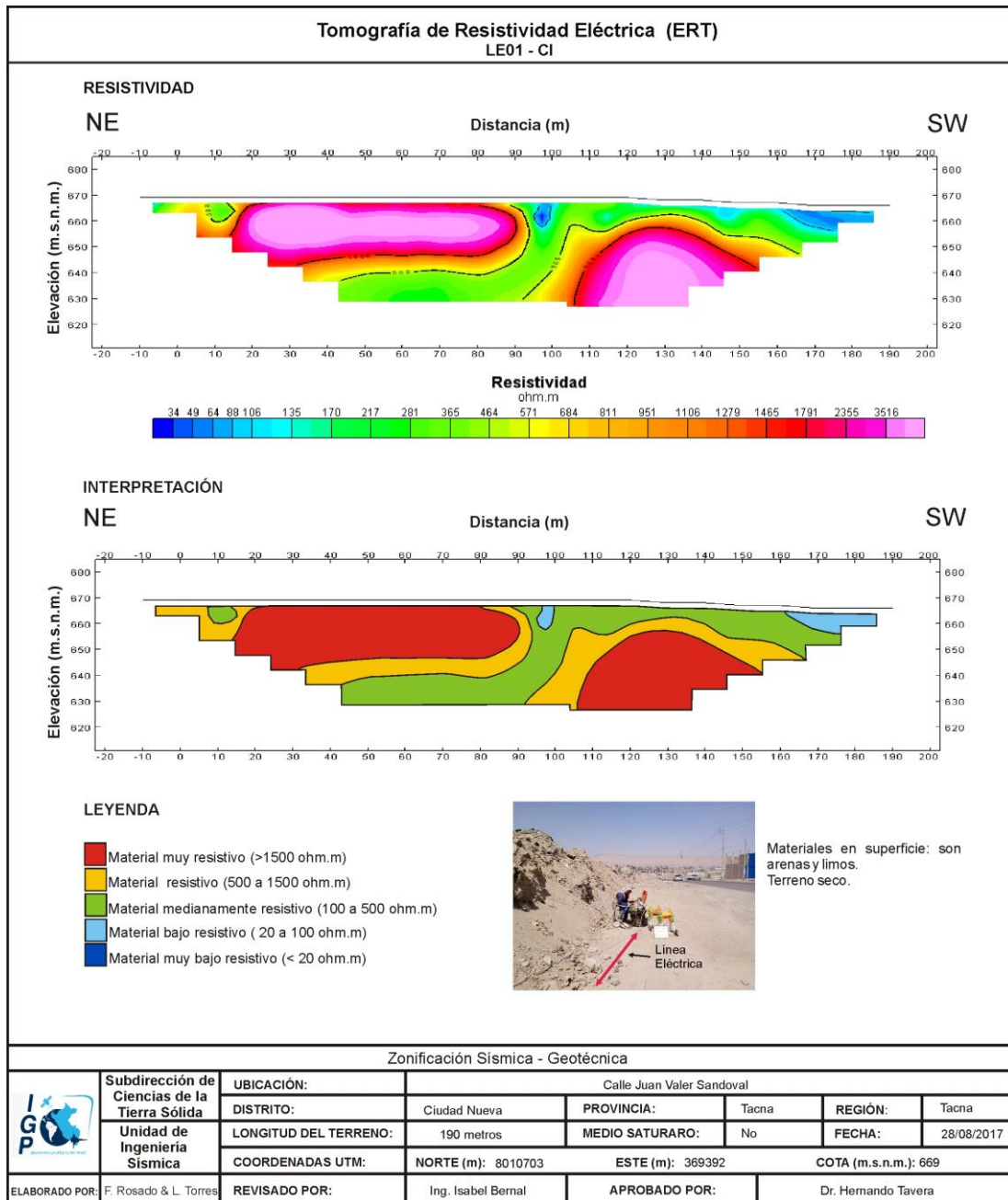


Figura 24: Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método de tomografía eléctrica para la línea LE01-CI.

De acuerdo a los datos analizados, al sur y este de la plaza de Ciudad Nueva (línea LE01-CI y LE02-CI), se tiene el predominio de no saturación en los suelos. Al norte y noreste de la plaza de Ciudad Nueva (LE04-CI, LE05-CI y LE03-CI) se fue el predominio de suelos saturados, esto se puede asociar a la presencia de factores antrópicos y en la LE03-CI, a la presencia de una quebrada estacional. Geológicamente, Ciudad Nueva, presenta depósitos aluviales conformados de material no consolidado que puede almacenar aguas subterráneas. Asimismo, en la formación

Huaylillas compuesta por material volcánico (tobas de baja permeabilidad), con capaces de almacenar agua subterránea.

Finalmente de acuerdo a los datos analizados no se ha encontrado niveles freáticos superficiales, solo lentes aislados saturados. El nivel freático sería profundo (> 80 metros), esto se puede correlacionar con los estudios geofísicos realizados por el IRENA (2003).

4. RESULTADOS

4.1. Mapa de Zonificación Sísmica

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

Según la Figura 25, para el área urbana de Ciudad Nueva, se propone la siguiente Zonificación Sísmica-Geotécnica:

- **ZONA I:** Conformada por estratos de grava coluvial mal gradada, que se encuentran, a nivel superficial cubiertos por depósitos de material fino (arenas limosas y limos inorgánicos) con espesores de hasta 15 metros. Este suelo tiene un comportamiento de semi-rígido a rígido, con periodos de vibración natural que varían entre 0.1 y 0.3 segundos y velocidades de propagación de onda de corte VS, entre 380 y 900 m/s, que corresponde a un dominio de suelos Tipo S1 según la norma sismorresistente peruana. Se demarca con color verde claro los suelos que responden a periodos de 0.1 y 0.2 segundos y de verde oscuro los que responden a periodos de 0.3 segundos.

En la Figura 25, con las líneas en rojo, se delimitan las áreas con máximas amplificaciones relativas, presentes en hacia la Urb. 26 de Mayo y Parque industrial (límite con Tacna y Alto de la Alianza). Esto evidenciando una menor consistencia de suelos respecto al resto del área de estudio. Por otro lado, hacia la Asoc. De viv. Pecuario Arquítac, los suelos muestran sensibilidad a un segundo rango de periodos de entre 0.8-0.9 s. Estos resultados sugieren, que a pesar que estos suelos muestran una gran consistencia por sus bajas amplificaciones, al presentar sensibilidad para dos rangos de periodos, evidencian una complejidad en su respuesta dinámica ante la ocurrencia de un sismo de gran magnitud.

-**ZONAS II y III:** Los suelos correspondientes a estas zonas no fueron identificados en el área analizada.

- **ZONA IV:** Esta zona corresponde a suelos cuyas características físicas y dinámicas son excepcionales, por lo que su comportamiento comprende a suelos Tipo S4. Esta zona delimita suelos topográficamente inestables, ubicados al NO de la zona céntrica de Ciudad Nueva

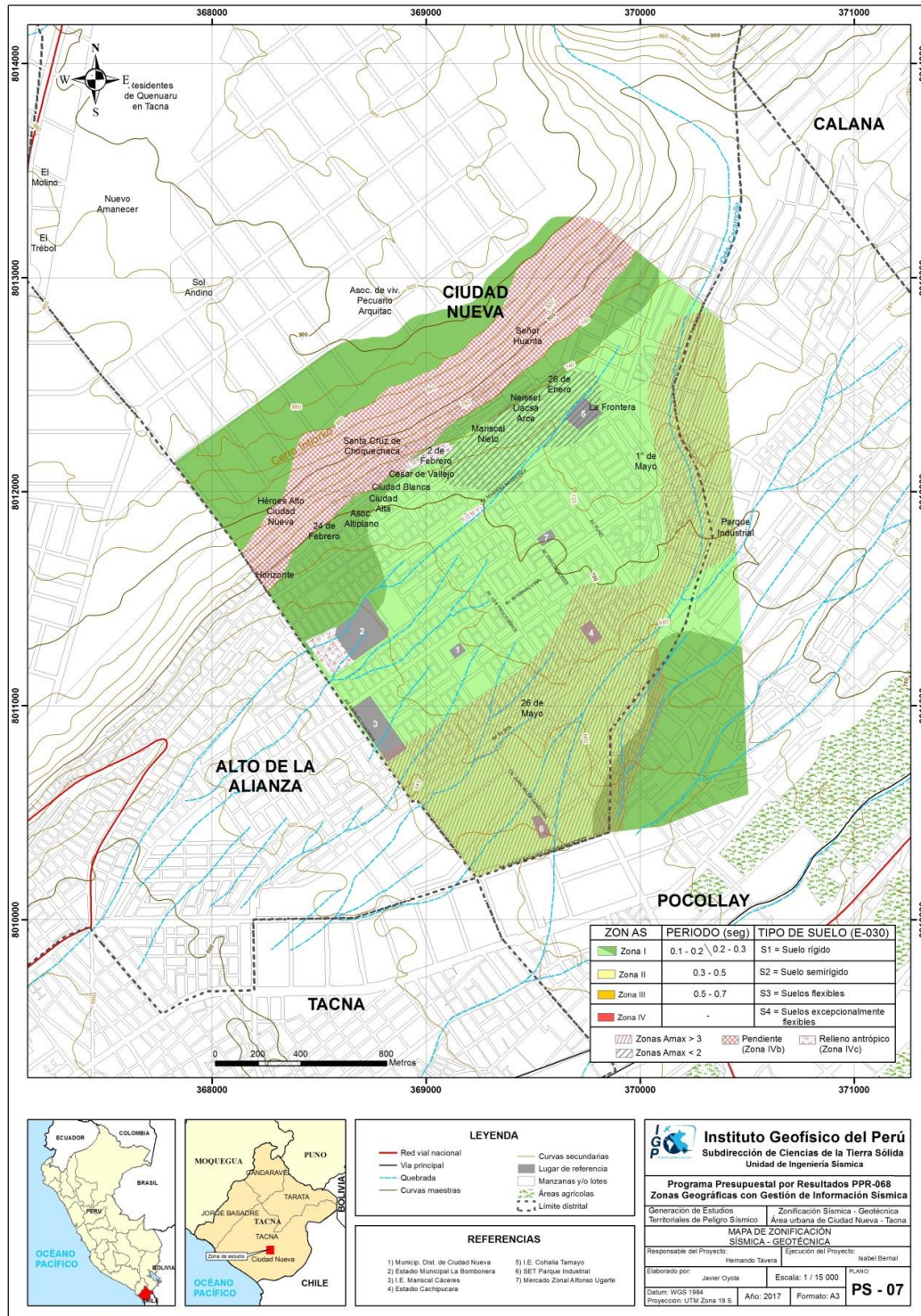


Figura 25: Mapa de Zonificación Sísmica del área urbana de Ciudad Nueva.

CONCLUSIONES

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

- Los resultados obtenidos de las razones espectrales H/V, permiten mostrar un pico de frecuencia bien definido en toda el área urbana (2.5 y 5.0 Hz) además existe en menor número un segundo pico de menor amplitud con tendencia a valores menores de frecuencia en la urbanización La Frontera, Héroes del Alto de la Alianza (entre 1.0 y 1.5 Hz). Estos valores bajos de frecuencias se asocian a depósitos sedimentarios de mayor espesor que dominan la zona. Las mayores amplificaciones se presentan hacia el extremo suroeste del área de estudio, límite con los distritos de Alto de la Alianza, con amplificaciones relativas mayores a 3 veces, lo que evidencia la existencia de suelos más flexibles en esta área que el resto del área estudiada.
- De los resultados de MASW, para el área de estudio se definen la existencia de 2 capas sísmicas y un semiespacio. Predominan los suelos moderadamente rígidos para la primera capa (V_s 230 a 299 m/s), con espesores de 4 a 9 metros se expande desde la ladera del cerro Intiorko hasta cubrir toda el área urbana del distrito, aumentando su espesor mientras avanza en dirección al sur y suroeste. Esta capa suprayace a suelos rígidos y en profundidad suelos muy rígidos. Por otro lado, en la zona norte sobre el cerro Intiorko predominan suelos muy rígidos (V_s 580 a 694 m/s), que en profundidad alcanzan V_s de 1000m/s.
- Los valores de velocidad promedio calculados para los primeros 30 metros de profundidad (V_{s30}), definen la existencia de dos tipos de suelos; con rangos de velocidad entre 380 a 640 m/s en toda la zona urbana, lo que sugiere la presencia de suelos rígidos y con rangos de 850 a 900m/s al norte sobre el cerro Intiorko, con la presencia de a roca moderadamente blanda.
- Los suelos de Ciudad Nueva responden a periodos de 0.1 y 0.3 segundos, los cuales se distribuyen de manera uniforme sobre todo el área de estudio. Asimismo, existen áreas donde los suelos no responden a algún periodo predominante, como son la urb. Mariscal Nieto, 26 de Enero.

- Los periodos dominantes que caracterizan a los suelos de Ciudad Nueva están relacionados con las condiciones físico-dinámicas a través de la relación $T_0=4H/V_s$. Asumiendo, velocidades de 350 m/s y 400 m/s para las ondas de corte (V_s) y periodos de 0.2 y 0.3 segundos, se estima la presencia de una capa superficial con espesores entre 18 y 30 metros. Para la zona norte, sobre el cerro Intiorko, asumiendo velocidades de 500m/s y periodos de 0.1 segundos, se estima la existencia de una capa superficial de 10 metros de espesor aproximadamente. Estos valores para los espesores de las capas superficiales, son confirmados con los modelos de velocidad y espesores de capas obtenidos con los arreglos sísmicos.

- Según los resultados de Tomografía eléctrica, en la zona norte del área urbana de Ciudad Nueva predominan medios saturados (bajas resistividades) asociadas a la formación Huaylillas y a quebradas estacionales; mientras que, al Este predominan medios no saturados (altas resistividades), asociadas a depósitos de cenizas y aluviales. El nivel freático en Ciudad Nueva se encontraría a profundidades mayores a las que se alcanzó en este estudio.

- Los resultados obtenidos para el área urbana de Ciudad Nueva, han permitido identificar, según las características dinámicas del suelo, sus propiedades mecánicas y el procedimiento establecido en la Norma E.030, la existencia de dos zonas sísmicas correspondientes a suelos Tipo S1 y S4 que corresponden a suelos muy rígidos a semi-rígidos y excepcionales. Asimismo, se define como caso especial, al sector ubicado al suroeste por presentar altas amplificaciones.

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta (2012) - Geología de los cuadrángulos de La Yarada, Tacna y Huaylillas Hojas 37-u, 37-v y 37-x
- Arbaiza, L. (2014). Administración Estratégica. Buenos Aires-Argentina, pp.83-167.
- Banco Central de Reserva del Perú (BCRP). (2016). Caracterización de Tacna. Lima-Perú.
- Bard, P-Y y SESAME (2001) The SESAME project: an overview and main results. 13 World Conference on Earthquake Engineering Vancouver, B.C., Canada August 16, 2004 Paper No. 2207
- 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
- Beresnev, I.A., K.L. Wen, and Y.T. Yeh 1995a, "Nonlinear Soil Amplification: It's Corroboration in Taiwan. Bull, Seism. Soc. Am., Vol. 85, pp. 496-515
- Bernal, I. (2006) Microzonificación sísmica de la ciudad de Tlaxcala, México. Tesis de Maestría en Ciencias, UNAM, pag. 130.
- Crespo Villalaz Carlos (2004); Mecánica de Suelos y Cimentaciones, 5ta edición.
- Flores-Estrella, H., Lomnitz, C. y Yussim S. (2004). "Estimación de velocidades de fase a partir del análisis de microtemores con el método SPAC", Geophysics, Vol. 24, N° 3, 438-445
- Gasulla, M.; Jordana, J.; Pallás, R.; Torrents, J.M. (1998). Subsurface resistivity measurements using square waveforms. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 47(1): 74-77.
- GITS-Grupo de Investigación de Transporte de Sedimentos.
- Gutiérrez, M. (2008) - Geomorfología. Edit. Pearson/Prentice Hall, Madrid, 898 p. ISBN 97884832-23895.
- Hartzel, S. H. (1992). Site response estimation from earthquake data. Bull. Seism. Soc. Am. 82, 2308-2327
- Hutchinson, J., N., (1968) - Mass Movement. In the Encyclopedia of Geomorphology (Fairbridge, R.W., ed., Reinhold Book Corp., New York). 668-696 p.
- Hutchinson, J., N., (1988) - General Report: Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology. Proceedings,

- Fifth International Symposium on Landslides, (Ed: Bonnard, C.). 1, 3-35 p. Rotterdam: Balkema.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática-INEI, (2007). Censo Nacional de Población y Vivienda. Lima-Perú. Recuperado de <http://censos.inei.gob.pe/cpv2007/tabulados/#>
- 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. Municipalidad de Ciudad Nueva. (2016). Presupuesto participativo 2016. Tacna-Perú. Recuperado de http://www.municipiadnueva.gob.pe/webmdcn/transparencia/informacion_presupuestal
- Municipalidad de Ciudad Nueva. Reseña histórica. Tacna – Perú. Recuperado de <http://www.municipiadnueva.gob.pe/webmdcn/>
- Nakamura Y. (1989). A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. *Quarterly Report Railway Tech. Res. Inst.*, 30-1, 25-30.
- Orellana, E. (1982). *Prospección geoelectrica en corriente continua*. Madrid: Ediciones Paraninfo.
- Park, C. B., Miller, R. D. y Xia, J. (1999). Multichannel analysis of surface waves *Geophysics* 64 800-8.
- 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. (2014). MASW for geotechnical site investigation. *The Leading Edge*, 32(6):656-662.
- Park, C.B. (2015). Data acquisition. Retrieved 23 June, 2015, from <http://www.masw.com/DataAcquisition.html>
- 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.*, 55, 17–29, doi:10.1016/j.jappgeo.2004.03.004
- Reynolds, J.M. (2011). *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. John

- Wiley & Sons Ltd, Chichester, 2nd ed., 712 pp.
- Roma, V. (2010). Seismic geotechnical site characterization by means of MASW and ReMi methods. *FastTIMES*, 15(3):16-28.
- Samouëlian, A., I. Cousin, A. Tabbagh, A. Bruand y G. Richard, (2006). Electrical resistivity survey in soil science: a review. *Soil Till Res* 83, 173-193
- Sepúlveda, S.A., (2000) - Metodología de Evaluación del Peligro de Flujos de Detritos en Ambientes Montañosos. *Revista Comunicaciones*, Departamento de Geología, Universidad de Chile, No.51, p. 3-28.
- SESAME European research project WP12 – Deliverable D23.12: (2004). Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations measurements, processing and interpretation.
- Socco, L.V., Boiero, D., Comina, C., Foti, S., y Wis_en, R. (2008). Seismic characterization of an Alpine site. *Near Surface Geophysics*, 6(4):255-267.
- Suárez, D., J., (1998) – Estabilidad de Taludes en Tropicales. Instituto de Investigación sobre erosión y deslizamientos. Colombia. Ed. Ingeniería de Suelos Ltda. 550 p.
- Tarback, E., D. Lutgens, F., K., (2005) *Ciencias de la Tierra. Una introducción a la Geología Física* Pretince Hall. Cap16. 8a edición. 710 pp.
- Varnes, D. J., (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.
- 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.
- 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. 47 04-may 4
- 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.

ANEXOS

ANEXO

La información que se detalla en el presente informe técnico está contenida en el CD que se adjunta al presente Informe Técnico: “Zonificación Sísmica – Geotécnica del área urbana de Ciudad Nueva”.

1.- Información Geológica Geotécnica:

- Fichas de eventos geodinámicos
- Registros de calicatas
- Densidad de campo
- Fichas de granulometría
- Registro de posteos
- Registro de DPL
- Registro de capacidad de carga admisible
- Mapas

2.- Información Geofísica

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