



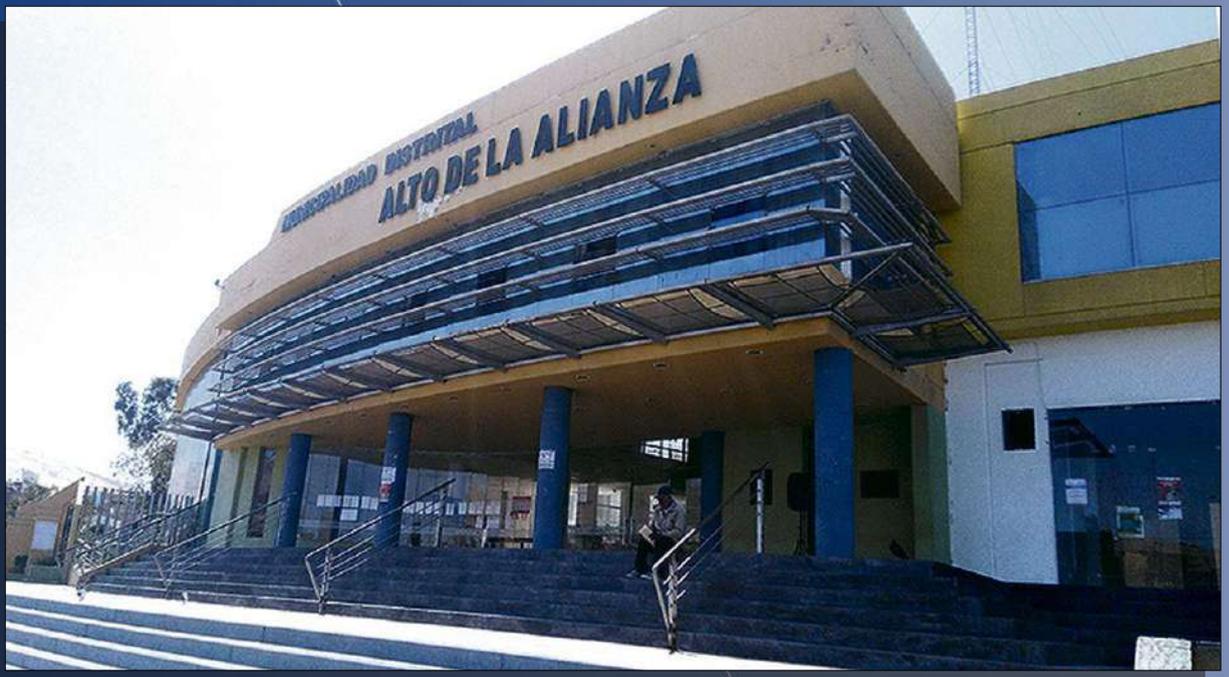
PERÚ

Ministerio
del Ambiente



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

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



ZONIFICACIÓN SÍSMICA – GEOTÉCNICA DE LA CIUDAD DE ALTO DE LA ALIANZA

Lima - Perú
2018

Instituto Geofísico del Perú

Presidente Ejecutivo: Hernando Tavera

Director Científico: Danny Scipion

Autores

Isabel Bernal

Caracterización Sísmica y Geofísica de la ciudad de Alto de la Alianza

Juan Carlos Gomez

Caracterización Geológica y Geotécnica de la ciudad de Alto de la Alianza

Equipo de Evaluación Geológica y Geotécnica: Edison Ramos

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

Personal de apoyo: Augusto Cárdenas / Roberth Yupanqui

Personal administrativo: Marisol Enriquez

Este Informe ha sido producido por:

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

**ZONIFICACIÓN SÍSMICA – GEOTÉCNICA DE LA
CIUDAD DE ALTO DE LA ALIANZA**

Distrito de Alto de la Alianza – Provincia y 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 Alto de la Alianza (distrito de Alto de la Alianza), Tacna (distrito de Tacna), Ciudad Nueva (distrito de Ciudad Nueva), Boca del Río (distrito de Sama), Ite (distrito de Ite), Ilo, Pampa Inalámbrica (capital de la provincia de Ilo), Moquegua (capital de la provincia del mismo nombre), Torata y Yacango (distrito de Torata). Estos estudios permiten conocer el Comportamiento Dinámico de los Suelos a partir de la recolección de datos de campo utilizando técnicas geofísicas, sísmicas, geológicas y geotécnicas.

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

El presente informe está constituido por tres (3) partes, en la primera se realiza la presentación de las características del área de estudio, las conclusiones y las recomendaciones. En la segunda parte, se presenta el desarrollo del estudio realizado para la caracterización geológica y geotécnica; y en la tercera, la caracterización sísmica y geofísica; en ambos casos, para la ciudad de Alto de la Alianza. Finalmente, en un CD se adjunta toda la información 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 la ciudad de Alto de la Alianza.

PARTE 3: Caracterización sísmica y geofísica de la ciudad de Alto de la Alianza.

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS: Todo el material gráfico está contenido en el CD que se adjunta al presente informe.

1. INTRODUCCIÓN

Dentro del Programa Presupuestal por Resultados N°068 “**Reducción de la Vulnerabilidad y Atención de Emergencias por Desastres**”, el Instituto Geofísico del Perú ejecutó durante el año 2017 el Proyecto “**Zonas Geográficas con Gestión de Información Sísmica**” y como parte del mismo, la Sub-Dirección de Ciencias de la Tierra Sólida desarrolló 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 departamento 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 los departamentos de Arequipa, Moquegua y Tacna (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.

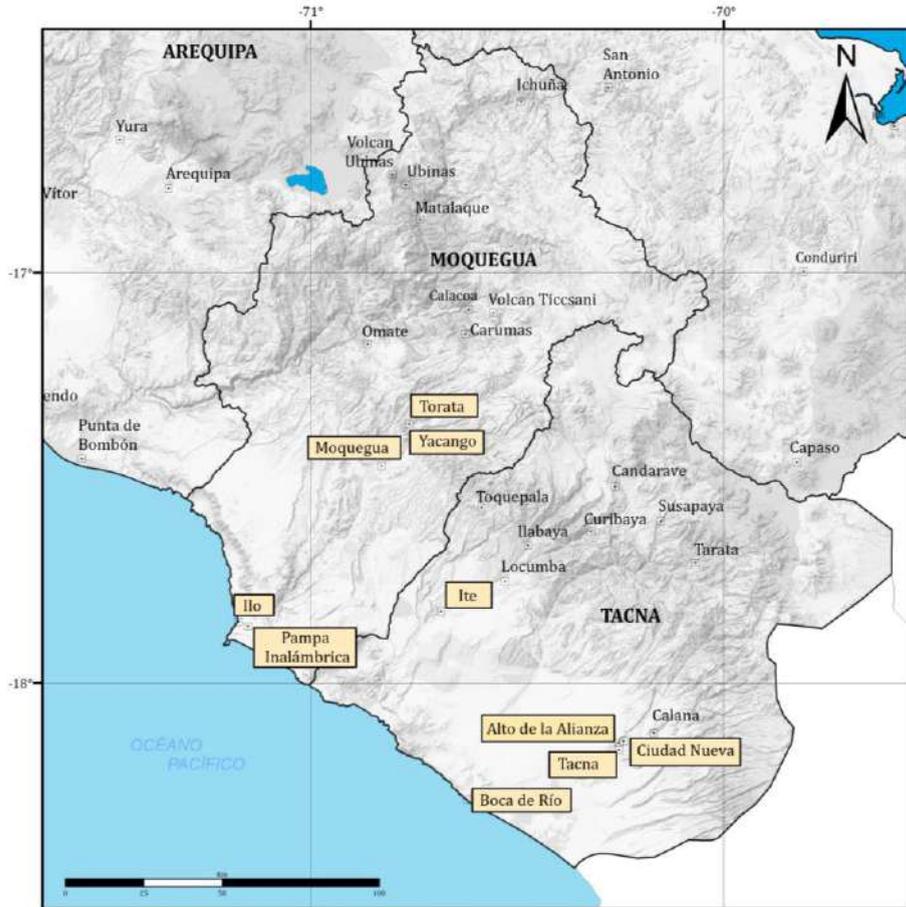


Figura 1: Distribución espacial de las ciudades intervenidas durante el año 2017: Zonificación Geofísica – Geotécnica de suelos.

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 de la localidad de Alto de la Alianza 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 la ciudad de Alto de la Alianza, provincia y región de Tacna, a partir de la integración de los resultados obtenidos con diferentes métodos sísmicos, geofísicos, geológicos y geotécnicos. Asimismo, es de interés del presente estudio que las autoridades dispongan de un documento técnico que les ayude en el desarrollo y ejecución de proyectos orientados a la gestión del ordenamiento territorial y desarrollo sostenible de la ciudad.

1.2. Historia

El distrito de Alto de la Alianza fue creado el 9 de mayo de 1984 mediante la ley N°23828, es uno de los once distritos que conforman la provincia de Tacna en la región del mismo nombre. Este distrito se ubica en las coordenadas UTM (Datum WGS84) 368221 E y 8009882 N con una altitud de 616 m.s.n.m., presenta una extensión territorial de 371.4 km² que es ocupada por una población de 35 439 habitantes (INEI, 2007) y limita por el norte con el cerro Intiorko; al este con la Ciudad Nueva; al sur con el distrito de Tacna; y por el oeste con la Quebrada del Diablo. Desde el punto de vista jerárquico de la Iglesia católica forma parte de la Diócesis de Tacna y Moquegua la cual, a su vez, pertenece a la Arquidiócesis de Arequipa.

Por otro lado, la población de Alto de la Alianza tiene sus raíces principalmente en la migración del departamento de Puno y de la zona andina de Tacna, lugares afectados por los atentados terroristas en la década de 1980.

En el ámbito distrital, se encuentra sectorizado de la siguiente manera: El sector de Eloy G. Ureta y La Esperanza está integrado por personas provenientes de departamentos sureños como Moquegua (6%), Arequipa (11%) y Cusco (4%), según el censo de población y vivienda de 1993, elaborado por el Instituto Nacional de Estadística e información (INEI). El Pueblo Joven San Martín y el Pueblo Joven Alto de la Alianza está formado por pobladores de Tarata, Tarucachi, Candarave además de otros distritos del interior del departamento y de las regiones fronterizas como es el caso de Puno, con una participación poblacional de un 60% en los citados pueblos (Municipalidad de Alto de la Alianza), ver Figura 2.



Figura 2: Vista panorámica de la municipalidad distrital de Alto de la Alianza.

1.3. Accesibilidad y Clima

Para acceder desde la ciudad de Lima al área de estudio, se viaja por la carretera principal (Panamericana Sur) a través de una vía asfaltada en buen estado de conservación hasta la ciudad de Ilo (1091 km), luego se continúa por la costanera (recorrido de 94 km); finalmente, se dirige 41 km en dirección este, hasta llegar a la municipalidad distrital de Tacna y de aquí, 3 km en dirección NE para llegar a la zona de estudio (Fuente Ministerio de Transportes y Comunicaciones, MTC).

Las condiciones climáticas en el distrito de Alto de la Alianza, es parecido al resto de la costa peruana, según la información obtenida de la estación meteorológica de Tacna-000901 (SENAMHI), ubicada al sur de la ciudad de Tacna, cuyas coordenadas geográficas son: Latitud 18°1'36.8' y Longitud 70°15'5.5". Alto de la Alianza presenta clima templado, con temperaturas máximas promedio de 23.5 °C y mínimas promedio de 12.5°C, respectivamente. Según los datos pluviométricos en el período 1950-1991, las precipitaciones máximas promedio fueron de 33.4 mm. Actualmente, la zona de estudio presenta precipitaciones acumuladas mensuales de 3.16 mm, ver Tabla 1 y Figura 3.

Tabla 1: Datos de temperatura y precipitaciones de la estación meteorológica de Tacna-000901.

AÑO 2015												
VARIABLE	ENE	FBR	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
T° MAX PROMEDIO	27.3	28.64	28.74	25.91	22.06	19.31	18.9	20.5	22.7	23.6	25	27
T° MIN PROMEDIO	16.87	18.8	18.46	16.56	13.51	11.45	9.9	11.5	12.8	13.8	14.7	16.4
P.ACUMULADA(mm)	0	0.9	1.8	0	0.3	5.4	1.6	10.8	5.6	7.4	1.8	2.4
AÑO 2017												
VARIABLE	ENE	FBR	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
T° MAX PROMEDIO	-	-	28.93	-	23	21.5	20.31	20.9	22.6	24.2	25.9	27.1
T° MIN PROMEDIO	-	-	17.73	-	13.29	12.01	11.19	11.5	11.6	13.2	13.9	15.6
P.ACUMULADA(mm)	-	-	0	-	0	0.1	5.3	0.12	0.5	0.1	0	0

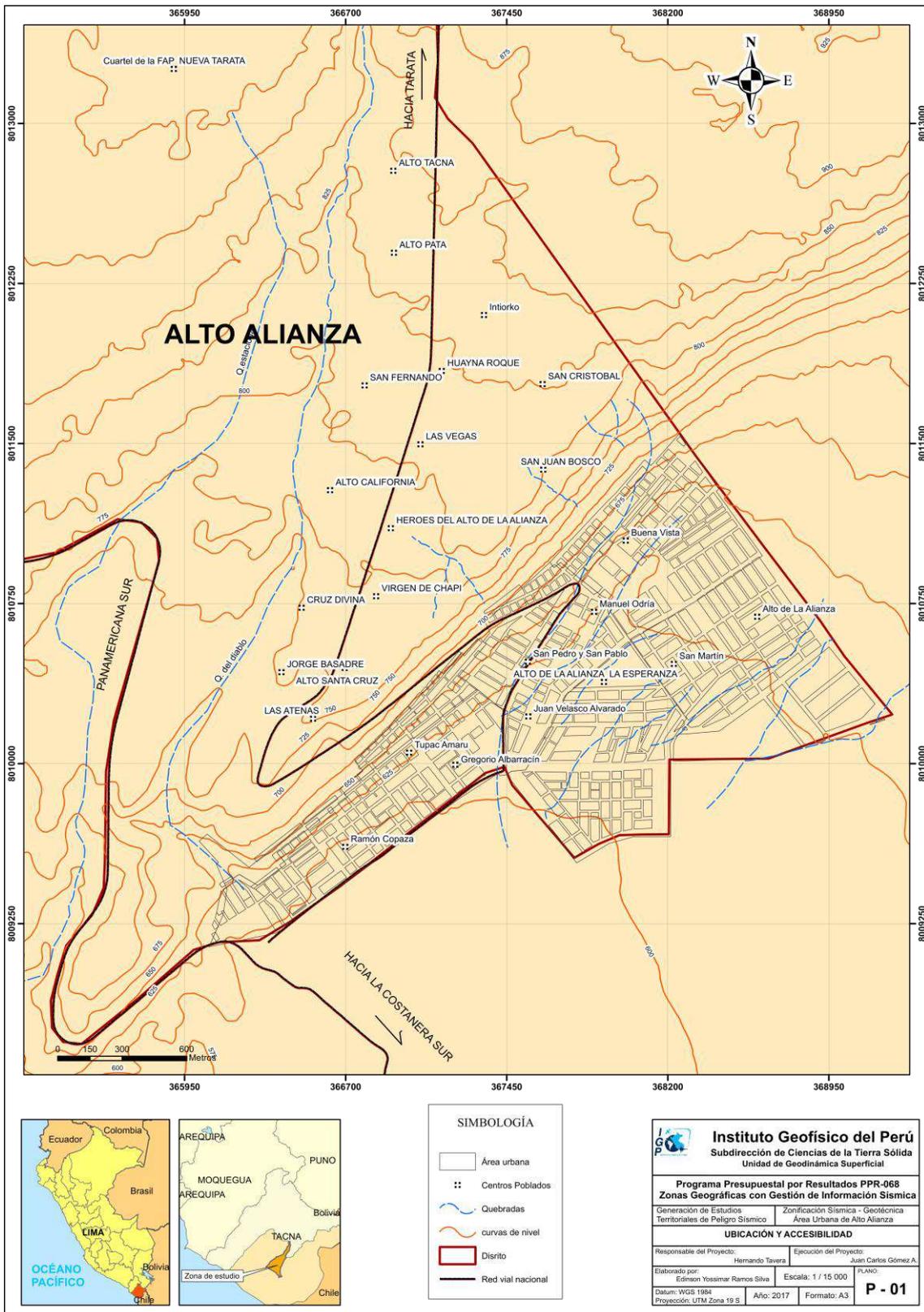


Figura 3: Mapa de ubicación geográfica de la ciudad de Alto de la Alianza.

1.4. Economía

El distrito Alto de la Alianza presenta 3 actividades económicas principales, siendo el sector más importante el comercio (INEI, 2007) con una población Económicamente Activa de 16 385 pobladores; es decir, el 46% de la población total de la localidad (35 439 habitantes).

1.5. Estudios previos

Para la ciudad de Alto de la Alianza, se ha recopilado información sobre estudios previos de geología, geotécnica, sísmica y geofísica realizados por diversos investigadores e instituciones a fin de alcanzar los objetivos del presente estudio, además de complementar los resultados a obtenerse. Entre los principales documentos técnicos consultados, se tiene:

- Acosta (2012) - Geología de los cuadrángulos de La Yarada, Tacna y Huaylillas Hojas 37-u, 37-v y 37-x. Contiene la interpretación tectónica y estratigráfica, de los importantes episodios geológicos sucedidos durante el Mesozoico y Cenozoico. Se encuentra, también, en este informe la geología regional que aflora en la zona de estudio, la cual está conformada por diferentes depósitos del Cenozoico, tales como: coluviales (Qh-el), aluviales (Qh-al2), Depósitos de Ceniza (Qh-ce), la Formación millo (Np-mi) y la Formación Huaylillas Inferior y Superior (Nm-hu-S, I).
- INDECI, (2004)-PNUD PER 02/51, Ciudades Sostenibles “Mapa de Peligros de la Ciudad de Tacna”. Este informe menciona que en el año 2001, se produjo un sismo en el sur del Perú de magnitud Mw8.2 con epicentro a 82 kilómetros de la localidad de Ocoña, en la región Arequipa, que afectó a las regiones de Arequipa, Moquegua y Tacna, prolongándose hacia los países de Bolivia y Chile. Este fue el terremoto más devastador del Perú desde la catástrofe de 1970 en Áncash. El pueblo más afectado en Tacna fue Ciudad Nueva y Alto de la Alianza. Con respecto al aspecto geotécnico, según este informe, los suelos de Alto Alianza se encuentran representadas en 6 calicatas distribuidas en todo lo largo del distrito constituidas por SM (Instituto Vigil y estadio Maracaná), aquí se completó la información del anterior estudio de Mapa de Peligros realizado por el INDECI-UNJBG, aquella vez con aproximadamente 60 calicatas distribuidas a lo largo de los distritos de Alto de la Alianza y Ciudad Nueva. En el 2004, en la parte baja del distrito de Alto Alianza se realizaron otras 18 calicatas, las cuales describen a

todos los suelos como arenas limosas con una densidad de campo de 1.70 gr/cm^3 y cohesión de 0.04 kg/cm^2 , resultando sus capacidades portantes admisibles de 0.69 kg/cm^2 .

- Corrales (2007): "Problemas Geotécnicos en Tacna. Sostiene que los distritos de Alto Alianza, Ciudad Nueva y parcialmente Tacna se encuentran dentro de suelos conformados por arenas limosas de origen aluvial y fluvial, presentando frecuencias de 0.25 hz, capacidad de carga admisible de 0.58 y 0.76 kg/cm^2 , potencial de colapso de 0.78% a 0.80% y asentamientos que varían de 1.57 a 3.32 cm, comprendiendo la zona II y III. Los suelos de arenas limosas presentan valores los 0.2304% de sales solubles y 0.0642% en peso de sulfatos obtenidos en la calicata de la asociación La Florida y valores mínimos de 0.230% de sales solubles y 0.0540% en peso de sulfatos obtenidos en la calicata ubicada en el Terminal del Altiplano. Este distrito se encuentra asentado sobre depósitos aluviales conformados por arenas limosas, depósitos eluviales (producidos por efecto de gravedad) y cenizas volcánicas. Estos suelos clasificados como SM presentan asentamientos, fallas por corte, agresión al concreto y ampliación local de ondas sísmicas.

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.

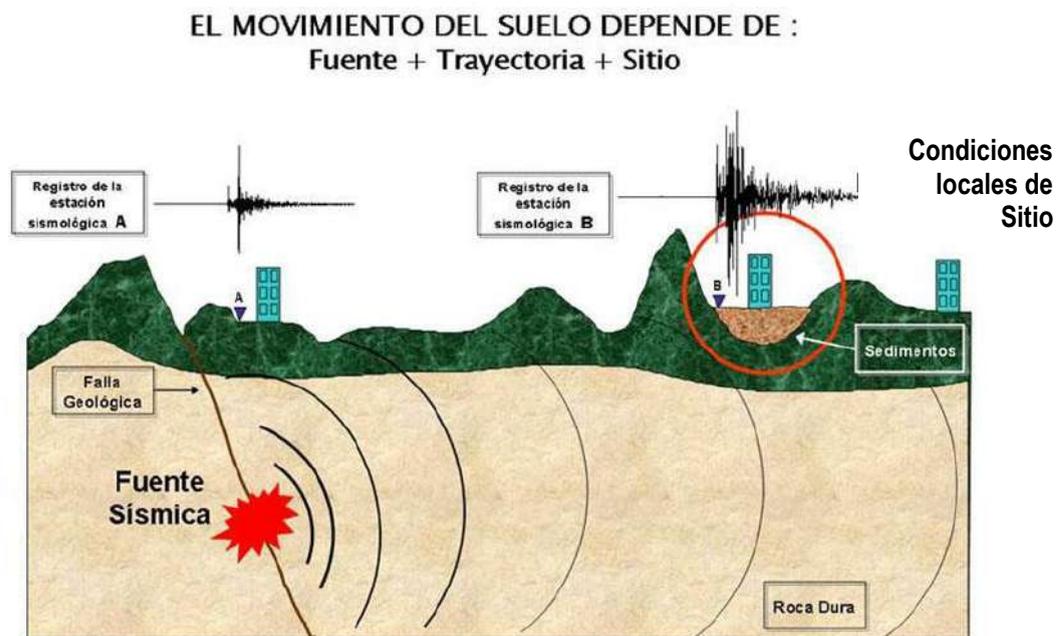


Figura 4: Las condiciones locales de sitio controlan la amplificación del sacudimiento del suelo, puesto en evidencia con la amplitud del registro sísmico obtenido sobre roca y sedimentos.

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

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

Dónde:

di = 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 la 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: Zona conformada por estratos de grava coluvial-eluvial que se encuentran a nivel superficial o cubiertos por un estrato de material fino de poco espesor. Este suelo tiene comportamiento rígido con periodos de vibración natural determinados por las mediciones de microtrepidaciones (registros de vibración ambiental) que varían entre 0.1 y 0.3 s, con velocidad de las ondas de corte (V_s)

varía entre 500 y 1500 m/s. Corresponden a suelos Tipo S1 de la norma sismorresistente peruana.

ZONA II: En la zona se incluye las áreas de terreno conformado por estratos superficiales de suelos granulares finos y suelos arcillosos con espesores que varían entre 3.0 y 10.0 m., subyaciendo a estos estratos se tiene grava eluvial o grava coluvial. Los periodos predominantes del terreno, determinados por las mediciones de microtrepidaciones, varían entre 0.3 y 0.5 s, con velocidades de las ondas de corte (V_s) que varía entre 180 y 500 m/s, correspondiendo a suelos Tipo S2 de la norma sismorresistente peruana.

ZONA III: Zona conformada, en su mayor parte, por depósitos de suelos finos y arenas de gran espesor que se encuentra en estado suelto. Los periodos predominantes encontrados en estos suelos varían entre 0.5 y 0.7 s, por lo que su comportamiento dinámico ha sido tipificado como suelo Tipo S3 de la norma sismorresistente peruana. En la zona la velocidad de las ondas de corte (V_s) fluctúa alrededor de los 180 m/s.

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: Zona constituida por áreas puntuales conformadas por depósitos de rellenos sueltos correspondientes a desmontes heterogéneos que han sido colocados en depresiones naturales o excavaciones realizadas en el pasado con espesores entre 5 y 15 m. En esta zona se incluye también a los rellenos sanitarios que en el pasado se encontraban fuera del área urbana y que, en la actualidad, han sido urbanizados. El comportamiento dinámico de estos rellenos es incierto por lo que requieren de estudios específicos.

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

- La geodinámica en la ciudad de Alto de la Alianza está representada por movimientos en masa (flujo de detritos y/o lodos) en el sector de la quebrada seca y quebrada del Diablo ubicadas al suroeste de Alto de Alianza, cerca de las calles Los Jazmines y Los Claveles, al activarse también podrían afectar las partes bajas de esta zona incluso hasta el Cementerio de Alto de la Alianza y el Terminal de Tacna. Las zonas centrales de este distrito están propensas a inundación pues son partes baja por donde podrán discurrir aguas de las Quebrada Caramoye y del Diablo en periodos de lluvias extremas.
- Los tipos de suelos presentes en la ciudad de Alto de la Alianza son 3, determinados entre 1 y 1.20 m de profundidad, siendo estos los siguientes: arenas limosas (SM) con capacidad admisible muy baja, entre 0.51 y 0.65 kg/cm² y para algunos casos presentan capacidad admisible bajas de 1.15 kg/cm², encontrando en otras capacidades admisibles altas de 4.06 kg/cm², gravas limosas (GM) con capacidad admisible muy baja de 0.65 kg/cm² y finalmente arenas pobremente graduadas con mezcla de arenas limosas (SP-SM) cuya capacidad admisible es media de 2.44 kg/cm².
- Los resultados obtenidos para el área urbana de Alto de la Alianza 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 sísmica correspondientes a suelos Tipo S1 y S4 que comprenden a suelos semi-rígidos a rígidos y excepcionales. Asimismo, se define como caso especial al sector ubicado por la urbanización San Pedro en la desembocadura de la quebrada del Diablo donde se presenta de manera localizada amplificación de la señal sísmica y periodos de 0.1 y 0.8 segundos, resultados que sugieren la presencia de suelo con una respuesta dinámica compleja ante la ocurrencia de sismos (Figura 5).

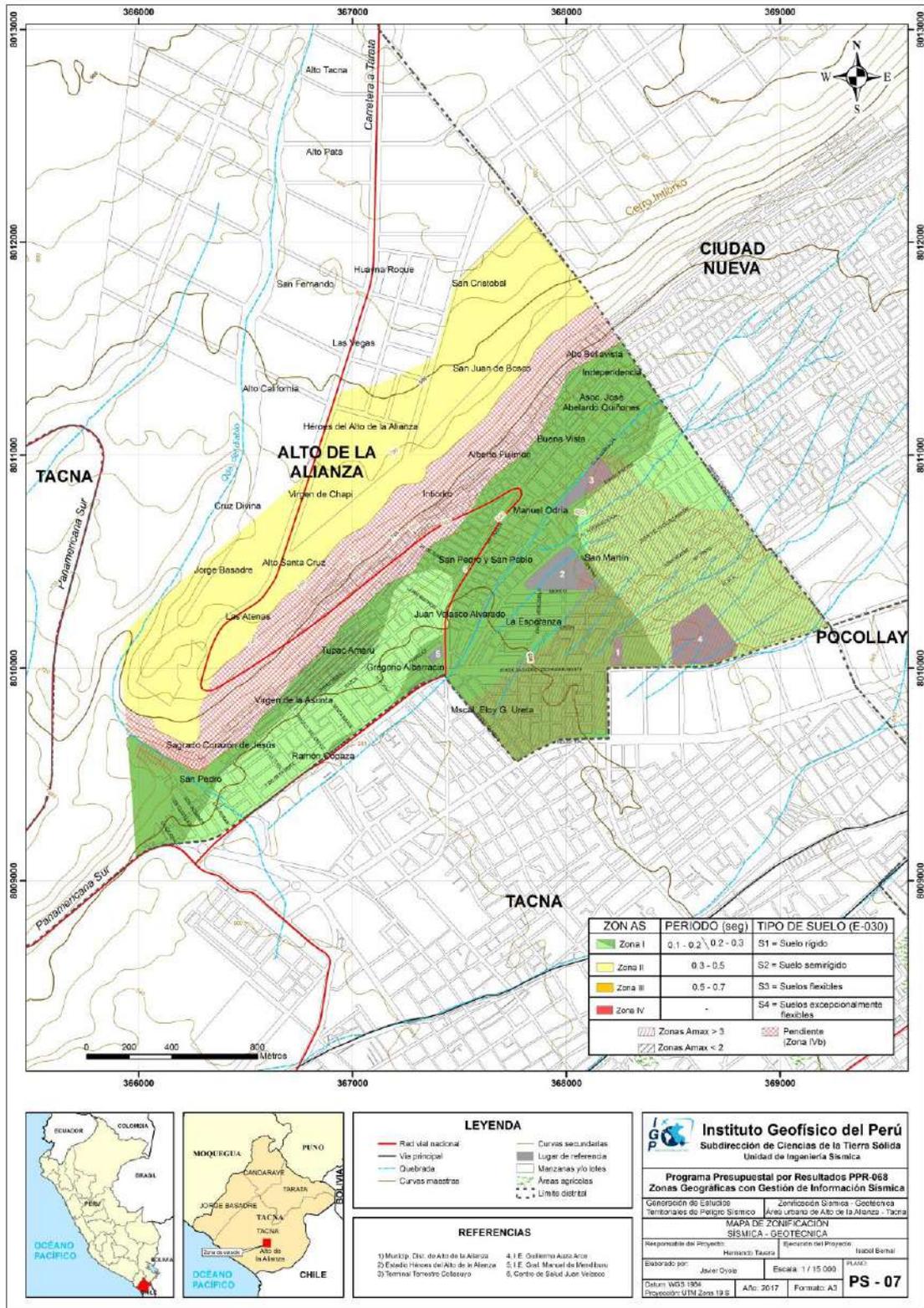


Figura 5: Mapa de Zonificación Sísmica – Geotécnica para la ciudad de Alto de la Alianza.

**CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA
DE LA CIUDAD DE ALTO DE LA ALIANZA**

CONTENIDO

1. METODOLOGÍA

2. GEOMORFOLOGÍA

- 2.1. Base topográfica
- 2.2. Modelo digital de elevación (MDE)
- 2.3. Pendientes
 - 2.3.1. Clasificación del grado de pendientes

- 2.4. Unidades geomorfológicas
 - 2.4.1. Terraza aluvial
 - 2.4.2. Lomas

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)
 - 3.2.2. Formación Millo (NP-mi)
 - 3.2.3. Depósitos Cuaternarios

4. GEODINÁMICA

- 4.1. Procesos de geodinámica interna
- 4.2. Procesos de geodinámica externa
- 4.3. Zonas susceptibles a procesos geodinámicos

5. ASPECTOS GEOTÉCNICOS

- 5.1. Exploraciones a cielo abierto (Norma ASTM D420)
- 5.2. Densidad del suelo in-situ (Norma ASTM D1556)
- 5.3. Exploraciones con posteadora manual (Norma ASTM D1452)
- 5.4. Ensayos de penetración dinámica ligera (Norma DIN 4094)
 - 5.4.1. Correlación entre el “N” DPL y el “N” SPT (ASTM D1586)
 - 5.4.2. Cálculo del ángulo de fricción interna

- 5.5. Clasificación de suelos SUCS (Norma ASTM D4827)
- 5.6. Ensayo de corte directo (Norma ASTM D-3080)
 - 5.6.1. Capacidad de carga admisible (q_{ad})
 - 5.6.2. Carga última (q_u)

CONCLUSIONES

1. METODOLOGÍA

Para realizar la caracterización geológica y geotécnica de los suelos en la ciudad de Alto de la Alianza se ha seguido la siguiente metodología:

- ✓ **Gabinete I:** Recopilación y revisión de imágenes satelitales georeferenciadas mediante el uso de sistemas de información geográfica (SIG), con la finalidad de delimitar la zona de estudio, así como la recopilación de información geológica regional y local existente (boletines geológicos, informes técnicos, entre otros).
- ✓ **Campo 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 de la zona; áreas potencialmente susceptibles a la ocurrencia de flujos de lodos y/o detritos ubicados hacia el suroeste de la ciudad de Alto de la Alianza e inundaciones, si las quebradas se reactivaran en tiempos de precipitaciones pluviales.
- ✓ **Campo II:** Elaboración de ensayos geotécnicos de acuerdo al siguiente detalle:
 1. Elaboración de 09 calicatas, realizadas a una profundidad promedio de 3 m, distribuidas en el centro urbano y zonas de expansión urbana.
 2. Ensayos de penetración dinámica ligera (DPL), realizados con el fin de determinar la resistencia de los suelos al ser penetrados. En este distrito se llevaron a cabo 13 DPL.
 3. Ejecución de auscultaciones haciendo uso de posteadora, estas se distribuyeron en zonas intermedias a la ubicación de las calicatas más próximas, con el fin de determinar el tipo de suelo. En el área de estudio se llevaron a cabo 09 posteos.
- ✓ **Laboratorio:** Procesamiento de las muestras de suelos, a través de ensayos de mecánica de suelos para conocer la granulometría (clasificación SUCS), humedad, densidad y corte directo (capacidad de carga admisible).
- ✓ **Gabinete II:** Elaboración del informe técnico y construcción de fichas geotécnicas (calicatas, DPL y posteos), fichas geodinámicas (identificación de zonas susceptibles a movimientos en masa e inundaciones) y planos temáticos a escala 1:15 000 (de acuerdo a la escala).

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 la ciudad de Alto de la Alianza, en relación a su origen.

Previamente, en base al levantamiento topográfico y mediante herramientas computacionales (SIG) se ha elaborado los planos: Modelo Digital del Elevación (MDE) y pendientes, con el fin de delimitar las características geomorfológicas del terreno.

2.1. Base topográfica

La base topográfica se obtuvo a partir de un levantamiento fotogramétrico realizado en la ciudad de Alto de la Alianza, abarcando 12 km² en el departamento de Tacna, específicamente 3.5 km² para esta ciudad. Este trabajo se realizó con el propósito de obtener la presentación digital de relieve que conforman las unidades: terraza aluvial, loma y cauces estacionales. Para la ejecución del levantamiento, se utilizó un vehículo aéreo no tripulado (VANT), la metodología y los parámetros empleados para este levantamiento se presentan en los Anexos. A partir, del levantamiento, se obtuvo un plano topográfico a escala 1:15 000 que contiene curvas de nivel (líneas que unen puntos con igual altitud) con resolución espacial de 5 m" (Figura 1).

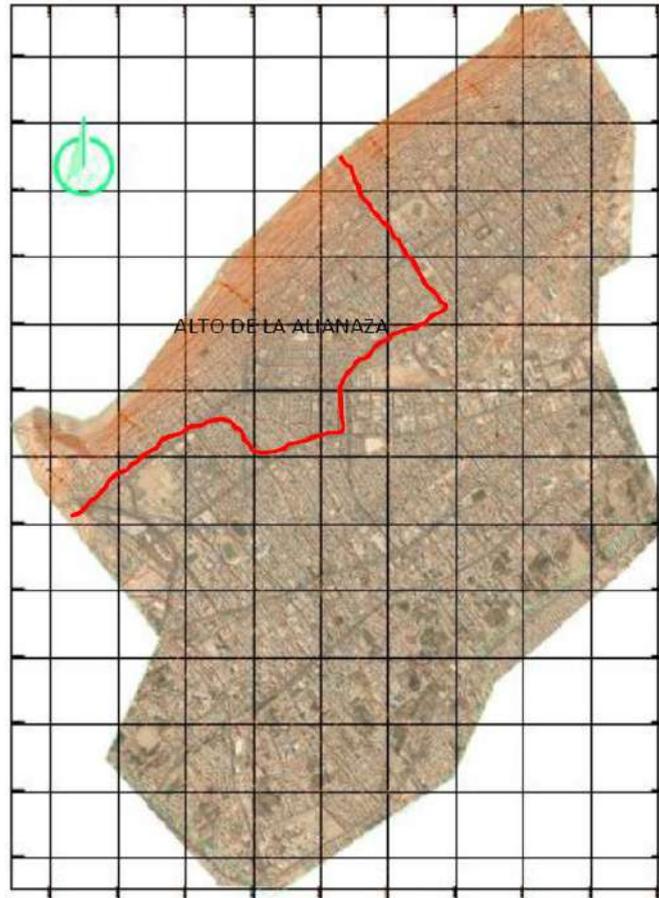


Figura 1: Ortofoto generada con Fotogrametría a partir de un VANT.

2.2. Modelo Digital del Elevación (MDE)

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

Para la elaboración del MDE de la ciudad de Alto de la Alianza, se tomó en cuenta el uso de herramientas SIG sobre las curvas de nivel diseñadas anteriormente, obteniendo como resultado la representación digital de la superficie de elevación de la localidad, que cubre un área de 54 km² (Figura 2).

En base al MDE elaborado de la ciudad de Alto Alianza se ha reconocido que la parte baja del área urbana se asienta sobre una terraza aluvial que presenta un rango de cotas entre 594 y 642 m.s.n.m. Mientras que, la parte alta del área estudiada se asienta sobre una loma con elevaciones entre 736 y 831 m.s.n.m.

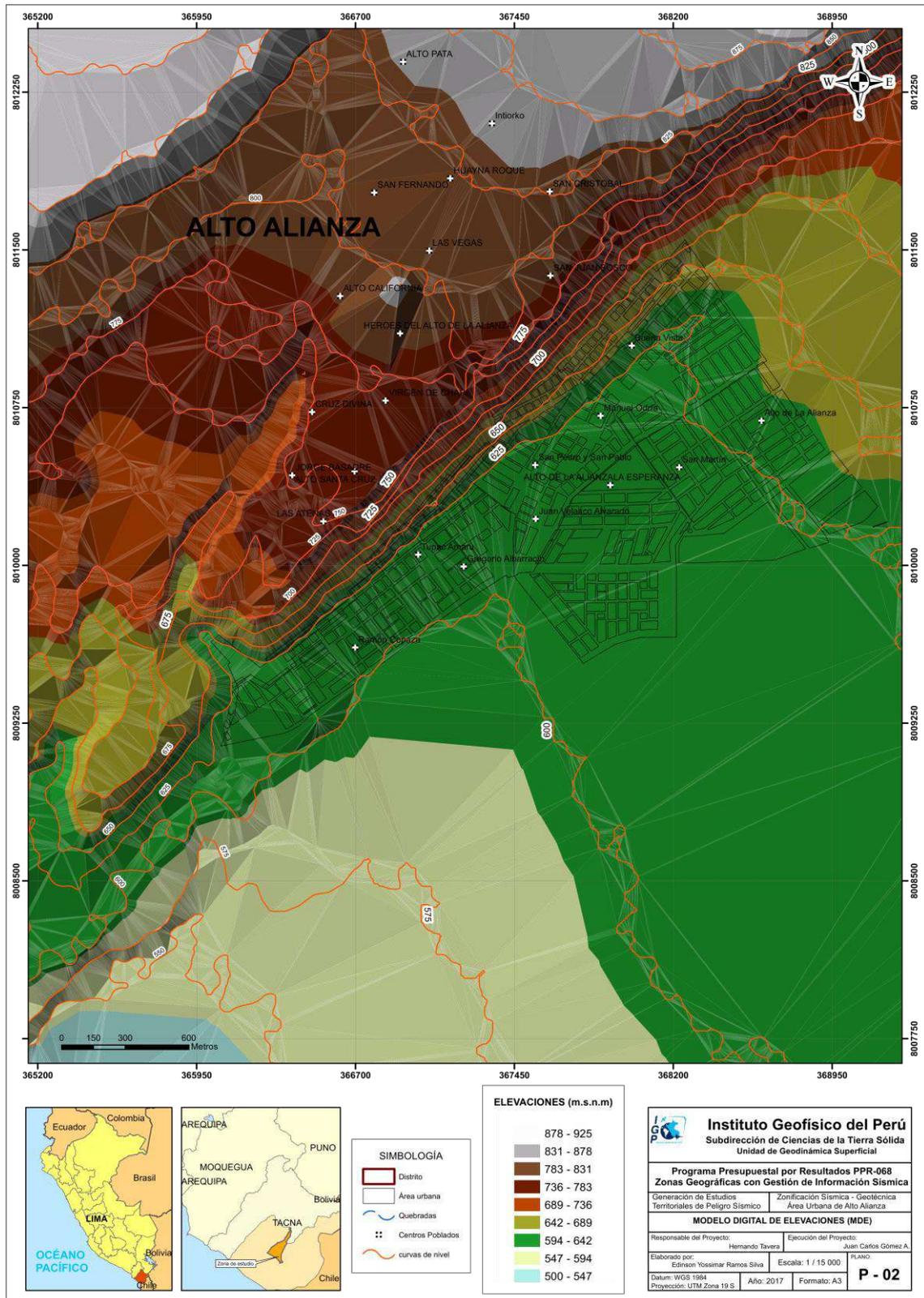


Figura 2: Mapa de modelo digital de elevaciones para la ciudad de Alto de la Alianza y alrededores.

2.3. 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 Alto de la Alianza, fue desarrollado a partir del MDE elaborado anteriormente, haciendo uso 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.

2.3.1. Clasificación del grado de pendientes

Para la clasificación de los rangos de pendientes se usó la propuesta 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 de la ciudad de Alto de la Alianza se encuentra asentada sobre un abanico aluvial que presenta pendientes menores a 5° promedio; mientras que, en donde existen elevaciones (lomas) al noreste, las pendientes varían entre los 5° - 20 ° y al suroeste los rangos oscilan entre los 20° - 45° (Figura 3).

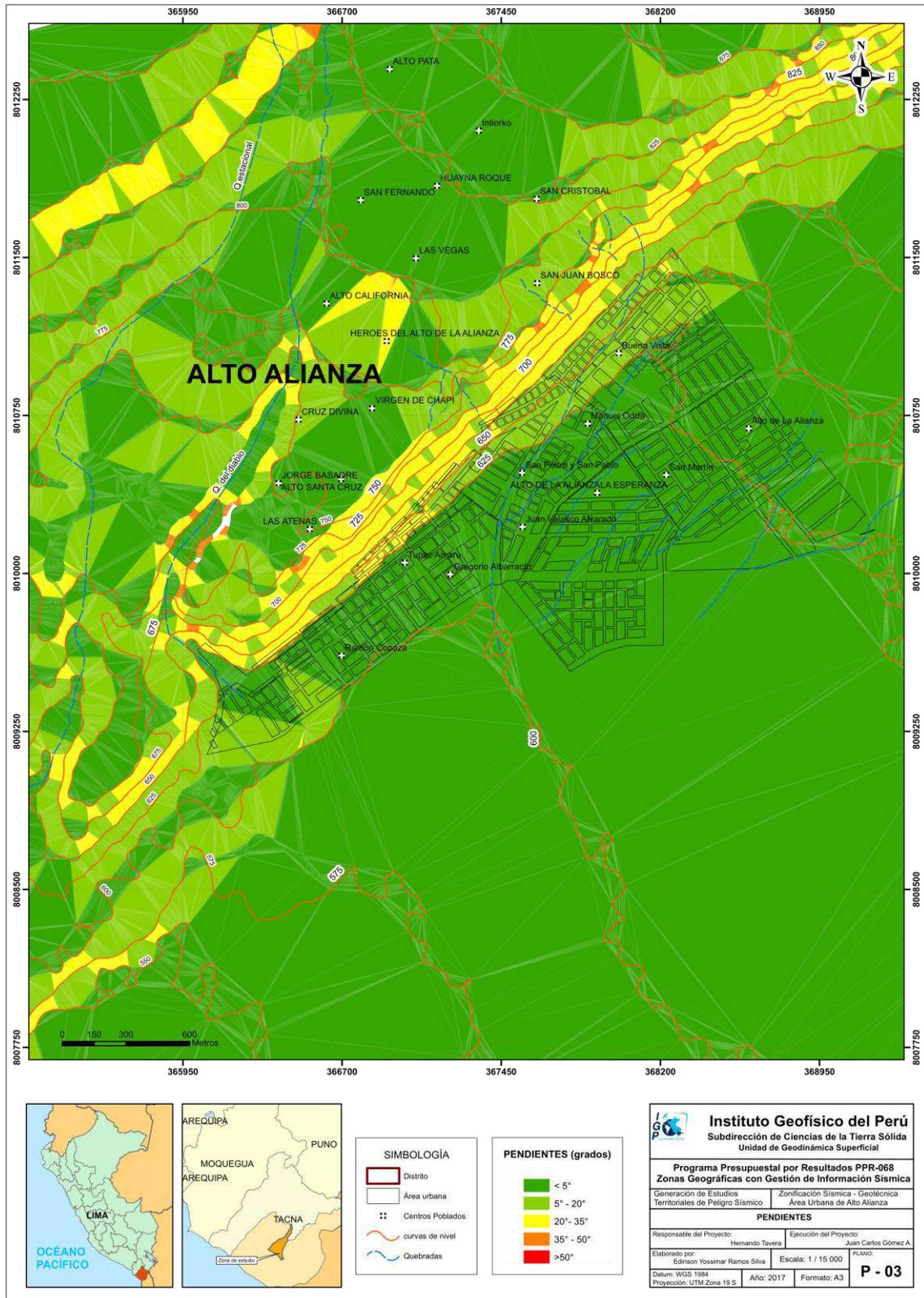


Figura 3: Mapa de pendientes del terreno para la ciudad de Alto de la Alianza y alrededores.

2.3. Unidades geomorfológicas

Estas unidades con ciertas características físicas son generadas por procesos morfogenéticos de carácter endógeno (procesos internos) y exógenos (procesos externos) formando 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 que generan diferentes geoformas. Esta se clasifica de acuerdo a su origen, en depositacional y denudacional (erosional). Otros procesos internos como el magmatismo y tectonismo que generan geoformas de origen estructural.

En base a las características físicas de las geoformas y su origen, en el distrito de Alto de la Alianza, se cartografiaron la existencia de dos unidades: terraza aluvial y lomas (Tabla 2 y Figura 4).

Tabla 2: Determinación de geoformas en el distrito de Alto de la Alianza 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		

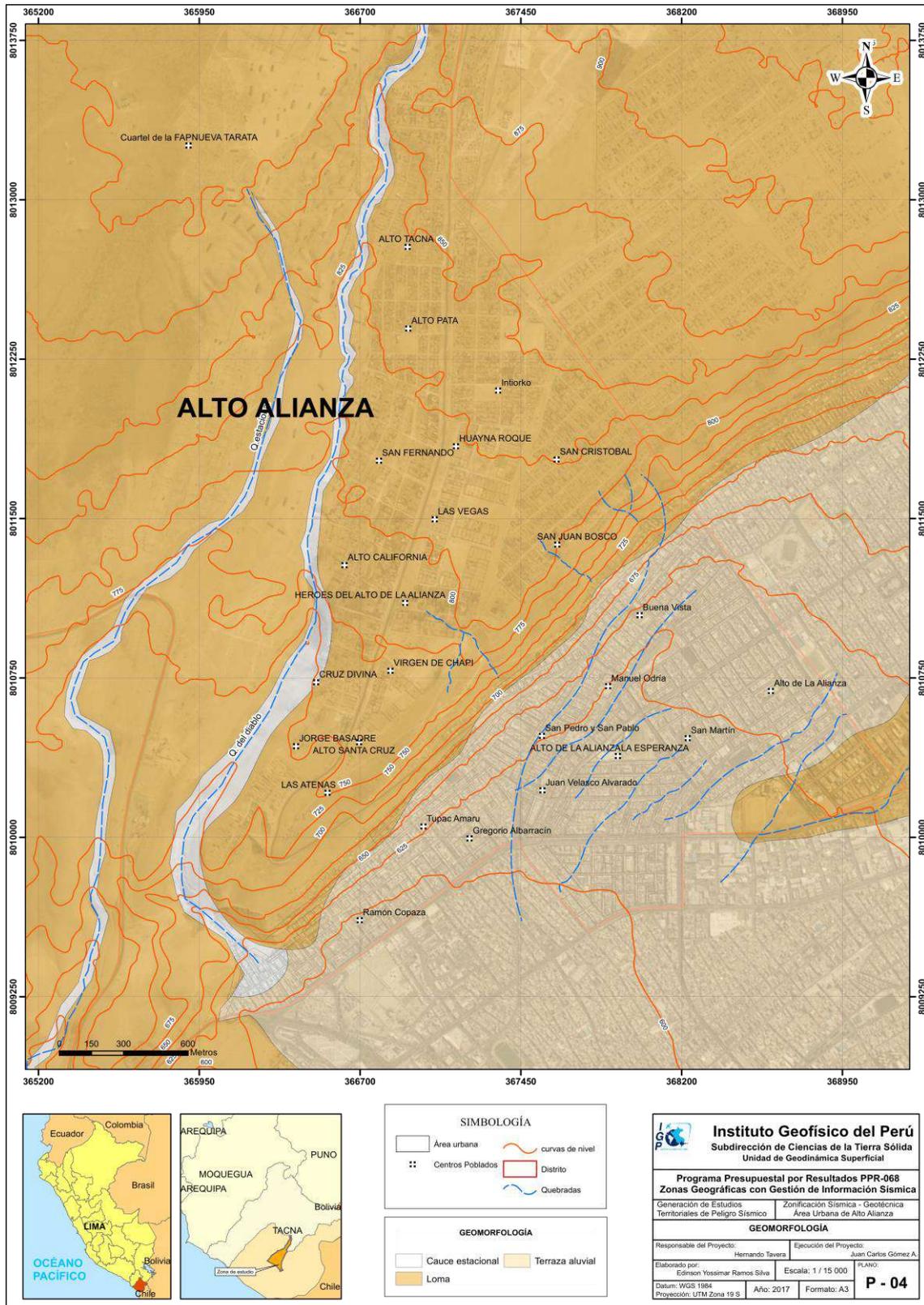


Figura 4: Mapa geomorfológico para la ciudad de Alto de la Alianza y alrededores.

2.3.1. Terraza aluvial

Las terrazas aluviales de la ciudad de Alto de la Alianza son superficies, cuyo relieve presenta pendientes menores a 5° , con una geometría y drenaje irregular. Están conformadas por clastos y gravas subredondeados de origen volcánico con matriz arenolimsa, de color gris, transportados por la dinámica de los ríos o quebradas, como en este caso el río Caplina ubicado al sureste y la quebrada del Diablo al oeste del distrito de Alto de la Alianza. Esta terraza antigua de origen depositacional abarca el 40% de la zona de estudio y sobre tal se asienta la ciudad de Alto de la Alianza (Figura 5).



Figura 5: La ciudad de Alto de la Alianza se asienta sobre una antigua terraza aluvial.

2.3.2. Lomas

Estas geoformas presentan pendientes mayores a 8° y menores a 48° , 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 60% de la zona de estudio (Figura 6).



Figura 6: Se han identificado lomas a 2 km al suroeste de la ciudad de Alto.

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 deja espacios por donde el agua sigue penetrando y acelerando el proceso de desintegración. La roca se vuelve porosa, después, se descompone en fragmentos cada vez más pequeños, hasta que, al ser transportada y depositada se convierte en suelo. Los procesos químicos son complejos y 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, 1993) a escala 1: 50, 000. En ésta, se describen las unidades litológicas aflorantes cuyas edades se encuentran desde el Cretáceo Inferior (100.5 Ma) hasta el Cuaternario Reciente.

3.1.1. Geología histórica

En este ítem se resume los procesos y eventos geológicos que tuvieron lugar en el pasado y que ayudan a reconstruir las diferentes etapas de cambios geológicos que ha sufrido la superficie de la tierra desde sus inicios hasta la actualidad quedando registrados en la estratigrafía y bioestratigrafía de un área respectiva. Está íntimamente ligada al estudio geológico regional, geomorfológico y estructural de una ciudad para comprender los procesos y eventos geológicos que ocurrieron a gran escala.

Según Acosta (2012) hace 252 millones de años, en la zona de estudio se produjo lo siguiente:

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 perteneciente a la 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, hay 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 estratificaciones andinas y fallamientos en bloques evidenciados en esta parte de la costa. A continuación, se detallan las estructuras resultantes de dichos eventos geológicos (Figura 7).

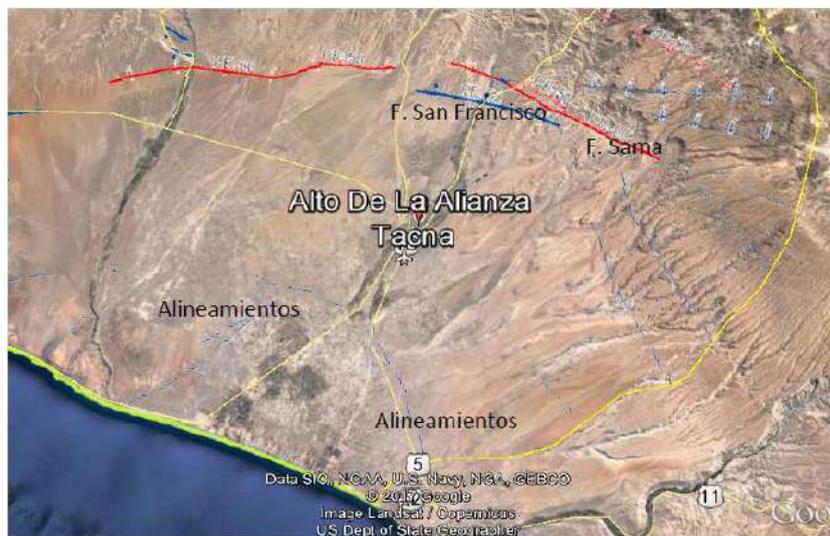


Figura 7: Fallas geológicas y alineamientos identificados en el área de estudio. Se encuentran alineamientos a 20 km al sureste de la ciudad de Alto Alianza, y a 22 km al noreste de dicha ciudad se aprecian 02 fallas, una de color rojo llamada falla Sama-Calientes y de color azul, llamada San Francisco ambas, afectando depósitos recientes.

En la zona se encuentran alineamientos con rumbo NO-SE, a 20 km en promedio al suroeste y sureste de Tacna.

- **Falla Sama-Calientes:** El sistema de fallas activas Sama-Calientes se ubica en la región Tacna a una altura media de 1 700 msnm, exactamente entre la quebrada Locumba y la frontera Perú-Chile. La traza de la falla pasa cerca de las localidades de Sama y Calientes, esta última a 20 km del departamento de Tacna. El sistema de fallas Sama-Calientes afecta depósitos aluviales, fluviales y lacustres pertenecientes a las terrazas aluviales del Plioceno, Pleistoceno y Holoceno (Benavente et al., 2008).

- **Falla San Francisco:** Se caracteriza por una serie de escarpas degradadas y discontinuas en depósitos aluviales al noreste de Tacna. Se extiende a lo largo de 21 km con rumbo NE-SO, y afecta depósitos del río Caplina, la Pampa San Francisco y la quebrada Cobani (Noller, 1993). Se encuentra fracturas en la roca, como una escarpa de baja altura, enterrada en parte por depósitos eólicos. Sin embargo, la falla expresa un salto vertical de 1 a 1,5 m (Fenton et al., 1995).

3.2. Geología local

Consistió en el reconocimiento y cartografiado de las unidades litológicas aflorantes en la ciudad de Alto de la Alianza a escala 1:15,000, sobre un área de 36 km² aproximadamente. En la Tabla 3 se describen las unidades litológicas que fueron reconocidas en el presente estudio (Figura 8).

Tabla 3: Columna cronolitoestratigráfica de la zona de estudio.

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS	SIMBOLO	LITOLOGÍA	
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	DEPOSITO COLUVIAL	Qh-Co	Bloques, Limos y arenas sobre regolito	
			DEPOSITO ALUVIAL	Qh-al	Gravas y arenas	
			DEPOSITO DE CENIZAS	Qh-ce	Cenizas volcánica Blancas	
	NEOGENO	MIOCENO	PLEISTOCENO	FORMACION MILLO	Np-mi	Conglomerados, polimícticos, con tobas retrabajadas.
				FORMACIÓN HUALILLAS S.	Nm-hu-s	Tobas soldadas cristalolíticas de biotitas, plagioclasas y cuarzo, de color gris blanquecino.
				FORMACIÓN HUAYLILLAS I.	Nm-hu-l	Tobas semisoldadas de biotitas y cuarzo, de color crema rosáceo.

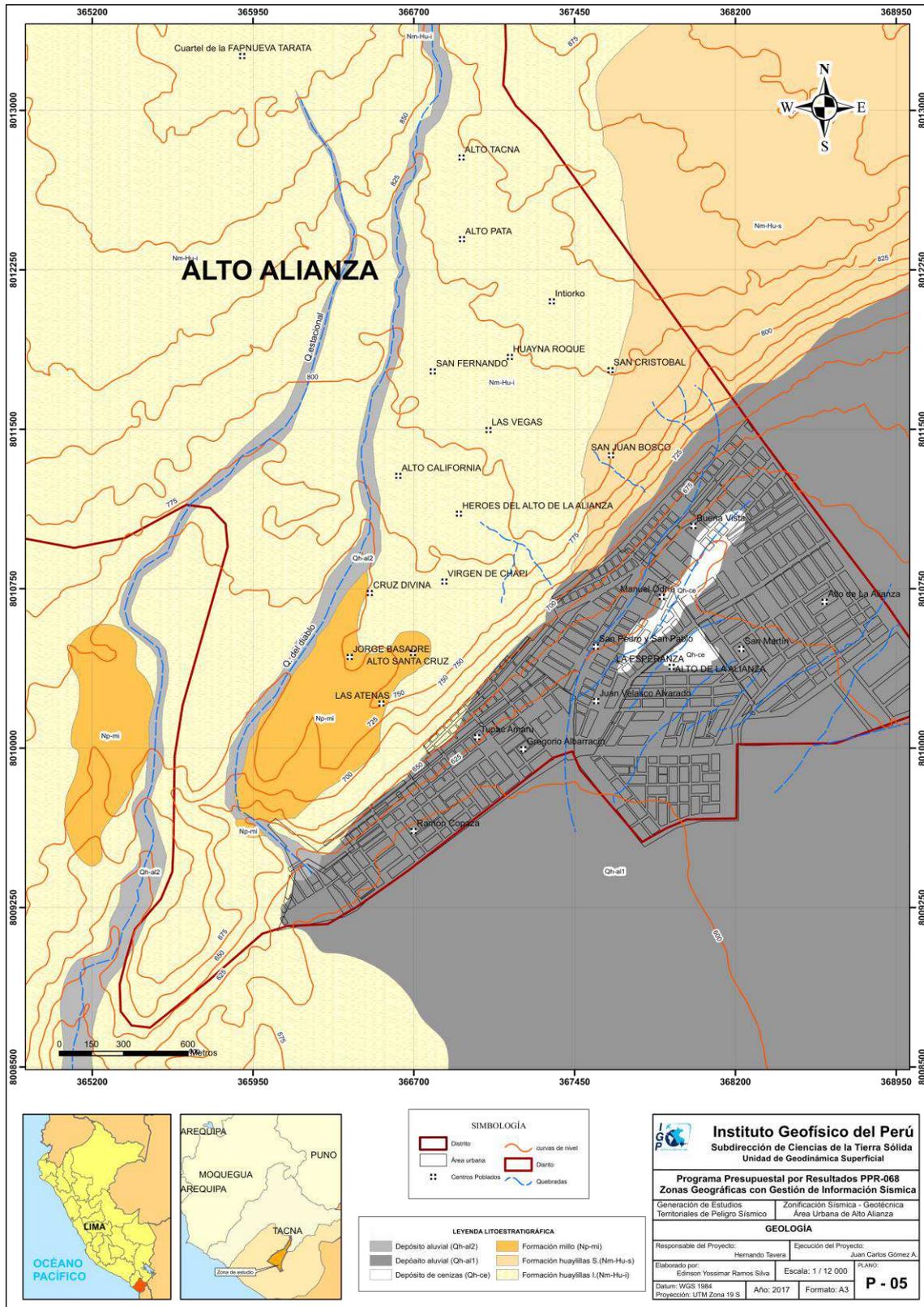


Figura 8: Mapa de geología local para la ciudad de Alto de la Alianza y alrededores.

3.2.1. Formación Huaylillas (Nm-hu)

Constituida por calizas grises a verdosas en capas delgadas con intercalaciones de yeso o impregnaciones de limolita. Esta unidad litológica constituye el substrato rocoso de la ciudad de Alto de la Alianza y se encuentra aflorando a 3 km al sureste del centro urbano de la ciudad en mención (Figuras 9 y 10).



Figura 9: Excavación de la calicata CAA-01, ubicada en el cerro Intiorko, se encontró a 0.30m rocas volcánicas del tipo de tobas riolíticas de color blanco, pertenecientes al miembro superior de la Formación Huaylillas.



Figura 10: A inmediaciones del sector Cruz divina, en la quebrada seca afloran rocas tobáceas riolíticas de color pardo rojizas del miembro Huaylillas inferior.

3.2.2. Formación Millo (NP-mi)

Esta formación está compuesta por conglomerados polimícticos, con tobas retrabajadas, afloran a 800m al oeste de Alto de la Alianza, en el corte de la carretera de salida a Tarata (Figura 11).



Figura 11: Se aprecia sobreyaciendo a la Formación Huayllillas, los conglomerados polimícticos de la Formación Millo, aflorantes en la carretera hacia Tarata, cerca de las antenas de Alto de la Alianza.

3.2.3. Depósitos Cuaternarios

Suprayaciendo al substrato rocoso conformado por rocas volcánicas, se encuentran los depósitos Cuaternarios de edad Holocena, tales como cenizas, aluvial y coluviales. Las características de estos materiales son:

Depósitos de cenizas (Qh-ce): Son depósitos de material piroclástico, menor a los 2mm de diámetro de color blanca, afloran a 800 m aproximadamente al este de la ciudad de Alto de la Alianza, se encuentran incrustados en las cenizas, fragmento redondeados de lapillis de 2 cm de diámetro (Figura 12).



Figura 12: Al norte de la ciudad de Alto de la Alianza, a 1 km aproximadamente, en el sector Vista Alegre se encuentran aflorando cenizas blancas y lapillis de 20 cm de diámetro.

Depósitos aluviales (Qh-al 1): Los depósitos aluviales están constituidos por gravas subredondeadas a angulosas de 2" de diámetro y arenas de grano fino a medio, color gris, intercalados con limos, los cuales son acarreados cuando se activan las quebradas secas de Alto de la Alianza, sobre los cuales se asienta la parte urbana de la ciudad, con un espesor de 5 a 1.5 m (Figura 13).



Figura 13: A 1 km al sureste de la ciudad de Alto de la Alianza, a la altura del sector de San Martín se ubica una antigua terraza aluvial de 3 metros de altura, aproximadamente.

Depósitos aluviales 2 (Qh-al 2): Este depósito se encuentra en todo el cauce de la Quebrada del Diablo y de quebradas estacionales, están constituidos por gravas subredondeadas a angulosas en su minoría, arenas y limos en su gran mayoría provenientes de tobas retrabajadas, presentan un color gris. Estos materiales son acarreados cuando se activan estas quebradas secas en tiempo de lluvias extremas, actualmente en el tramo final de esta quebrada se ubica parte de la población de Alto de la Alianza, presentan un espesor de 3 a 4m aproximadamente (Figura 14).



Figura 14: Depósito aluvial (Qh-al2), identificado al noroeste de Alto de la Alianza, ubicado en el cauce de la quebrada del Diablo. Vista desde la parte alta del cerro Intiorko.

4. GEODINÁMICA

La geodinámica es la rama de la geología que estudia las fuerzas o agentes que actúan en los procesos dinámicos de la tierra, se divide en geodinámica interna y externa, estos procesos originan cambios físicos y químicos que dan como producto eventos que modifican el actual relieve de la corteza terrestre.

Es importante recalcar que al 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.

4.1. Procesos de geodinámica interna

La geodinámica interna estudia las transformaciones de la estructura interna de la Tierra en relación con las fuerzas que actúan en su interior, usando técnicas de prospección geológicas (estudios estructurales, dataciones de muestras, medidas con Gps de alta precisión) y geofísicas (análisis de ondas sísmicas). Los procesos que transforman la estructura interna de la tierra son los magmáticos, sísmicos y tectónicos junto con sus agentes.

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.

Los procesos de tectonismo, originan la deformación de la corteza 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

La geodinámica externa estudia la acción de los agentes atmosféricos externos: viento, aguas continentales, mares, océanos, hielos, glaciares y gravedad, sobre la capa superficial de la Tierra, involucrando procesos de meteorización, erosión transporte y sedimentación que van originando una lenta destrucción y modelación del paisaje rocoso y del relieve, y en cuya actividad se desprenden materiales que una vez depositados

forman las rocas sedimentarias. Igualmente, los efectos resultantes sobre las formas del relieve, evolución y proceso de modelado, es investigado por la geomorfología.

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) y 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).

Como se indicó anteriormente existen dos procesos, los cuales serán 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, los cuales se dividen, según su origen, en: fluvio-aluvial e hidrogravitacional (Figura 15).

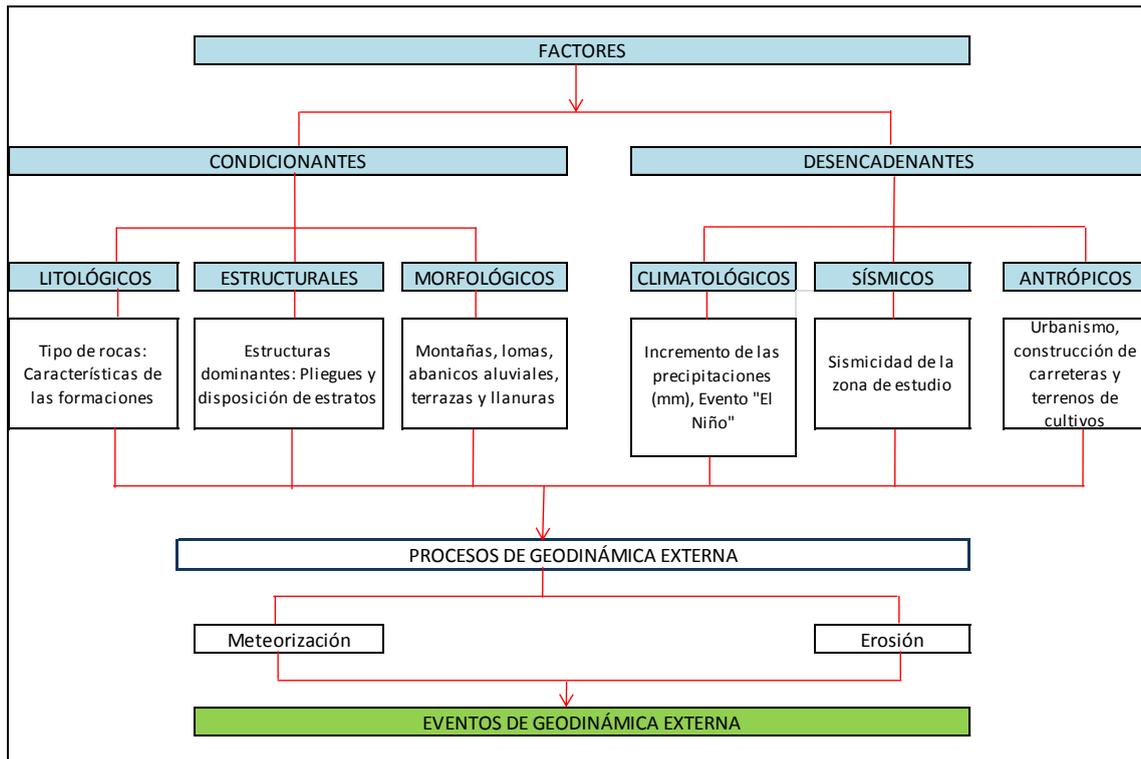


Figura 15: Factores asociados a procesos de geodinámica externa que contribuyen a la ocurrencia de eventos geodinámicos.

Los procesos de erosión (carcaveo, incisión y desgaste laminar), son originados por las precipitaciones que se presentan en la cuenca fluvial, la cual genera la escorrentía superficial, esto provoca el arrastre progresivamente de los materiales a posiciones de menor energía potencial (menor pendiente). La carga de sedimentos transportados por la quebrada o río incrementan la acción erosiva y son capaces de producir remoción de los materiales (Brusi, 2013), como: 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 y/o lodos (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.

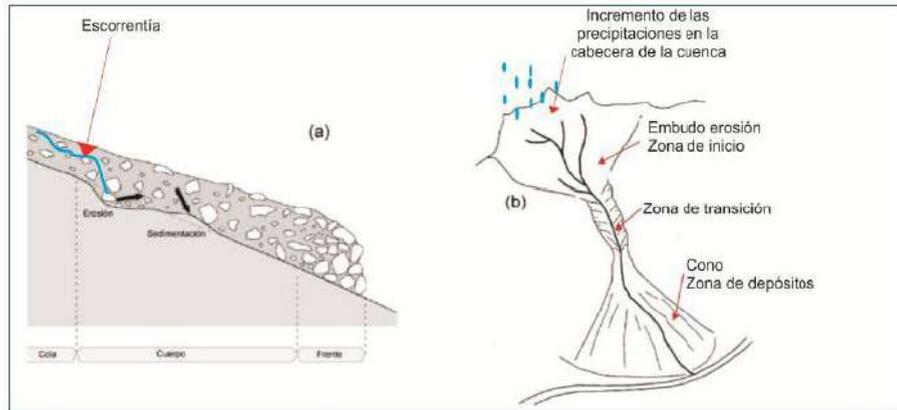


Figura 16: a) Proceso de erosión por las aguas de escorrentía y acumulación de material. b) Vista frontal de la cuenca y desarrollo del evento en cabecera de la cuenca por incremento de las precipitaciones, zona de transición (zona de almacenamiento de material y la depositación del material), modificado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

En la zona de estudio los flujos de detritos y/o lodos han formado una terraza aluvial sobre la cual se asienta el poblado de Alto de la Alianza.

Actualmente hay acumulación de detritos en los cauces de la quebrada del Diablo y la quebrada estacional, ubicados a 2 y 3 km, en las zonas altas de la parte occidental de la ciudad de Alto de la Alianza, estimando que en épocas de lluvias esta se activaría arrastrando detritos en forma de flujos ocasionando daños a la población (Figura 17).

- **Caída de rocas:** Cerca de las calles Los Claveles, Los Jazmines y poblado asentado en el lecho de la quebrada del Diablo, en la parte suroeste de Alto de la Alianza, (a 60 m al oeste de esta población) se produce la caída de rocas que se depositan al pie del talud de cerro Intiorko, pudiendo afectar a las casas que se encuentran en las partes más bajas y cercanas a este evento (Figura 17).



Figura 17: Flujos de lodos y detritos, así como caída de rocas, a inmediaciones de la quebrada del Diablo.

- **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 por acción de oleaje y las mareas, pero las más frecuentes son las inundaciones en el interior de los continentes, producidas por las aguas de escorrentía superficial (ríos, arroyos y torrentes); es decir, atribuida al incremento brusco del volumen de agua, denominado crecida (Adaptado de CENEPRED, 2013).

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 (Figura 18).

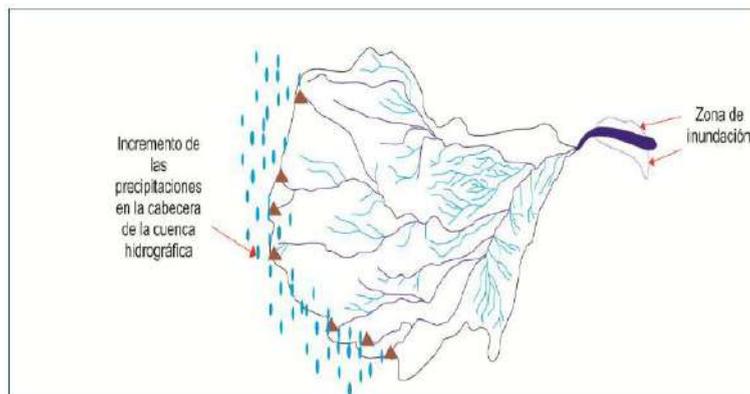


Figura 18: Inundación por incremento de las precipitaciones en la cabecera de la cuenca hidrográfica.

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.

Actualmente se ha observado cauces de pequeñas quebradas estacionales que surcan los sectores de Buena Vista, Manuel Odria y parte de Alto de la Alianza Cercado, estas al activarse en tiempo de precipitaciones pluviales podrían afectar la seguridad física de la población por inundación (Figura 19).



Figura 19: Zona Susceptible a inundación, a inmediaciones del Sector Buena Vista, Manuel Odría y parte de Alto de la Alianza.

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 condicionantes y desencadenantes propios de la zona estudiada. La identificación y delimitación de zonas afectadas por procesos de geodinámica externa, ha permitido reconocer zonas susceptibles a la ocurrencia de estos eventos. Las zonas susceptibles a estos eventos geodinámicos expuestos anteriormente, son:

- A 2 km al oeste de Alto de la Alianza, parte de la población suroeste se encuentra ubicada en el cauce de la quebrada del Diablo, esta zona de peligro ante eventos de flujos de detritos y/o lodos, se activará en periodos de lluvias extremas, pudiendo llegar a afectar la seguridad física de la población sur-occidental del Alto de la Alianza (Urb. Los Jazmines y Los claveles), llegando probablemente hasta el cementerio y al terminal de dicha ciudad (Figura 20).



Figura 20: Población situada en el cauce de la quebrada del Diablo, ubicada a 2 km al oeste de la Ciudad de Alto de la Alianza, zona potencial de peligro ante una avenida de flujo de detritos y/o lodos acarreados por las escorrentías desde las partes altas.

- Las zonas bajas de Alto de la Alianza son zonas susceptibles a inundarse al activarse las quebradas secas en tiempo de lluvia, afectando la seguridad física de todo Alto de la Alianza (Figura 21).



Figura 21: Antiguo cauce de quebrada estacional que se inicia en la parte Alta del cerro Intiorko, Sector este de Alto de la Alianza susceptible a inundación.

- La población que se asienta en el cauce de la quebrada estacional del Diablo, es una zona susceptible a caída de rocas, ya que se encuentra a 60 m al noreste de este poblado.

Se debe resaltar que en el año 2001, se produjo un sismo de M8.2 de magnitud con epicentro frente a la localidad de Ocoña en la región de Arequipa, afectando a la

ciudad de Tacna y en específico, a las localidades de Ciudad Nueva y Alto de la Alianza con daños severos en su infraestructura y vidas de la población. Los eventos geodinámicos se han registrado en sus fichas respectivas y fueron cartografiados en la Figura 22.

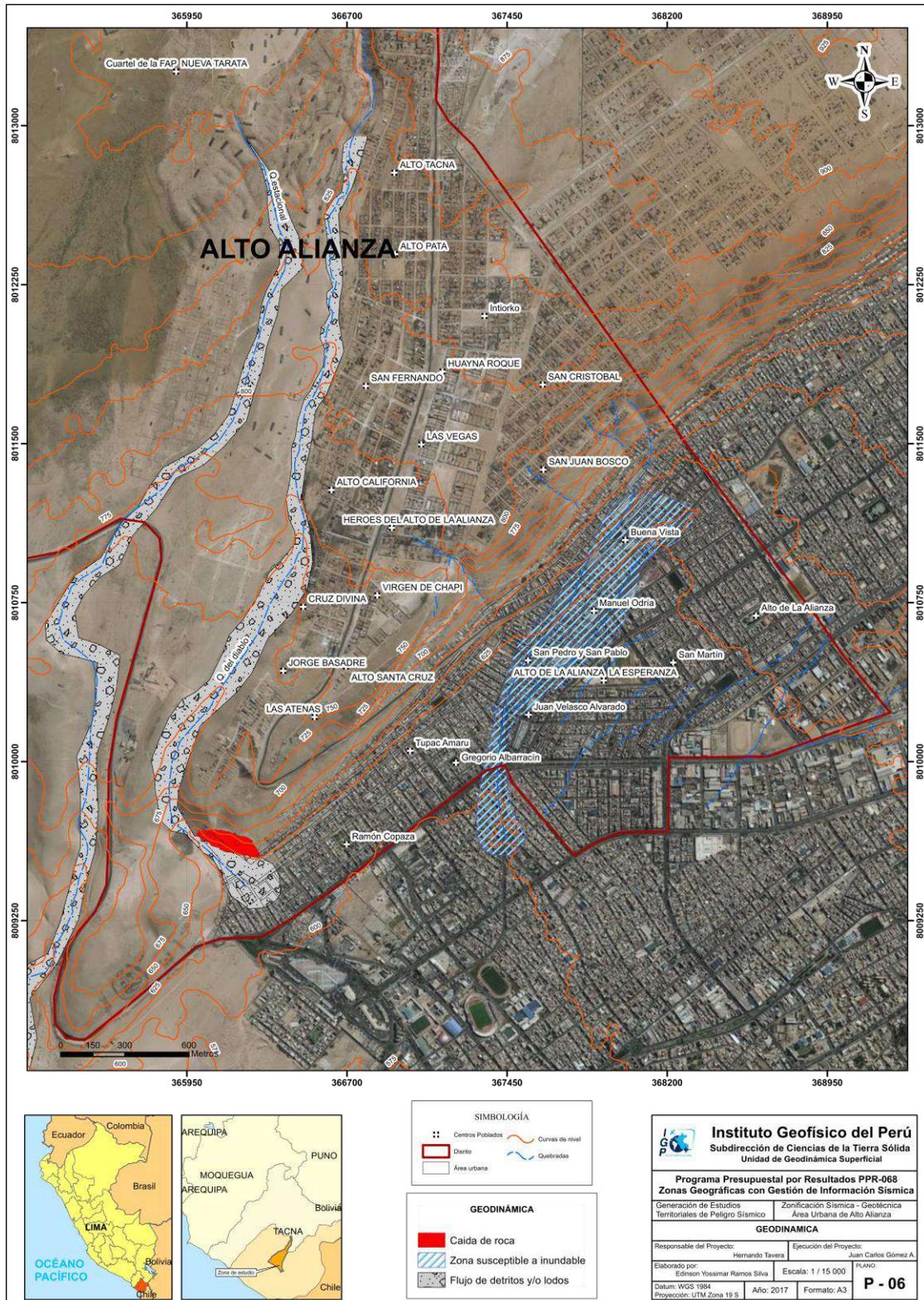


Figura 22: Mapa de eventos geodinámicos en la ciudad de Alto de la Alianza y alrededores.

5. ASPECTOS GEOTÉCNICOS

Los materiales inconsolidados que han sido resultado de los procesos de erosión y que posteriormente han sido transportados, en gran parte desde las nacientes de las cuencas hidrográficas hasta ser depositados a lo largo de la cuenca, principalmente en la parte baja, conforman los suelos sobre los cuales se asientan las áreas urbanas. La clasificación, en base al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) de estos materiales (arcillas, limos, arenas, gravas y clastos) se encuentra condicionada a las características litológicas de las rocas pre-existentes y la dinámica que presenten dichos procesos, en el diagrama líneas abajo se indica el origen de los suelos (Figura 23).

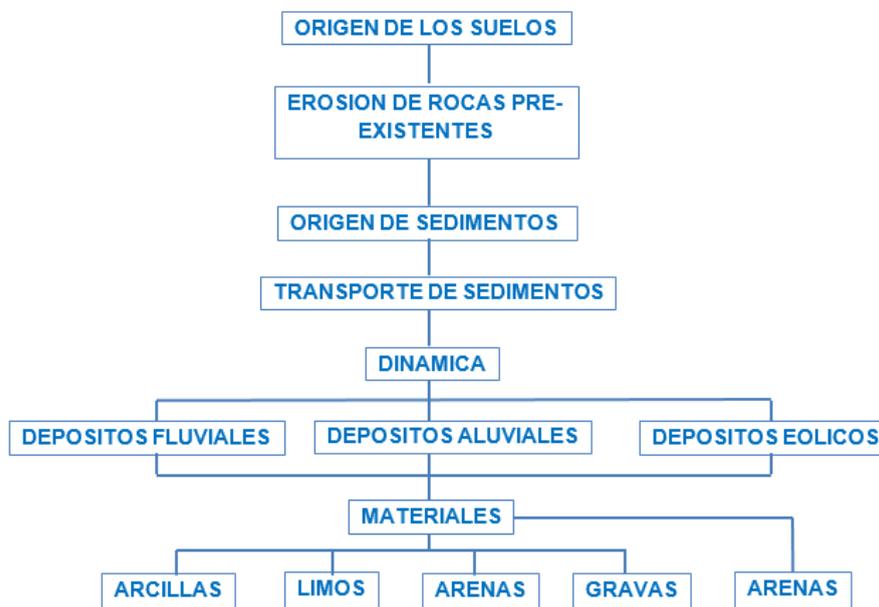


Figura 23: Diagrama del origen de los suelos (IGP, 2018).

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

En la ciudad de Alto de la Alianza, se realizó el estudio geotécnico que consistió en la elaboración de calicatas, densidad de campo, posteos y ensayos de penetración dinámica ligera (DPL), y cuya distribución espacial se muestra en la Figura 24.

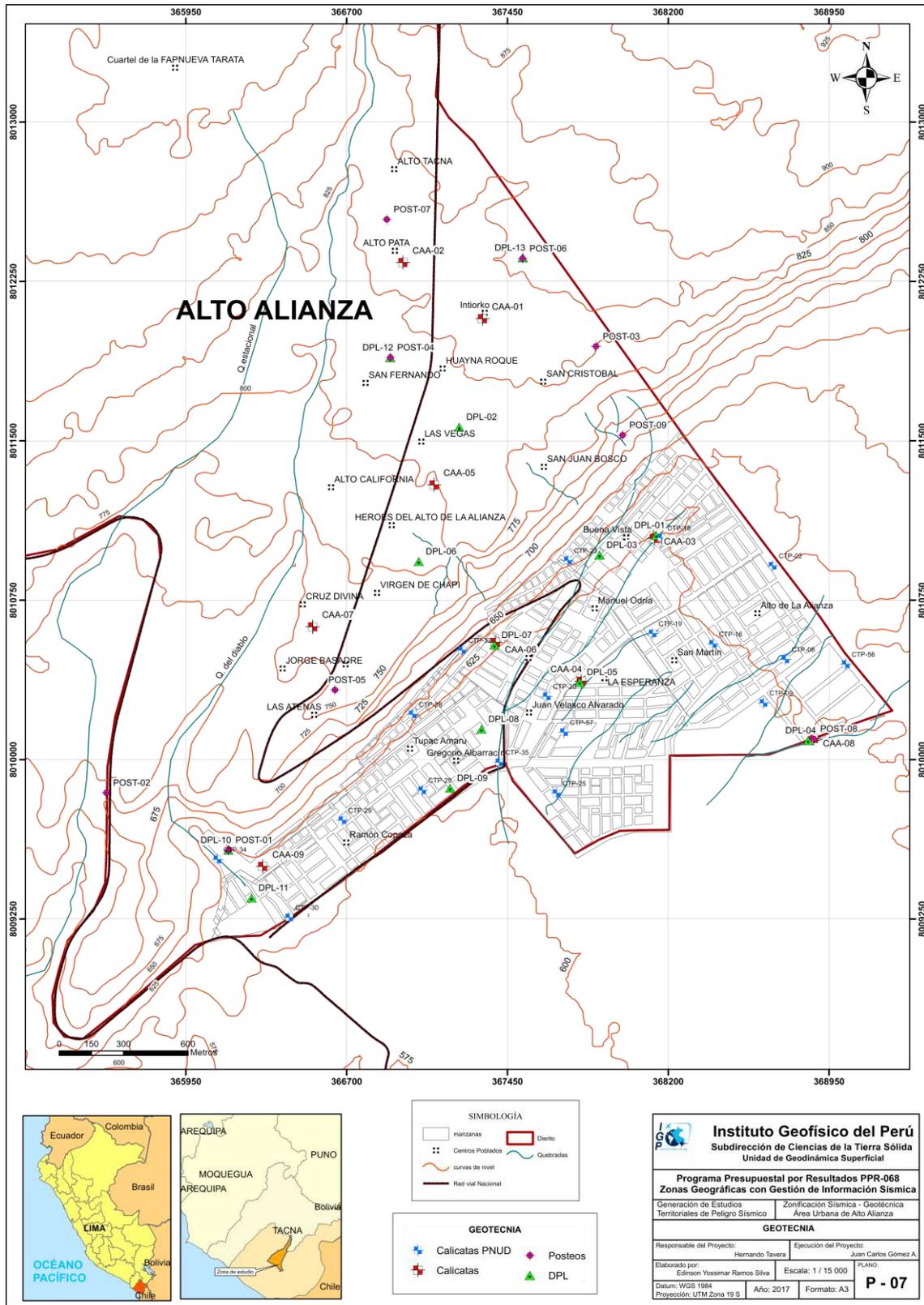


Figura 24: Mapa de distribución de calicatas, posteos y DPL en la ciudad de Alto de la Alianza y alrededores.

Asimismo, de las calicatas se extrajeron 3 muestras, con la finalidad de conocer sus propiedades físico-mecánicas mediante ensayos geotécnicos en laboratorio de suelos tales como: granulometría, plasticidad, contenido de humedad, corte directo y el 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 para la realización de ensayos y análisis. Estas calicatas son realizadas con maquinaria (retroexcavadora) o de forma manual.

Equipos y materiales

- Máquina retroexcavadora
- 01 Fluxómetro o wincha
- 01 GPS portátil
- 01 Cámara fotográfica
- Bolsas de muestreo

Procedimiento

Incluyeron las siguientes actividades:

- Reconocimiento de la zona de estudio, mediante el análisis visual de las características del terreno, evaluando la accesibilidad y lugares apropiados donde realizar dichas calicatas.
- Ejecución de excavaciones que tuvieron las siguientes dimensiones: 1x1 m de lado y 2 m promedios de profundidad.
- Etapa de muestreo, que consistió en la extracción de muestras del subsuelo en bolsas herméticas de 3 kg, aproximadamente.
- Descripción de calicatas, donde una vez terminada la excavación de la calicata, se procedió a describir el perfil estratigráfico del subsuelo en campo y que en gabinete se han realizado 9 fichas de descripción de calicatas, las mismas que han sido adjuntadas en los anexos de geotecnia.

- Las excavaciones realizadas se han localizado en las siguientes coordenadas UTM, datum WGS 84 (Tabla 4).

Tabla 4: Ubicación de calicatas.

Calicata	UTM-C. Este	UTM-C. Norte	Elevación (m.s.n.m)	Profundidad (m)
CAA-01	367334	8012075	803	2.00
CAA-02	366963	8012339	841	1.10
CAA-03	368136	8011041	622	1.50
CAA-04	367795	8010369	605	2.50
CAA-05	367108	8011293	803	1.10
CAA-06	367394	8010552	312	2.50
CAA-07	366542	8010625	748	1.10
CAA-08	368878	8010100	625	2.50
CAA-09	366309	8009498	516	2.10

Se debe mencionar que la profundidad de investigación promedio fue de 2.00 m y menores en otros por encontrarse roca volcánica (Figura 25).



Figura 25: Ejemplo de “Calicata CAA-08” ubicada en el área de redes de alta tensión de Alto de la Alianza.

5.2. Densidad de suelo in situ (Norma ASTM D1556)

Se define como la relación entre la masa del suelo (sólido y líquido) y el volumen total de un suelo o la medida del estado de empaquetamiento del suelo y 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 a los suelos que crea conveniente, haciendo uso del método del cono, con la finalidad de conocer la relación entre la masa del suelo y el volumen que ocupa la arena calibrada del cono, también la compactación y el contenido de humedad del suelo en condiciones naturales, información necesaria para realizar 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 (Figura 26).

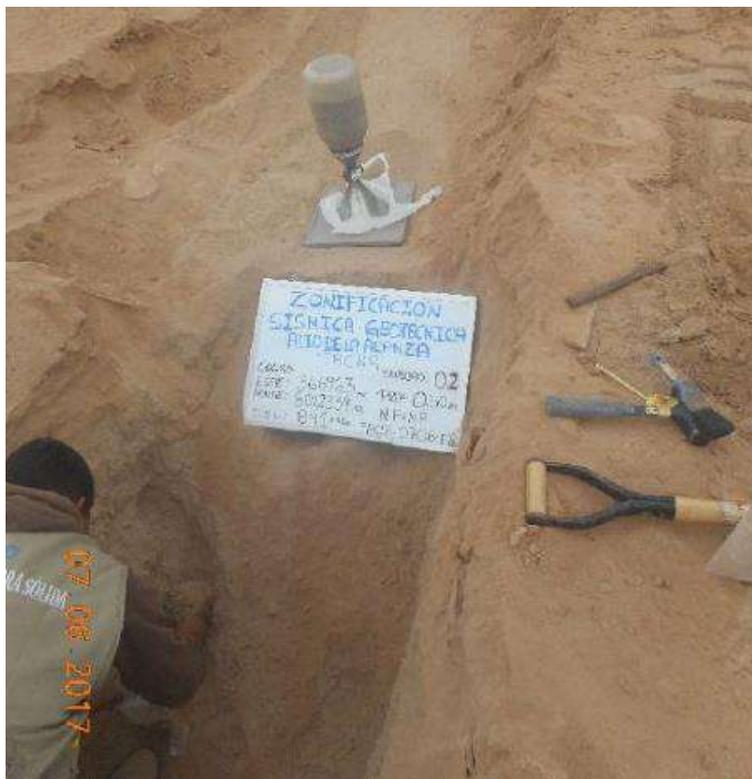


Figura 26: Ejemplo de ensayo de densidad del suelo in-situ en la calicata CAA-02.

Equipos y materiales

- 01 cono metálico de 4 pulgadas de diámetro.
- Arena calibrada (pasada por el tamiz N°10 y retenida en el tamiz).
- Placa metálica hueca (diámetro de 4 pulgadas).
- 01 balanza con precisión de 0.1g
- 01 palana
- 02 cinceles.
- 01 comba.
- Bolsas para el material extraído.

Procedimiento

Incluye las siguientes actividades:

- Pesar la arena calibrada con el equipo de densidad (cono más arena) en una balanza nivelada.
- Nivelación de la superficie del suelo donde se requiere realizar el ensayo, por medio de los cinceles y comba para ubicar la placa metálica lo más horizontal posible.
- Excavación del agujero con una profundidad de 10 a 12 cm, haciendo uso de cinceles y comba, siguiendo como guía de perfilaje vertical el diámetro de la placa metálica.
- Extracción y pesado de muestra extraída del agujero elaborado.
- Posicionamiento del cono de arena pesado sobre la placa metálica, abriendo la llave de paso de arena, hasta que esta relleno el hueco y el cono metálico, cerrando por ultima la llave de paso de material.
- Finalmente, se pesa la arena sobrante más el equipo (cono de arena) y se procede en laboratorio a encontrar la humedad del suelo, la densidad húmeda y seca.

En base a las Tablas 5 y 6 se conoce que, los suelos de la ciudad de Alto Alianza, presentan rangos de densidad natural húmeda entre 1.10 – 1.69 gr/cm³; es decir, presentan media a baja densidad, debido a que están conformados por arenas limosas, algunas más densas que otras.

Tabla 5: Resultado de densidades in-situ.

Calicata	Muestra	Prof. (m)	Densidad Húmeda (gr/cm ³)	Densidad Seca (gr/cm ³)
CAA-01	D1-CAA1(SM)	1.20/2.00	1.25	1.23
CAA-02	D1-CAA2(SM)	0.60/1.10	1.69	1.67
CAA-03	D1-CAA3(SM)	1.50/1.50	1.10	1.08
CAA-04	D1CAA4(SP-SM)	1.50/2.5	1.40	1.38
CAA-05	D1-CAA5(SM)	1.10/1.10	1.28	1.26
CAA-06	D1-CAA6(SM)	2.50/2.5	1.62	1.61
CAA-07	D1-CAA7(SP-SM)	1.10/1.10	1.43	1.42
CAA-08	D1-CAA8(SM)	1.30/2.50	1.48	1.46
CAA-09	D1-CAA9(SM)	2.10/2.10	1.13	1.09

Tabla 6: Valores típicos de densidad de suelos.

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 manual (Norma ASTM D 1452)

La posteadora es un barrenado manual en forma de “T” que permite realizar sondeos exploratorios (perforaciones) en suelos blandos como arcillas y arenas, hasta una profundidad de 1 a 6 m de profundidad, a fin de obtener muestras de suelo triturado o alterados permitiendo de esta manera describir los suelos, obtener el porcentaje de humedad y plasticidad de suelos en laboratorio de suelos, siempre y cuando se extraiga y proteja bien la muestra en las bolsas herméticas para que no pierda humedad.

Se hace mención que este ensayo no se realiza en suelos con presencia de grava y gravillas, ya que impiden profundizar dichos estratos.

Procedimiento

- Se realiza el armado de una cuchara saca muestra, las varias que se requiere conveniente y el mango de la posteadora armable.
- Luego se comienza a penetrar el suelo desde superficie girando la posteadora ejerciendo presión sobre el suelo, a medida que la cuchara se llena de material se va extrayéndolo en superficie y se va añadiendo las varias que se requieren necesaria y así sucesivamente hasta que ya no se pueda extraer material o que se compruebe que el material sigue siendo el mismo en profundidad.

Estas exploraciones fueron distribuidas entre las calicatas, tratando de cubrir el área de estudio o distribuir las en los lugares donde no exista información geotécnica para obtener una mejor zonificación de suelos de la ciudad de Alto de la Alianza.

En la Tabla 7 se detallan las coordenadas UTM y en la Figura 27, se muestra un ejemplo de ensayo de posteo.

Tabla 7: Ubicación de posteos en Coordenadas UTM datum, WGS84.

Posteo	UTM-C Este	UTM-C Norte	Elevación (m.s.n.m)	Profundidad (m)
POST-01	366149	8009574	629	0.20
POST-02	365579	8009844	707	0.30
POST-03	367863	8011944	752	0.40
POST-04	366904	8011892	818	1.00
POST-05	366646	8010328	766	1.20
POST-06	367521	8012358	811	0.20
POST-07	366887	8012542	836	1.00
POST-08	368877	8010098	623	0.50
POST-09	367987	8011527	732	0.50

Se debe tener en cuenta que los posteos se han profundizado hasta 0.50 m en promedio, ya que se ha encontrado infrayaciendo a las cenizas y arenas limosas, rocas volcánicas (ignimbritas) de la formación Huaylillas.



Figura 27: Ejemplo de ensayo con posteadora manual, posteo 05 en el área del mirador de Alto de la Alianza.

5.4. Ensayos de penetración dinámica ligera (DPL, Norma DIN4094)

El DPL es un equipo de campo de registro continuo, donde se contabiliza los números de golpes dados por un martillo de 10 kg, dejándolo caer desde una altura de 0.50m en la base superior de la varilla de acero para penetrar su punta cónica de 60° que se encuentra en el extremo inferior en un tramo de 10 cm de suelo, este ensayo permite estimar los parámetros de cohesión y ángulo de fricción consecuentemente la capacidad portante (resistencia al corte) de los suelos en kg/cm^2 , al ser hincados por el cono dinámico.

Como medida de la resistencia a la penetración se registra el número “N” que es el número de golpes en 10 cm de penetración, ha sido correlacionado con algunas propiedades relativas de los suelos, particularmente con sus parámetros de resistencia al corte, capacidad portante, compacidad relativa y consistencia etc.

A través de fórmulas empíricas donde se introduce el “N”, se obtiene el ángulo de fricción interna de los distintos materiales. La ventaja del instrumento es que es un equipo muy práctico y se pueden transportar fácilmente.

Se hace mención que este ensayo se aplica en terrenos arenosos, arcillosos y limo-arenosos, no es recomendable en gravas y terrenos rocosos. Los ensayos de DPL han sido ubicados al costado o a inmediaciones de las calicatas con la finalidad de conocer la resistencia al corte de los distintos estratos.

Procedimiento

El procedimiento de campo incluyó las siguientes actividades:

- Ubicación de ensayos a inmediaciones o al costado de un suelo conocido en profundidad o de una calicata.
- Ensamble de equipo y accesorios, tales como, la punta cónica va al final de la varilla de penetración, esta se une a la guía que contiene el yunque, posteriormente se ajusta las uniones y finalmente se empieza a hincar el suelo con la caída libre del martillo (acción de la gravedad).
- Toma de datos en campo, se registran los números de golpes apunte del número de golpes por cada 10 cm que la varilla penetra el suelo; se sigue este procedimiento hasta que el suelo ofrezca resistencia (no exceder los 45 golpes de acuerdo a norma técnica).
- A continuación, en la Tabla 8, se indica la ubicación de los ensayos de DPL, realizados a inmediaciones de la ciudad de Alto de la Alianza, presentando los parámetros a una capa antes de la profundidad alcanzada, siendo estos el número de golpes y el ángulo de fricción interna correspondiente.

Tabla 8: Ubicación de ensayos de penetración dinámica ligera (DPL) en Coordenadas UTM datum WGS84 y parámetros obtenidos (ϕ , ángulo de fricción).

DPL	UTM Este (m)	UTM Norte (m)	Elevación (m.s.n.m)	Profundidad (m)	# de Golpes	ϕ
DPL-01	368144	8011056	628	0.60/0.70	34	37
DPL-02	367226	8011565	736	0.80/0.90	33	36.8
DPL-03	367863	8011944	752	0.90/1.00	33	36.8
DPL-04	368853	8010090	623	0.90/1.00	33	36.8
DPL-05	367788	8010364	607	0.40/0.45	22	33.9
DPL-06	367037	8010932	783	0.80/0.90	13	31.1
DPL-07	3670390	8010539	638	0.60/0.70	28	35.5
DPL-08	367329	8010143	606	2.30/2.40	42	39
DPL-09	367183	8009866	590	1.50/1.60	43	39.2
DPL-10	366149	8009574	629	0.40/0.45	22	33.9
DPL-11	366257	8009349	610	0.40/0.50	27	35.2
PDL-12	366904	8011892	818	0.90/1.00	20	33.3
DPL-13	367522	8012361	811	0.70/0.80	40	38.5

En los ensayos DPL se ha logrado alcanzar profundidades que fluctúan 0.45 y 2.40 m, debido a la presencia de materiales granulares, conformadas en su mayoría por arenas de grano medio a grueso fácilmente penetrables y en otras ocasiones, por encontrar rocas volcánicas cerca de superficie, ofreciendo alta resistencia a la penetración. Presentan un ángulo de fricción de 39.7° ofreciendo rechazo a la profundidad total alcanzada.

5.4.1. 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 (N_{DPL}) fueron correlacionados con el número de golpes del ensayo de penetración estándar (N_{SPT}), a fin de determinar el ángulo de fricción interna corregido y posteriormente, calcular la capacidad de carga admisible.

Entre los diversos métodos de correlación para el número de golpes del ensayo DPL y SPT, en base a las características del terreno (compacidad, resistencia y deformabilidad), e incluso con las dimensiones de las cimentaciones requeridas, 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:

N_1 = Número de golpes equivalente en SPT

N_2 = Número de golpes obtenidos en DPL

W_1 = Peso del martillo del DPL

W_2 = Peso del martillo SPT

H_1 = Altura de caída de DPL

H_2 = Altura de caída del SPT

A_1 = Área de la punta cónica del DPL

A_2 = Área de la punta cónica del SPT

e_1 = Espesor de la hinca del DPL

e_2 = Espesor de la hinca del SPT

Una vez calculado los valores de golpes con el SPT (N_{SPT}), se realizaron las siguientes correcciones por: nivel freático, eficiencia, longitud y diámetro, para así obtener

un nuevo valor de número de golpes por ensayo SPT (N'_{SPT}), con el cual se procede a estimar el ángulo de fricción interna de los suelos.

5.4.2. Cálculo del ángulo de fricción interna

Para determinar el ángulo de fricción interna de los suelos de cimentación, existen diversas fórmulas empíricas propuestas por diversos autores, como Osaki (1959); Muromachi (1974); Peck (1974); Das (1995) y Katanaka y Uchida (1996). Para el caso de la ciudad de Alto de la Alianza, se empleó la relación experimental propuesta por OSAKI (1959), que propone calcular el ángulo de fricción de los suelos arenosos en base al número de golpes ofrecidos al terreno, siendo la más usada internacionalmente y sus resultados son conservadores, obteniendo los resultados en la Tabla 9 y parámetros de compacidad relativa en la Tabla 10.

Tabla 9: Cálculo del ángulo de fricción interna, usando valores del N_{SPT} .

ENSAYO	N_{SPT} Corregido	Ángulo De Fricción Interna (ϕ'_{NSPT})	N_{SPT} Corregido	Ángulo De Fricción Interna (ϕ'_{NSPT})
DPL-01	-	-	-	-
DPL 02	-	-	-	-
DPL -03	-	-	-	-
DPL -04	10.89	29.8	-	-
DPL -06	-	-	-	-
DPL -07	-	-	-	-
DPL -08	11.37	30.1	10.64	29.6
DPL -09	17.90	33.9	26.85	38.2
DPL -12	10.89	29.80	-	-
DPL -13	-	-	-	-
Profundidad del ensayo	1.00- 1.20m		1.30-1.50 m	

Tabla 10: Compacidad relativa y consistencia de los suelos con sus respectivos ángulos de fricción interna en base al N_{spt} (Fuente: Crespo, 2014).

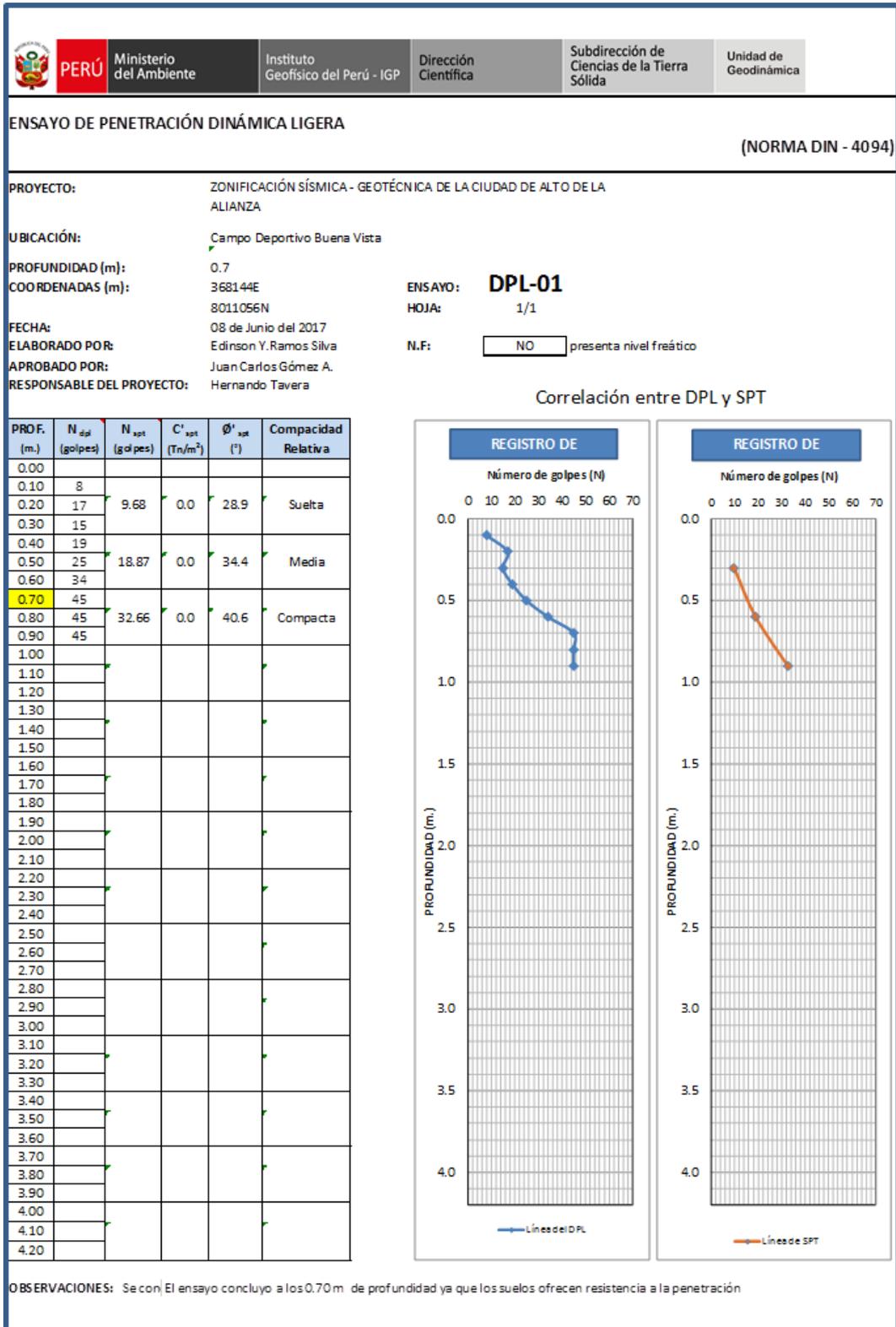
Compacidad de Suelos Granulares			Consistencia en Suelos Cohesivos		
Valor de N_{SPT}	Compacidad Relativa	Ángulo de Fricción Interna (ϕ)	Valor de N_{SPT}	Consistencia	Ángulo de Fricción Interna (ϕ)
0 - 4	Muy Suelta	< 28°	< 2	Muy blanda	0°
4 - 10	Suelta	28° - 30°	2 - 4	Blanda	0° - 2°
10 - 30	Media	30° - 36°	4 - 8	Media	2° - 4°
30 - 50	Compacta	36° - 41°	8 - 15	Compacta	4° - 6°
> 50	Muy Compacta	> 41°	15 - 30	Muy compacta	6° - 12°
			> 30	Dura	> 14°

De acuerdo a los datos de las Tablas 9 y 10, los suelos de la ciudad de Alto de la Alianza, en su mayoría son arenas limosas (SM). Para profundidades de 1.00 y 1.20 m, el ángulo de fricción interna está comprendida entre 29.8° y 33.90° , presentando compacidad relativa de suelta a media para suelos arenolimosos.

Para profundidades de 1.50m, el ángulo de fricción interna para arenas limosas (SM) es de 29.6° y 38.2° , presentando compacidad relativa de suelta a compacta. En los anexos, se adjunta las fichas resumen de cada uno de los ensayos realizados en campo (Figuras 28 y 29).



Figura 28: Ejemplo de ensayo de penetración dinámica ligera (DPL-07).



5.5. Clasificación de suelos SUCS (Norma ASTM D4827)

En base a la información geotécnica recopilada de las calicatas, posteos y DPL, realizados en la ciudad de Alto de la Alianza, los resultados obtenidos de los ensayos granulométricos y de plasticidad, se ha identificado 02 tipos de suelos agrupados haciendo uso del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), a la profundidad de 1.00 – 1.20 m (Tabla 11 y Figura 30), siendo sus características las siguientes:

Tabla 11: Clasificación SUCS de las nueve (09) calicatas elaboradas en la ciudad de Alto de la Alianza (NP, no presenta).

Calicata	Prof. (m)	Nivel Freático (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
CAA-01	1.10/2.00	N.P	30.2	51.0	18.79	---	---	---	0.92	SM	Arena limosa
CAA-02	0.60/1.10	N.P	1.8	73.3	24.88	---	---	---	0.85	SM	Arena limosa
CAA-03	1.50/1.50	N.P	7	68.2	24.84	---	---	---	2.26	SM	Arena limosa
CAA-04	1.50/2.50	N.P	0.1	90.6	9.28	---	---	---	1.67	SP-SM	Arena limosa mal graduada
CAA-05	1.10/1.10	N.P	32.5	44.1	23.36	---	---	---	0.98	SM	Arena limosa
CAA-06	2.50/2.50	N.P	1.4	80.2	18.38	---	---	---	0.47	SM	Arena limosa
CAA-07	1.10/1.10	N.P	18.4	72.6	9.06	---	---	---	1.28	SP-SM	Arena limosa mal graduada
CAA-08	1.30/2.50	N.P	0.0	82.2	17.80	---	---	---	1.54	SM	Arena limosa
CAA-09	2.10/2.10	N.P	28.5	41.5	29.99	---	---	---	3.38	SM	Arena limosa

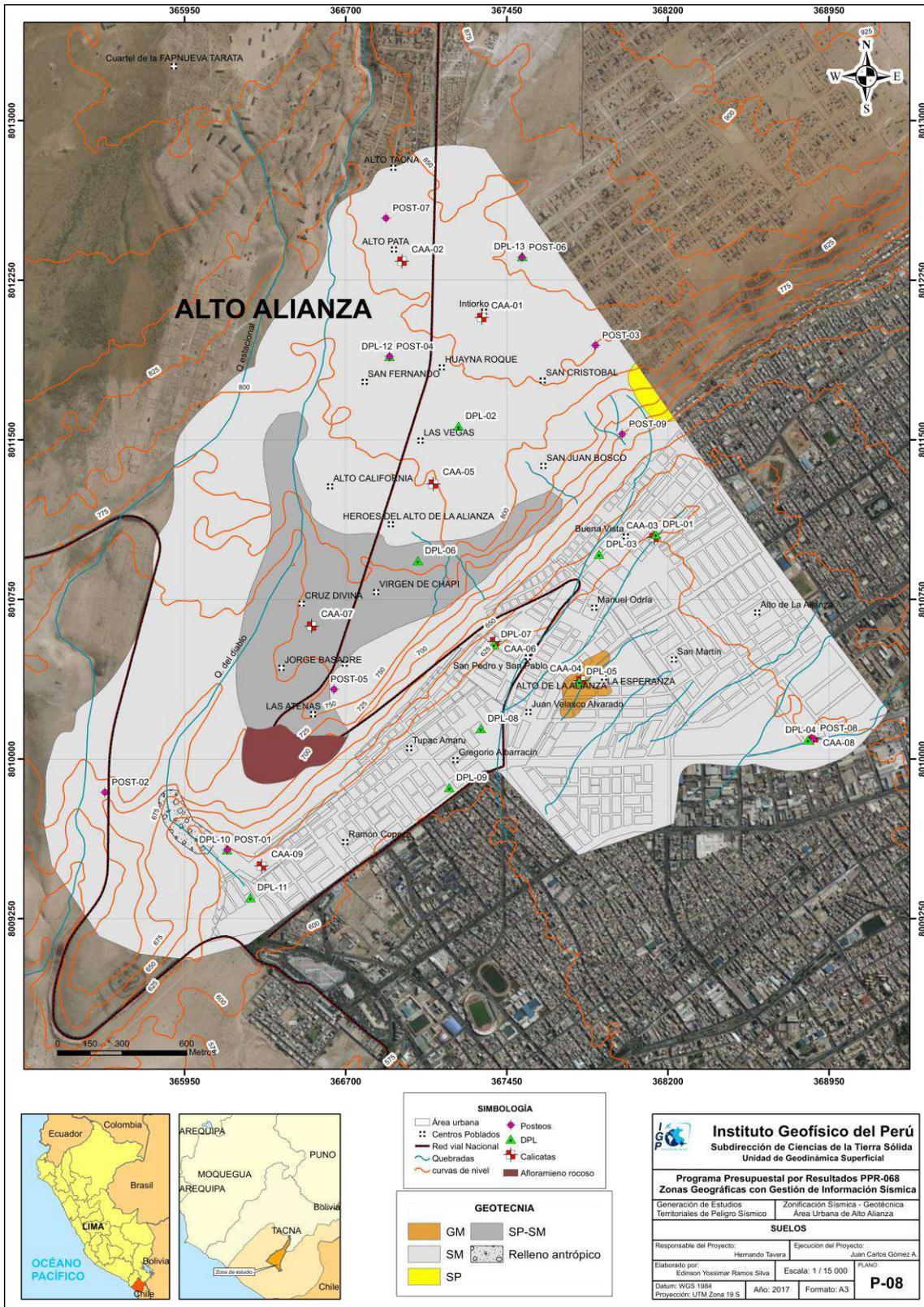


Figura 30: Mapa de clasificación SUCS para los suelos de la ciudad de Alto de la Alianza y alrededores.

Suelos tipo SM: Conformados por arenas limosas con contenido de finos entre el 9 y 29%, el contenido de humedad es menor a 2.67 %, algunos suelos presentan gravas en menor porcentaje y constituyen suelos con grado de compactación suelta, media y baja, no presenta índice plástico o si lo presentan es muy bajo por debajo de 4. Los suelos que pertenecen a este tipo ocupan el 90 % del área de estudio (calicatas CAA- 01, 02, 03, 04, 05, 06, 08 y 09).

Suelos tipo SP-SM: Están conformados por arenas limosas mal graduadas con material gravoso, el contenido de humedad es de 1.28%, con presencia de grava, constituyen suelos con grado de compactación medio a compacto y no presentan plasticidad. Cabe resaltar que, estos suelos representan el 10 % del área de estudio y se han identificado en la calicata CAA-07, en el sector Cruz divina.

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

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

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

Para las nueve (09) muestras extraídas de campo, los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 12.

Tabla 12: Valores obtenidos del ensayo de corte directo (NP, no presenta datos).

MUESTRA	Ángulo de fricción interna del suelo (ϕ)	Cohesión aparente del suelo (kg/cm^2)	Densidad natural (Tn/m^3)	Densidad matriz (Tn/m^3)
CAA-01	35.30	0.00	1.25	0.87
CAA-02	25.97	0.07	1.69	1.58
CAA-03	29.80	0.00	1.10	1.023
CAA-04	33	0.00	1.40	1.40
CAA-05	37.6	0.00	1.28	0.86
CAA-06	29.80	0.00	1.62	1.59
CAA-07	33.4	0.00	1.43	1.16
CAA-08	24.57	0.06	1.48	1.46
CAA-09	33.7	0.00	1.13	0.81

De acuerdo a estos resultados, se evidencia que, la mayoría de los suelos no presentan cohesión y los valores del ángulo de fricción interna están entre 24.57° y 37.6° aproximadamente, siendo propiedades características de suelos arenolimosos. En algunos casos, con presencia de gravilla, obteniendo suelos con compacidades relativas que van desde muy sueltas, sueltas, medias y compactas a 1 y 1.20 m de profundidad. Los suelos en el sector Intiorko, tienen una compacidad relativa compacta, pues a 1.10m en promedio, se ha encontrado roca volcánica y en las partes bajas del distrito, los suelos a 1.00 m de profundidad presentan compacidad relativa suelta a media.

5.6.1. 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 se encuentra establecido por la relación entre la carga última y un factor de seguridad cuyo valor es de 3, de acuerdo a la norma técnica peruana para el diseño de cimentaciones E.050.

5.6.2. Carga última (q_u)

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 al nivel de la cimentación, Amézquita (1984).

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), datos que se usaran para

determinar la capacidad portante última mediante las fórmulas por corte general y local de Terzaghi (1943), según sea el suelo a ensayar:

Fórmula para falla por corte general:

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

Fórmula para falla por corte local:

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

C: cohesión

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

N_c, *N_q*, *N_γ*: Factores de carga, ver Tabla 13.

Tabla 13: Factores de cohesión, carga y volumen aplicados para la falla por Corte General propuesto por Terzaghi y Kumbhojkar (1993) y para la falla por Corte Local.

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 de la carga última (qu), se calculó de la capacidad admisible para los suelos y para una profundidad de cimentación de 1.00 m y ancho de zapata de 1.00 m; asimismo, para una profundidad de cimentación de 1.50 m y ancho de zapata de 1.00 m. Los resultados de capacidad de carga admisible obtenido para los 08 tipos de suelos analizados se presentan en las Tablas 14 y 15 (Figura 31).

Tabla 14: Capacidad de carga admisible para suelos extraídos en la ciudad de Alto de la Alianza.

MUESTRA	Capacidad de carga última (kg/cm ²)	Capacidad de carga admisible (kg/cm ²)	Tipo de Corte	Capacidad de carga última (kg/cm ²)	Capacidad de carga admisible (kg/cm ²)	Tipo de corte
CAA-01	8.40	2.80	F.G	11.10	3.70	F.G
CAA-02	1.96	0.65	F.L	N.P	N.P	---
CAA-03	3.44	1.15	F.G	4.64	1.55	F.G
CAA-04	1.94	0.65	F.L	4.48	1.49	F.L
CAA-05	12.17	4.06	F.G	N.P	N.P	---
CAA-06	1.67	0.56	F.L	2.33	0.78	F.L
CAA-07	7.31	2.44	F.G	N.P	N.P	---
CAA-08	1.54	0.51	F-L	1.94	0.65	F.L
CAA-09	1.68	0.56	F-L	8.02	2.67	F.G
Dimensiones de cimentación	Profundidad: 1.00 m y ancho:1.00m			Profundidad: 1.50 m y ancho:1.00m		

Tabla 15: Capacidad de carga admisible en base a los ensayos de DPL en la ciudad de Alto de la Alianza

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-01	---	---	---	---
DPL-02	---	---	---	---
DPL-03	---	---	---	---
DPL-04	1.53	0.51	---	---
DPL-06	---	---	---	---
DPL-07	---	---	---	---
DPL-08	1.89	0.63	2.29	0.76
DPL-09	2.46	0.82	5.24	2.75
DPL-12	1.74	0.55	---	---
DPL-13	---	---	---	---
Dimensiones de cimentación	Profundidad: 1.00 m y ancho:1.00		Profundidad: 1.50 m y ancho:1.00	

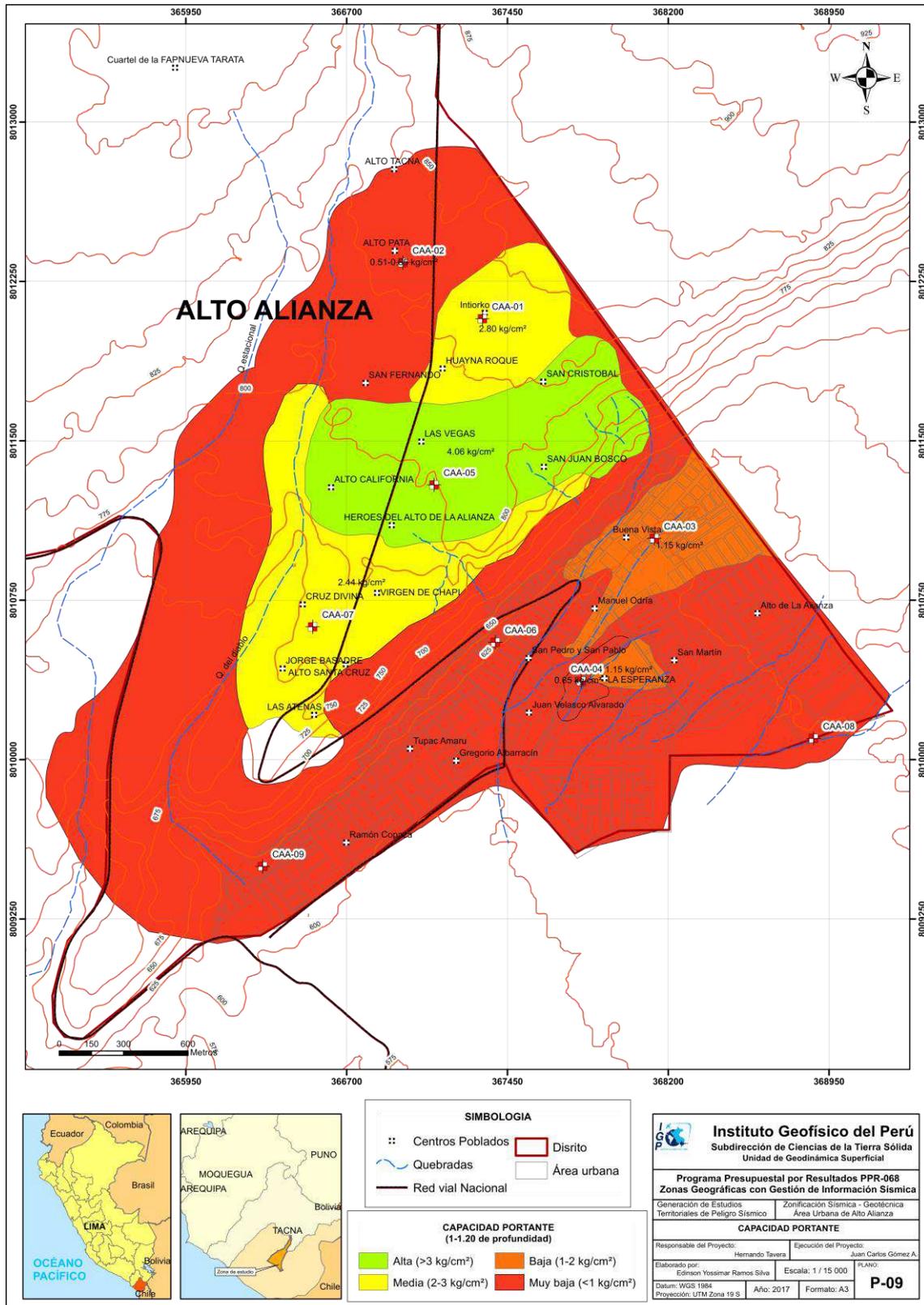


Figura 31: Mapa de capacidad portante a una profundidad de 1 metro para la ciudad de Alto de la Alianza.

De los resultados obtenidos y tomando en cuenta la Tabla 16, se ha determinado que, la zona urbana de la ciudad de Alto de la Alianza, en su mayoría presentan suelos con capacidad portantes muy bajas, bajas, medias y altas, de esta manera se ha clasificado los suelos con la siguiente capacidad de carga admisible a una profundidad de 1m:

Tabla 16: 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

Capacidad de carga admisible muy baja: Comprende rangos de capacidad de carga admisible menores a 1.00 kg/cm², corresponde al tipo de suelo areno limoso (SM) con capacidad portante admisible entre 0.51 y 0.65 kg/cm² teniendo compacidad relativa muy suelta a media, presentes en el sector Alto Pata (CAA-02), San Pedro y San Pablo (CAA-06), Circunvalación Norte-Pasaje 13 (CAA-08) y Ramón Copaza (CAA-09). También las gravas limosas (GM) se encuentran en este grupo, con capacidad portante admisible de 0.65 kg/cm², cuya compacidad relativa es media, estos suelos están presentes a inmediaciones del Estadio Héroes de Alto de la Alianza (CAA-04).

Capacidad de carga admisible baja: Comprende rangos de capacidad de carga admisible entre 1.00 - 2.00 kg/cm²; corresponde al tipo de suelo areno limoso (SM), cuya compacidad relativa es suelta y su capacidad de carga admisibles es de 1.15 kg/cm². Estos suelos están presentes en el Sector Buena Vista (CAA-03).

Capacidad de carga admisible media: Comprende rangos de capacidad de carga admisible entre 2.00 – 3.00 kg/cm²; corresponde al tipo de suelo areno limoso (SM), cuya compacidad relativa es media determinándolos como suelos medios. Estos suelos están presentes en los sectores del Cerro Intiorko (CAA-01) con capacidad admisible de 2.80 kg/cm² y para suelos de arenas pobremente graduadas con mezcla de arenas limosas (SP-SM) presentes en el sector de Cruz divina (CAA-07), con una capacidad admisible es de 2.44 kg/cm².

Capacidad de carga admisible alta: Comprende rangos de capacidad de carga admisible mayor a 3.00 kg/cm^2 y corresponden al tipo de suelo conformado por arenas limosas (SM), cuya capacidad portante admisible es de 4.06 kg/cm^2 , determinando que estos suelos tienen una compacidad relativa media. Estos suelos están presentes en el Sector Héroes de Alto de la Alianza (CAA-05).

Pasando el 1.10m de profundidad en los sectores de Alto Pata, Héroes de Alto de la Alianza y Cruz Divina se encuentra roca volcánica compacta. En el sector Cerro Intiorko, la roca se encuentra a 2 m de profundidad y en el sector Buena Vista a 1.50 m de profundidad se identifican tobas blancas compactas. Finalmente, en el Sector Ramón Copaza a una profundidad de 2.10m los suelos presentan alta capacidad portante admisible para cimentar.

En los sectores, como San Pedro y San Pablo (CAA-06), a inmediaciones de la AV. Circunvalación con pasaje 13 (CAA-08) y a inmediaciones del Estadio Héroes Alto de la Alianza (CAA-04), no se encontró evidencias de rocas a 2.50 m de profundidad. Asimismo, a 1.50m de profundidad los suelos SM presentan compacidad relativa suelta, con capacidad portante admisible muy baja que fluctúan entre 0.65 y 0.78 kg/cm^2 para las dos primeras zonas y para la tercera, que comprenden suelos SP-SM presentan carga admisible baja de 1.49 kg/cm^2 y su compacidad relativa es media.

CONCLUSIONES

- En la ciudad de Alto de la Alianza existen tres unidades geomorfológicas: terraza aluvial con el 36%, loma con 60% y cauce estacional con el 4% de la zona estudiada, determinando que la población se asienta en la loma y terraza aluvial.
- El sustrato rocoso consta de rocas volcánicas (Tobas soldadas blancas y tufos rosados), algunos conglomerados que afloran al norte y este de la ciudad de Alto de la Alianza; mientras que, los depósitos del Cuaternario están conformados por materiales aluviales sobre los cuales se asienta la ciudad en mención, identificados en la zona céntrica de la zona de estudio.
- La geodinámica en la ciudad de Alto de la Alianza está representada por movimientos en masa (flujo de detritos y/o lodos) en el sector de la quebrada seca y quebrada del Diablo ubicadas al suroeste de Alto de Alianza, cerca de las calles Los Jazmines y Los Claveles. Al activarse estas quebradas, podrían afectar las partes bajas de esta zona incluso hasta el Cementerio de Alto de la Alianza y el Terminal de Tacna. Las zonas centrales de este distrito están propensas a inundación pues son partes baja por donde podrán discurrir aguas de las Quebrada Caramoye y del Diablo en periodos de lluvias extremas.
- Los tipos de suelos presentes en la ciudad de Alto de la Alianza son 3, determinados entre 1 y 1.20 m de profundidad: arenas limosas (SM) con capacidad admisible muy baja, entre 0.51 y 0.65 kg/cm² y para algunos casos, presentan capacidad admisible bajas de 1.15 kg/cm², encontrando en otras capacidades admisibles altas de 4.06 kg/cm². Gravas limosas (GM) con capacidad admisible muy baja de 0.65 kg/cm² y finalmente, arenas pobremente graduadas con mezcla de arenas limosas (SP-SM) cuya capacidad admisible es media de 2.44 kg/cm².

CARACTERIZACIÓN SÍSMICA Y GEOFÍSICA DE LA CIUDAD DE ALTO DE LA ALIANZA

CONTENIDO

1. METODOLOGÍA

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

2. RECOLECCION DE DATOS

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

3. ANALISIS E INTERPRETACION

- 3.1. Estudio Sísmico con la Técnica de (H/V)
- 3.2. Estudio Sísmico con la Técnica (MASW)
- 3.3. Periodos Dominantes
- 3.4. Secciones de resistividad geoelectrica (ERT)

4. ZONIFICACION

- 4.1. Mapa de Zonificación Sísmica - Geotécnica

CONCLUSIONES

1. METODOLOGÍA

Para obtener el Mapa de Zonificación Sísmica – Geotécnica para el área urbana de la ciudad de Alto de la Alianza se ha seguido las siguientes metodologías.

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 obtienen 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). Se pretende identificar las frecuencias predominantes y amplificaciones máximas relativas que caracterizan al tipo de suelo presente en el área de estudio, ver 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.

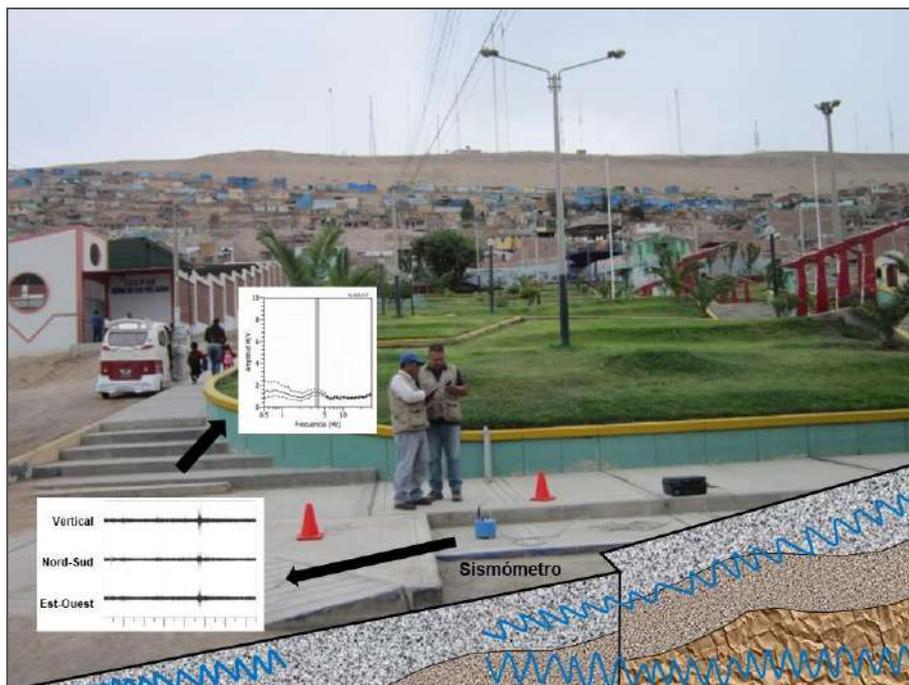


Figura 1: Registro de vibración ambiental generado por la actividad humana.

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

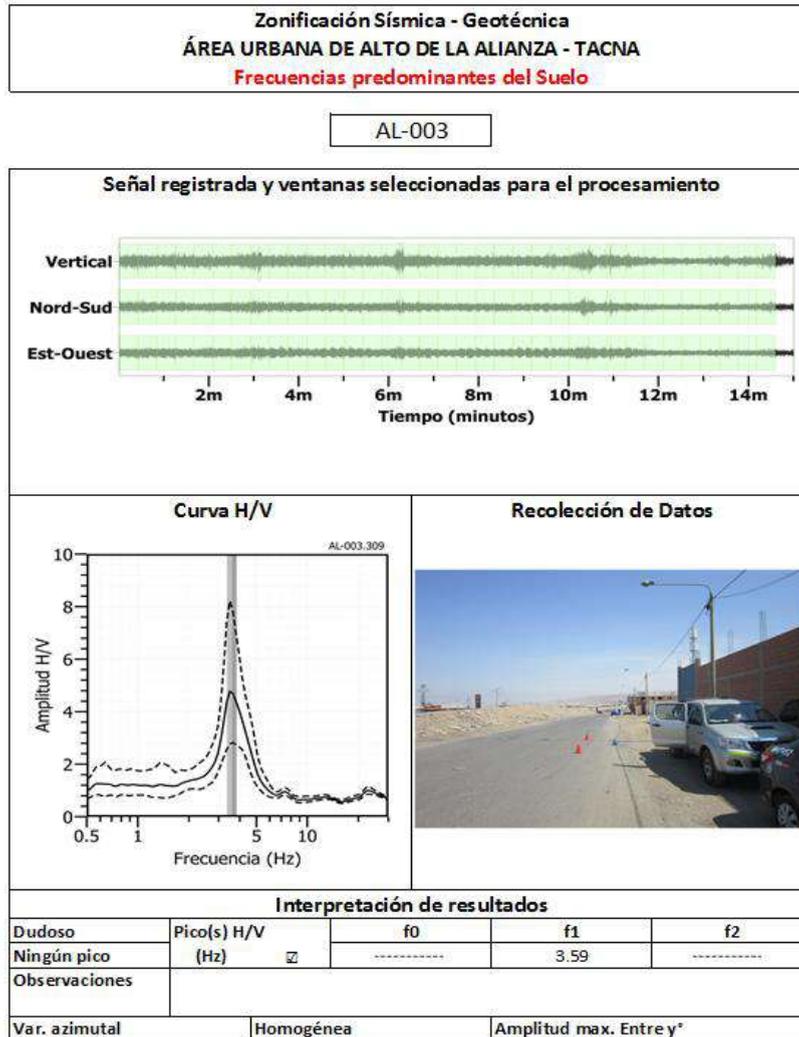


Figura 2: Ejemplo de la ficha H/V para el punto AL-003 en la cual se recopila la información registrada y analizada. Arriba, señal registrada; Medio; razón espectral (H/V) en línea gruesa y su desviación estándar en línea discontinua y Abajo; resultados.

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, permite obtener la velocidad de propagación de las ondas de Corte Vs en el subsuelo, a partir del análisis de la dispersión de ondas Superficiales (ondas Rayleigh), generados por una fuente de energía impulsiva y registrada por arreglos lineales de estaciones sísmicas, tal como muestra la Figura 3.

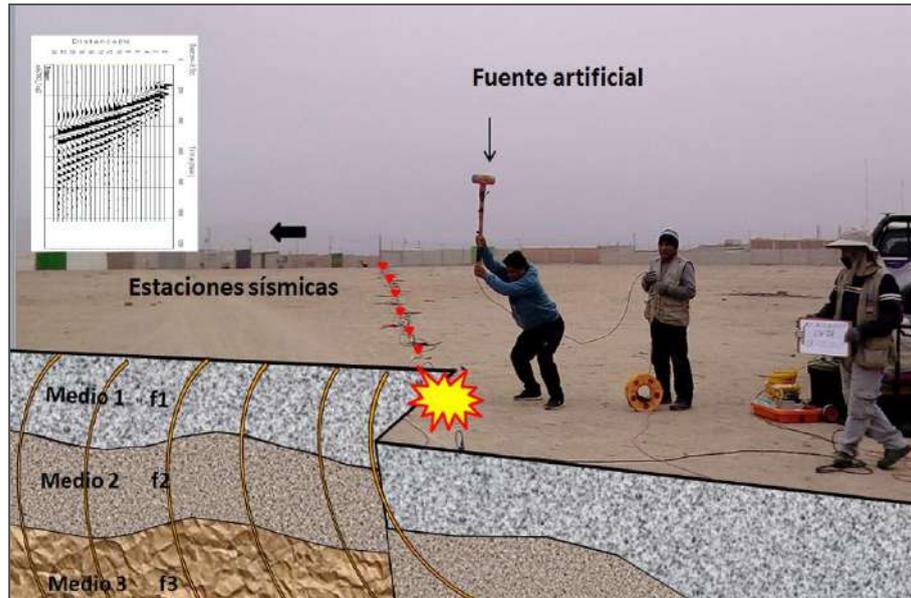


Figura 3: Generación de ondas Rayleigh con fuente artificial y su respectiva curva de dispersión.

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

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

En la Figura 4, se muestra un ejemplo de los resultados que se obtiene a partir de la técnica de MASW. La imagen de la izquierda muestra la curva de dispersión obtenida y de la derecha, muestra el perfil de velocidad de ondas de corte V_s (línea verde) que considera el promedio final de los perfiles obtenidos post inversión, los círculos de color verde representa la inversión de la curva de dispersión del dominio de frecuencia a

profundidad. Esta curva permite verificar el nivel de confiabilidad o la profundidad mínima y máxima de investigación (área sombreada), en este caso; el perfil presenta una capa sísmica y un semiespacio, donde, el nivel de confiabilidad es de 2 a 30 metros de profundidad.

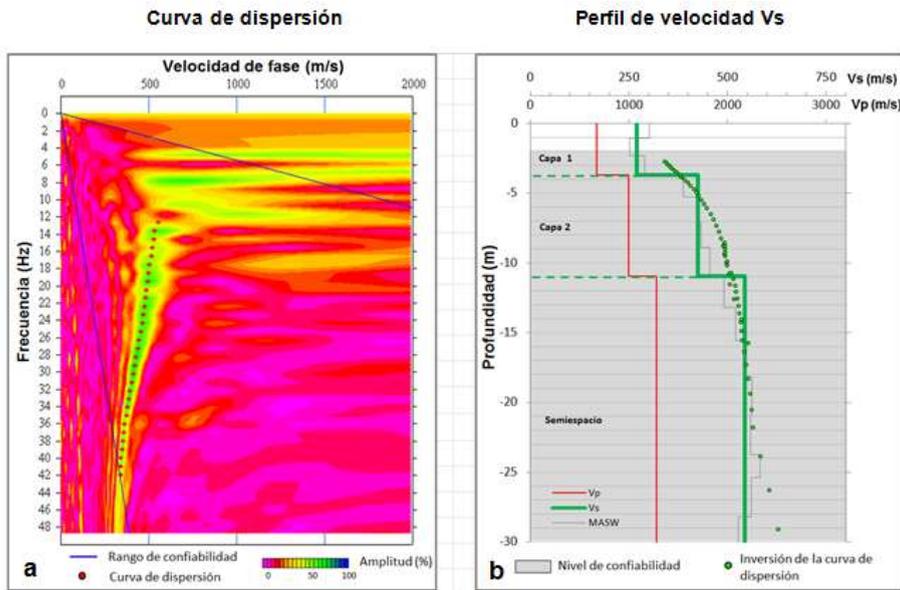


Figura 4: a) Curva de dispersión y b) perfil de velocidad obtenido a partir de la técnica de MASW.

- **Interpretación:** Para el análisis e interpretación de los resultados obtenidos en este ítem 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, en esta nueva clasificación las velocidades son representadas en colores, lo cual facilita la interpretación (Tabla 1).

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

Clasificación de los perfiles de Suelo				
N°	Vs		Norma E.030	Descripción
1	< 180 m/s	S 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 de las capas sísmicas obtenidas con la geología de la zona de estudio y el 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.

Para la obtención de valores de resistividad aparente se han realizado líneas de tomografía eléctrica con el dispositivo polo-dipolo y cuya distribución se muestra en la Figura 5. La profundidad de investigación depende de la separación entre electrodos; por ejemplo, para 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.

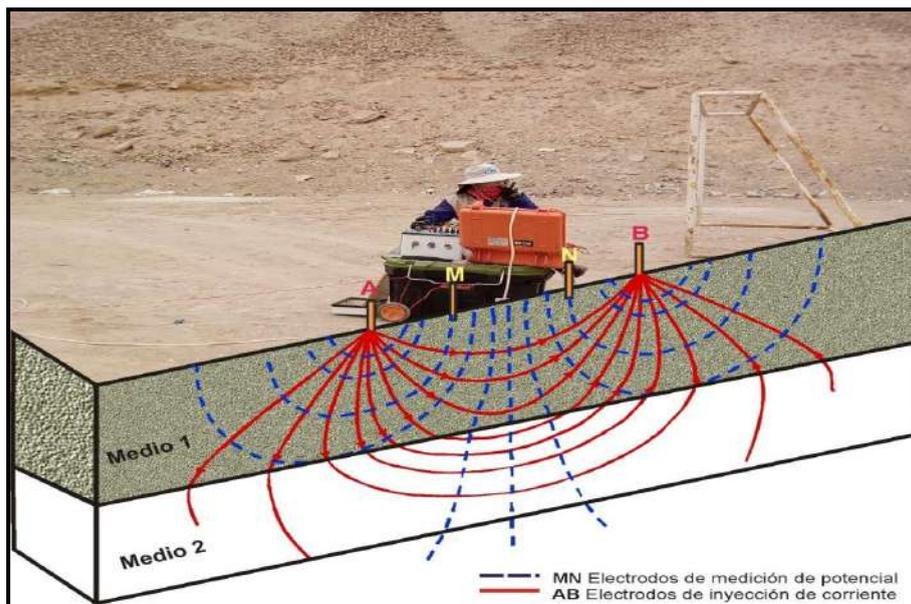


Figura 5: Principio del método de resistividad (LE01-AL).

- **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:

- **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. Asimismo, 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.

Tabla 2: Rango de Resistividades.

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	

Dado la estrecha relación que existe entre la resistividad eléctrica y el grado de saturación del terreno, se podrá identificar 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. RECOLECCION DE DATOS

En este estudio se ha realizado la aplicación de métodos sísmicos y geofísicos, para identificar las propiedades físicas de los suelos. Para aplicar la técnica de razones espectrales (H/V) se utiliza registros de vibración ambiental y mediante los arreglos sísmicos lineales (MASW) se conoce la distribución de velocidades en el subsuelo; del mismo modo, con los métodos eléctricos (ERT), los valores de resistividad del suelo. A continuación, se describe las características de los datos.

2.1. Registro de vibración ambiental (H/V)

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



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

Para la aplicación de esta técnica se procedió, sobre el mapa catastral de la ciudad de Tacna, 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 Alto de la Alianza, se consideró 100 registros de vibración ambiental obtenidos de maneras puntuales y distribuidas 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 AL-048 presenta bajos niveles de ruido; mientras que, la señal en

AL-061, presenta diversidad de pulsos de variada amplitud, que al momento de su análisis, pueden ser filtrados, para no afectar a la información a utilizarse en este estudio.

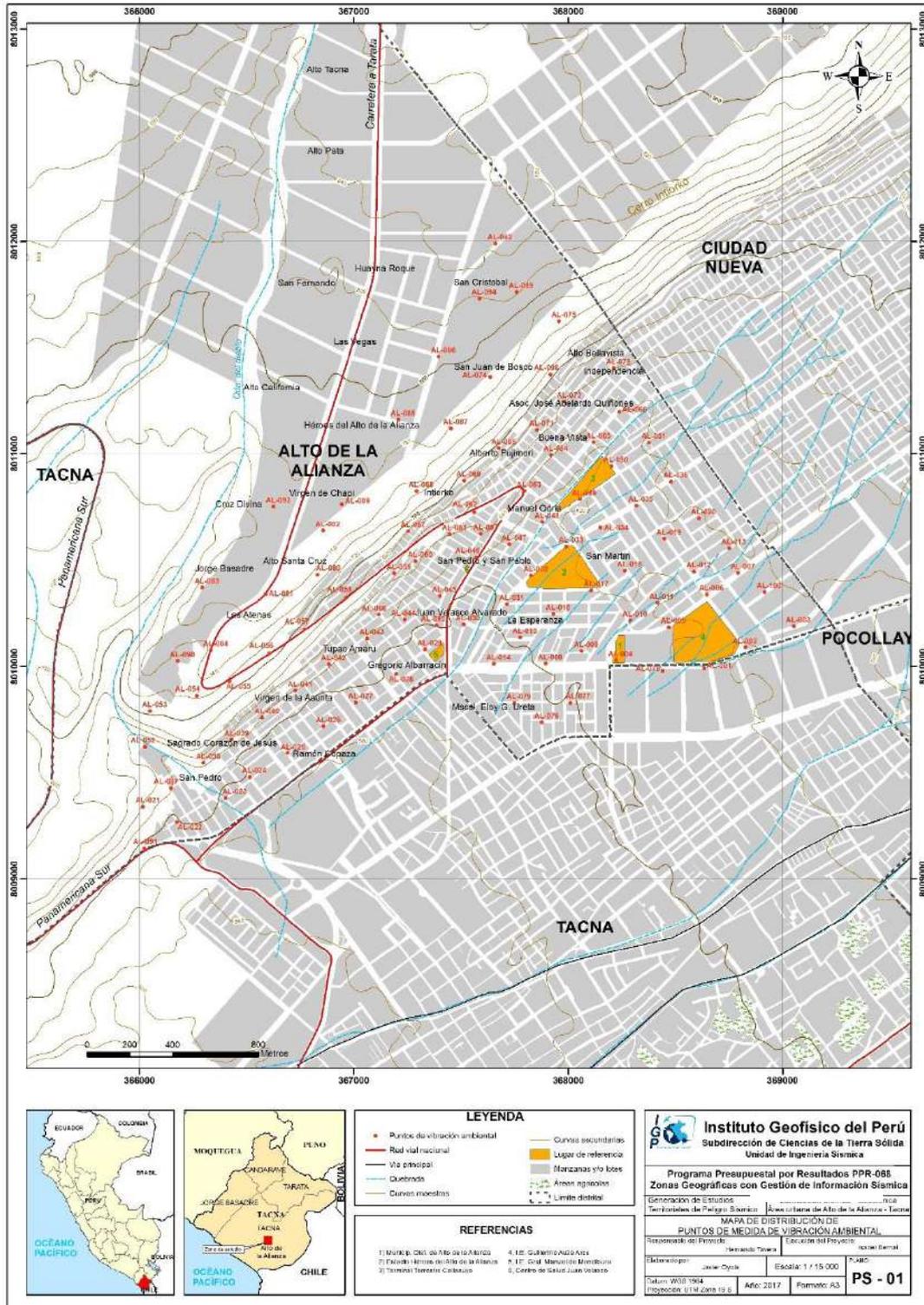


Figura 7: Mapa catastral del área urbana de Alto de la Alianza con la distribución de puntos donde se tomaron registro de vibración ambiental.

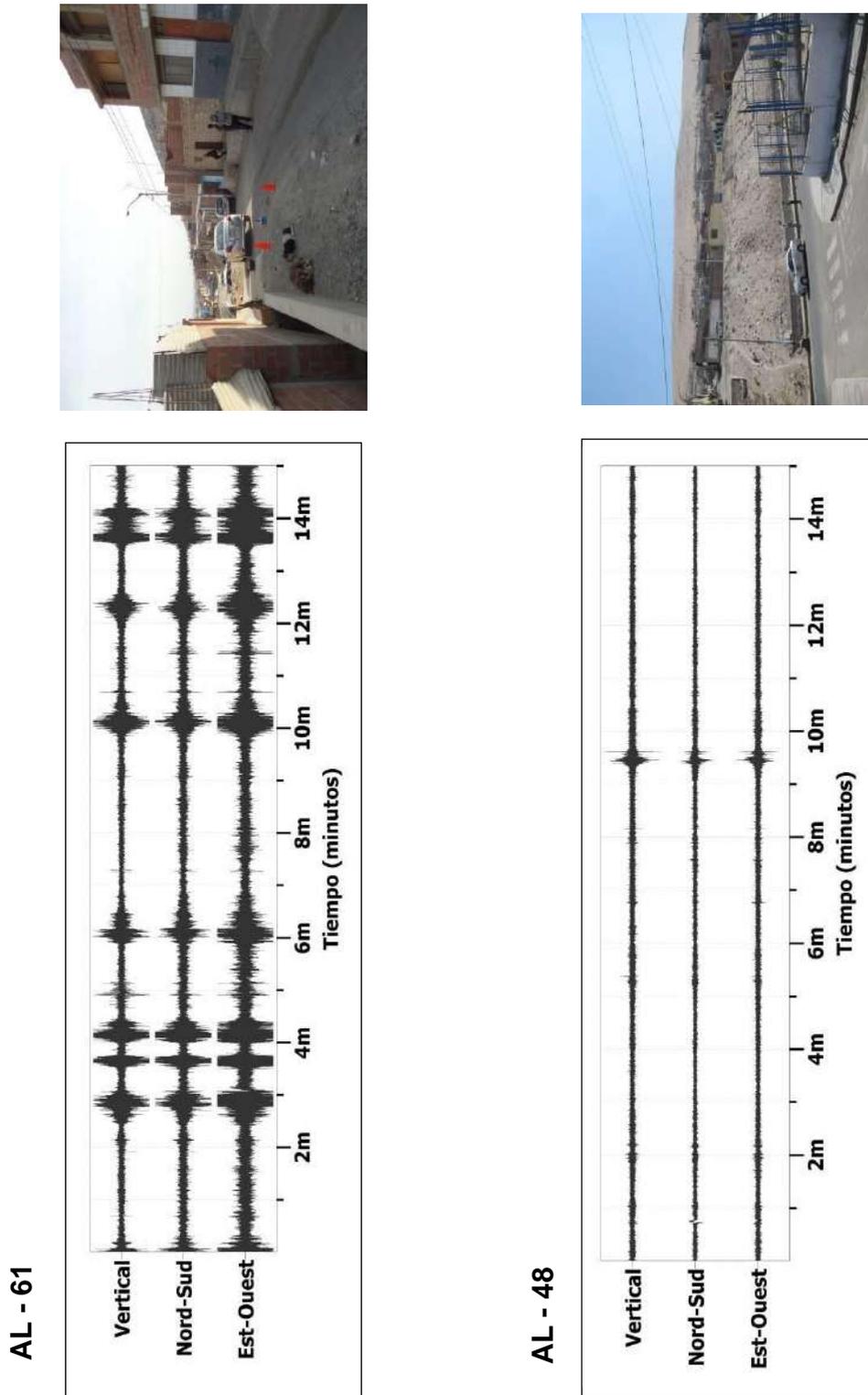


Figura 8: Ejemplos de la disposición del equipo sísmico para el registro de vibraciones ambientales. Ejemplos de registros de vibración ambiental obtenidos sobre una zona con ruido transitorio (AL-061) y otro con ruido de fondo constante (AL-48). Obsérvese las diferentes amplitudes de la señal registrada 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 zona industrial.

En el distrito de Alto de la Alianza se realizaron 7 arreglos sísmicos cuya distribución geofísica se muestra en la Figura 10, codificadas como: LS01-AL, LS02-AL,... y en la Tabla 3, se presentan las coordenadas de cada línea.

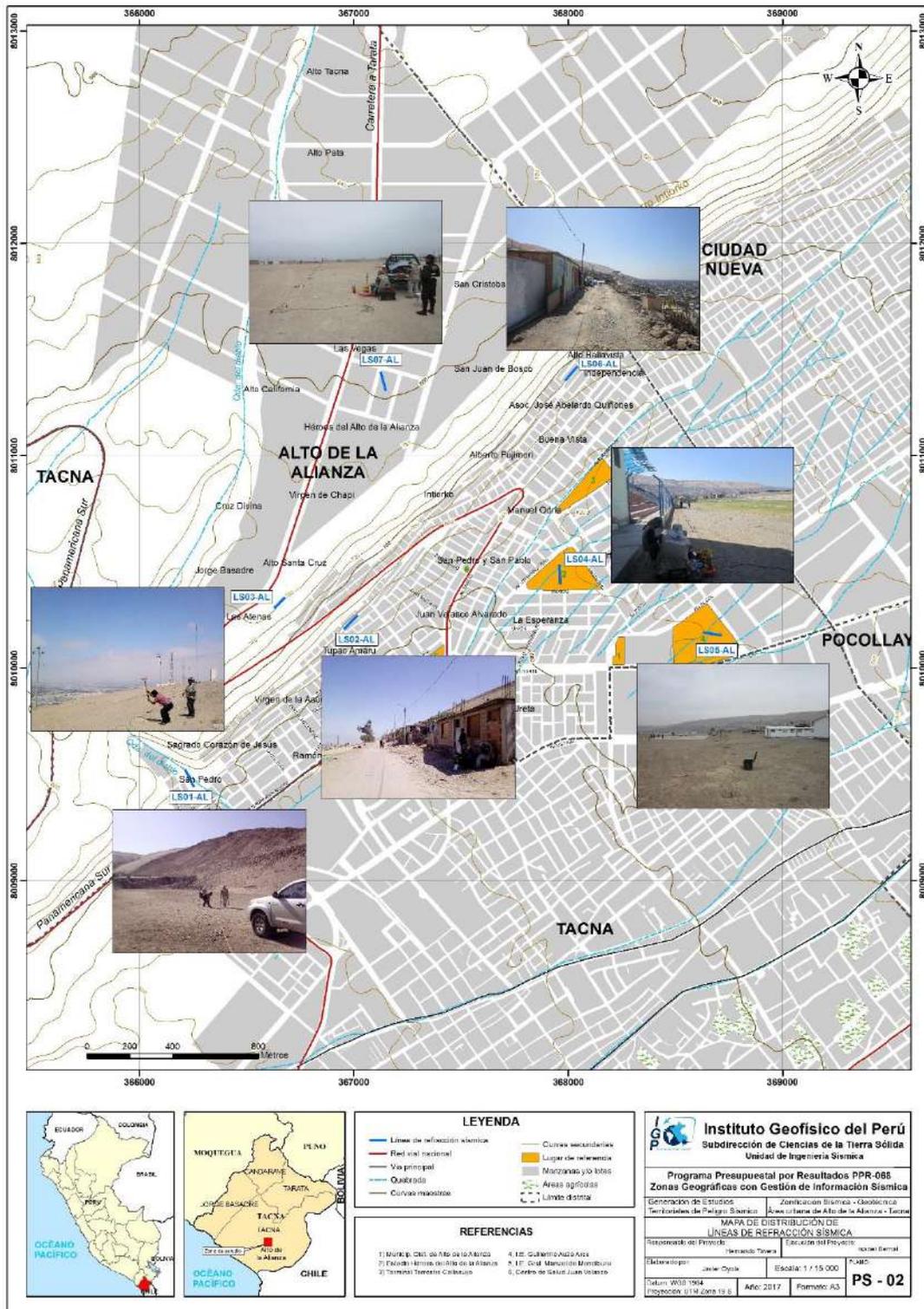


Figura 10: Mapa del área urbana de Alto de la Alianza y distribución espacial de las líneas sísmicas codificadas como: LS01-AL, ..., LS07-AL.

Tabla 3: Coordenadas y características de las Líneas Sísmicas.

Línea Sísmica	Este (m)	Norte (m)	Cota (m)	Espaciamiento entre geófonos (m)	Longitud total (m)
LS01-AL	366211	8009523	616	4	92
	366252	8009440	616		
LS02-AL	366951	8010182	654	4	92
	367017	8010248	654		
LS03-AL	366690	8010347	777	4	92
	366627	8010279	777		
LS04-AL	367960	8010485	626	4	92
	367963	8010392	626		
LS05-AL	368716	8010152	625	4	92
	368627	8010167	625		
LS06-AL	367986	8011353	697	4	92
	368043	8011420	697		
LS07-AL	367149	8011305	800	4	92
	367125	8011395	800		

Durante su adquisición se visualiza los datos sísmicos (sismogramas), a fin de verificar la calidad de los datos 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), contenidos con cuatro a cinco golpes en cada punto “shot”. Finalmente, se realiza el procesamiento preliminar para determinar si la profundidad y la velocidad sísmica obtenida, tienen coherencia con la geología local. El procesamiento de los datos de campo (MASW) fue realizado en el programa de computación SeisImager.

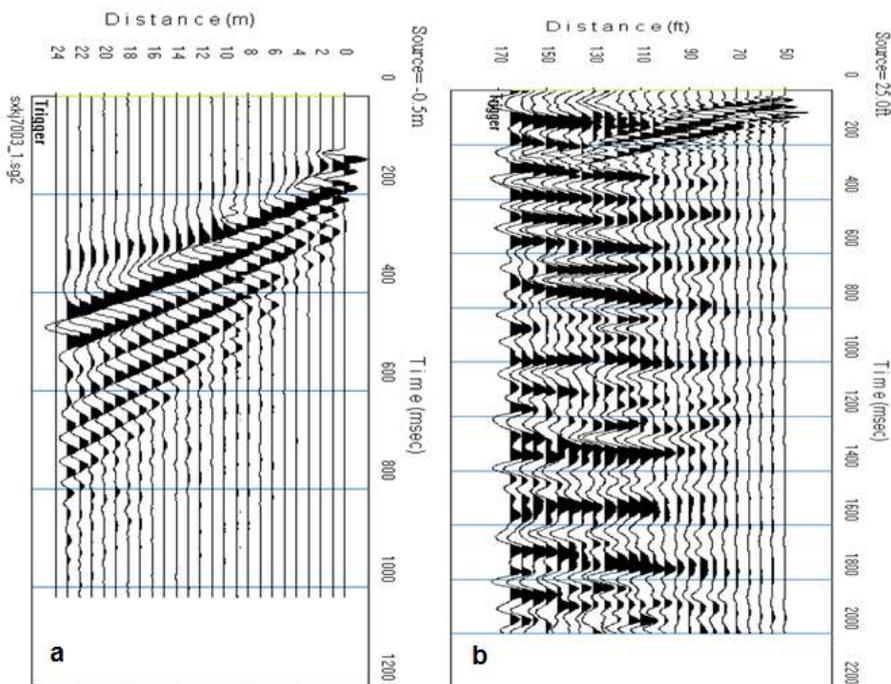


Figura 11: a) Registro sísmico con bajo contenido de ruido ambiental; es decir, alta calidad. b) Registro sísmico con alto contenido de ruido ambiental.

En la Figura 12, como ejemplo, se muestra la disposición del equipo y el registro sísmico obtenido para la línea sísmica LS04-AL, realizada en el estadio Héroes del Alto de la Alianza. El sismograma obtenido contiene las señales sísmicas con presencia de bajo ruido ambiental; por lo tanto, son datos de calidad.

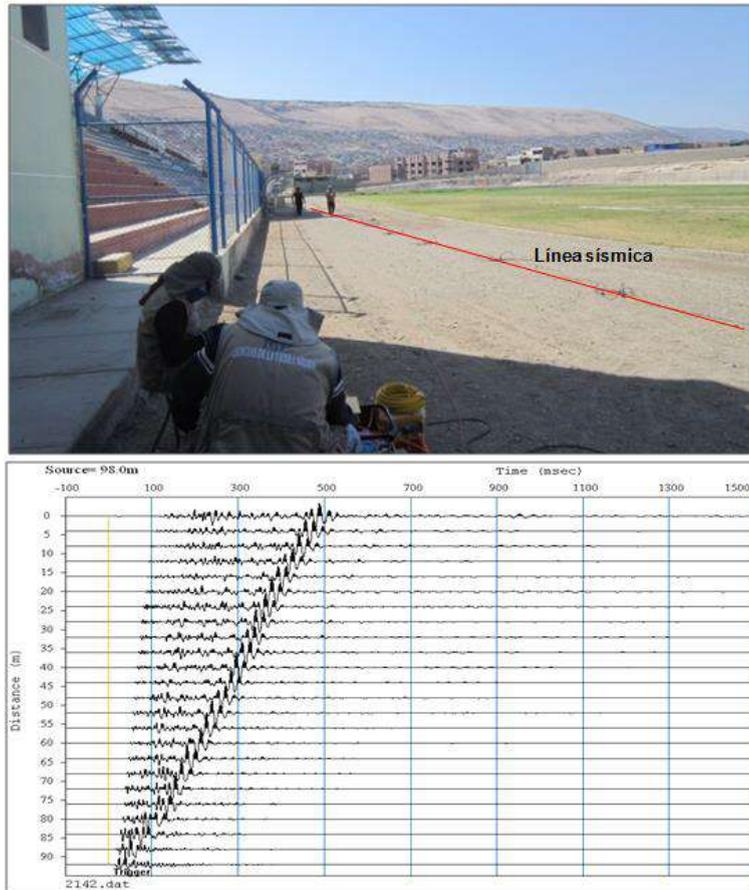


Figura 12: Disposición del equipo de adquisición por el método de MASW y el registro sísmico obtenido.

2.3. Registro de la resistividad del suelo (ERT)

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

En la ciudad de Alto de la Alianza se ha realizado 04 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 a 290 metros, lo cual permitió tener alcances en

profundidad del orden de los 40 metros. En la Tabla 4, se muestra las coordenadas UTM (WGS84) que corresponden a los puntos extremos de las líneas eléctricas (Figura 13).

Tabla 4: Coordenadas de las Líneas eléctricas (LE) del área urbana de Alto de la Alianza.

Línea Eléctrica	Este (m)	Norte (m)	Cota (m)	Espaciamiento entre electrodos (m)	Longitud total (m)
LE01-AL	366026	8009621	649	10	290
	366282	8009471	625		
LE02-AL	367998	8010543	626	10	160
	368003	8010377	625		
LE03-AL	368034	8011348	694	10	290
	367835	8011129	696		
LE04-AL	368768	8010139	637	10	270
	368495	8010068	631		

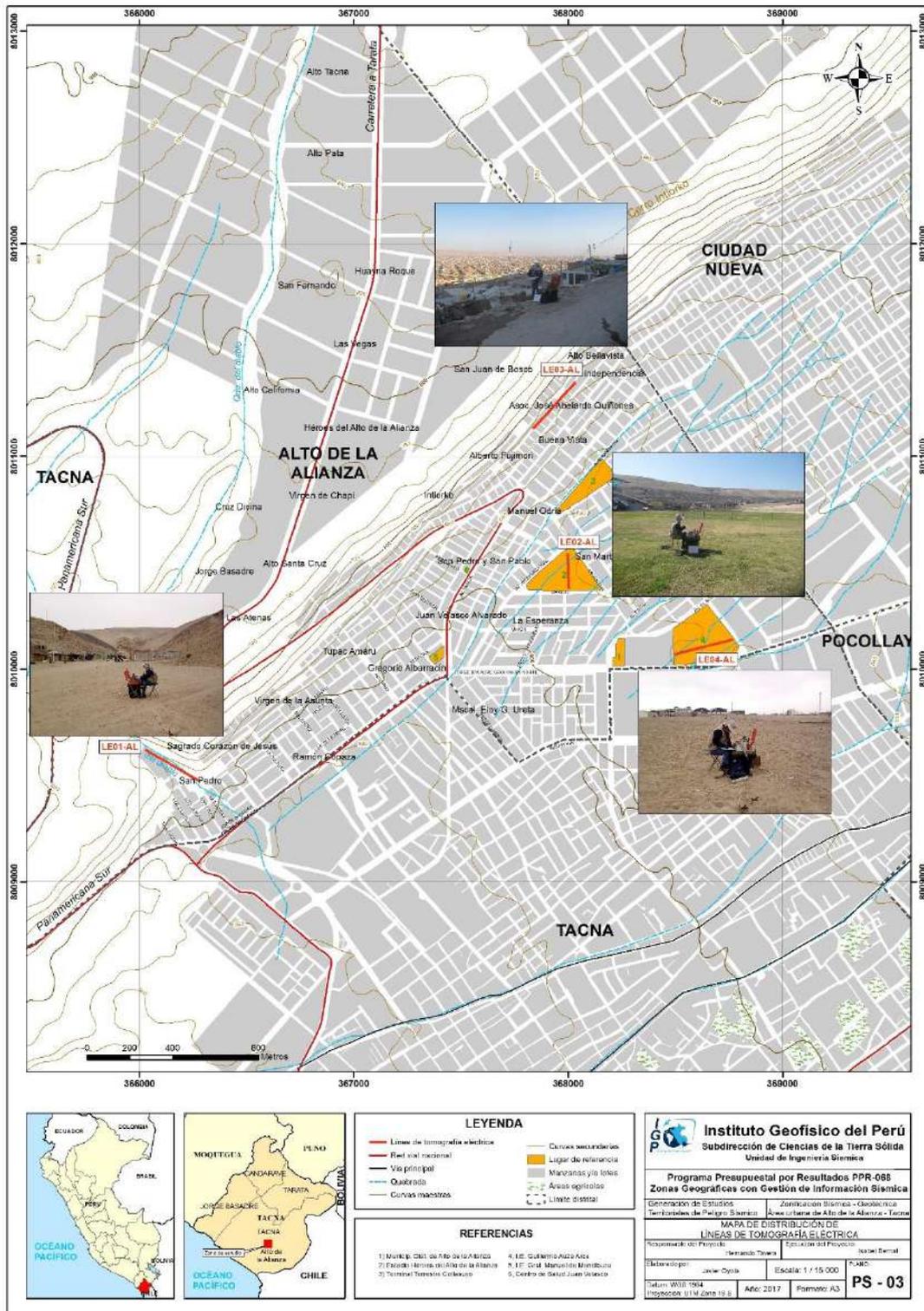


Figura 13: Mapa del área urbana de Alto de la Alianza y distribución espacial de las líneas de tomografía eléctrica codificadas como: LE01-AL, ..., LE04-AL

La calidad de la señal eléctrica registrada fue evaluada mediante un test de resistencia de contacto entre los electros y el terreno, garantizando la obtención de datos confiables para el procesamiento. 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. Para evaluar la calidad de los registros 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 la información recolectada se ha hecho uso de los algoritmos de inversión DCIP2D y OASIS MONTAJ. En la Figura 14, se tienen la disposición de equipo eléctrico en campo y un ejemplo, de la distribución de los valores de resistividad en profundidad.

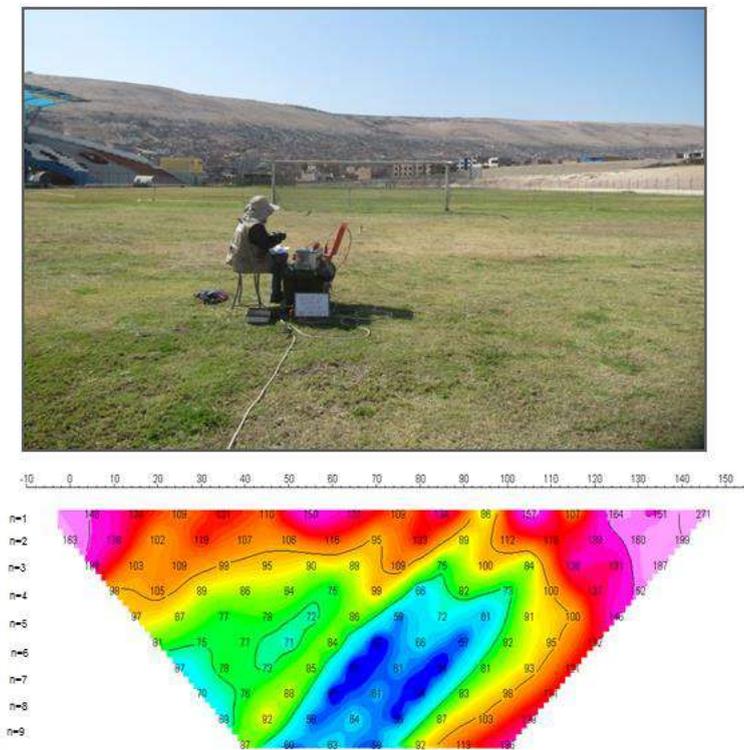


Figura 14: Disposición del equipo de adquisición por la técnica de ERT (LE02-AL) y registro eléctrico obtenido en campo.

3. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN

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

3.1. Estudio Sísmico con la Técnica de H/V

Se ha obtenido los espectros de Fourier para las tres componentes de registro de vibración ambiental, conocer las frecuencias y/o periodos dominantes de vibración natural del suelo y en algunos casos, la amplificación sísmica relativa para cada punto de registro (100 puntos).

- **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 para el área urbana de Alto de la Alianza, siendo sus características las siguientes:

- **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 de entre 1.0 y 1.5 Hz. Estos están presentes principalmente en la zona norte y suroeste del área urbana, sobre la ladera del cerro Intiorko, lo que evidencia la presencia de materiales de gran espesor.

En la Figura 16, se muestra ejemplos de razones espectrales para los puntos AL-60(B), AL-72(D) y AL-93(F), ubicados: el primero, por la Urb. San Pedro y San Pablo; el segundo, por la Asoc. José Abelardo Quiñones; y el tercero, por La Urb. Cruz Divina. Los suelos bajo estos puntos responden a frecuencias entre 1.16, 1.14 y 1.28 Hz con amplificaciones relativas de 3.9, 2.4 y 2.2 veces. Espacialmente son pocos los puntos donde se identifica esta frecuencia predominante F_0 .

Los puntos AL -56(A), AL-71(C) y AL-87(E), ubicados sobre la ladera del cerro Intiorko: el primero, por la carretera hacia Tarata; el segundo, por la Urb. Buena

Vista; y el tercero, por la Urb. Héroes del Alto de la Alianza, presentan frecuencias predominantes 1.50, 1.08 y 1.28 Hz; y amplificaciones de 2.7, 2.3 y 2.2 veces respectivamente. Adicionalmente, en otros puntos sobresalen frecuencias de 7.58 y 4.85 Hz con amplificaciones de 2.3 y 1.8 veces. Estos resultados muestran la existencia de capas sedimentarias de gran espesor. La presencia de dos picos de frecuencia evidencia mayor complejidad en la respuesta de los suelos a pesar de presentar baja amplificación.

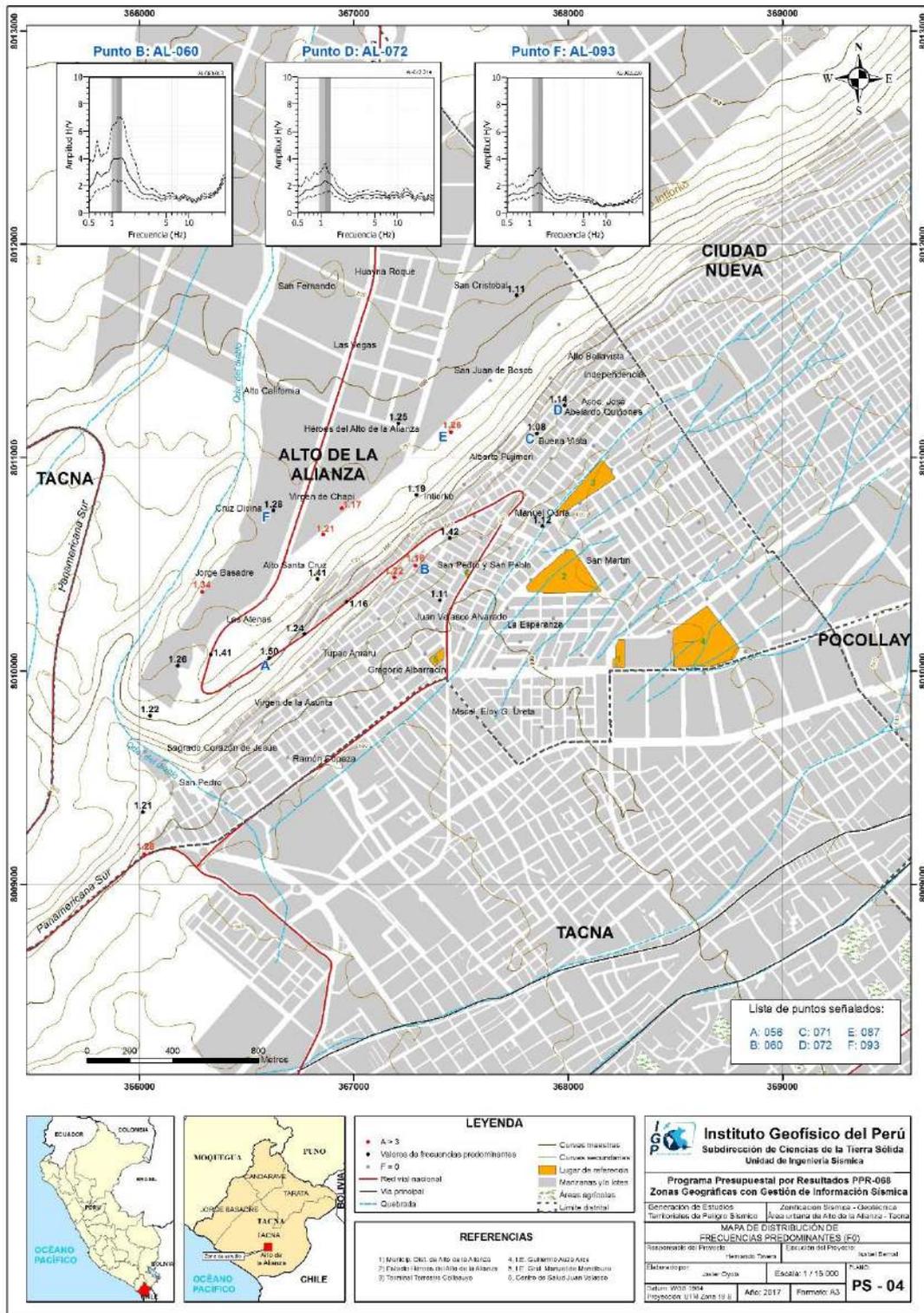
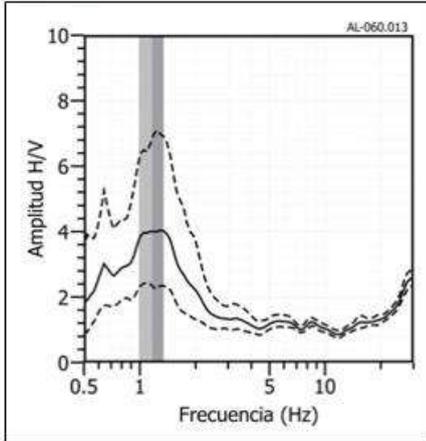
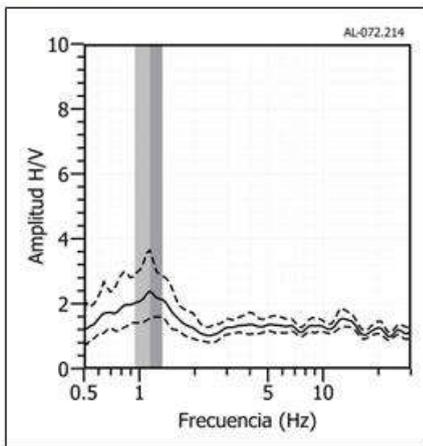


Figura 15: Mapa del área de estudio con la distribución espacial de las frecuencias predominantes F_0 ($F \leq 2.0\text{Hz}$) definidas en cada punto. Las letras indican la ubicación de los gráficos que se son considerados en la Figura 16.

AL- 60



AL - 72



AL- 93

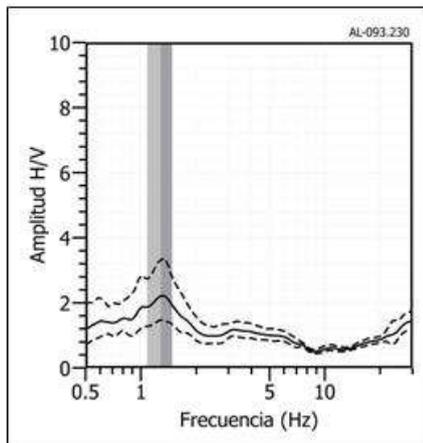
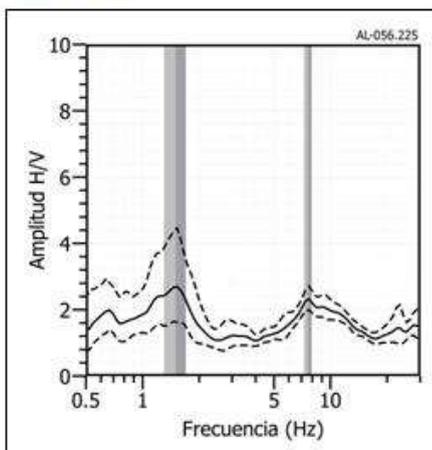
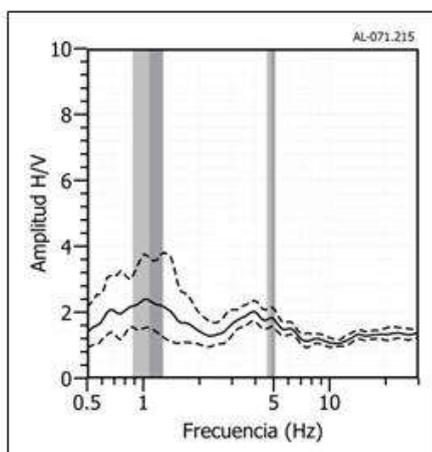


Figura 16: Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F_0 ($F \leq 2.0\text{Hz}$): puntos AL-60(B), AL-72(D) y AL-93(F), ubicados el primero por la Urb. San Pedro y San Pablo; el segundo por la Asoc. José Abelardo Quiñones y el tercero, por La Urb. Cruz Divina. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

AL -56



AL - 71



AL - 87

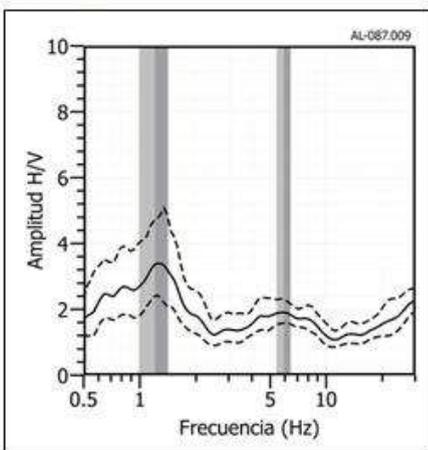


Figura 16: ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F_0 ($F \leq 2.0\text{Hz}$): puntos AL-56(A), AL-71(C) y AL-87(E), ubicados sobre la ladera del cerro Intiorko, el primero por la carretera hacia Tarata, el segundo por la Urb. Buena Vista y el tercero, por la Urb. Héroes del Alto de la Alianza. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

- **Frecuencia predominante F_1** : En la Figura 17 se muestra la distribución espacial de las frecuencias predominantes F_1 ($F > 2.0\text{Hz}$). En este rango en el área de estudio predomina frecuencias entre 3.0 a 5.5 Hz, con un pico bien definido, a excepción de la zona ubicada cerca de las urbanizaciones Túpac Amaru y Virgen de la Asunta.

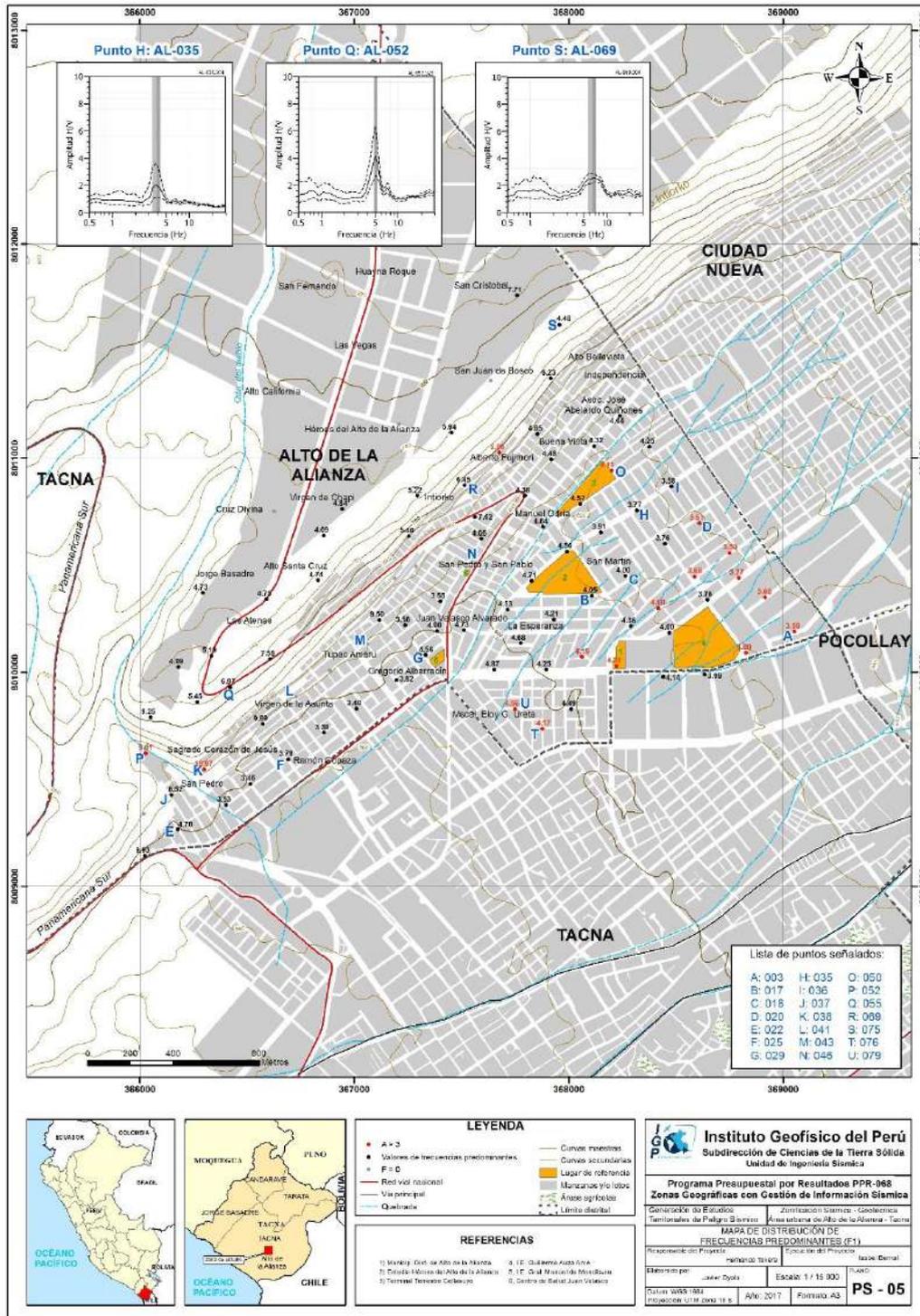


Figura 17: Mapa del área de estudio con la distribución espacial de las frecuencias predominantes F_1 ($F > 2.0\text{Hz}$) definidas en cada punto. Las letras indican la ubicación de los gráficos que se están considerando en la Figura 18.

En la Figura 18 se muestran ejemplos de razones espectrales obtenidas para los puntos AL-55(Q), AL-69(R) y AL-75(S), ubicados a lo largo de ladera del cerro Intiorko: el primero, cerca de la zona de Las Antenas; el segundo, por la Asoc. Alberto Fujimori; y el último, por la Asoc. San Cristóbal, todas presentan frecuencias predominantes a 6.97, 6.45 y 4.48 Hz y amplificaciones de 2.6, 2.5 y 2.0 veces, respectivamente. Estos resultados sugieren la presencia de una capa sedimentaria de poco espesor.

Los puntos AL-17(B), AL-50(O) y AL-79(U) se ubican en dirección sur por el estadio Héroes del Alto de la Alianza y por el terminal terrestre Collasuyo, todos presentan un pico bien definido a frecuencias predominantes de 4.05, 4.15 y 4.56 Hz con amplificaciones de hasta 3 veces. Asimismo, los puntos AL-18(C), AL-35(H) y AL-36(I), ubicados por la Urb. San Martín, al este del estadio Héroes del Alto de la Alianza, presentan un pico bien definido con frecuencias predominantes a 4.00, 3.77 y 3.58 Hz con amplificaciones de 2.5, 2.0 y 2.1 veces, mostrando de este modo, la existencia de suelos homogéneos.

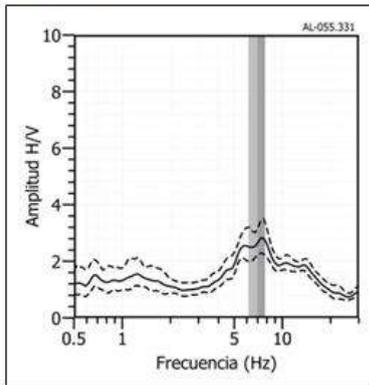
Los puntos AL-03(A), AL-20(D) y AL-76(T), ubicados en dirección sureste, al límite con el cercado de Tacna, presentan un pico bien definido a frecuencias predominantes de 3.59, 3.61 y 4.17 Hz con amplificaciones de 4.7, y 3.3 veces, respectivamente. Los resultados evidencian la existencia de suelos menos rígidos que el resto de la ciudad, y ante la ocurrencia de un evento sísmico puede desarrollar el fenómeno de amplificación sísmica.

Los puntos AL-22(E), AL-25(F) y AL-29(G), ubicados en dirección sur, por la entrada de la Panamericana Sur a la ciudad de Tacna y por la I.E. Manuel de Mendiburu, presentan frecuencias predominantes a 4.70, 3.79 y 4.56 Hz con amplificaciones menores a 2 veces, lo que evidencia la existencia de suelos homogéneos.

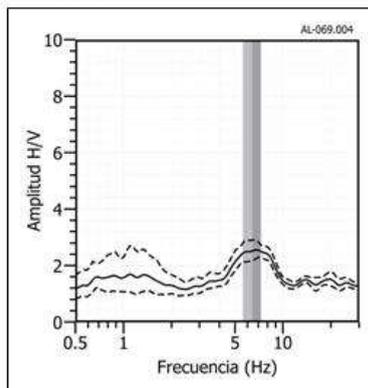
Por otro lado, los puntos AL-37(J), AL-38(K) y AL-52(P), ubicados al suroeste, en la desembocadura de la quebrada del Diablo, responden a suelos con frecuencias predominantes variables de 8.52, 19.9 y 5.0 con amplificaciones de 1.9, 3.5 y 4 veces, respectivamente. Estos resultados muestran la existencia de suelos heterogéneos con diferente grado de compacidad.

Finalmente, los puntos AL-41(L), AL-43(M) y AL-46(N), ubicados al suroeste por las Asoc. Virgen de la Asunta, Túpac Amaru y San Pedro y San Pablo respectivamente, son suelos que no presentan frecuencias predominantes, lo que evidencia que estas zonas son dinámicamente más estables que el resto de la ciudad.

AL- 55



AL - 69



AL- 75

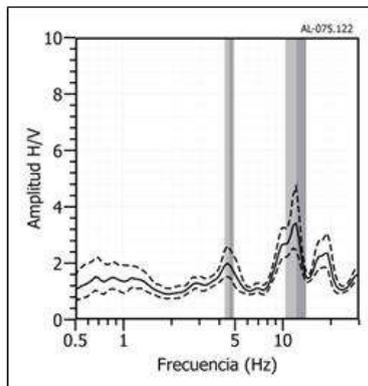
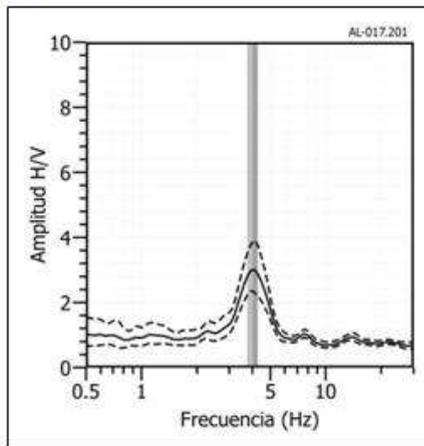
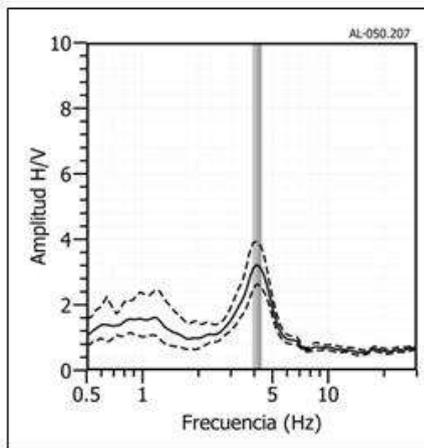


Figura 18: Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango Fo ($F \leq 2.0\text{Hz}$): puntos AL-55(Q), AL-69(R) y AL-75(S), ubicados a lo largo de ladera del cerro Intiorko; el primero, cerca de la zona de Las Antenas; el segundo, por la Asoc. Alberto Fujimori; y el último por la Asoc. San Cristóbal. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

AL -17



AL - 50



AL - 79

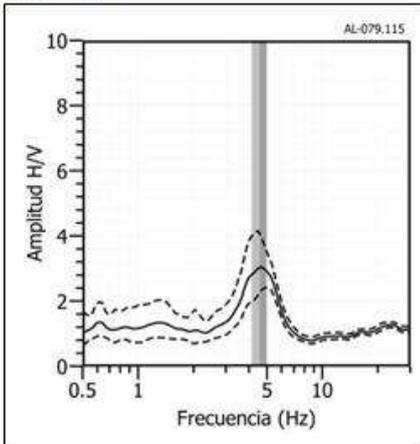
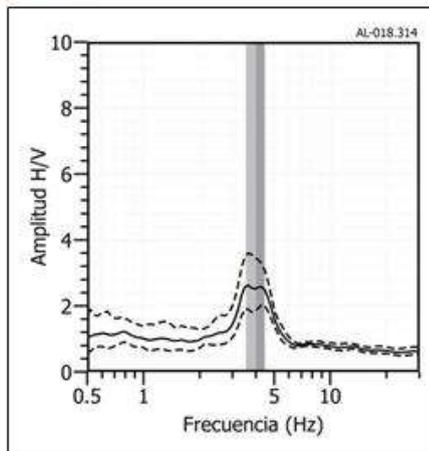
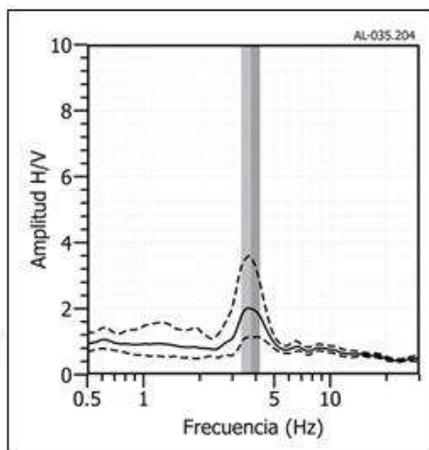


Figura 18: ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango Fo ($F \leq 2.0\text{Hz}$): puntos AL - 17(B), AL-50(O) y AL-79(U), ubicados al sur por el estadio Héroes del Alto de la Alianza y por el terminal terrestre Collasuyo. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

AL- 18



AL - 35



AL - 36

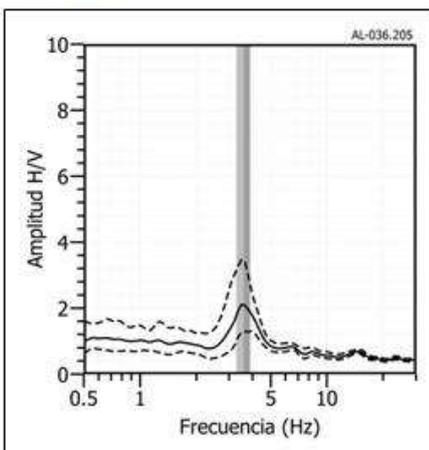
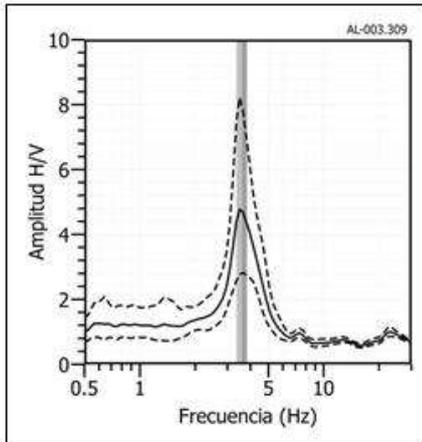
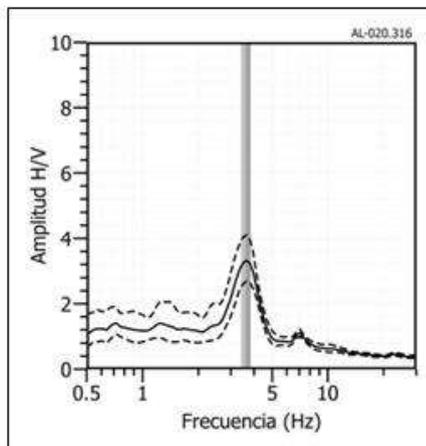


Figura 18: ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F1 ($F > 2.0\text{Hz}$): puntos AL-18(C), AL-35(H) y AL-36(I), ubicados por la Urb. San Martín, al este del estadio héroes del Alto de la Alianza. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

AL- 03



AL - 20



AL - 76

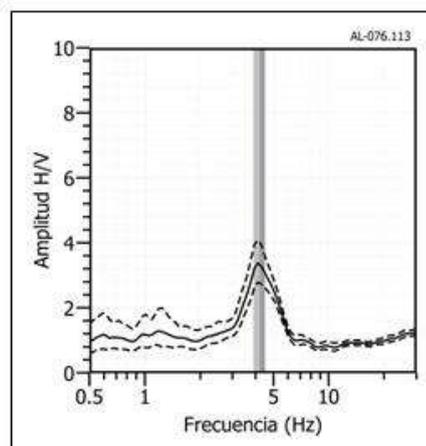
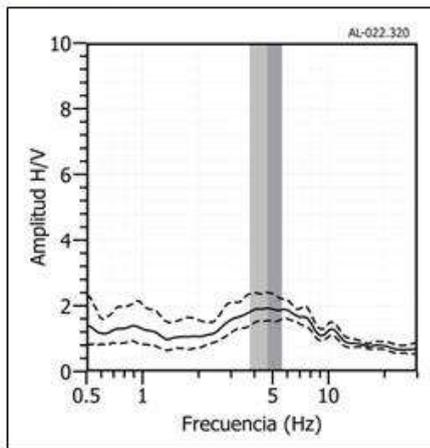
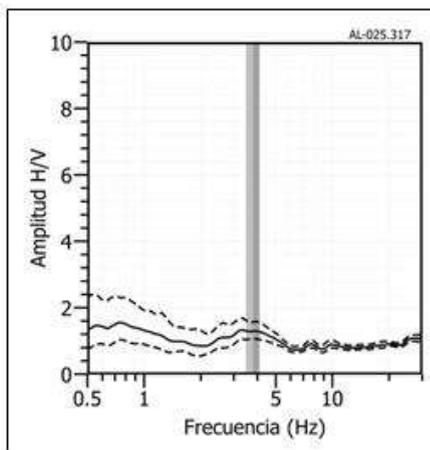


Figura 18: ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F1 ($F > 2.0\text{Hz}$): puntos AL-03(A), AL-20(D) y AL-76(T), ubicados al sureste, límite con el cercado de Tachá. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

AL - 22



AL - 25



AL - 29

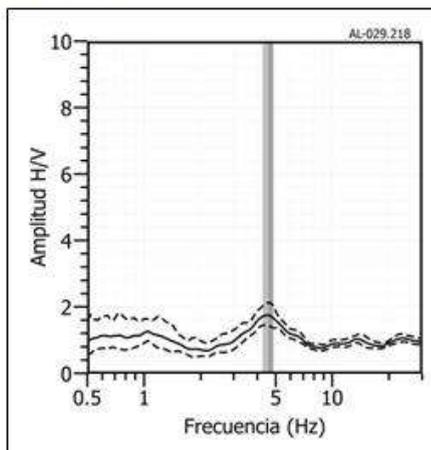
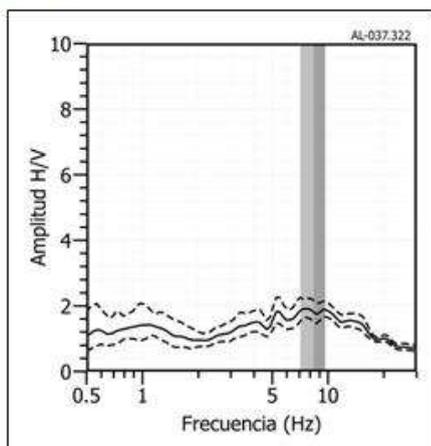
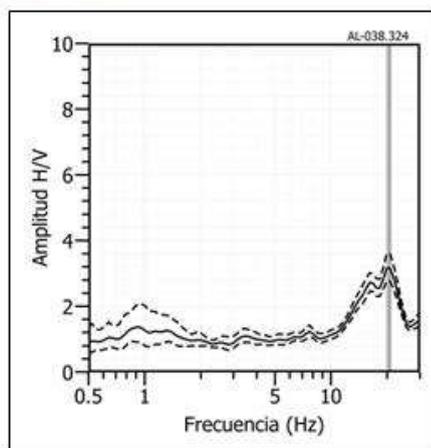


Figura 18: ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F1 ($F > 2.0\text{Hz}$): puntos AL-22(E), AL-25(F) y AL-29(G), ubicados al sur, por la entrada de la Panamericana sur a la ciudad de Tacna y por la I.E. Manuel de Mendiburu. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

AL- 37



AL - 38



AL - 52

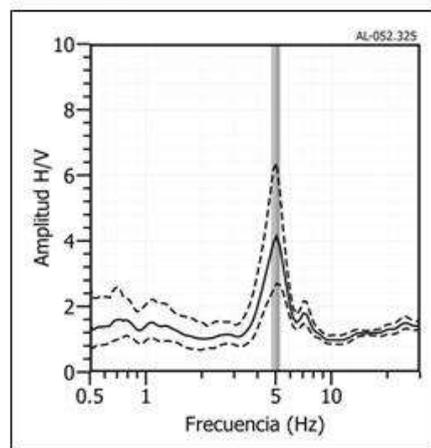
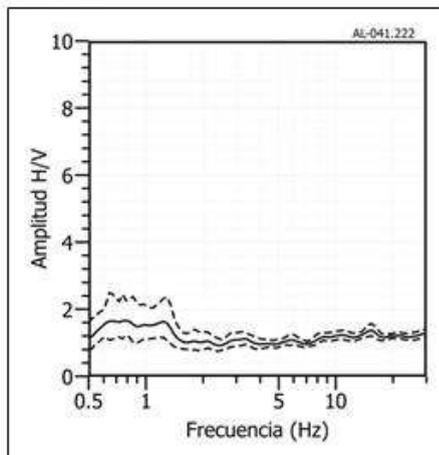
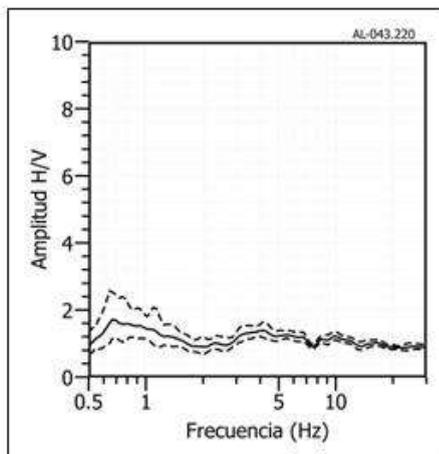


Figura 18: ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F1 ($F > 2.0$ Hz): puntos AL-37(J), AL-38(K) y AL-52(P), ubicados al suroeste, en la desembocadura de la quebrada del diablo. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

AL- 41



AL - 43



AL - 46

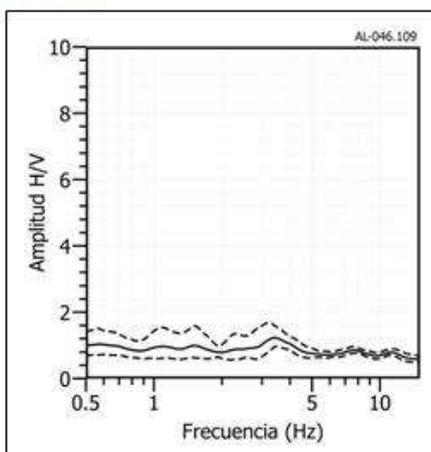


Figura 18: ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V) en el rango F1 ($F > 2.0\text{Hz}$): puntos AL-41(L), AL-43(M) y AL-46(N), ubicados al suroeste por las Asoc. Virgen de la Asunta, Túpac Amaru y San Pedro y San Pablo respectivamente. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

El análisis de razones espectrales H/V en la ciudad de Alto de la Alianza ha permitido observar la presencia de dos rangos de frecuencias: F0 (< 2Hz) presente en algunos puntos de las laderas y sobre el cerro Intiorko y F1 (>2.0 Hz) presentes, de manera uniforme, en toda la zona de estudio.

Los suelos del área urbana de Alto de la Alianza responden principalmente a frecuencias entre 3.0 y 5.5 Hz, asociadas a una capa sedimentaria superficial de poco espesor; sin embargo, existen puntos en los cuales el suelo es influenciado por un segundo pico de frecuencias bajas (1.0 a 1.5Hz), evidenciando la complejidad de los suelos en esas áreas. Además, existen zonas puntuales donde el suelo no responde a ninguna frecuencia; por ejemplo, las urbanizaciones Virgen de la Asunta y Túpac Amaru. Por otro lado, la zona sureste presenta grandes amplificaciones en relación al resto de la ciudad (mayores a 3 veces), lo que sugieren la presencia de suelos flexibles que podrían presentar el fenómeno de amplificación sísmica con la ocurrencia de un sismo.

3.2. Estudio Sísmico con la Técnica de MASW

Los modelos de velocidad de propagación Vs representan ser información muy útil en materia de riesgo sísmico y reconocimiento general de la estructura y naturaleza del subsuelo. El procesamiento permitió llegar hasta profundidades de 30 metros en cada línea sísmica. Todas las líneas están ubicadas en la zona urbana del área de estudio. A continuación, se describe los resultados obtenidos para las líneas agrupadas, según su similitud de velocidad Vs en el perfil sísmico y ubicación:

Líneas sísmicas LS01-AL, LS03-AL, LS04-AL y LS06-AL: Realizadas en la calle Los Lirios de la Urb. San Pedro (LS01), sobre el cerro Intiorko, por la zona denominada Las Antenas (LS03), en el estadio Héroes del Alto de la Alianza (LS04) y en la Asociación de Vivienda José Abelardo Quiñones (LS06). En todos estos perfiles se identifica la presencia de suelos conformados por dos capas: la primera, de 4 a 13 metros de espesor y velocidades Vs entre 230 a 320 m/s, que sugieren la presencia de suelos moderadamente rígidos; y la segunda, con velocidades Vs de 350 a 420 m/s y espesores de 7 a 11 metros que indican la presencia de suelos rígidos. La superficie de contacto con el semiespacio, presenta velocidades Vs > 500 m/s que sugiere la existencia de suelos muy rígidos.

Línea sísmica LS02-AL y LS05-AL: Líneas sísmicas realizadas en la Asociación de Vivienda Túpac Amaru (LS02) y en la I.E. Guillermo Auza Arce (LS04). Los

resultados obtenidos indican la presencia de suelos conformados por dos capas: la primera de 4 a 16 metros de espesor y velocidades V_s entre 317 y 318 m/s que sugieren la existencia de suelos moderadamente rígidos. La segunda capa, con velocidades V_s de 516 y 506 m/s y espesores de 10 metros considerados como suelos muy rígidos. La superficie de contacto con el semiespacio presenta velocidades $V_s > 720$ m/s, lo cual sugiere la presencia de suelos muy rígidos.

Línea sísmica LS07-AL: Realizada en la Asociación de Vivienda Taller Héroes del Alto Alianza. Sus resultados indican la presencia de suelos conformados por una capa de 7 metros de espesor y velocidad V_s de 542 m/s, que sugiere la existencia de suelos muy rígidos. La superficie de contacto con el semiespacio presenta velocidades $V_s > 995$ m/s, que evidencia la existencia de roca moderadamente dura.

En la Tabla 5, se resume los valores de velocidad de ondas de corte V_s para los distintos tipos de perfiles de suelo, según lo mostrado en la Tabla 1. En la Figura 19, se presenta los resultados obtenidos para la línea sísmica LS01 y para las líneas restantes ver los Anexos.

Tabla 5: Valores de espesor y V_s de las líneas sísmicas realizados en Alto de la Alianza.

		Superficie → Profundidad					
Línea Sísmica	N° DE CAPA						
	1		2		Semiespacio		VS30 (m/s)
	V_s (m/s)	Esp. (m)	V_s (m/s)	Esp. (m)	V_s (m/s)	Esp. (m)	
LS01-AL	254	13	398	10	614	-	345
LS02-AL	317	5	516	10	791	-	555
LS03-AL	229	4	358	7	549	-	415
LS04-AL	270	4	425	7	544	-	480
LS05-AL	318	16	506	-	-	-	385
LS06-AL	268	7	389	11	678	-	417
LS07-AL	542	7	995	-	-	-	830

	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)

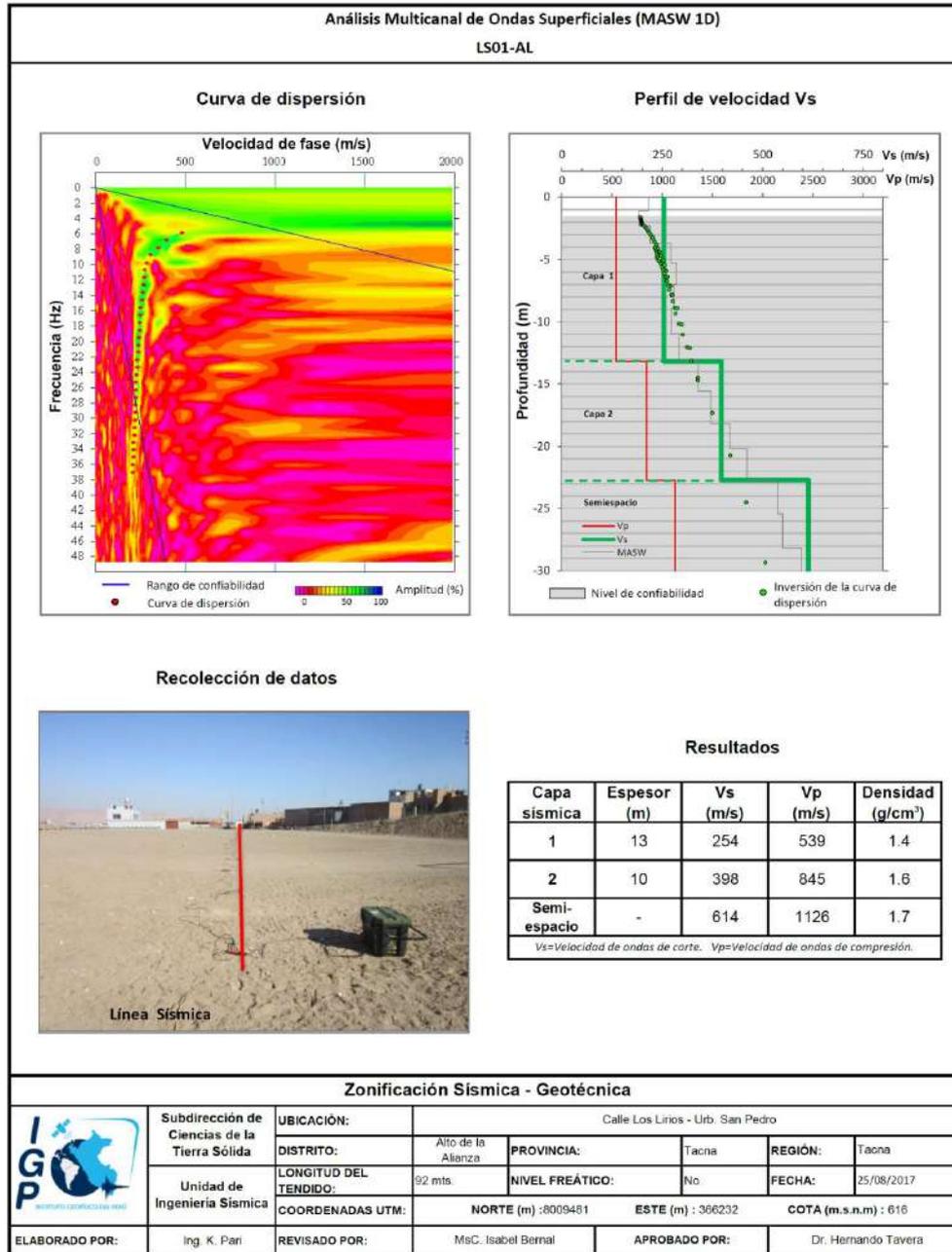


Figura 19: Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo LS01-AL.

Finalmente, los resultados obtenidos definen la existencia de 2 capas sísmicas y un semiespacio. El análisis de los resultados obtenidos para cada capa sísmica identificada y su correlación con la geología local serán descritos a continuación:

El área urbana de Alto de la Alianza presenta suelos moderadamente rígidos para la primera capa de 4 a 13 m. con velocidades de 230 a 320m/s y la segunda capa (Vs 350 a 420 m/s) con espesores de 7 a 11 metros, correspondiente a suelos rígidos y que a profundidad, alcanza velocidades >500 m/s, evidenciando suelos muy rígidos. Estos suelos están conformados por depósitos aluviales.

Al norte, por la asociación de Vivienda Túpac Amaru, se presenta suelos moderadamente rígidos (V_s 318m/s) con espesores de 5 metros. Asimismo, al sur por la I.E. Guillermo Auza Arcelas, las velocidades son similares, pero con espesores mayores (16m) para la primera capa. La segunda capa tiene velocidades de V_s 500 m/s y en profundidad, alcanzan velocidades de 720m/s. Asimismo, sobre el cerro Intiorko, por la Asociación de Vivienda Taller Héroes del Alto Alianza, se presentan suelos muy rígidos para la primera capa (V_s 542 m/s) y en profundidad, se evidencia la presencia de rocas moderadamente blandas (V_s 995 m/s). Según lo expuesto, los suelos de mayor espesor están presentes conforme se avanza al sur.

Según la geología local, los suelos en Alto de la Alianza lo constituyen depósitos aluviales consolidados en diferente grado a profundidad, a excepción de la línea LS07, que se encuentra sobre la formación Huaylillas.

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 Alto de la Alianza, los cuales han sido separados en dos grupos, en color negro/rojo para periodos menores a 0.3 segundos, en gris los periodos mayores.

Los periodos de 0.3 segundos, se distribuyen de manera uniforme en el extremo sur oeste, por la IE Guillermo Auza Arce; mientras que, periodos de 0.1 y 0.2 segundos se presentan en casi toda el área de estudio. Asimismo, el 15% de los puntos presentan sensibilidad a periodos de 0.7 y 0.9 segundos y se encuentran distribuidos de manera dispersa en la ladera y sobre el cerro Intiorko. Las mayores amplificaciones, en ambos grupos de periodos, se presentan al sureste, límite con Ciudad Nueva y Tacna.

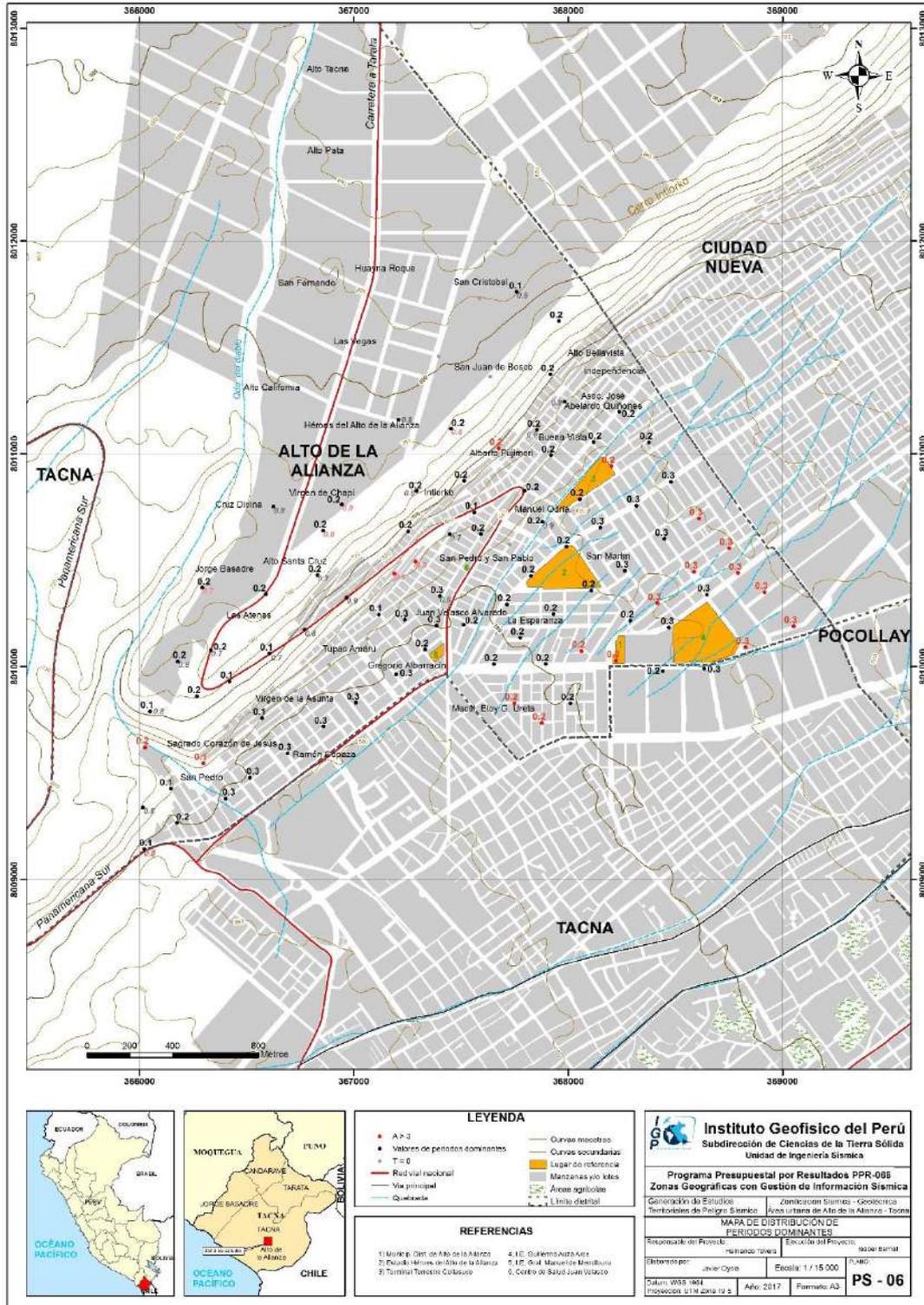


Figura 20: Mapa de la distribución espacial de los valores de periodos dominantes.

Los periodos dominantes que caracterizan los suelos de la ciudad de Alto de la Alianza están relacionados con las condiciones físico-dinámicas a través de la relación $T_0=4H/V_s$, donde T_0 es el periodo dominante, H el espesor del estrato y V_s es la velocidad de onda de corte. Asumiendo velocidades de 300 m/s para las ondas de corte (V_s) y periodos de 0.3 segundos, se estima una capa superficial con espesores de 23 metros, para la zona sur y sur este.

Del mismo modo, para el resto del área de estudio se ha considerado periodos de 0.1 y 0.2 segundos y V_s de 300 y 400 m/s, la existencia de capas del suelo con espesores entre 12 a 17 metros. Estos espesores de las capas son confirmados con los modelos de velocidad.

En la ciudad de Alto de la Alianza, la distribución espacial de periodos dominantes mayores a 0.3 segundos, sugiere la presencia en el subsuelo de una capa profunda de mayor potencia, que en este distrito, se encuentra principalmente por la desembocadura de la quebrada del Diablo. Asimismo, los periodos menores sugieren la presencia de una capa superficial de menor espesor.

3.4. Secciones de resistividad geoelectrica

A continuación, se describe los resultados obtenidos para las líneas de tomografía eléctrica realizados en el área urbana de Alto de la Alianza:

La línea LE01-AL realizada en la Urb. San Pedro, definió la existencia de dos horizontes geoelectricos; donde el primero es el que presenta valores medianamente resistivos ($>100 \Omega.m$), asociados a la presencia de depósitos aluviales conformados de gravas re-transportadas por la quebrada del Diablo (cauce estacional); además existen roca fracturada y zona de relleno y residuos sólidos. En el segundo horizonte, se tienen valores bajo resistivos ($<100 \Omega.m$) relacionados a un mayor contenido de humedad en las arenas limosas. La línea LE02-AL realizada en el estadio Héroes del Alto de la Alianza, presenta dos horizontes geoelectricos, donde el material medianamente resistivo asociado a gravas y a arenas cuarzosas. El primer horizonte, esta suprayaciendo al material bajo resistivo y el segundo horizonte, se correlaciona a una mayor permeabilidad de las arenas en profundidad, ver Figura 21.



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

La línea LE03-AL, realizada en la Asociación José Abelardo Quiñones, en mayor porcentaje presenta valores bajo resistivos, sugiriendo que estos valores se asocian a la presencia de medios saturados con alta porosidad y permeabilidad que pueden deberse a la influencia de la actividad antrópica. Asimismo, en mayor porcentaje se presentan valores medianamente resistivos en forma aislada, asociadas a rocas fracturadas y zonas de relleno, ver Figura 22.

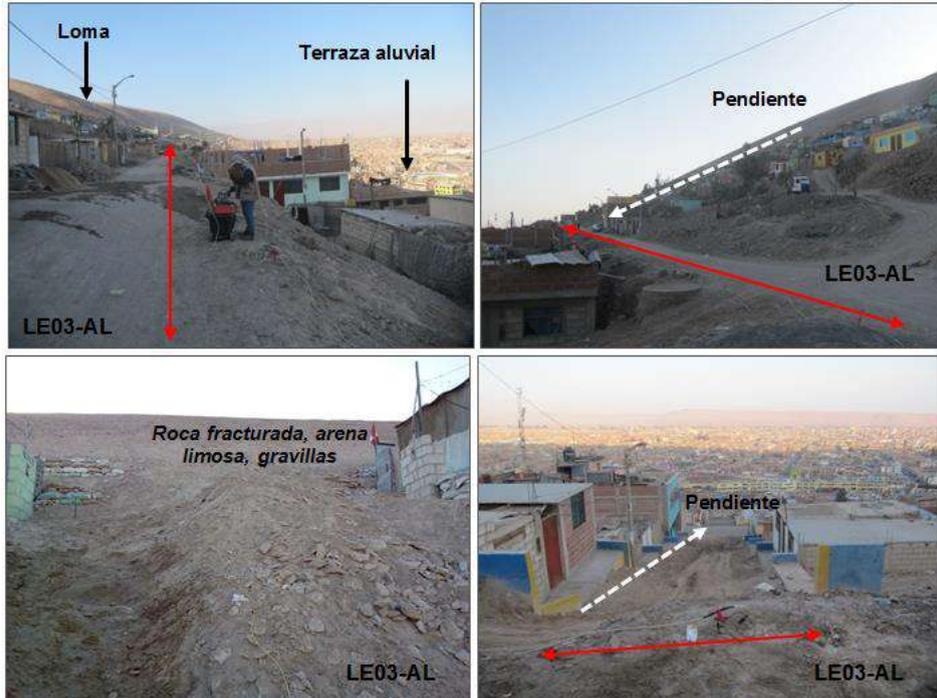


Figura 22: Vista de la línea eléctrica LE03-AL.

La línea eléctrica **LE04-AL**, ubicada en la I.E. Guillermo Auza Arce, próxima a la Av. El Sol, fue realizada sobre depósitos aluviales cubiertos por cenizas, en la cual se identificó la presencia de dos horizontes geoelectrónicos: el primero, donde la superficie, presenta mayor resistividad y está conformado por material resistivos a muy resistivos ($>500 \Omega.m$) hasta profundidades de 30 metros, asociado a material volcánico y relleno antrópico en superficie. Respecto al segundo medio, este presenta mayor conductividad, con presencia de materiales medianamente resistivos a baja resistividad ($< 500 \Omega.m$), asociados a arenas limosas con contenido de humedad.

Resumiendo, estas líneas eléctricas presentan un menor porcentaje de valores medianamente resistivos ($>100 \Omega.m$), asociados a la existencia de materiales con menor contenido de humedad, porosidad y permeabilidad como los depósitos aluviales con presencia de gravas; mientras que, en mayor porcentaje se presentan valores bajo resistivos ($<100 \Omega.m$), tanto en superficie como en profundidad, siendo medios con mayor contenido de humedad, correspondiendo a la presencia de materiales con mayor permeabilidad como las arenas limosas y porosas, pudiendo volverse un medio saturado (Figura 23). En estos perfiles, no se ha determinado la profundidad del nivel freático.



Figura 23: Vista de la línea eléctrica LE04-AL.

En la Tabla 6, se muestra la orientación, profundidad alcanzada en el estudio y la saturación del medio. En la Figura 24, se presenta el resultado obtenido para la línea LE01-AL, para el resto ver los Anexos.

Tabla 6: Profundidad y presencia o no de medios saturados de las líneas eléctricas obtenidas en Alto de la Alianza (NP, No Presente; P, Presente).

Línea Eléctrica	Orientación	Profundidad de alcance (m)	Horizontes geoelectricos	Profundidad del horizonte saturado (m)	Saturación
LE01-AL	NW-SE	39	Horiz. 1 (100 a 1300 $\Omega.m$)		NP
			Horiz. 2 (30 a 100 $\Omega.m$)	10	P
LE02-AL	N-S	29	Horiz. 1 (100 a 460 $\Omega.m$)		NP
			Horiz. 2 (50 a 100 $\Omega.m$)	15	P
LE03-AL	NE-SW	39			P
LE04-AL	E-W	39	Horiz. 1 (500 a 3600 $\Omega.m$)		NP
			Horiz. 2 (50 a 500 $\Omega.m$)		NP

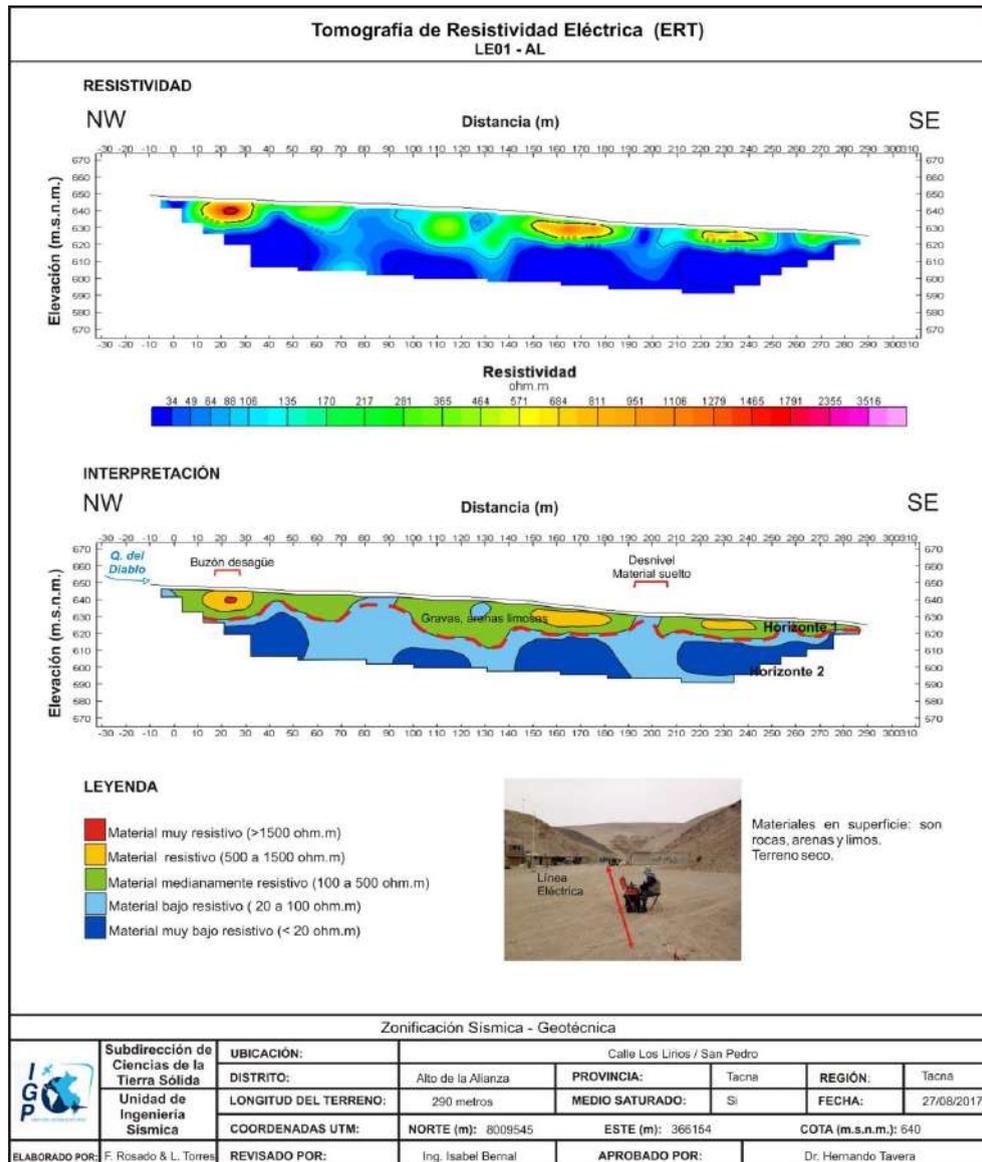


Figura 24: Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método de tomografía eléctrica para la línea LE01-AL.

De acuerdo a los datos analizados, se puede decir que los materiales bajo resistivos a muy bajo resistivos, son los que predominan en profundidad; mientras que, en en superficie se ve una tendencia a contar con material medianamente resistivo en el área urbana de Alto de la Alianza, a excepción de la línea LE04-AL, donde el material predominante, es altamente resistivo a resistivo.

En el área de estudio no se ha definido la presencia del nivel freático, debido a una sobre explotación del agua subterránea, esta ha descendido a profundidades de 80 a 100 metros en el área urbana de Alto de la Alianza (Peña et al. 2009). Sin embargo, la mayoría de las líneas presentan materiales saturados en profundidad (>10 metros). La proximidad a la quebrada del Diablo ubicada al Suroeste de Alto de la Alianza y otros

aportes de fluidos, generan la saturación del subsuelo. Es importante precisar que también existen residuos sólidos que son enterrados de forma inadecuada y según Peña et al. (2009), al entrar en contacto con medios permeables mal protegidos pueden ser grandes contaminantes.

Geológicamente, Alto de la Alianza, presenta depósitos aluviales conformados por material no consolidado que puede almacenar aguas subterráneas, presente en casi toda el área urbana de Alto de la Alianza. En la zona de las Lomas (al oeste) existe la formación Huaylillas compuesta por material volcánico (tobas rosáceas en una matriz de areniscas), en la cuenca del río Caplina se han encontrado acuitardos en esta formación, con baja permeabilidad, pero la porosidad de las tobas crea condiciones para generar medios saturados. El material que conforma el acuífero es cantos rodados de diversos tamaños, arenas, limos y arcillas regularmente compactados y depositados en forma alternada, ubicándose el material más fino en las zonas más profundas del acuífero.

4. ZONIFICACION SÍSMICA - GEOTÉCNICA

El mapa de Zonificación sísmica-geotécnica para el área urbana de Alto de la Alianza, se elabora en función de la integración de los resultados de los estudios geológicos, geotécnicos y geofísicos, delimitando zonas cuyos suelos presentan características de respuesta similares ante la ocurrencia de un sismo. Las características dinámicas del suelo y sus propiedades mecánicas, han permitido identificar en el área de estudio, de acuerdo a la Norma de Construcción Sismorresistente E.030, la existencia de dos zonas con suelos Tipo S1 y S4. Dentro de esta zona, hacia el sur y sur este los suelos presentan amplificaciones mayores a 3 veces y en toda el área los suelos responden a periodos entre 0.1 a 0.3 segundos.

4.1. Mapa de Zonificación Sísmica - Geotécnica

Para el área urbana de Alto de la Alianza, se propone la siguiente zonificación sísmica-geotécnica (Figura 25).

- ZONA I: Conformada por estratos de grava y arena coluvial mal gradada, que se encuentran, a nivel superficial cubiertos por depósitos de material fino (arenas limosas) 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 a 0.3 segundos y velocidades de propagación de onda de corte VS, entre 350 y 830 m/s, que corresponde a un dominio de suelos Tipo S1 según la norma sismorresistente peruana. Se demarca con color verde los suelos que responden a periodos de 0.1 y 0.2 segundos y de verde claro los que responden a periodos de 0.3 segundos.

Dentro de esta zona (S1), con líneas en rojo, se delimitan las áreas de la Urb. San Martín y la Esperanza (límite con Tacna y Alto de la Alianza), donde los suelos presentan amplificaciones relativas mayores a 3 veces, evidenciando una menor consistencia de estos suelos respecto al resto del área de estudio.

Por otro lado, hacia la Asoc. Héroes del Alto de la Alianza, los suelos muestran sensibilidad a un segundo rango de periodos 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 a dos rangos de periodos, evidencian complejidad en su respuesta dinámica ante la ocurrencia de un sismo de gran magnitud.

ZONA 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. Delimita suelos topográficamente inestables, ubicados al NO de la zona céntrica de Alto de la Alianza y la zona de flujos de detritos presentes en la Quebrada del Diablo (extremo SO del área de estudio).

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

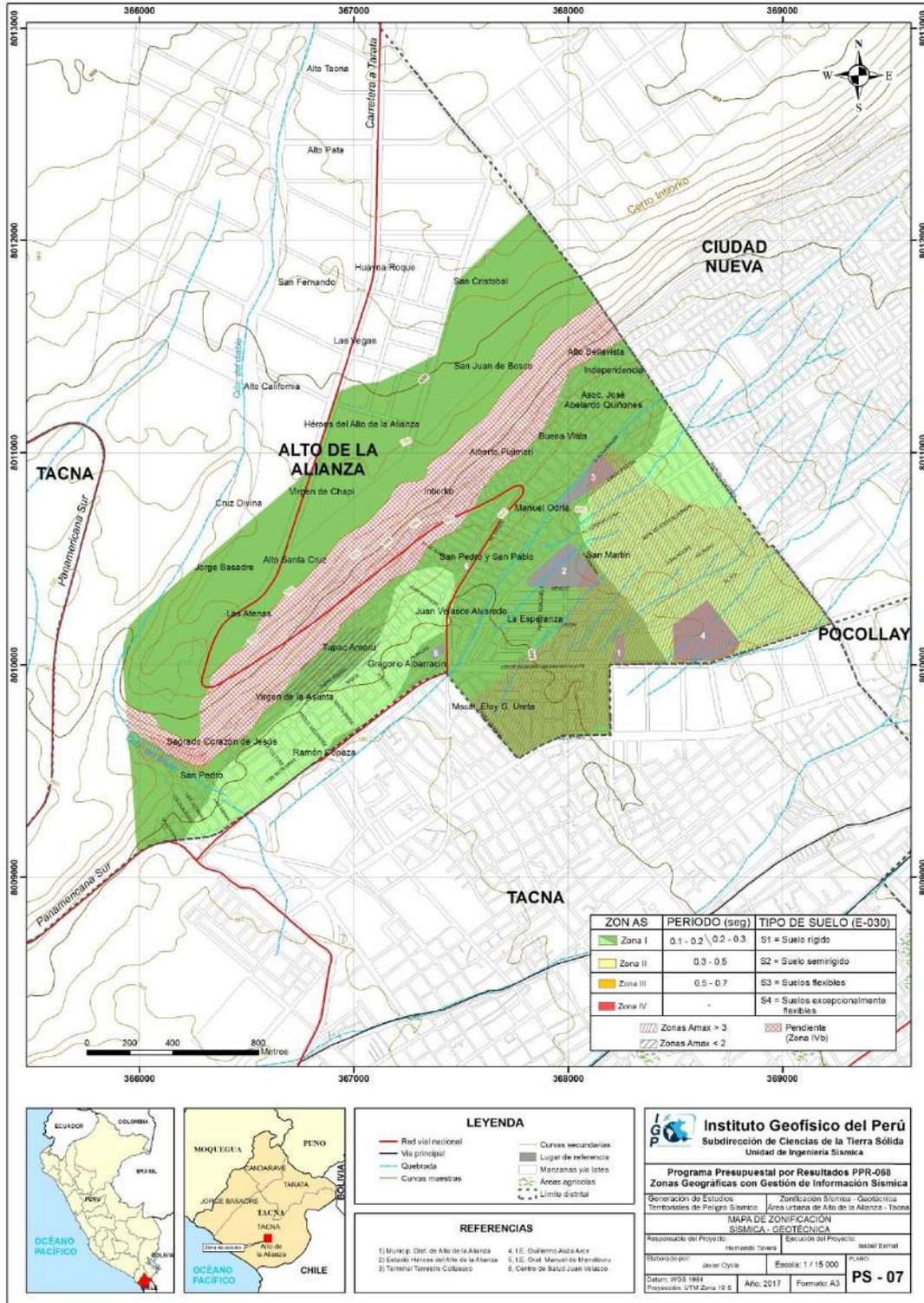


Figura 25: Mapa de Zonificación Sísmica del área urbana de Alto de la Alianza.

CONCLUSIONES

El estudio de Zonificación Sísmica-Geotécnica (Comportamiento Dinámico del Suelo) para el área urbana de Alto de la Alianza, 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 (frecuencias entre 3.0 y 5.5 Hz), así como la presencia de un segundo pico de menor amplitud con tendencia a valores menores de frecuencia sobre las laderas del cerro Intiorko con valores entre 1.0 y 1.5 Hz. Estos valores bajos de frecuencias se asocian a depósitos sedimentarios de mayor espesor. Las mayores amplificaciones se presentan hacia el extremo sureste del área de estudio, límite con los distritos de Ciudad Nueva y Tacna y 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.

La presencia de dos picos de frecuencias existentes en algunos puntos, evidencia la mayor complejidad en la respuesta dinámica de los suelos a pesar de presentar bajas amplificaciones, a diferencia de los suelos que presentan un pico bien definido con moderada amplificación, presente en casi toda la zona de estudio.

- Los resultados de MASW, definen para el área de estudio la presencia de 2 capas sísmicas y un semiespacio. Según los resultados obtenidos con el método sísmico, predominan los suelos moderadamente rígidos para la primera capa (V_s 230 a 320 m/s), con espesores de 4 a 13 metros presente en toda el área de estudio. Los mayores espesores se encuentran en la zona sur y suroeste. Esta capa suprayace a suelos rígidos y en profundidad a suelos muy rígidos. Asimismo, en la zona norte del distrito sobre el cerro Intiorko, predominan suelos muy rígidos (V_s 540 m/s) y en profundidad, alcanzan V_s de 990m/s.
- Los suelos de Alto de la Alianza responden a periodos de 0.1 y 0.3 segundos. Los periodos de 0.3 segundos, se distribuyen de manera uniforme al sur-oeste, por la IE Guillermo Auza Arce; mientras que, los periodos de 0.1 y 0.2 segundos se presentan en casi toda el área de estudio. Asimismo, en las laderas y sobre el cerro Intiorko, los suelos son influenciados por periodos de 0.7 y 0.9 segundos. Por otro lado, conforme se tiende al extremo SE, límite con los distritos de Ciudad Nueva y Tacna, se presentan amplificaciones mayores que en toda el área estudiada (3

veces). Finalmente, existe de manera puntual zonas donde los suelos no responden a periodo predominante, como son la Urb. Túpac Amaru y Virgen de la Asunta.

Los periodos dominantes que caracterizan a los suelos de Alto de la Alianza están relacionados con las condiciones físico-dinámicas a través de la relación $T_0=4H/V_s$. Asumiendo velocidades de 300 m/s para las ondas de corte (V_s) y periodos de 0.3 segundos, se estima una capa superficial con espesores de 23 metros, para la zona sur y sur este. Del mismo modo, en el resto del área de estudio al considerar periodos de 0.1 y 0.2 segundos y V_s de 300 y 400 m/s, los espesores de las capas del suelo varían entre 12 a 17 metros. 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 de Alto de la Alianza predomina los medios no saturados (bajas resistividades), asociados a la actividad antrópica y a las quebradas estacionales. Sin embargo, en la línea 4 se ha delimitado dos horizontes geoelectrónicos; en superficie se observan valores de resistividad altos ($>1500 \Omega.m$) asociada a material de relleno y arenas. El Cerro Intiorko presentaría un comportamiento semipermeable por estar compuestos de materiales limos tobaceos y conglomerados; mientras que, los depósitos aluviales presentarían menor permeabilidad por estar compuesta por gravas y arenas. El nivel freático en Alto de la Alianza se encontraría a profundidades mayores a 39 metros.
- Los resultados obtenidos para el área urbana de Alto de la Alianza, 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 semi-rígidos a rígidos y excepcionales. Asimismo, se define como caso especial al sector ubicado por la urbanización San Pedro en la desembocadura de la quebrada del Diablo, donde se presenta de manera localizada la amplificación de la señal sísmica a periodos de 0.1 y 0.8 segundos. Estos resultados sugieren la presencia de suelos con una respuesta dinámica compleja ante la ocurrencia de sismos.

BIBLIOGRAFIA

- Acosta, (2012) Geología de los cuadrángulos de La Yarada, Tacna y Huaylillas Hojas 37-u, 37-v y 37-x.
- 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, Mexico. Tesis de Maestría en Ciencias, UNAM, pag. 130.
- 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 Enciclopedia of Geomorphology (Fairbridge, R.W., ed., Reinhold Book Corp., New York). 668-696 p.
- Hutchinson, J., N. (1988) General Report: Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology. Proceedings, Fifth International Symposium on Landslides, (Ed: Bonnard, C.) 1, 3, 35 p. Rotterdam: Balkema.
- INDECI, (2004) Ciudades sostenibles "Mapa de Peligros de la Ciudad de Tacna.

- INDECI, (2007) Programa de Prevención y Medidas de Mitigación ante Desastres de la Ciudad de Tacna.
- INEI. (2007) Censo Nacional de Población y Vivienda. Lima Perú. INEI. 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.
- Ministerio de Economía y Finanzas. (2017) Consulta de seguimiento de ejecución de Proyectos de Inversión. Lima – Perú. Recuperado de http://apps5.mineco.gob.pe/bingos/seguimiento_pi/Navegador/default.aspx?y=2014&ap=ActProy.
- Municipalidad de Alto de la Alianza. (2016) Informe multianual de gestión fiscal. Tacna – Perú. Recuperado de https://www.mef.gob.pe/contenidos/pol_econ/imgf/gob_local/IMGF2016_1834.pdf.
- Municipalidad de Alto de la Alianza. Reseña histórica. Tacna – Perú. Recuperado de <http://munidesama.gob.pe/portal/index.php/en/sama/resena/historica.html>.
- Nakamura Y. (1989). A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. Quaterly Report Railway Tech. Res. Inst., 30-1, 25-30.
- Orellana, E. (1982). Prospección geoelectrica en corriente continua. Madrid: Ediciones Paraninfo.
- Park, C. B., 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., 5 56, 17–29, doi:10.1016/j.jappgeo.2004.03.004

- Reynolds, J.M. (2011). *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, 2nd ed., 712 pp.
- 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.
- Tarbuck, 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. 474-504.*
- Xia, J., Miller, R.D., and Park, C.B., 1999, Estimation of near-surface shear-wave velocity by inversion of Rayleigh wave: *Geophysics*, 64, 691–700.

ANEXOS

ANEXO

La información que se detalla está contenida en el CD que se adjunta al presente Informe Técnico. “Zonificación Sísmica – Geotécnica de la ciudad de Alto de la Alianza”.

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

