

ZONIFICACIÓN SÍSMICA - GEOTÉCNICA DEL DISTRITO DE SACHACA - AREQUIPA

(Comportamiento Dinámico del Suelo)



Hernando Tavera
RESPONSABLE DEL PROYECTO

Lima - Perú
2013

**INSTITUTO GEOFISICO DEL PERU
MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE SACHACA**

ZONIFICACIÓN SÍSMICA - GEOTÉCNICA DEL DISTRITO DE SACHACA - AREQUIPA

(Comportamiento Dinámico del Suelo)

Hernando Tavera

**Lima - Perú
2012**

- © Municipalidad Distrital de Sachaca
Av. Fernandini s/n Sachaca, Arequipa, Perú
Teléfonos [054] 23-3892 • 23-1235
<<http://www.munisachaca.gob.pe>>
- © IGP Instituto Geofísico del Perú
Calle Badajoz 169, Mayorazgo IV Etapa, Lima, Perú
Teléfono [0051-1] 317-2300, correo electrónico web@geo.igp.gob.pe
www.igp.gob.pe

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N.º 2013-20755

Primera edición: Lima, enero de 2014
Tiraje: 500 ejemplares

Impreso por Ediciones Nova Print S.A.C.
Av. Ignacio Merino 1546, Lima 14, Perú

Esta rigurosamente prohibida la reproducción total o parcial de este libro, la recopilación en sistema informático, la transmisión en cualquier forma o por cualquier medio, por registro o por otros métodos sin el permiso previo y por escrito de los propietarios del copyright.

**ZONIFICACIÓN SÍSMICA - GEOTÉCNICA
DEL DISTRITO DE SACHACA - AREQUIPA
(Comportamiento Dinámico del Suelo)**

Responsable del Proyecto : Hernando Tavera

Ejecución del Proyecto : Hernando Tavera
Isabel Bernal
Juan Carlos Gomez

Software SIG : Julio Martinez
Rider Navarro-Valderrama

Trabajos de Campo : Henry Salas
Julio Martinez
Eliana Vizcarra
Joseth Flores
Anthony Lopez

Capacitación : Hernando Tavera
Patricia Guardia
Consuelo Agüero

Apoyo Administrativo : Estela Torres

CONVENIO INTERINSTITUCIONAL

MUNICIPALIDAD DE SACHACA Y

EL INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ



Dr. Ronald Woodman y Sr. Emilio Díaz durante la firma del convenio entre la Municipalidad Distrital de Sachaca y el IGP

El día 13 de abril de 2012, la Municipalidad Distrital de Sachaca y el Instituto Geofísico del Perú (IGP), sede adscrita al MINAM, firmaron un convenio de cesión de terreno para la construcción de un moderno observatorio vulcanológico en este distrito de la ciudad de Arequipa. Asimismo, se estableció el convenio para la realización de estudios sísmicos, geofísicos, geológicos y geotécnicos para la caracterización física del suelo sobre el cual se encuentra el distrito. Estos estudios que tuvieron la coordinación técnica del Ing. José Montaña Enríquez por parte de la Municipalidad, permiten tener como producto el Mapa de Zonificación Sísmica-Geotécnica para el Distrito de Sachaca.

En la firma del convenio participó el Dr. Ronald Woodman, Presidente Ejecutivo del IGP y el Sr. Emilio Díaz, Alcalde de la Municipalidad Distrital de Sachaca. Ambas autoridades indicaron que la construcción del observatorio vulcanológico y la ejecución de los estudios de ingeniería, van a contribuir enormemente al desarrollo del Distrito de Sachaca.

ÍNDICE

RESUMEN EJECUTIVO	11
1. INTRODUCCIÓN	13
2. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	15
3. OBJETIVOS	18
4. ANTECEDENTES	19
5. CONDICIONES LOCALES DE SITIO	20
6. CONDICIONES MECÁNICAS - DINÁMICAS DEL SUELO: NORMA E030	21
7. METODOLOGÍA	24
7.1. Peligro Sísmico	24
7.2. Sismicidad Regional	24
7.3. Estudios Geológicos y Geotécnicos	24
7.4. Estudios Sísmicos y Geofísicos	27
8. ASPECTOS SISMOLÓGICOS	31
8.1. Análisis del Peligro Sísmico	31
8.2. Análisis de la Sismicidad Regional	32
9. ZONIFICACIÓN SÍSMICA - GEOTÉCNICA	34
9.1. Geología, Geomorfología y Geodinámica	35
9.2. Geotecnia	40
9.3. Cuantificación de Eventos Extremos	43
9.3.1. Estabilidad de Taludes	46
9.3.2. Peligro a Inundaciones	52
9.4. Aspectos Sísmicos y Geofísicos	63
9.4.1. Estudios Sísmicos con la Técnica H/V	63
9.4.2. Estudios Sísmicos con la Técnica de Arreglos Lineales	72
9.5. Mapa de Zonificación Sísmica - Geotécnica	82
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	84
BIBLIOGRAFÍA	87

ANEXOS (CD)

ANEXO 1: Análisis de Calicatas

ANEXO 2: Análisis de Estabilidad de Taludes

ANEXO 3: Análisis de Zonas Susceptibles a Inundación

ANEXO 4: Mapa Zonificación Sísmica - Geotécnica

NOTA: La base de datos de campo, la información procesada y material fotográfico puede ser solicitado a la Dirección de Sismología del Instituto Geofísico del Perú. Contacto, Dr. H. Tavera (hernando.tavera@igp.gob.pe)

RESUMEN EJECUTIVO

Dentro del Convenio de Cooperación Interinstitucional (firmado en el mes de junio del 2012) existente entre el Instituto Geofísico del Perú (IGP) y la Municipalidad Distrital de Sachaca de la Provincia y Departamento de Arequipa, se ha realizado el estudio de Zonificación Sísmica - Geotécnica del Distrito de Sachaca. Este estudio tiene como objetivo conocer el Comportamiento Dinámico del Suelo a partir de la aplicación de métodos sísmicos, geofísicos, geológicos, geomorfológicos y geotécnicos.

Los resultados obtenidos para el Distrito de Sachaca han permitido identificar, según los procedimientos establecidos en la Norma E-030, la existencia de dos (2) zonas sísmicas-geotécnicas correspondientes a suelos Tipo S1 y S2.

El Mapa de Zonificación Sísmica-Geotécnica del Distrito de Sachaca debe ser considerado como información primaria a ser utilizada por ingenieros civiles y arquitectos en el diseño y construcción de estructuras apropiadas para cada tipo de suelo identificado en este estudio.

1. INTRODUCCIÓN

Dentro del Convenio de Cooperación Interinstitucional acordado entre el Instituto Geofísico del Perú (IGP) y la Municipalidad Distrital de Sachaca de la Provincia y Departamento de Arequipa firmado el 4 de junio del 2012, se ha realizado el estudio de Zonificación Sísmica - Geotécnica del Distrito de Sachaca (Comportamiento Dinámico del Suelo) aplicando metodologías y técnicas de geología, geotecnia, sísmica y geofísica.

Por otro lado, de acuerdo a la historia sísmica de 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 cada área urbana de los principales departamentos ubicados en la zona costera (Silgado, 1978). Al ser los sismos cíclicos, es de esperarse que en el futuro, las mismas 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 presentes en cada área urbana

Los estudios de Zonificación Sísmica - Geotécnica (Comportamiento Dinámico del Suelo) permitirán tener mayor conocimiento sobre las características dinámicas del sub-suelo sobre el cual se levantan las áreas urbanas y/o futuras áreas de expansión. Para ello se realiza la aplicación de diferentes metodologías y técnicas que consideran información geológica, geodinámica, geomorfológica, geotécnica, sísmica y geofísica. Los resultados que se obtienen permiten comprender que no hay suelo malo y que solamente se debe considerar la construcción de estructuras adecuadas para cada tipo de suelo. Dentro de este contexto, la población del Distrito de Sachaca 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 sean bien edificadas.

Estos tres aspectos permitirán tener la confiabilidad de que las estructuras sean sismorresistentes a un nivel determinado de sacudimiento del suelo.

Es importante remarcar que el Mapa de Zonificación Sísmica - Geotécnica permite conocer las características dinámicas del suelo y se constituye 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 suelo identificado en este estudio. Asimismo, con este documento la Municipalidad Distrital de Sachaca cumple con su responsabilidad como ente conformante las políticas sobre Gestión del Riesgo de Desastres establecidos por el gobierno central.

El detalle de todas las Urbanizaciones (Urb.), Asociaciones de Viviendas (Asoc.), Asentamientos Humanos (AA.HH.), Pueblos Jóvenes (P.J.), Pueblos Tradicionales (PT); Residenciales (Res.), Cooperativas (Coop.) y Centros Poblados (C.P.) existentes en el Distrito de Sachaca se presenta en la Tabla 1 y su distribución espacial en el mapa de la Figura 2.

TABLA 1
Relación de Urbanizaciones, PT, Pueblos Jóvenes, Asociaciones de Vivienda y otros existentes en el Distrito de Sachaca.

Residencial Huaranguillo Residencial Santa Fe	Coop. José Carlos Mariátegui
Urb. Casa Campo Urb. La Catedral Urb. El Ángel Urb. La Beneficencia Urb. La Wayra Urb. Los Portales de Tahuaycani Urb. Residencial Tahuaycani Urb. Asís Zona y Zona B Urb. La Peña Urb. Campo Verde Urb. El Olivar Urb. Tahuaycani Urb. Wayra Urb. El Palacio I Urb. El Palacio II	Urb. El Dorado Urb. Quinta Sachaca Urb. Las Praderas Urb. Residencial Montebello Urb. Quinta Montebello I Urb. Quinta Montebello II Urb. La Planicie Urb. Las Condes Urb. El Ensueño I Urb. El Ensueño II Urb. Magisterial Amauta Urb. Los Diamantes Urb. El Buen Pastor
Asoc. José Carlos Mariátegui Asoc. de Vivienda 11 de Setiembre Asoc. de Vivienda 28 de Julio Asoc. de Vivienda Los Granjeros del Bosque Asoc. de Vivienda Corazón de Jesús	Asoc. de Vivienda Buena Vista Asoc. de Vivienda José María Arguedas
P.T. Pasos del Señor P.T. Alto de Amados P.T. Arancota P.T. Los Arrayanes P.T. Calle Cusco P.T. Sachaca P.T. Tío Chico	P.T. Calle Marcarani P.T. Tahuaycani P.T. Cerro La Aparecida P.T. Huaranguillo P.T. Pampa de Camarones P.T. Tío Grande P.T. Calle J. A. Taboada
P.J. 7 de Junio P.J. 23 de Junio P.J. Alto Guadalupe Pacifico P.J. Ampliación Chiriguana P.J. Ángeles de la Cruz de Sachaca P.J. Alto Alata	P.J. Chiriguana P.J. San Jerónimo P.J. Villa El Triunfo P.J. Villa Esperanza P.J. Ampliación Villa El Triunfo P.J. Cerrito los Brequeros
A.H. Asoc. de Viv. La Nueva Esperanza A.H. Túpac Amaru II A.H. Santa María de Guadalupe A.H. Villa María El Triunfo	A.H. General Pedro Vilcapaza A.H. Coronel Víctor Maldonado A.H. 1 de Julio Alto Arguedas

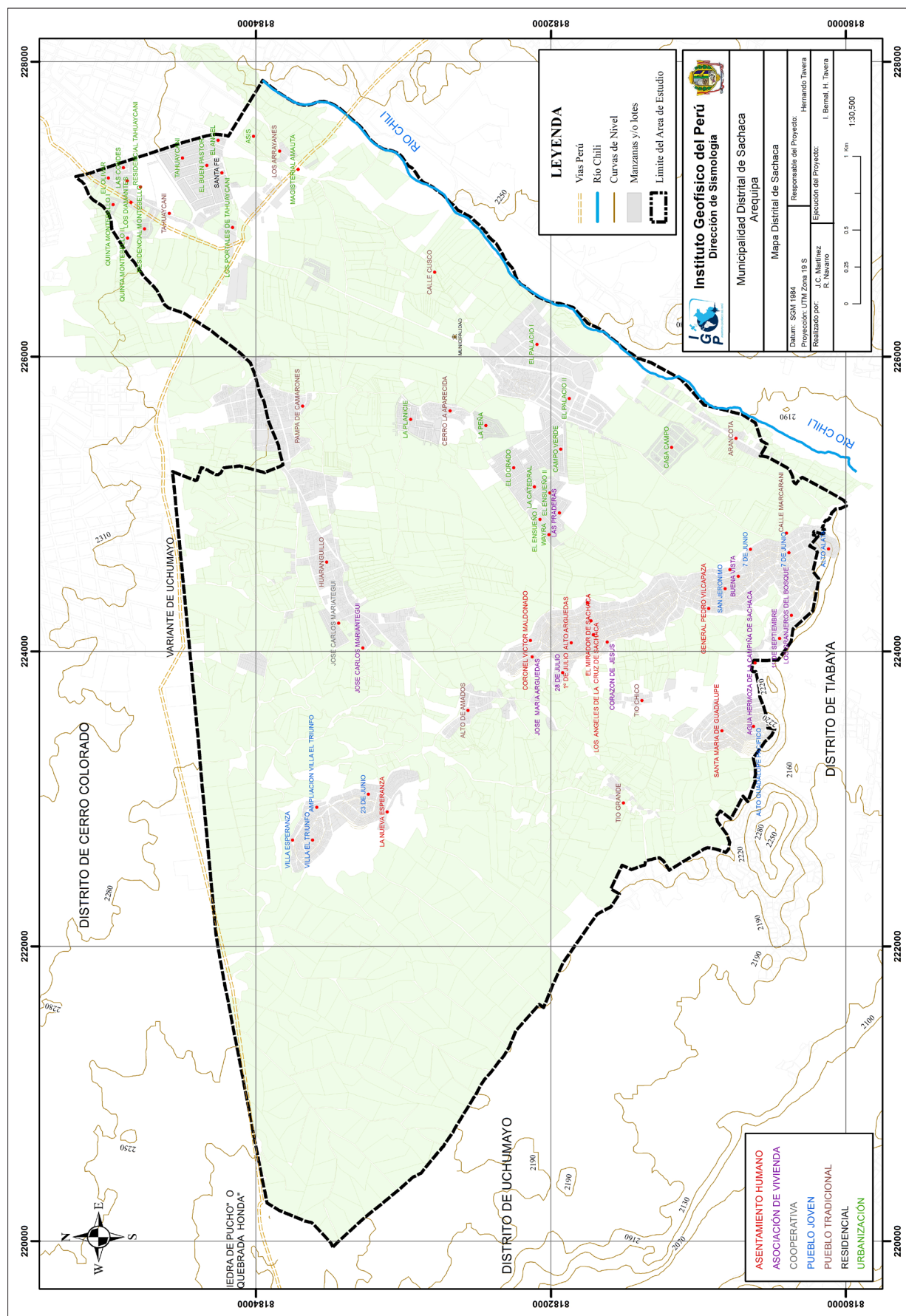


FIGURA 2: Área del Distrito de Sachaca y distribución de sus Urbanizaciones, Pueblos Jóvenes, Asociaciones de Vivienda y otros (ver Tabla 1).

3. OBJETIVOS

El principal objetivo a cumplir en este estudio es obtener el Mapa de Zonificación Sísmica - Geotécnica (Comportamiento Dinámico del Suelo) para el Distrito de Sachaca de la Provincia y Departamento de Arequipa. Asimismo, es de interés del presente estudio que las autoridades dispongan de un documento técnico que les ayude en el desarrollo de proyectos sobre la gestión del riesgo ante sismos, lo cual conlleve a mejorar la calidad de vida de sus pobladores, así como proyectar hacia el futuro una adecuada expansión urbana.

4. ANTECEDENTES

La historia del Perú ha mostrado que el borde occidental de la región sur presenta un alto índice de ocurrencia de eventos sísmicos y que de acuerdo a su magnitud, muchos de ellos han producido daños importantes en esta región. La ocurrencia de efectos secundarios como asentamientos, licuación de suelos, derrumbes, caídas de roca y tsunamis propiciaron el incremento de pérdidas humanas y materiales (Silgado, 1978; Dorbath et al, 1990; Tavera y Buforn, 2001).

Por otro lado y de acuerdo a los informes del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), a partir de los años 90, la Provincia de Arequipa y por ende, el Distrito de Sachaca han soportado procesos continuos de migración de población proveniente de otros departamentos del país y, debido a la falta de una adecuada planificación urbana y de acertadas políticas de planeamiento, la población inmigrante ha ocupado áreas de alto riesgo ante la ocurrencia de peligros como los sismos y otros de carácter geodinámico. A estas condiciones se suma el hecho que las viviendas son construidas de manera inadecuada, sin seguir criterios de ordenamiento territorial y, mucho menos, respetando la norma de construcción vigente (Norma E-030). Asimismo, en algunas áreas del distrito, las viviendas se asientan en laderas de cerros, ríos, cauces de quebradas y zonas de terrazas inundables sin medir su vulnerabilidad e incrementando, de este modo, el riesgo en dichas áreas.

En el año 2005, la Asociación Peruana de Empresas de Seguros (APESEG) a través del Centro de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres, y en el año 2011, el Instituto Geofísico del Perú (IGP) realizaron un importante aporte para la mejora en la Gestión de Riesgos de la ciudad de Lima Metropolitana. Estas instituciones establecieron las metodologías de análisis y evaluación de la información geológica, geotécnica, sísmica y geofísica a fin de realizar los respectivos estudios de Zonificación de Suelos. De este modo, y con los lineamientos ya establecidos, se iniciaron diversos estudios sobre zonificación de suelos. Por ejemplo. El IGP aplicó estas metodologías a los distritos de Pucusana, Santa María, Punta Negra, Punta Hermosa, El Agustino, Sata Rosa, Chosica, Chaclacayo, Huaycan (Ate) y Carapongo (Chosica). En el presente estudio, se aplica las metodologías ya establecidas al Distrito de Sachaca a fin de conocer y proponer la zonificación de sus suelos.

5. 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 condiciones geológicas, geomorfológicas, geodinámicas, geotécnicas, sísmicas y geofísicas de las zonas en estudio y que en conjunto controlan la amplificación de las ondas sísmicas causantes de los daños a observarse en superficie después de ocurrido un sismo.

Las condiciones locales de sitio son evaluadas en los estudios de zonificación sísmica-geotécnica y el resultado se constituye como una de las herramientas más importantes orientadas a minimizar los daños producidos por 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.

Las metodologías a seguir para lograr el mayor conocimiento sobre el comportamiento dinámico del suelo o efectos de sitio en regiones de moderada a alta sismicidad, consideran los estudios geológicos, geomorfológicos, geotécnicos, sísmicos y geofísicos. Cada uno de estos campos de investigación proveen de información básica obtenida de observaciones de campo y de 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 el comportamiento dinámico del mismo. 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.

6. CONDICIONES MECÁNICAS-DINÁMICAS DE SUELOS: NORMA E-030

En el Perú, la construcción de obras civiles de cualquier envergadura debe considerar las indicaciones contenidas en el Reglamento Nacional de Construcción o Norma E-030 (2003). Básicamente, esta norma considera la clasificación de los suelos en función de sus propiedades mecánicas, espesor de estrato, período fundamental de vibración y velocidad de propagación de las ondas de corte.

La Norma E-030, establece que los suelos pueden ser clasificados en cuatro tipos:

- **Suelos muy rígidos (Tipo S1).** Corresponden a suelos en los cuales la velocidad de propagación de la onda de corte es similar al de una roca, además el período fundamental de vibración del suelo es de baja amplitud sin exceder los 0.25 s. Se incluyen los casos en los cuales las cimentaciones se realiza sobre:
 - *Roca sana o parcialmente alterada, con una resistencia a la compresión no confinada mayor o igual que 500 kPa (5 kg/cm²).*
 - *Grava arenosa densa.*
 - *Estrato de no más de 20 m de material cohesivo muy rígido, con una resistencia al corte, en condiciones no drenadas, superior a 100 kPa (1 kg/cm²), sobre roca u otro material con velocidad de onda de corte similar al de una roca.*
 - *Estrato de no más de 20 m de arena muy densa con $N > 30$, sobre roca u otro material con velocidad de onda de corte similar al de una roca.*
- **Suelos intermedios (Tipo S2).** Suelos con características intermedias entre las indicadas para los suelos S_1 y S_3 .
- **Suelos flexibles o con estratos de gran espesor (Tipo S3).** Corresponden a suelos que presentan períodos fundamentales mayores a 0.6 segundos con vibraciones de baja amplitud.
- **Condiciones excepcionales (Tipo S4).** A este tipo corresponden los suelos excepcionalmente flexibles y los sitios donde las condiciones geológicas y/o topográficas son particularmente desfavorables.

En general, para cualquier estudio se deberá considerar el tipo de suelo que mejor describa las condiciones locales de cada zona de interés y utilizar los correspondientes valores de periodos T_p y del factor de amplificación del suelo S definido en la Norma E-030 (2003), ver Tabla 2.

TABLA 2
Parámetros del suelo según la Norma E-030 (2003)

Tipo	Descripción	Tp (S)	S
S ₁	Roca o suelos muy rígidos	0,4	1,0
S ₂	Suelos intermedios	0,6	1,2
S ₃	Suelos flexibles o con estratos de gran espesor	0,9	1,4
S ₄	Condiciones excepcionales	*	*

* Los valores de T_p S para este caso serán establecidos por el especialista, pero en ningún caso serán menores que los especificados para el perfil tipo S₃.

Una extensión para esta clasificación de suelos, fue implementada por el CISMID y el IGP para su aplicación en los estudios de zonificación sísmica - geotécnica de los distritos de Lima y Callao, ver Figura 3. De acuerdo a este estudio y según las características mecánicas y dinámicas de los suelos que conforman el terreno de cimentación del área de estudio, así como las consideraciones dadas por el Código de Diseño Sismorresistente del Reglamento Nacional de Edificaciones (Norma E-030, 2003), se ha definido las siguientes zonas sísmicas-geotécnicas:

ZONA I: Esta zona está conformada por los afloramientos rocosos, los estratos de grava coluvial-aluvial de los pies de las laderas que se encuentran a nivel superficial o cubiertos por un estrato de material fino de poco espesor. Este suelo tiene un 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. Para la evaluación del peligro sísmico a nivel de la superficie del terreno, se considera que el factor de amplificación sísmica, por efecto local del suelo, es de $S=1.0$ con un periodo natural de $T_s=0.4$ s, correspondiendo a un suelo Tipo S1 de la norma sismorresistente peruana.

ZONA II: En esta zona se incluyen 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 aluvial o grava coluvial. Los periodos predominantes del terreno, determinados por las mediciones de microtrepidaciones, varían entre 0.3 y 0.5 s. Para la evaluación del peligro sísmico a nivel de la superficie del terreno, se considera que el factor de amplificación sísmica, por efecto local del suelo, en esta zona es $S=1.2$ con periodo natural del suelo es $T_s=0.6$ s, correspondiendo a un suelo Tipo S2 de la norma sismorresistente peruana.

ZONA III: Esta zona está conformada en su mayor parte por los 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 un suelo Tipo S3 de la norma sismorresistente peruana, con un factor de amplificación sísmica de $S=1.4$ y periodo natural de $T_s=0.9$ s.

ZONA IV: Esta zona está conformada por los depósitos de arena eólicas de gran espesor, depósitos fluviales, depósitos marinos y suelos pantanosos. Los periodos predominantes encontrados en estos suelos son mayores que 0.7 s; por lo que, su comportamiento dinámico ha sido tipificado como un suelo Tipo S4 de la norma sismorresistente peruana, asignándoles un factor de amplificación sísmica de $S=1.6$ y periodo natural de $T_s=1.2$ s (Según la Norma E03, es un caso especial).

ZONA V: Están constituidos por áreas puntuales conformadas por depósitos de rellenos sueltos de 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 incluyen 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 un estudio específico.

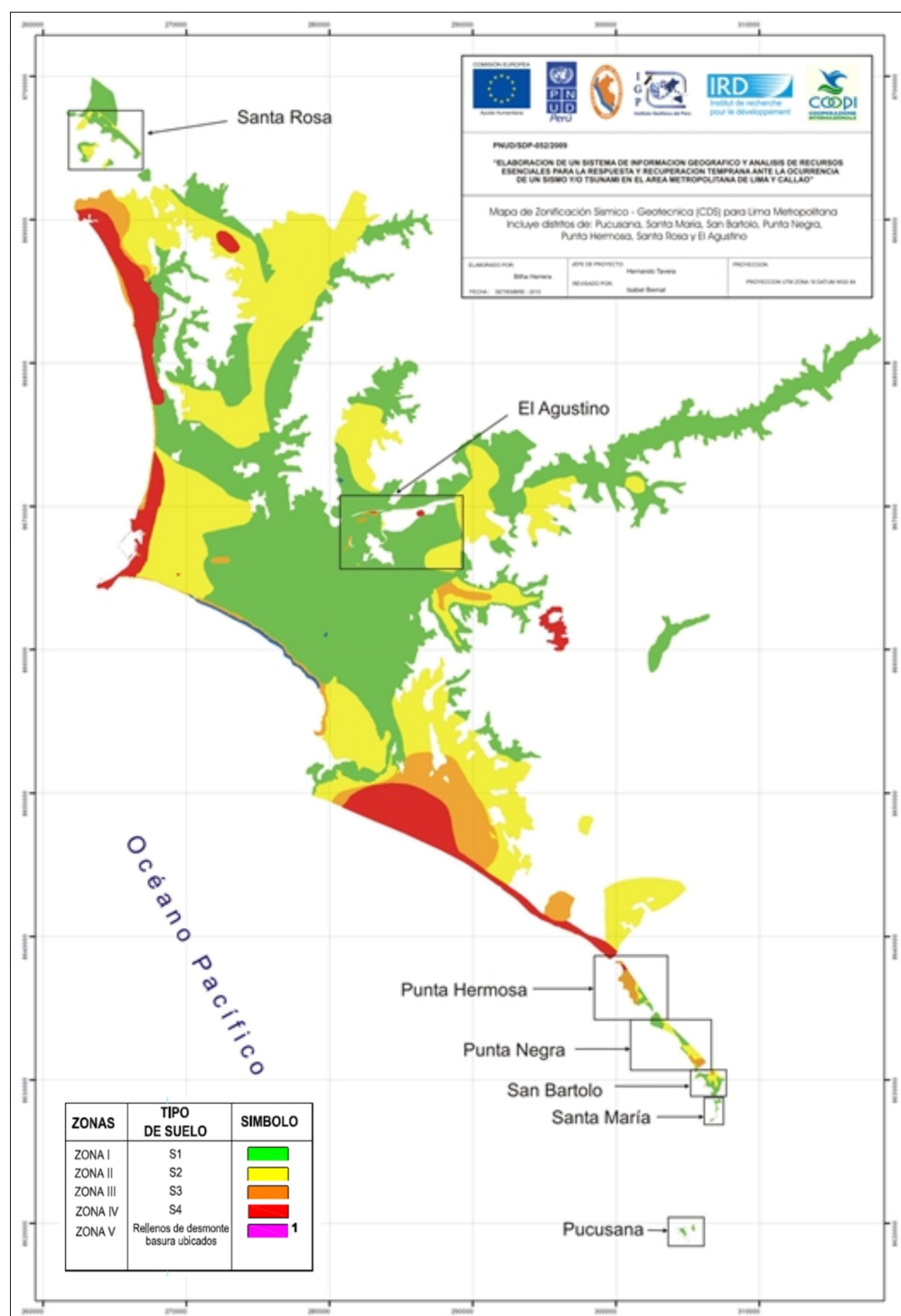


FIGURA 3. Mapa de Zonificación de suelos para Lima Metropolitana elaborado por el CISMID (APESEG, 2005) y el IGP (distritos en recuadro) dentro del proyecto PNUD (PNUD, 2010)

7. METODOLOGÍA

Para la ejecución del estudio de Zonificación Sísmica - Geotécnica del Distrito de Sachaca se ha realizado la aplicación de diversos métodos como parte de los estudios geológicos-geotécnicos, sísmicos y geofísicos, cuyas características se detallan a continuación.

7.1. PELIGRO SÍSMICO

Considera en términos de probabilidad, conocer la severidad sísmica con la cual podría ser sacudida un área en un determinado lapso de tiempo y puede ser expresado en términos de aceleración. Para tal efecto, se hace uso del catálogo sísmico y fuentes sismogénicas definidas por el Instituto Geofísico del Perú, las ecuaciones de atenuación definidas por Young et al (1997) y de Sadigh et al (1997), y el algoritmo CRISIS-2007 (Ordaz et al, 2007).

7.2. SISMICIDAD REGIONAL

Para conocer el potencial sísmico de la región sur del Perú se realiza el análisis espacial de la sismicidad instrumental e histórica a fin de identificar la existencia de fuentes sismogénicas generadoras de estos sismos. El análisis de la sismicidad se realiza a partir de data contenida en el catálogo sísmico proveniente del IGP.

7.3. ESTUDIOS GEOLÓGICOS Y GEOTÉCNICOS

Estos estudios consideran la recolección, en campo, de diferentes tipos de información geológica, geomorfológica, geodinámica y de zonas susceptibles a deslizamientos y/o peligros por inundación. Las técnicas de análisis son:

- **Técnica de Levantamiento Geológico y Geomorfológico.** Considera el desarrollo de trabajos de campo orientados a recopilar información sobre las características geológicas y geomorfológicas de carácter local (Figura 4), considerando bases de datos topográficos, de pendientes, drenajes, litología, uso de suelos y de áreas susceptibles a deslizamientos y/o producidas por inundación.
 - **Técnica de Análisis Geodinámico:** Considera la evaluación de los diversos procesos de intemperismo y meteorización que conducen a movimientos en masa, así como el inventario de los
-

mismos teniendo en cuenta parámetros intrínsecos como la litología, pendientes, geomorfología, cobertura vegetal y drenaje.



FIGURA 4. Imagen del terreno sobre el cual se ha realizado el trabajo geológico y geomorfológico en el Distrito de Sachaca

- **Técnica de Análisis Geotécnico:** Se establece la construcción de calicatas para la obtención de muestras de suelo a fin de realizar análisis como el granulométrico (Figura 5), límites de elasticidad, contenido de humedad y corte directo (capacidad portante). Las calicatas tuvieron dimensiones de 1.5 m x 1.5 m x 3.0 m, siendo este último valor el correspondiente a la profundidad máxima. Las muestras se obtuvieron de la capa más profunda y representativa del tipo de suelo en el sitio evaluado. Con la primera muestra de suelo obtenida se hicieron los análisis granulométricos, límites de elasticidad y contenido de humedad, y con ello se procedió a realizar la clasificación de los mismos haciendo uso del Código SUCS (Clasificación Unificada de Suelos) para el total de las muestras.

La clasificación SUCS fue propuesta por Arturo Casagrande y sus modificaciones fueron realizadas en el año 1942, siendo actualmente la más utilizada a nivel mundial para la clasificación de suelos desde un punto de vista geotécnico. La SUCS divide los suelos en:

- Suelos de grano grueso
- Suelos de grano fino
- Suelos orgánicos



FIGURA 5. Calicata construida por una retroexcavadora proporcionada por el Municipio del Distrito de Sachaca.

Los suelos de grano grueso y fino se distinguen mediante el tamizado del material por el tamiz No. 200. Los suelos gruesos corresponden a los retenidos en dicho tamiz y los finos a los que pasan, de esta forma se considera que un suelo es grueso si más del 50% de las partículas del mismo son retenidas en el tamiz No. 200 y fino si más del 50% de sus partículas son menores que dicho tamiz. Los suelos se designan por símbolos de grupo, los mismos que constan de un prefijo y un sufijo. Los prefijos son las iniciales de los nombres en inglés de los seis principales tipos de suelos (grava, arena, limo, arcilla, suelos orgánicos de grano fino y turbas); mientras que, los sufijos indican subdivisiones en dichos grupos:

G = Grava	C = Arcilla	L = Baja plasticidad
S = Arena	O = Limo o arcillas Orgánicas	W = Bien graduado
M = Limo	H = Alta plasticidad	P = Mal graduado

La segunda muestra fue utilizada para el análisis de corte directo que consiste en la aplicación de cargas diferenciadas hasta que la muestra falle, lo cual permite determinar la capacidad portante del suelo (capacidad admisible última). En caso de que la muestra de suelo sea una grava sin

contenido de arena, no es posible aplicar el ensayo de corte directo, sino el de densidad máxima, método que también permite estimar el valor de capacidad portante.

7.4. ESTUDIOS SÍSMICOS Y GEOFÍSICOS

Estos estudios consideran la recolección, en campo, de diferentes tipos de información utilizando instrumental sísmico para el registro de señales o para realizar arreglos sísmicos lineales, todos orientados a conocer el comportamiento dinámico del suelo y sus propiedades físicas. Las técnicas de análisis utilizadas son:



FIGURA 6. Equipo sísmico utilizado para el registro de vibraciones ambientales: sensores Lennartz (2N) y registrador CityShark

- **Técnica de H/V:** considera como hipótesis de base que las vibraciones ambientales o microtemores generadas por la actividad humana se deben principalmente a la excitación de las ondas tipo Rayleigh en las capas superficiales. El registro de esta información y su interpretación, permite conocer el periodo natural del suelo y el factor de amplificación, parámetros que definen el comportamiento dinámico del suelo ante la ocurrencia de eventos sísmicos. Estos resultados son correlacionados y complementados con los obtenidos de los estudios geológicos, geomorfológicos, geodinámicos y geotécnicos. Para los registros de vibración ambiental se utiliza un equipo sísmico compuesto por un registrador tipo CitySharp y sensores tipo Lennartz de tres componentes de registro (Figura 6).

En la Figura 7, se muestra la disposición del equipo sísmico al momento de la toma de datos, además de ejemplos de registros de vibración ambiental. El registro “A” fue tomado en una zona libre de ruidos de fondo. Contrariamente, la señal del registro “B” presenta alteraciones debidas a la presencia de ruidos de variada amplitud, que al momento de ser analizados, son filtrados a fin de no afectar a la información a utilizarse en este estudio. Con la información disponible, se procede de construir las razones espectrales H/V (registros de las componentes horizontales / registros en la componente vertical) a fin de identificar las frecuencias predominantes y amplificaciones relativas que caracterizan al tipo de suelo presente en el área de estudio (ver Figura 8), el mismo que está definido por las condiciones geológicas y geomorfológicas de las primeras decenas de metros de la superficie terrestre. Debe entenderse que, de acuerdo a la variación de las propiedades físicas del suelo, cualquier medio al ser afectado por algún tipo de onda de cuerpo o superficial, puede o no, causar su amplificación debido al efecto de las capas estratigráficas superficiales de diferente espesor, geometría y composición litológica.

Para aplicar la técnica H/V, se consideran los siguientes pasos:

- 1) Los registros de vibración ambiental fueron tratados por ventanas 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.
- 2) Se calcula la Transformada Rápida de Fourier para un número mayor a 10 ventanas de observación para cada punto.
- 3) 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. Luego se procedió a identificar la frecuencia predominante considerando, como condición, presentar una amplificación máxima relativa mayor a 2 veces.

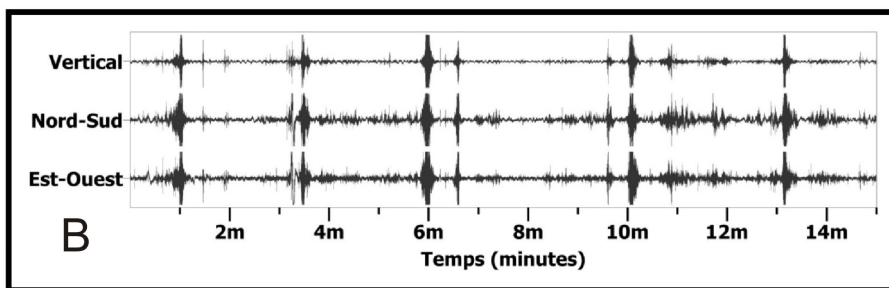
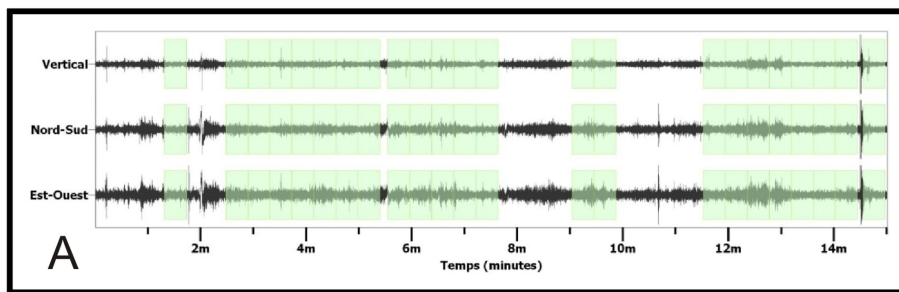


FIGURA 7. Imágenes de la disposición del equipo sísmico y ejemplos de registros de vibración ambiental obtenidos sobre una zona libre de ruido de fondo (registro A) y otro con ruido aleatorio de baja amplitud (registro B). Obsérvese las diferentes amplitudes registradas en cada punto.

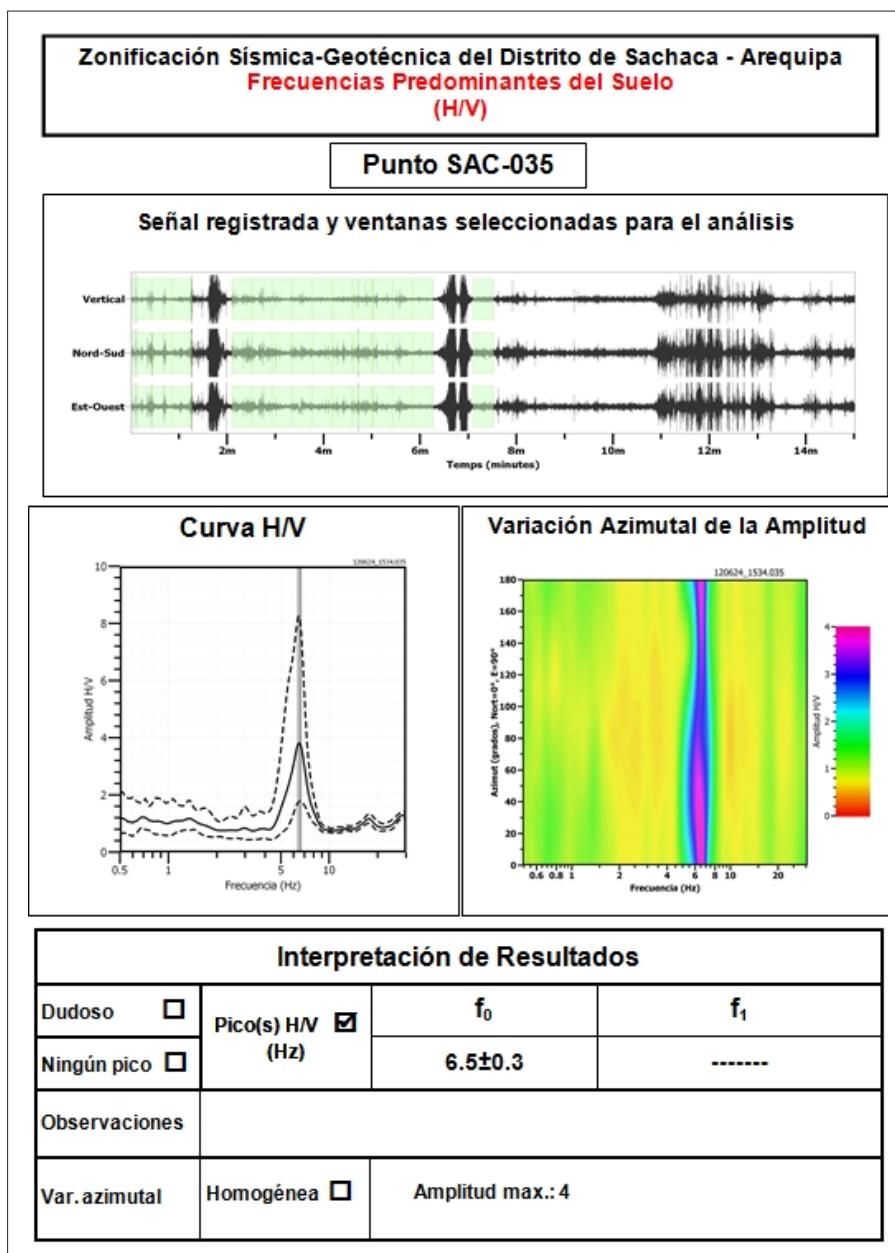


FIGURA 8. Ejemplo de selección de ventanas de registro de vibración ambiental (rectángulos de colores) en sus tres componentes y con sus respectivos gráficos de razones espectrales H/V. Así mismo, se muestra en escala de colores, la variación azimutal de la amplitud del registro. En la parte inferior el valor de la frecuencia predominante.

Para definir la frecuencia predominante se consideraron tres criterios (Lermo y Chávez-García -1994 a,b; Lachet y Bard, 1994): primero, debe estar presente en un rango de interés que fluctúa entre 0.5 a 30 Hz; segundo, debe presentar amplificaciones relativas de al menos 2 veces (se considera la amplitud de “1” como punto de referencia) y por último, se considera el pico/rango de frecuencias más representativos para cada punto de medida.

Finalmente, para la presentación de los resultados, las frecuencias son expresadas en periodos dominantes.



FIGURA 9. Imagen de la disposición del equipo de refracción sísmica para la toma de data en el Distrito de Sachaca

Técnica de Arreglos Lineales: Se hace uso de tendidos lineales de 24 sensores sísmicos a fin de registrar ondas de volumen y superficiales generados por fuentes artificiales (Figura 9). Con este procedimiento se pretende conocer la velocidad de las ondas de corte (ondas S) utilizando el método MASW; es decir, conocer los cambios de velocidades a lo largo de los diversos estratos existentes en el subsuelo.

La aplicación de esta técnica permite determinar las características físicas del subsuelo bajo un punto en forma indirecta, basándose en el cambio de las propiedades físicas de los materiales que la conforman, permitiendo de este modo, definir el perfil de velocidades de las ondas de corte (V_s) que caracteriza a dicha línea. La interpretación de la información recolectada proporciona una curva de dispersión (velocidad de fase de las ondas superficiales versus la frecuencia) para las ondas superficiales, ya que estas conservan hasta el 90% del valor de la velocidad de las ondas de corte (V_s). Luego mediante un procedimiento de cálculo iterativo inverso se obtiene el perfil de velocidad de las ondas de corte (V_s) para el punto medio de cada línea de estudio. La aplicación de un nuevo cálculo iterativo inverso, permite conocer el periodo predominante teórico correspondiente al perfil de velocidades, el cual es correlacionado con el obtenido con la técnica H/V a fin de validar ambos resultados.

8. ASPECTOS SISMOLÓGICOS

Durante el estudio de Zonificación Sísmica-Geotécnica del Distrito de Sachaca, se procedió a estimar el Peligro Sísmico desde el punto de vista probabilístico y a la vez, analizar la distribución espacial de la sismicidad en la región de Arequipa que pudiera afectar al área de estudio.

8.1. PELIGRO SÍSMICO

Esta metodología permite conocer, en términos de probabilidad, la severidad sísmica con la cual podría ser sacudida un área en un determinado lapso de tiempo. Este parámetro es expresado en términos de aceleración. Para tal efecto, se hace uso del catálogo sísmico y fuentes sismogénicas definidas por el Instituto Geofísico del Perú (Tavera et al, 2012), las ecuaciones de atenuación para fuentes de subducción definidas por Young et al (1997) y para fuentes continentales propuestas de Sadigh et al (1997). El algoritmo utilizado para el cálculo del peligro sísmico es el CRISIS-2007 (Ordáz et al, 2007).

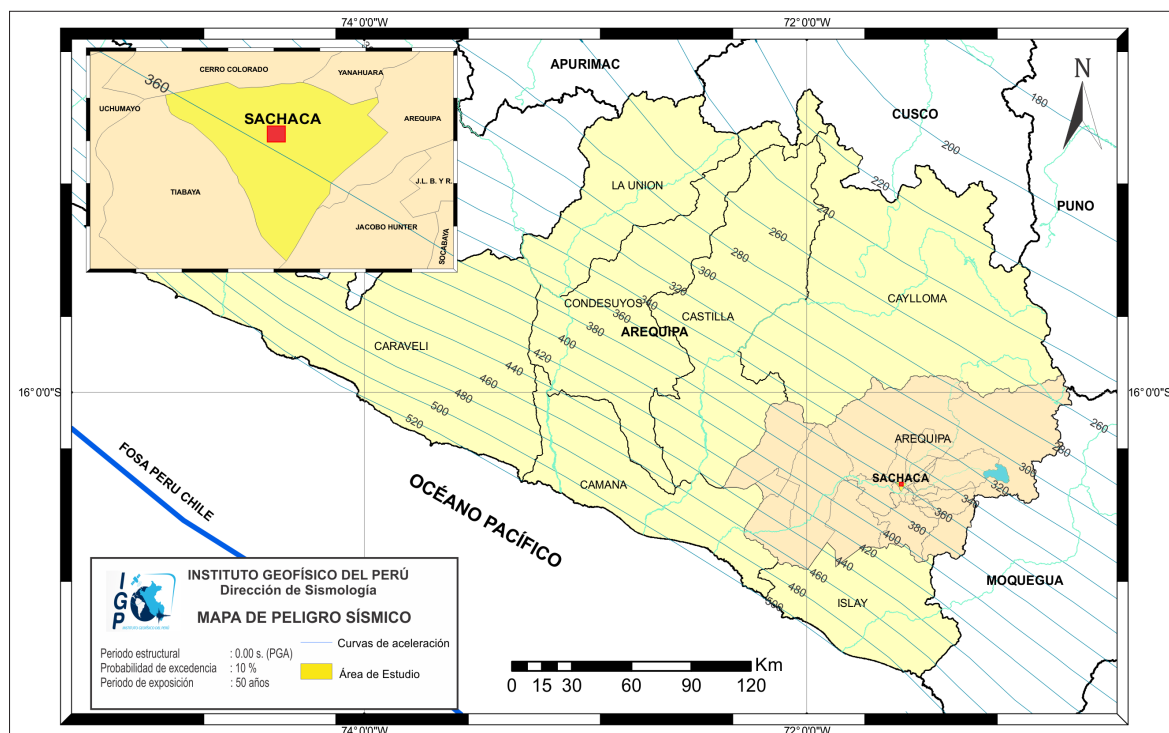


FIGURA 10. Peligro Sísmico para la región de estudio correspondiente a un periodo de retorno de 50 años con el 10% de excedencia.

Para el Distrito de Sachaca se obtiene, para un periodo de retorno de 50 años con el 10% de excedencia, valores de aceleración del orden de 360 gals (Figura 10), equivalentes a intensidades del orden de VI-VII (MM); es decir, suficientes como para producir posibles daños estructurales, deslizamientos en zonas de pendientes altas y procesos de licuación de suelos en zonas inestables.

8.2. SISMICIDAD REGIONAL

La región sur del Perú se caracteriza por ser una de las de mayor índice de ocurrencia de sismos de variada magnitud a diversos niveles de profundidad, así como la mayor cantidad de energía liberada, la misma que se debe principalmente al proceso de convergencia y subducción entre las placas de Nazca y Sudamericana, proceso que se desarrolla frente a la línea de costa hasta una distancia del orden de 200 km mar adentro (Figura 11). Los sismos de foco superficial ($h < 60$ km) se distribuyen frente a la costa y muchas veces han alcanzado magnitudes del orden de 8.0 Mw (magnitud momento), tal como ocurrió con el sismo del 23 de junio de 2001. Otros sismos de menor magnitud ocurrieron en el interior del continente y básicamente, a lo largo de todo el sistema de fallas presentes en el cañón del Colca (fallas de Huambo-Cabanaconde, Huanca e Ichupampa). Sismos de foco intermedio ($61 < h < 350$ km) presentan sus epicentros, en mayor número, en el interior del continente, mostrando coherencia con la presencia de la cadena volcánica. En general, estos eventos no son percibidos en superficie; por lo tanto, no causan efectos secundarios.

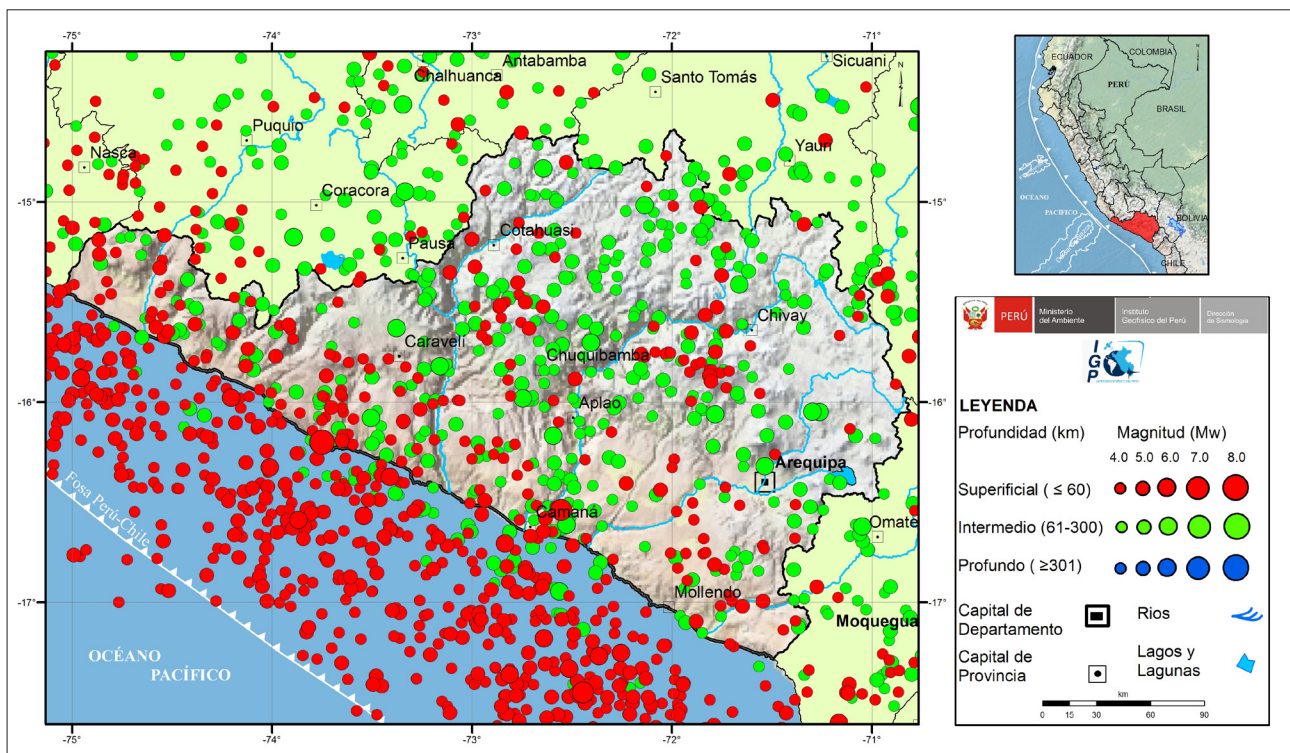


FIGURA 11. Distribución espacial de la sismicidad en la región sur del Perú, para el periodo 1960 a 2013 ($M_w > 4.0$)

Por otro lado, históricamente la región sur del Perú ha sido afectada por un gran número de sismos de intensidad alta, siendo los más importantes los ocurridos en 1604 y 1868, ambos con magnitudes próximas a 8.5 Mw e intensidades del orden de IX-X en la escala de Mercalli Modificada. Otros eventos importantes, son los ocurridos en 1582, 1913 y 1958, este último con epicentro en continente y produjo daños principalmente en la ciudad de Arequipa y alrededores. En el mapa de la Figura 12, se puede observar la ubicación geográfica de los epicentros de sismos históricos que afectaron a la ciudad de Arequipa y por ende, al Distrito de Sachaca.

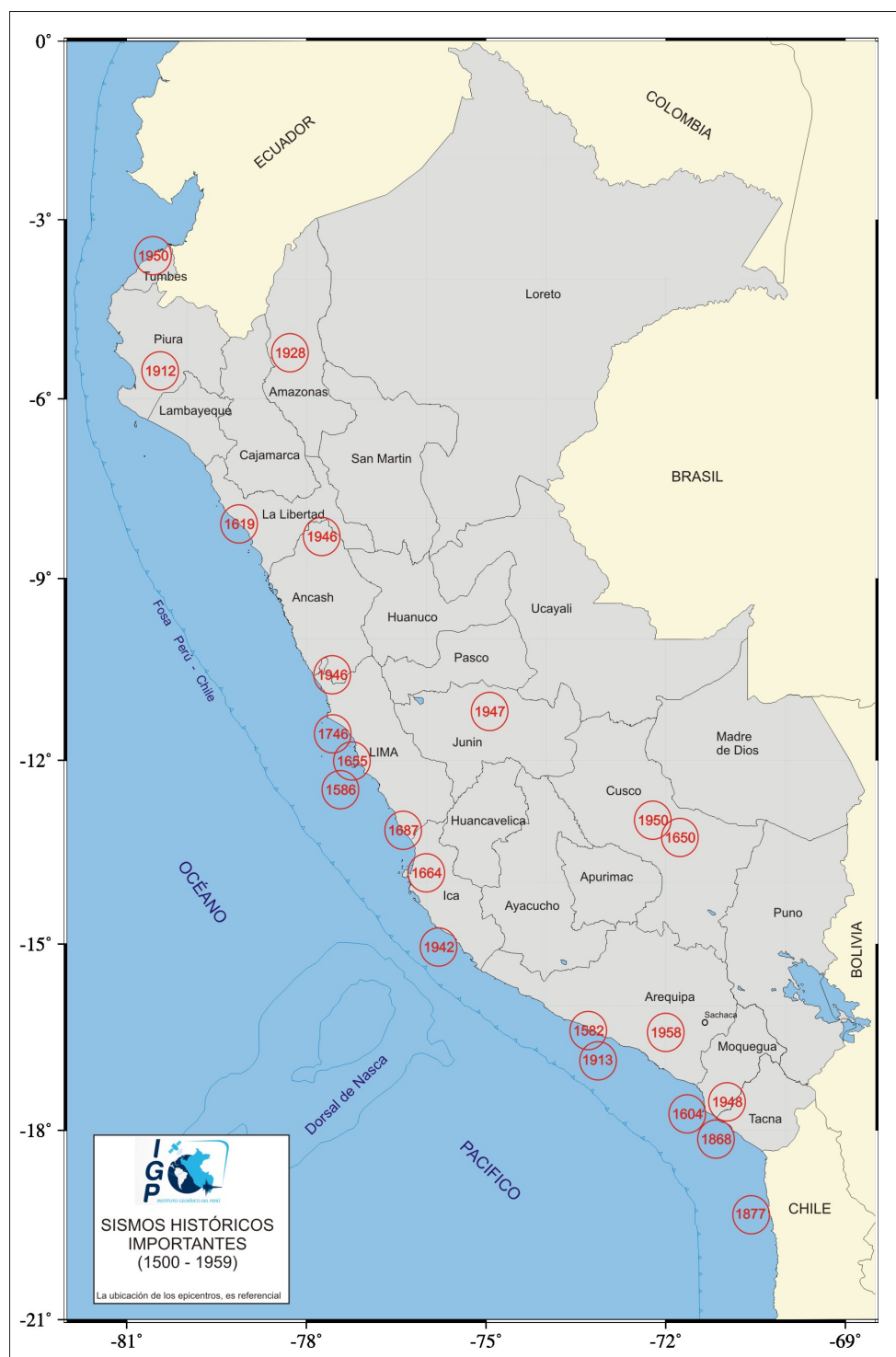


FIGURA 12. Distribución espacial de los epicentros aproximados correspondientes a sismos históricos ocurrido en el Perú. Todos ellos con epicentros en la región del sur del Perú, afectaron a la ciudad de Arequipa.

9. ZONIFICACIÓN SÍSMICA-GEOTÉCNICA

El Distrito de Sachaca se encuentra ubicado en la Provincia y Departamento de Arequipa; por lo tanto, es frecuentemente afectado por sismos de variada intensidad, todos con epicentros frente a la línea costa y con origen en el proceso de convergencia de placas. En los últimos 20 años, el distrito ha tenido un fuerte crecimiento poblacional, lo que permitió se realizara una expansión urbana no planificada que considera el asentamiento de viviendas al pie de algunos cerros y en la cercanía de la cuenca del río Chili (Figura 13), incrementando de este modo su riesgo ante la posible ocurrencia de peligros naturales como los sismos, flujos de detríticos y crecidas del río.



FIGURA 13. Diferentes tipos de viviendas presentes en la variada morfología del Distrito de Sachaca.

9.1. GEOLOGÍA, GEOMORFOLOGÍA Y GEODINÁMICA

Para los estudios geológicos, geomorfológicos, geodinámicos y geotécnicos, se ha hecho uso de la base topográfica digital a escala 1/5,000 adquiridos del Instituto Geográfico Nacional (IGN). Del mismo modo, para las coberturas temáticas se ha hecho uso de fotografías aéreas de la zona a escala 1/15,000. Toda la información fue georeferenciada en el Sistema de Información Geográfica (SIG) e integrada a la información topográfica de un Modelo Digital de Terreno (MDT). Del mismo modo, se ha recopilado información de fuentes como INGEMMET, Municipalidad de Sachaca y otros publicados por fuentes privadas. Finalmente, se realizó un detallado trabajo de campo y cuya información permitió correlacionar y lograr mejor resolución en los datos georeferenciados.

- **Aspectos Geológicos:** La geología de Arequipa expone diferentes unidades litológicas cuya naturaleza son: ígneas, sedimentarias y metamórficas, con edades que datan desde el Precambriano hasta el Cuaternario reciente (Vargas, 1970). El área de estudio (Distrito de Sachaca) se asienta sobre unidades de tipo volcánico intrusivo y sedimentos de edad reciente, cuyas características se describen a continuación (Figura 14):
- **Rocas ígnea - intrusivas:** En la zona de colinas, se reconocieron afloramientos de roca ígnea intrusiva del tipo granodiorita que se presentan con una morfología suave y como parte de colinas altas moderadamente empinadas (25° a 45°) y medianamente meteorizadas
- **Volcánico Sencca:** Debe mencionarse que existe dos tipos de volcánico Sencca, el primero aflora en el cañón del río Chili, muy compacto, comúnmente identificado como sillar, y el segundo denominado como volcánico Sencca salmón, que se encuentra en la margen occidental del río Chili, cerca de la zona de Pampa de Camarones (parte del Distrito de Sachaca). Esta unidad es de composición arena limosa de color salmón, de ahí el derivado del nombre, con clastos subredondeados y menos compacto que el primero.
- **Depósitos inconsolidados:** Comprenden los materiales no consolidados, producto de la meteorización y erosión de los terrenos preexistentes y posterior deposición. Estas unidades se caracterizan por presentar una morfología plana y/o levemente inclinada, siendo las principales, las siguientes:
- **Aluviales:** se encuentran ocupando la ladera del río Chili (margen derecha) y están formados por gravas de grandes dimensiones, todas de forma angulosas a sub angulosas con una matriz areno limosa o areno arcillosa como parte de una llanura aluvial. Estas unidades son depósitos de materiales provenientes del río cuando aumenta su caudal.
- **Eluviales:** conformado por material areno-limoso de coloración beige claro a oscuro y marrón, cuyo origen es residual y por lo general, abarca los terrenos de cultivo. Este material se encuentra sobre la penillanura de Sachaca.
- **Eólicos:** conformado por capas de arenas y cenizas, están presentes formando mantos delgados de manera dispersa sobre las laderas de las colinas presentes en el distrito.
- **Aspectos Geomorfológicos:** Regionalmente, en la ciudad de Arequipa se reconoce la presencia de cuatro unidades geomorfológicas: la cordillera occidental, la cordillera volcánica, el altiplano y la llanura costanera, siendo sus principales características, las siguientes (Figura 15):



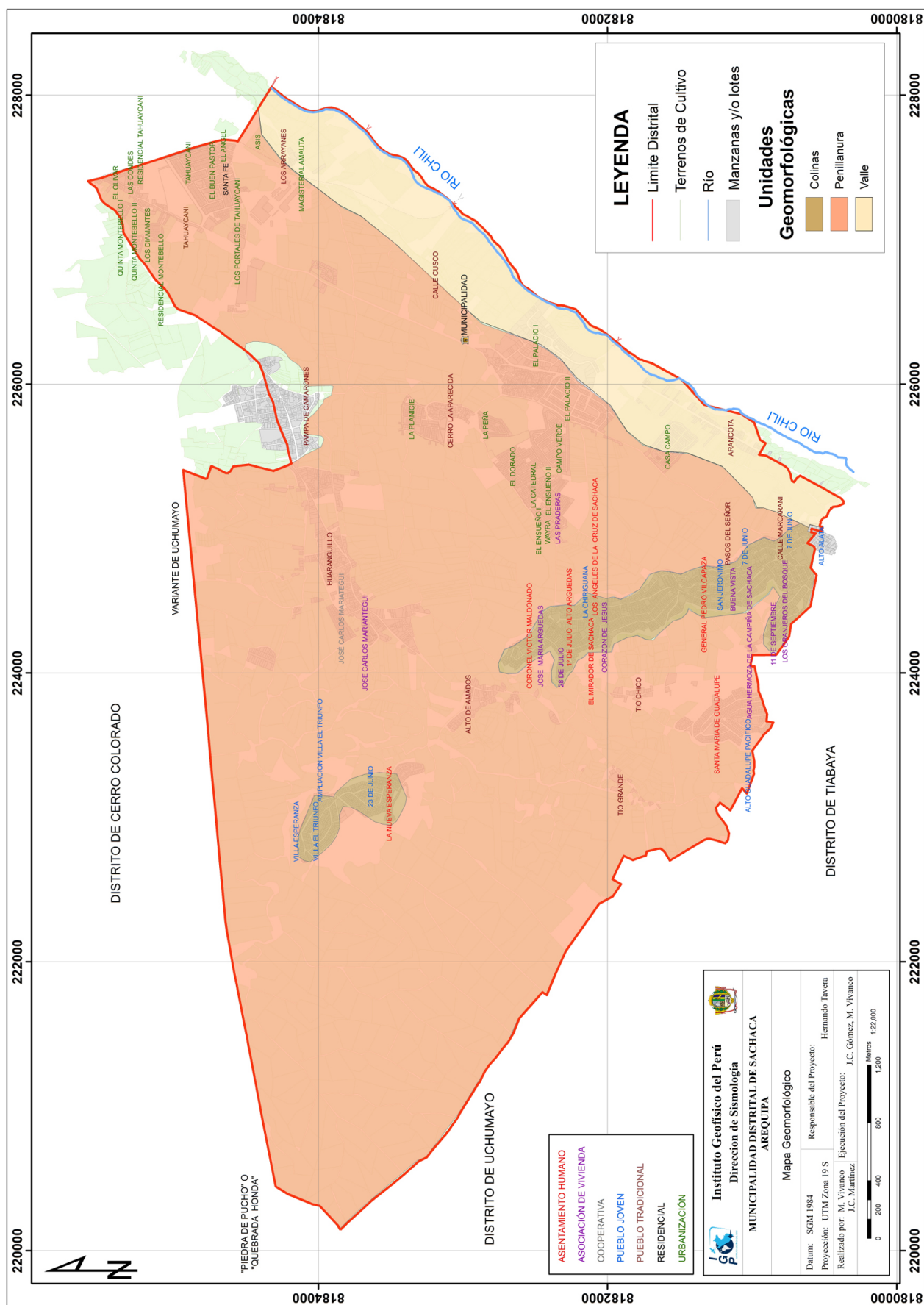


FIGURA 15. Mapa geomorfológico para el Distrito de Sachaca, Arequipa

- **La Penillanura:** Abarca la mayor superficie del Distrito de Sachaca (80% del área) y está conformada por sedimentos sub horizontales constituidos por arcillas, limos, arenas y arenas gravosas. En su mayoría corresponden a terrenos llanos a suavemente ondulados, con una ligera inclinación en dirección oeste (Figura 16).
- **Valle Fluvial (cauce del río Chili):** Presenta una morfología sub horizontal, con un ancho variable de 25 a 50 m (basado en las secciones topográficas). La unidad es alimentada por precipitaciones pluviales variables a lo largo del año y sus principales componentes litológicos son los materiales que arrastra desde su nacimiento y los que se van incorporando en su recorrido, encontrándose arenas, limos, arcillas y gravas de diferentes diámetros (Figura 17).
- **Cerros y Laderas:** La periferia del distrito presenta zonas elevadas pero con una topografía suave y ondulada. Las laderas presentan pendientes moderadas (25° a 45°) y gran parte de estas, se encuentran pobladas. En estas superficies, el suelo se encuentra cubierto por material de origen eólico (arenas sueltas) y mantos de cenizas; mientras que, el substrato rocoso lo conforman rocas intrusivas de tipo granodiorita (Figura 18).



FIGURA 16. Penillanura en el Distrito de Sachaca, la mayor parte está cubierta por parcelas agrícolas.



FIGURA 17. Valle del río Chili, con presencia de vegetación que recubren las terrazas.



FIGURA 18. Zonas de cerros presentes en el Distrito de Sachaca, todos con gran densidad poblacional.

- **Aspectos Geodinámicos:** Los procesos de geodinámica superficial dan lugar a diversas formas que están sometidas a procesos de intemperismo y meteorización que conducen a la ocurrencia de movimientos en masa. Estos movimientos están relacionados a los siguientes parámetros intrínsecos (Santacana, 2001): litología, pendientes, geomorfología, cobertura vegetal y drenaje; y como agentes detonantes intervienen las precipitaciones, los sismos y la actividad antrópica que afectan la infraestructura establecida en la zona; es decir, la diversidad de viviendas. En el área de estudio, no ha sido posible inventariar movimientos en masa activos, pues solo se han reconocido la existencia de materiales inestables en algunas laderas formadas como consecuencia del desarrollo de actividades antrópicas, tal como se muestra en las Figuras 19 y 20.



FIGURA 19

Obsérvese la caída de rocas en la ladera de una colina perteneciente al P.J. Villa El Triunfo (inclinación de 29°). En el caso de un sismo de gran magnitud, los bloques de roca pueden caer cuesta abajo afectando a las viviendas ubicadas en la parte media y baja de la ladera.



FIGURA 20
En la línea de color rojo se muestra la zona que favorece a caída de rocas y corresponde a la parte alta del P.J. 23 de Junio. El escenario es el resultado del desarrollo de actividades antrópicas.

9.2. GEOTECNIA

Los estudios geotécnicos tienen por finalidad analizar y cuantificar las características físicas de los suelos, siendo su comportamiento geotécnico relevante al momento de utilizarlo como elemento de medida para el soporte de una estructura determinada (cimentaciones). Para el estudio de los suelos en el Distrito de Sachaca se construyeron 15 calicatas (Figura 21, Tabla 3) distribuidas de tal modo que cubran toda el área de estudio. El análisis de laboratorio permitió clasificar los suelos utilizando el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), así como conocer su capacidad portante. En la Figura 22 se muestra el mapa de clasificación SUCS, siendo posible identificar la existencia de hasta 3 tipos de suelos cuyas características se describen a continuación (Tabla 4):

TABLA. 3
Coordenadas UTM de las 15 (quince) calicatas construidas en el Distrito de Sachaca, Arequipa

CALICATAS	NORTE(m)	ESTE(m)	ELEVACION
S-01	8182963	226416	2252
S-02	8185099	227245	2240
S-03	8183933	227698	2273
S-04	8184017	223926	2295
S-05	8183284	222669	2259
S-06	8182984	223783	2251
S-07	8181329	223872	2213
S-08	8181769	226027	2268
S-09	8183136	225655	2256
S-10	8183395	226395	2289
S-11	8183721	225610	2297
S-12	8183706	224534	2285
S-13	8181212	223967	2226
S-14	8180507	225296	2205
S-15	8182380	225277	2251

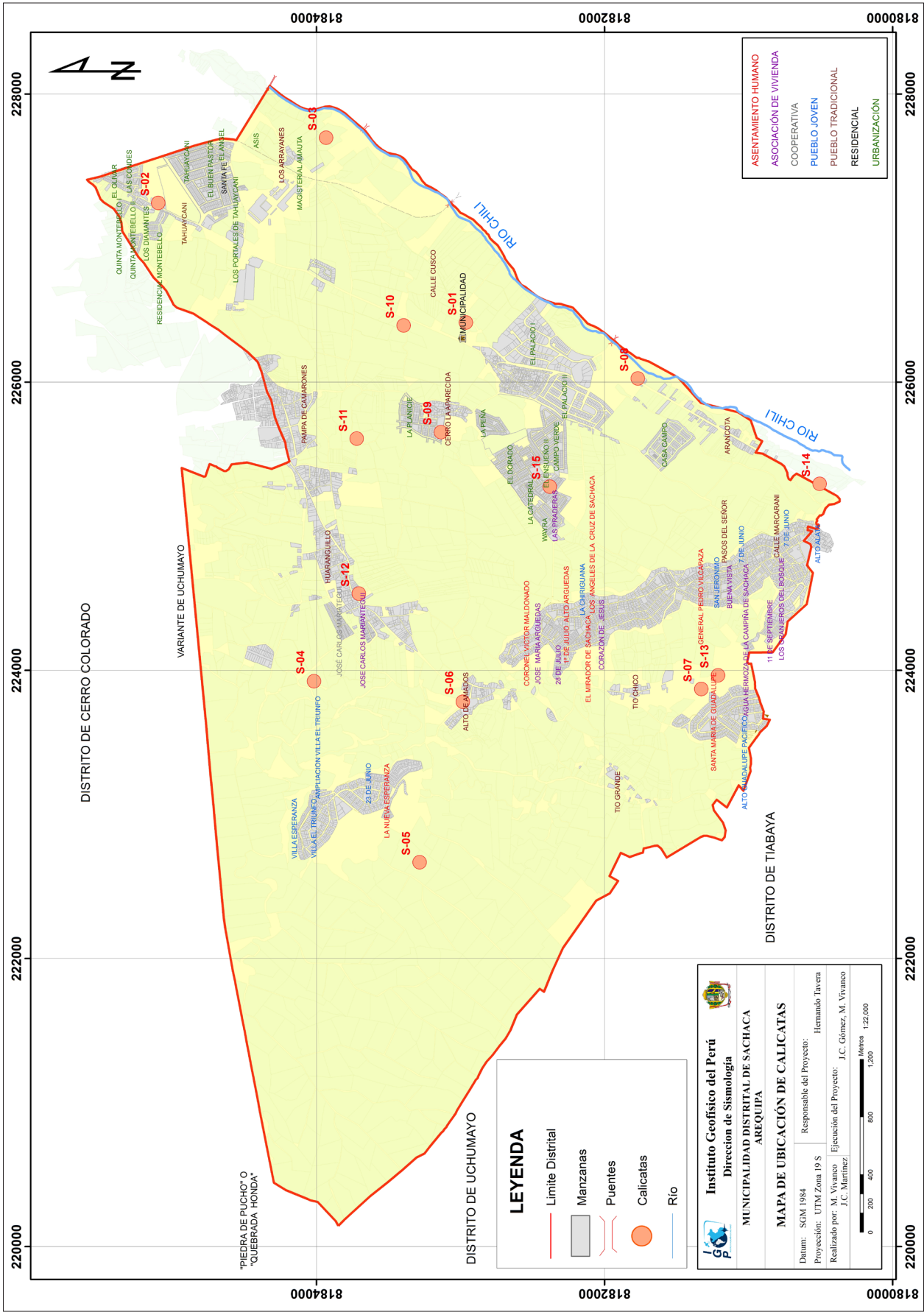
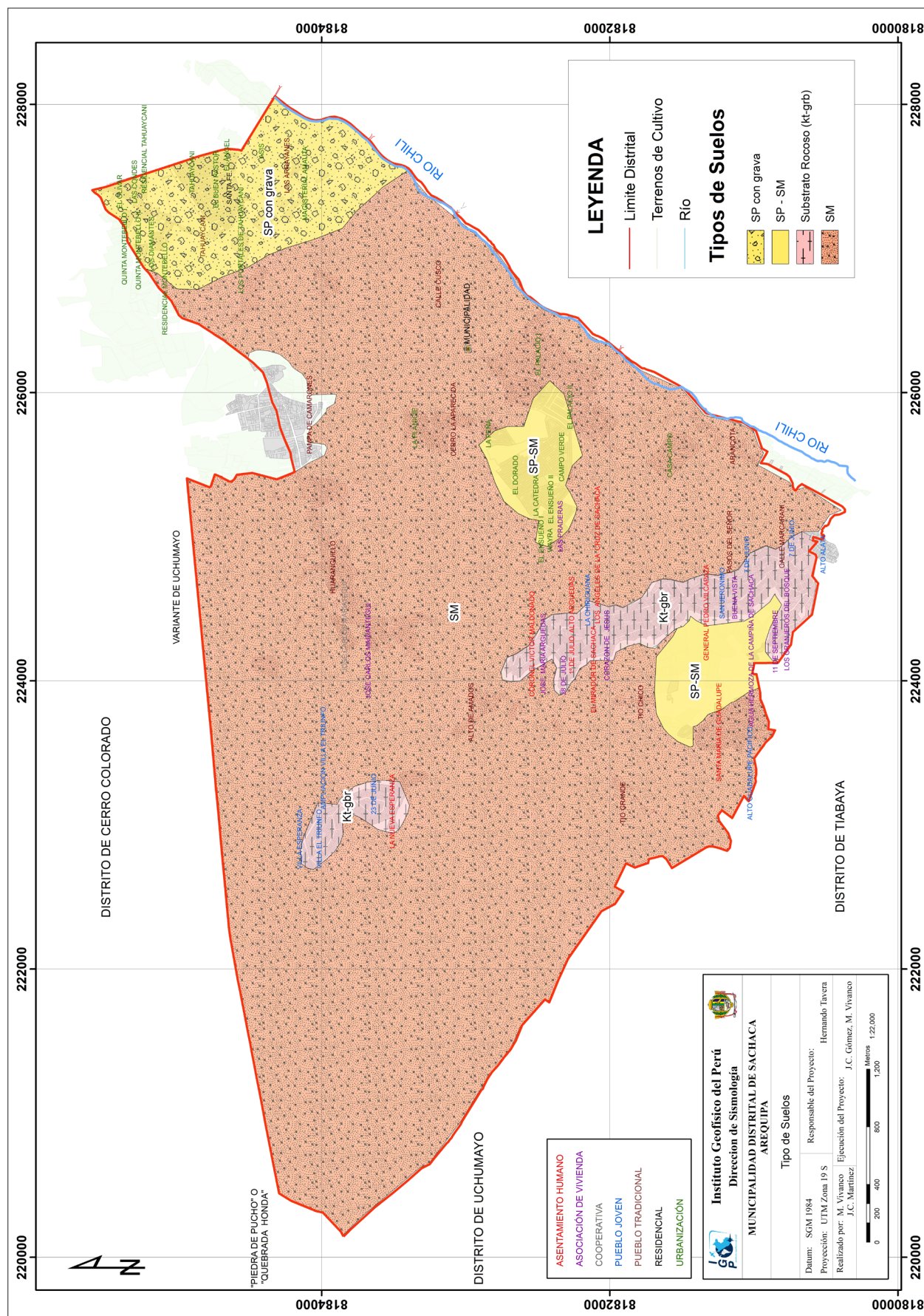


FIGURA 21. Distribución espacial de las 15 (quince) calicatas construidas en el distrito de Sachaca, Arequipa



- **Suelos tipo SM**, corresponden a suelos compuestos por arenas limosas que se encuentran presentes en el 74% del área total (identificados en 11 calicatas) y abarcando a los A.H. Nueva Esperanza, Coronel Victor Maldonado, 1 de Julio, José María Arguedas, El Mirador de Sachaca, Los Angeles de la Cruz de Sachaca y Santa María de Guadalupe. Del mismo modo, los P. T. Tío Grande, Tío Chico, Huaranguillo, Cerro La Aparecida, Pasos del Señor, Arancota, Calle Marcarani, Calle Cusco y Pampa Camarones. También los P.J. Villa el Triunfo, Villa Esperanza y Alto Guadalupe Pacífico; además, de las Asociaciones de Vivienda José Carlos Mariátegui, José María Arguedas, 28 de Julio, Corazón de Jesús y Las Praderas. Asimismo, este tipo de suelo está presente en Coop. Jose Carlos Mariátegui y en las Urbanizaciones El Ensueño I, El Palacio, Casa Campo, La Planicie y los Portales de Tahuaycani. En este tipo de suelo, el porcentaje de humedad varía entre 5.3% y 34.3%, y en general, no presentan plasticidad.

TABLA 4
Clasificación de suelos SUCS para el Distrito de Sachaca

Calicata	Profundidad (m)	Uniformidad	Curvatura	Límite plástico (%)	Límite líquido (%)	Contenido de Humedad (%)	Grava (> 4.76 mm)	Arena (> 0.74 mm < 4.76 mm)	Finos (< 0.07 mm)	Clasificación SUCS	Denominación
S-01	2,70			NP	NT	10,66	7,0	76,0	17,0	SM	Arena limosa
S-02	3,40	19,97	0,5	NP	NT	7,17	31,0	65,0	4,0	SP con grava	Arena pobremente gradada
S-03	2,90	14,93	0,42	NP	NT	8,98	33,0	66,0	1,0	SP con grava	Arena pobremente gradada
S-04	2,50	-	-	NP	NT	7,11	0,0	5,3	47,0	SM	Arena limosa
S-05	2,50	-	-	NP	NT	5,63	0,0	65,0	35,0	SM	Arena limosa
S-06	2,80	-	-	NP	NT	12,88	0,0	61,0	39,0	SM	Arena limosa
S-07	2,90	-	-	NP	NT	22,93	1,0	61,0	38,0	SM	Arena limosa
S-08	2,80	-	-	NP	NT	5,26	4,0	71,0	25,0	SM	Arena limosa
S-09	3,00	-	-	NP	NT	8,52	2,0	80,0	18,0	SM	Arena limosa
S-10	2,70	-	-	NP	NT	15,92	0,0	71,0	29,0	SM	Arena limosa
S-11	2,80	-	-	NP	NT	21,95	5,0	59,0	36,0	SM	Arena limosa
S-12	2,50	-	-	NP	NT	34,30	0,0	66,0	34,0	SM	Arena limosa
S-13	3,00	3,23	1,47	NP	NT	8,06	0,0	91,0	9,0	SP-SM	Arena pobremente gradada - Arena limosa
S-14	2,00	-	-	NP	NT	22,41	8,0	71,0	21,0	SM	Arena limosa
S-15	3,30	7,72	0,93	NP	NT	5,91	5,0	86,0	9,0	SP-SM	Arena pobremente gradada - Arena limosa

- **Suelos tipo SP**, corresponden a suelos constituidos por arena pobremente gradada, pero con partículas de tamaño uniforme. Este suelo es característico en un 13% del área de estudio y considera a las Urbanizaciones Quinta Montebello I, Quinta Montebello II, El Olivar, Las Condes, Los Diamantes, Tahuaycani, El Buen Pastor, El Angel, Santa Fe, Asís, Magisterial Amauta, y el P.T. Los Arrayanes. El porcentaje de humedad que presentan es de 7.17% y 8.98%, y no presentan plasticidad.
- **Suelos tipo SP-SM**: corresponden a suelos conformados por arena pobremente gradada y arena limosa, presentes en un 13 % del área de estudio. Estos suelos están presentes en las urba-

nizaciones La Peña, El Dorado, La Catedral, Wayra, Campo Verde, El Ensueño II y el Palacio II. Estos suelos presentan humedad entre 8.06% y 6.91%.

Por otro lado y de acuerdo a la Figura 14, todos los P.J. que se encuentran sobre los cerros presentan suelos rocosos conformados por granodioritas.

Finalmente, en base a los ensayos de corte directo aplicado a las muestras de suelos de las quince (15) calicatas, se ha calculado la capacidad portante, llamada también capacidad última de carga del suelo de cimentación. Es decir, es la carga que puede soportar un suelo sin que su estabilidad sea amenazada, siendo los valores obtenidos para una profundidad y ancho mínimo de cimentación de 1m.

Para el Distrito de Sachaca, la capacidad portante de los suelos se presenta en la Figura 23 y en la Tabla 5 los valores obtenidos para cada calicata. En general, los valores definen suelos con alta, media y baja resistencia al corte, distribuidos de la siguiente manera: los suelos con capacidad portante alta se encuentran en las Urbanizaciones Asis y Magisterial Amauta; además, del P. T. Los Arrayanes. Suelos con capacidad portante media se encuentran en las urbanizaciones Quinta Montebello I, Quinta Montebello II, El Olivar, Las Condes, Los Diamantes, Tahuaycani, El Buen Pastor, El Angel, Santa Fe, Los Portales de Tahuaycani y Residencial Montebello. En el resto del área de estudio, los suelos presentan capacidad portante baja.

El detalle de los resultados obtenidos en el análisis geotécnico se presenta en el Anexo 1.

TABLA 5
Valores de capacidad portante para cada calicata construida en el Distrito de Sachaca y rangos de capacidad de carga admisible

CALICATAS	Angulo de Fricción interna del Suelo (°)	Cohesión Aparente del Suelo (Kg/cm²)	Densidad seca Promedio (gr/cm³) (< N° 4)	Humedad Natural (%)	Capacidad Carga Admisible (Kg/cm²)
S-01	27.07	0.05	1.66	10.66	1.78 kg/cm²
S-02	-	-	-	-	3.98 kg/cm²
S-03	-	-	-	-	6.50 kg/cm²
S-04	24.43	0.05	1.59	7.11	1.32 kg/cm²
S-05	26.39	0.10	1.60	5.63	2.23 kg/cm²
S-06	24.94	0.04	1.51	12.88	1.24 kg/cm²
S-07	24.07	0.05	1.52	22.93	1.27 kg/cm²
S-08	28.94	0.02	1.67	5.26	1.76 kg/cm²
S-09	24.40	0.03	1.67	8.52	1.11 kg/cm²
S-10	25.46	0.06	1.61	15.92	1.68 kg/cm²
S-11	25.82	0.09	1.59	21.95	1.98 kg/cm²
S-12	23.89	0.04	1.58	34.30	1.31 kg/cm²
S-13	25.84	0.03	1.63	8.06	1.32 kg/cm²
S-14	25.81	0.04	1.69	22.41	1.46 kg/cm²
S-15	28.84	0.02	1.61	6.91	1.44 kg/cm²

Capacidad Carga Admisible (Kg/cm²)	DENOMINACIÓN
5.0 - 7.0	ALTA
3.0 - 5.0	MEDIA
1.0 - 3.0	BAJA

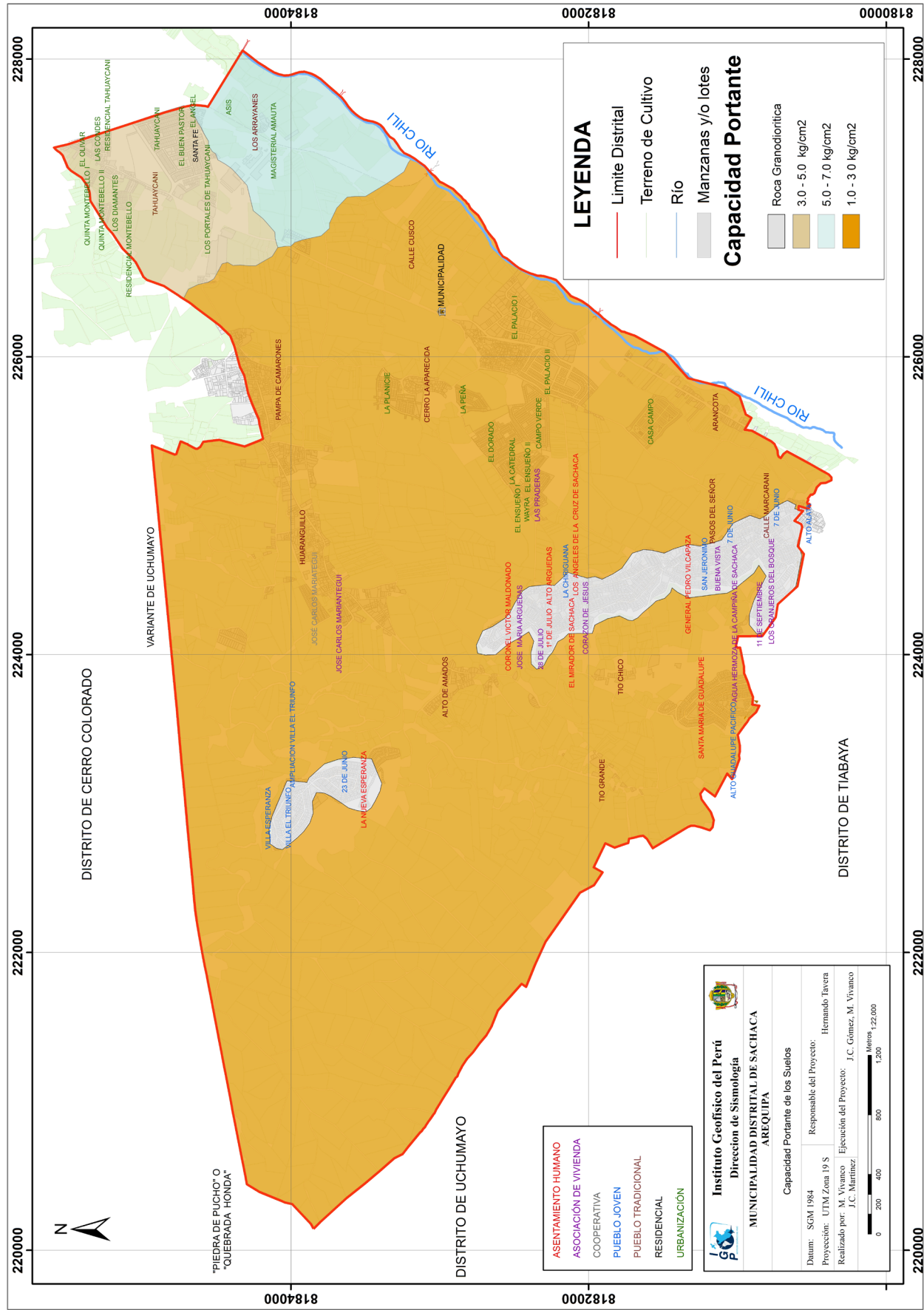


FIGURA 23. Mapa de capacidad portante para el Distrito de Sachaca, Arequipa

9.3. CUANTIFICACIÓN DE EVENTOS EXTREMOS

Para la cuantificación de eventos extremos presente en el Distrito de Sachaca, se ha considerado la estabilidad de taludes y el peligro de inundaciones debidas a crecidas del río Chili, siendo sus características principales las siguientes:

9.3.1. Estabilidad de Taludes

En el Distrito de Sachaca se ha identificado la presencia de 27 zonas de laderas con posibles índices de inestabilidad de taludes, todas en los cerros ubicados dentro del mismo distrito (Figura 24).

Estos cerros presentan material de cobertura de origen coluvial con no más de 90 cm de espesor en su parte central y de 40 cm en sus extremos; mientras que, en las cumbres la cobertura es escasa debido a los procesos de erosión que los afecta.

Estos cerros están distribuidos en los P. J. Villa Esperanza, Villa El Triunfo, Ampliación Villa El Triunfo, 23 de Junio, La Chiriguana, Alto Guadalupe Pacífico, 7 de Junio y San Jerónimo. También en los A. H. La Nueva Esperanza, Coronel Victor Maldonado, 1 de Julio, Alto Arguedas, Mirador de Sachaca, y General Pedro Vilcapaza. Del mismo modo en las Asociaciones de Vivienda Corazón de Jesús, Buena Vista, José María Arguedas, 28 de Julio; además, del P. T. Pasos del Señor, todos densamente poblados (Figuras 25 y 26).

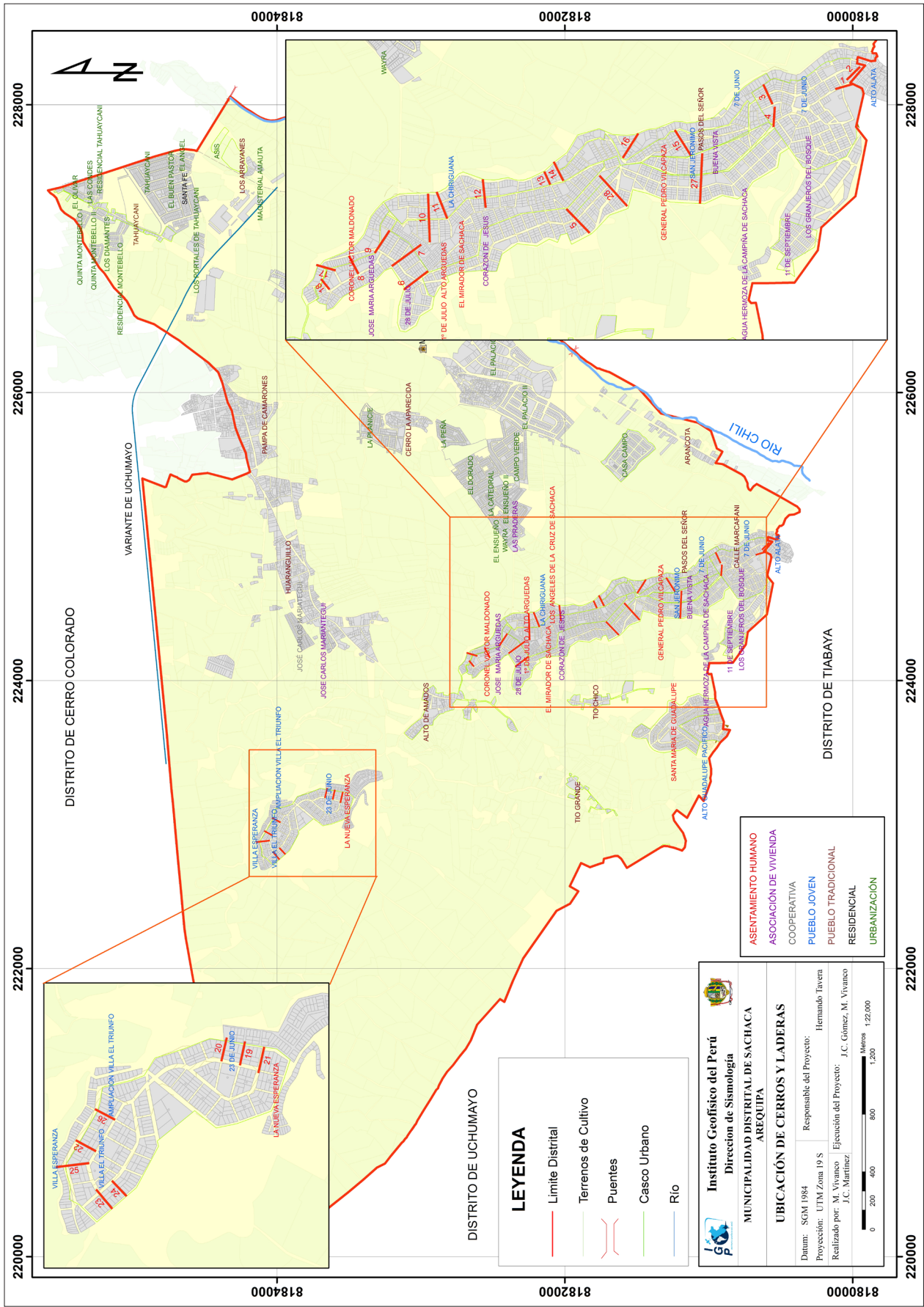


FIGURA 24. Distribución espacial de laderas en los cerros existentes en el Distrito de Sachaca (líneas color rojo). Los números corresponden a la codificación asignada en este estudio (L01, ..., L27)



FIGURA 25. Viviendas asentadas sobre las laderas del cerro “Arguedas”. Se observa la presencia de caminos de herradura sobre la cima. El rango de pendiente en la zona es de 25° a 40° .



FIGURA 26 Viviendas asentadas sobre la ladera del cerro donde se ubican las Asoc. 28 de Julio y José Maria Arguedas. Obsérvese que el cerro está cubierto por viviendas y de ocurrir un movimiento en masa, estas serían afectadas

Por otro lado, se ha observado que las 27 laderas identificadas en este estudio presentan, en promedio, pendientes de 25° a 40° , y tal como se indicó, sus superficies están compuestas por un substrato rocoso de granodiorita y una cobertura de material coluvial de variado espesor. Considerando estas características y las propiedades geotécnicas de dichos materiales (Tabla 6), se procede a realizar el análisis de estabilidad de taludes haciendo uso del software SLIDE.

TABLA 6

Propiedades geotécnicas de las unidades geológicas presentes en los cerros del Distrito de Sachaca (Ocola, 2005)

Tipo de material	Tipo de resistencia	Peso unitario (KN/m ³)	Cohesión (KPa)	Angulo de fricción (°)	Nivel freático
Coluvial	Mohr-Coulomb	26-28	15-20	35	N.P
Roca	Mohr-Coulomb	18	0-0.30	27	N.P

El software SLIDE tiene como función principal, realizar el análisis de estabilidad de taludes, llegando a proporcionar un “factor de seguridad” para cada una de las zonas evaluadas en campo (Tabla 7). Para las laderas de todos los cerros presentes en el Distrito de Sachaca se aplica las condiciones de un modelo estático y de otro pseudo estático. El modelo estático se aplica al talud cuando este se encuentra en estado de equilibrio-limite y sin tener en cuenta las deformaciones del terreno; mientras que, para el modelo pseudo-estático se le añade un coeficiente sísmico, cuya magnitud debe simular la naturaleza de la intensidad o aceleración del suelo producido por el sismo. En general, se asume que este coeficiente es igual a $1/3$ o $1/2$ de la máxima aceleración pico esperada para un evento sísmico característico y para ello, se requiere de estudios de peligro sísmico o del registro de aceleraciones en tiempo-historia. En el caso de Arequipa, el sismo del año 2001 alcanzo picos de aceleración del orden de $0.40g$; por lo tanto, el coeficiente sísmico aplicado para el modelo pseudo estático será $1/2$ de la aceleración máxima; es decir, $0.20g$. El análisis de la información se realiza utilizando el método de Bishop, que en este momento es el de mayor uso para el cálculo de factores de seguridad en taludes.

TABLA 7

Rango de factor de seguridad en taludes (Sowers y Sowers, 1970)

FACTOR DE SEGURIDAD	SIGNIFICADO
< 1	Inseguro
1.00-1.20	Seguridad cuestionable
1.30-1.40	Satisfactorio para cortar y terraplenes, cuestionable para presas
>1.50	Seguro para presas

Por ejemplo, para la ladera L18 ubicada en el cerro en donde se encuentra el A. H. Coronel Victor Maldonado se obtiene con el modelo estático, un factor de seguridad de 2.748 (Figura 27), lo cual indica que dicha unidad se encuentra en equilibrio. Para el modelo pseudo-estático, considerando un coeficiente de carga sísmica de $0.2 g$, se obtiene como resultado un factor de seguridad de 2.151; es decir, la unidad sigue siendo estable (Figura 28).

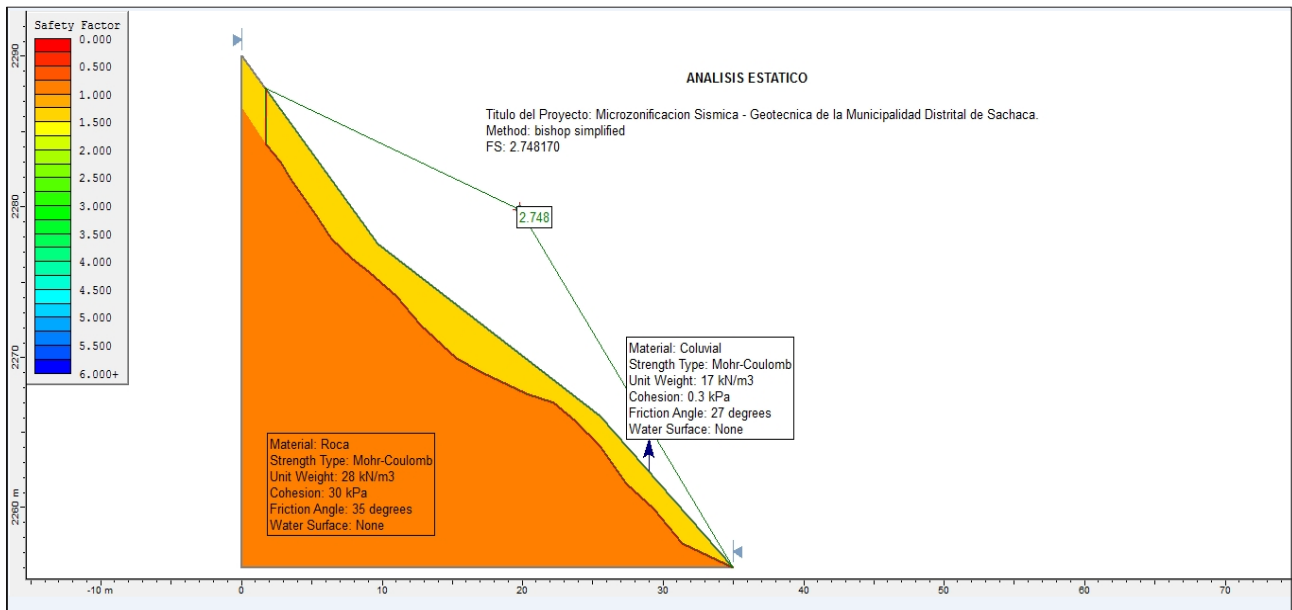


FIGURA 27. Factor de seguridad para la ladera L18 del cerro ubicado en el A. H. Coronel Victor Maldonado considerando un modelo estático.

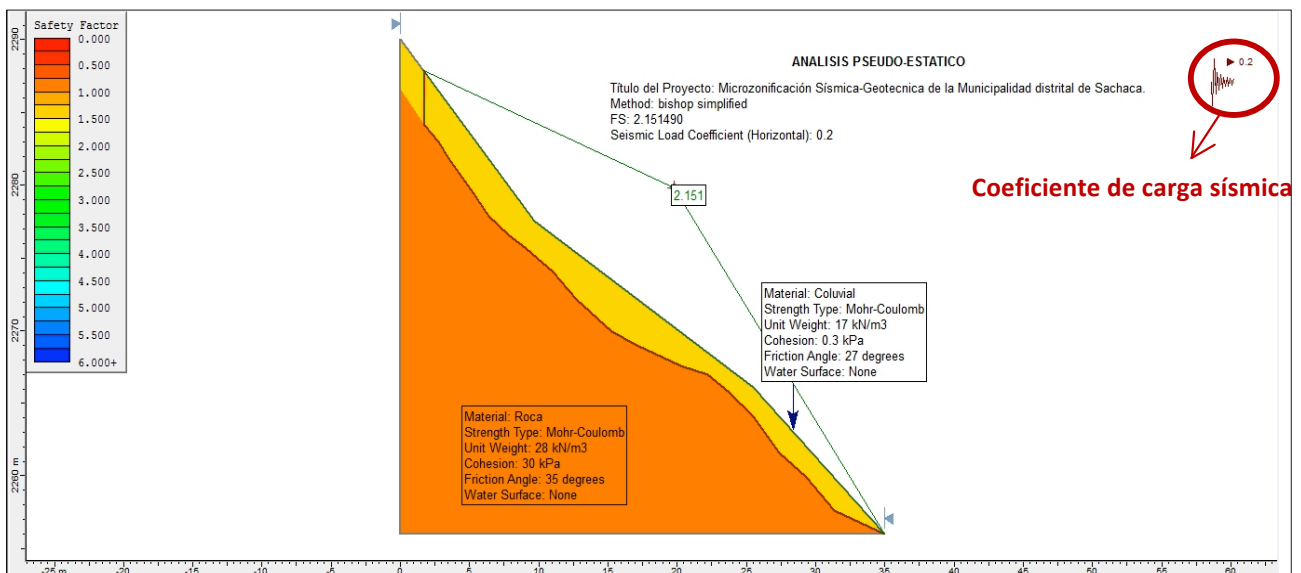


FIGURA 28. Factor de seguridad para la ladera L18 del cerro ubicado en el A. H. Coronel Victor Maldonado considerando un modelo pseudo estático.

Del mismo modo, para la ladera L24 del cerro ubicado en el P.J. Villa El Triunfo, se obtiene un factor de seguridad de 1.39 considerando el modelo estático (Figura 29), lo cual indica que dicha unidad es estable. Para la misma unidad y considerando un modelo pseudo estático y un coeficiente sísmico de 0.2g (Figura 30), se obtiene un factor de seguridad de 0.945; es decir, bajo condiciones sísmicas, dicha unidad es inestable

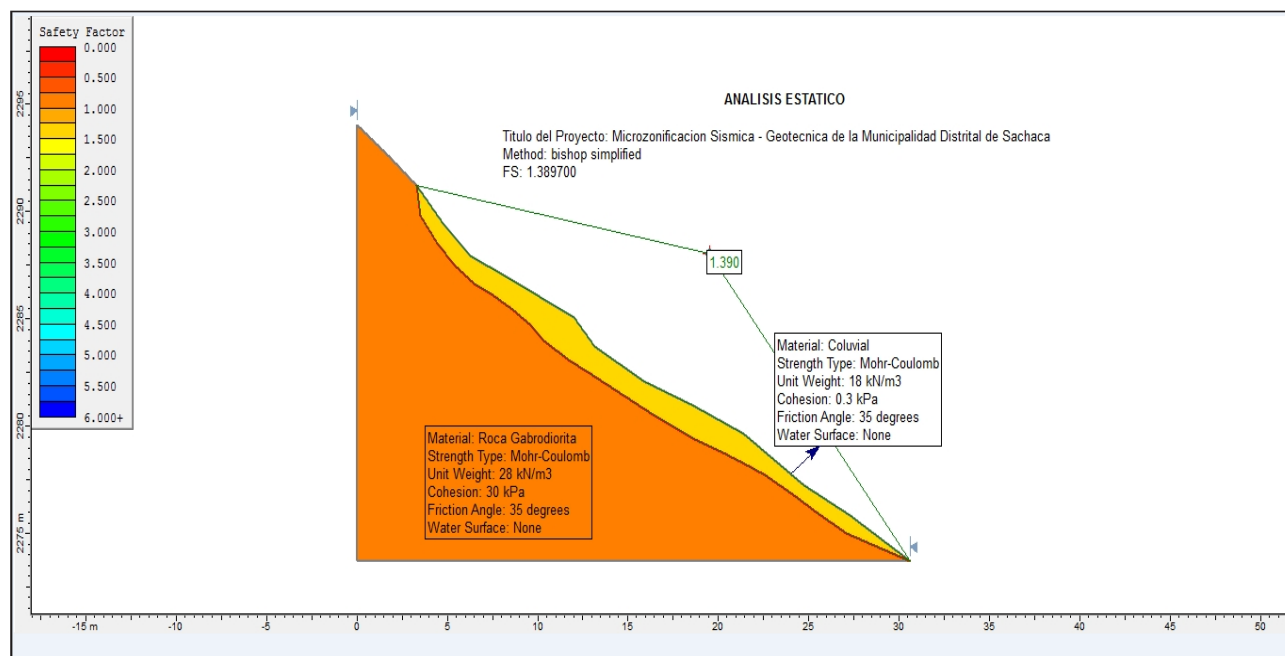


FIGURA 29. Factor de seguridad para la ladera L24 del cerro ubicado en el P.J. Villa El Triunfo considerando un modelo estático.

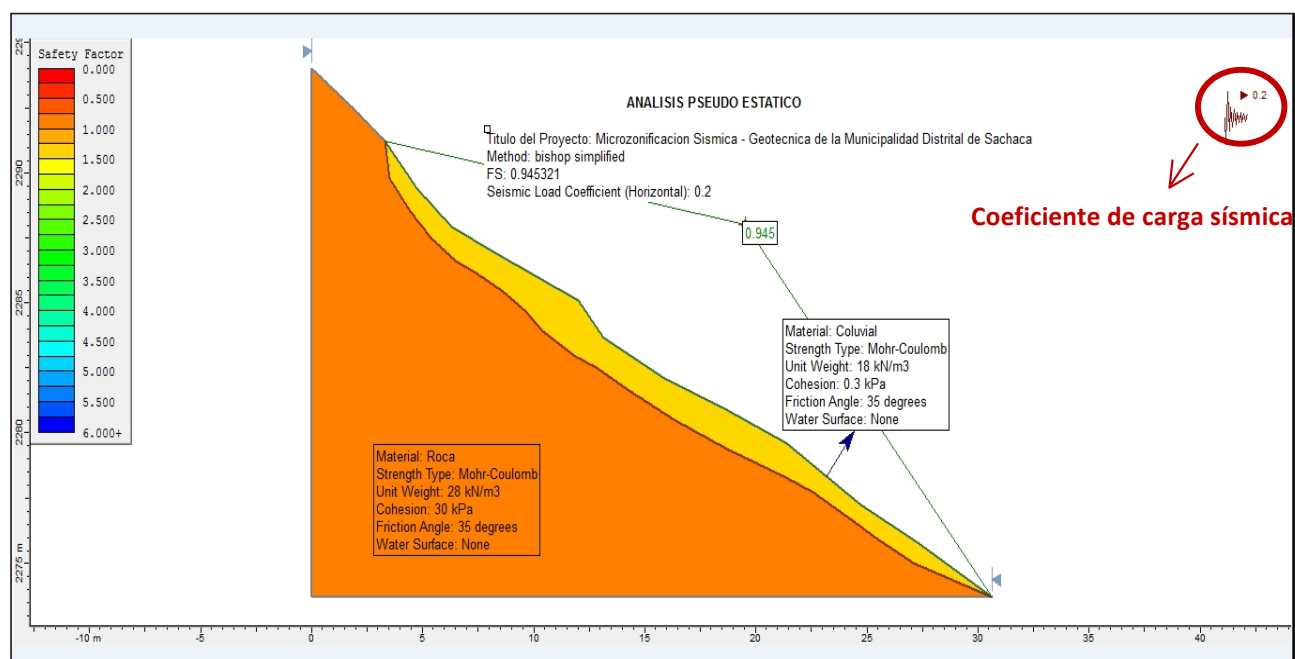


FIGURA 30. Factor de seguridad para la ladera L24 del cerro ubicado en el P.J. Villa El Triunfo considerando un modelo pseudo estático.

A continuación, en la Tabla 8 se detalla los resultados obtenidos para las 27 laderas evaluadas y con mayor detalle en el Anexo 2.

TABLA 8
Valores de factor de seguridad para las 27 laderas identificadas en los cerros existentes en el Distrito de Sachaca

Ladera	Modelo Estático (F.S)	Modelo Pseudo Estático S.L.C (0.2)
L-01	1.178	0.885
L-02	1.695	1.332
L-03	2.439	1.317
L-04	2.414	1.902
L-05	2.086	1.554
L-06	2.465	1.947
L-07	3.520	3.008
L-08	3.428	2.858
L-09	1.428	1.113
L-10	1.749	1.359
L-11	1.587	1.247
L-12	1.514	1.162
L-13	1.853	1.448
L-14	1.448	1.192
L-15	4.461	3.225
L-16	2.137	1.789
L-17	2.536	1.332
L-18	2.748	2.151
L-19	2.010	1.577
L-20	2.246	1.751
L-21	4.104	3.11
L-22	3.296	2.507
L-23	1.003	0.868
L-24	1.390	0.945
L-25	4.805	4.004
L-26	3.293	2.686
L-27	2.865	2.124

Inestable

Precario

Estable

9.3.2. Peligro a Inundaciones

Las inundaciones son fenómenos naturales cuyo efecto es la acumulación de agua en un lugar donde habitualmente no existe. Esta acumulación se produce por un exceso de agua registrado en un lugar y momento dado, esto debido frecuentemente a la ocurrencia de precipitaciones pluviales. Estas precipitaciones son las más frecuentes y al exponerse durante un tiempo largo, serán las causantes del aumento del caudal del río, que al llegar a sobrepasar su nivel de almacenamiento, provocará su desborde ocasionando la inundación. Si junto al río se encuentran centros poblados o terrenos agrícolas, estos serán los más afectados.

El río Chili se constituye como el principal colector hídrico de la Provincia de Arequipa, tiene su origen en la unión de los ríos Sumbay y Blanco, e ingresa a la ciudad de Arequipa por su borde

oriental a través de un cañón profundo de flancos escarpados ubicado entre los volcanes Chachani y Misti para luego formar un amplio valle. El valle del río Chili se encuentra en el límite de una depresión somera, flanqueada por un dorso de dirección norte - sur en la cual sobresale la presencia de terrazas agrícolas (Vargas, 1970), con una geomorfología típicamente antrópica, tal como se muestra en la Figura 31.



FIGURA 31. Valle del Río Chili en el cual se observa la presencia de terrazas agrícolas con influencia antrópica que invaden parcialmente el cauce del río

El río Chili aumenta su caudal durante los meses de afluencia de lluvias; es decir, los meses de enero a marzo, alcanzando como máximo un caudal de $180\text{m}^3/\text{seg}$ (SENAMHI, 2012), situación que reúne las condiciones favorables para provocar el desborde del mismo, arrasando con ello terrenos de cultivo y urbanizaciones cercanas, además de modificar la morfología del paisaje. En épocas de poca acción pluvial, el río retoma su cauce natural e incluso llega a ser menor, llegando a presentar caudales promedio de $14\text{ m}^3/\text{seg}$ (SENAMHI, 2012), escenario propio de los meses de abril a diciembre.

En la Figura 32 se muestra en cuadros estadísticos, los caudales máximos alcanzados por el río Chili entre los años de 1973 al 2012 (39 años) y en ella se observa que las precipitaciones pluviales se presentan en mayor cantidad durante el mes de febrero, aunque en el mes de febrero del 2012 el río Chili llegó a presentar un caudal promedio de $177.625\text{ m}^3/\text{seg}$ llegando a provocar el desborde del río para arrasar con terrenos de cultivos y afectando, no solo al Distrito de Sachaca, sino tam-

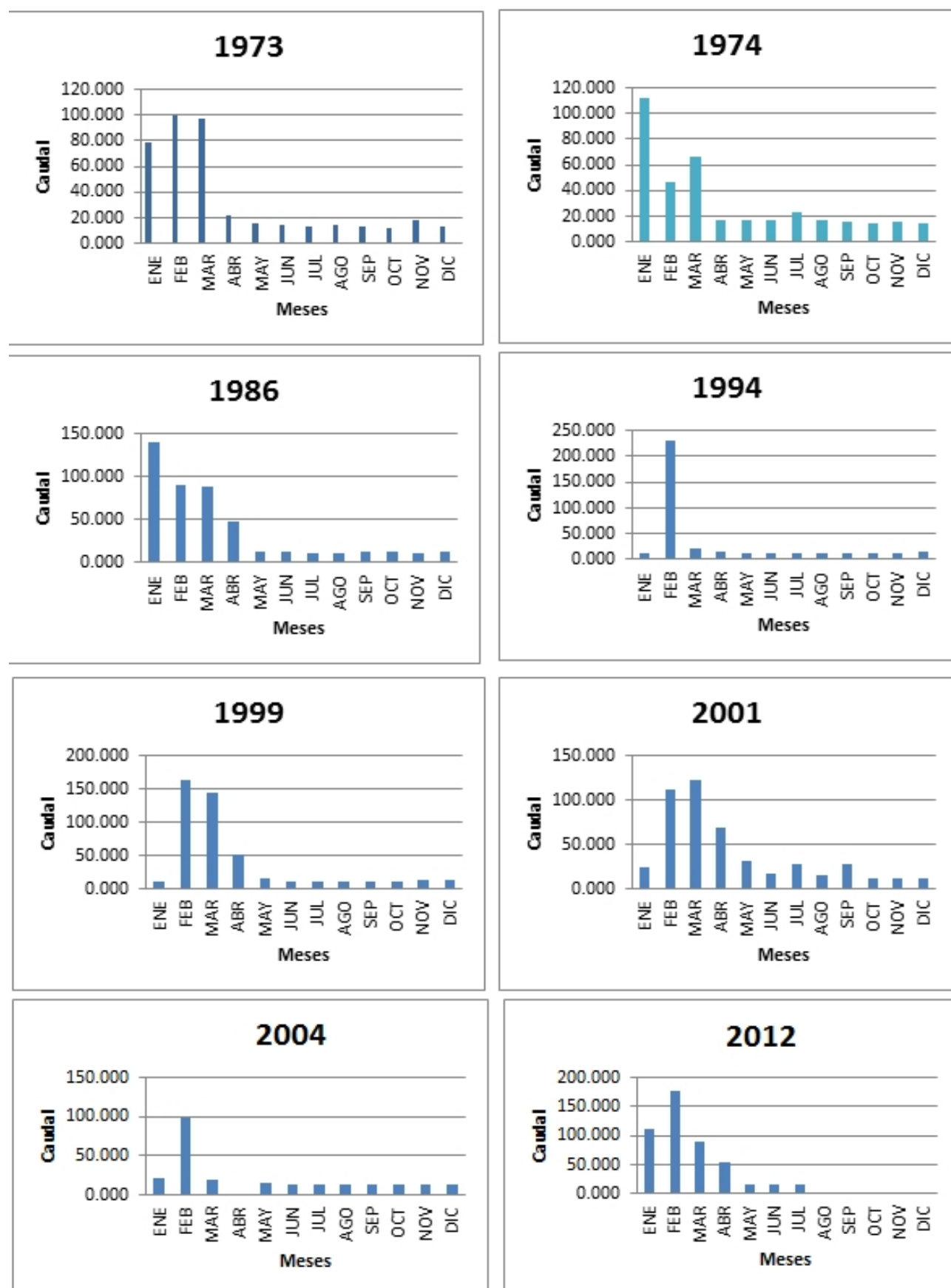


FIGURA 32. Caudales medios alcanzados por el río Chili en la ciudad de Arequipa durante un periodo de 39 años

bién, a los Distritos de Tiabaya, Hunter y Uchumayo. En Sachaca, tres viviendas ubicadas en las cercanías del puente San Isidro fueron dañadas y como medidas de prevención para evitar posibles inundaciones se procedió a realizar el reforzamiento provisional del cauce con muros de piedras y sacos de tierra cerca de la Urb. El Palacio I. En la Figura 33, se muestra escenarios para el río Chili correspondientes a los meses de febrero y setiembre, el primero en épocas de alto caudal y el segundo, de bajo caudal.



FIGURA 33. Caudales en el río Chili durante los meses de febrero (caudal alto) y setiembre (caudal normal) durante el año 2012

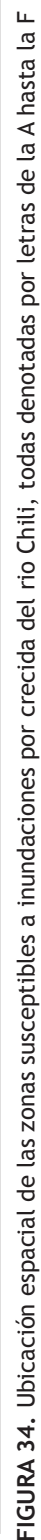
Otro caudal importante que resaltar se presentó en el mes de febrero del año 1994 con $220\text{m}^3/\text{seg.}$, llegando a reportar daños por desbordes en varias zonas a lo largo del cauce del río Chili.

En este caso, la zona de estudio se encuentra comprendida dentro de la cuenca del río Chili, a lo largo de aproximadamente 5 km, considerando sectores del P.T. Arrayanes, terreno del ex-Mercado La Parada y la zona del P.T. Arancota. Durante el trabajo de campo se llegó a identificar la presencia de 6 zonas susceptibles a inundaciones por incremento del caudal del río Chili, todas denominadas en la Figura 34 con letras de la A a la F. Para realizar una mejor evaluación del riesgo de inundación, para cada una de las zonas se ha construido una sección topográfica y sus coordenadas UTM se detallan en la Tabla 9 (ver Anexo 3).

TABLA 9

Coordenadas UTM de ubicación de las secciones topográficas sobre el río Chili

PUNTOS	NORTE (m)	ESTE(m)	ELEVACION (m)
Sección "A"	8180768	0225572	2207
Sección "B"	8181583	0226073	2227
Sección "C"	8182192	0226461	2244
Sección "D"	8182715	0227039	2263
Sección "E"	8183297	0227533	2273
Sección "F"	8184292	0228011	2275



Para obtener las simulaciones por inundación en cada zona identificada como susceptible a este peligro, se utilizó el software HEC-RAS y los datos topográficos levantados en campo. Los resultados obtenidos en este estudio tienen un rango de aproximación del 10% al 20% debido básicamente a que las condiciones asumidas para el escenario de la simulación no son datos exactos. Los resultados obtenidos se describen en la figura 34.

Zona “A” (Figura 35): se encuentra en el P.T. Arancota. En la zona el río presenta un ancho promedio de 38.85 m con una profundidad de 0.75 m (sección topográfica A-A') y un caudal promedio de 15.425 m³/seg (SENAMHI, Junio 2012). En la zona se observa la presencia de un enrocado que

ZONA SUSCEPTIBLE A INUNDACIÓN “A”

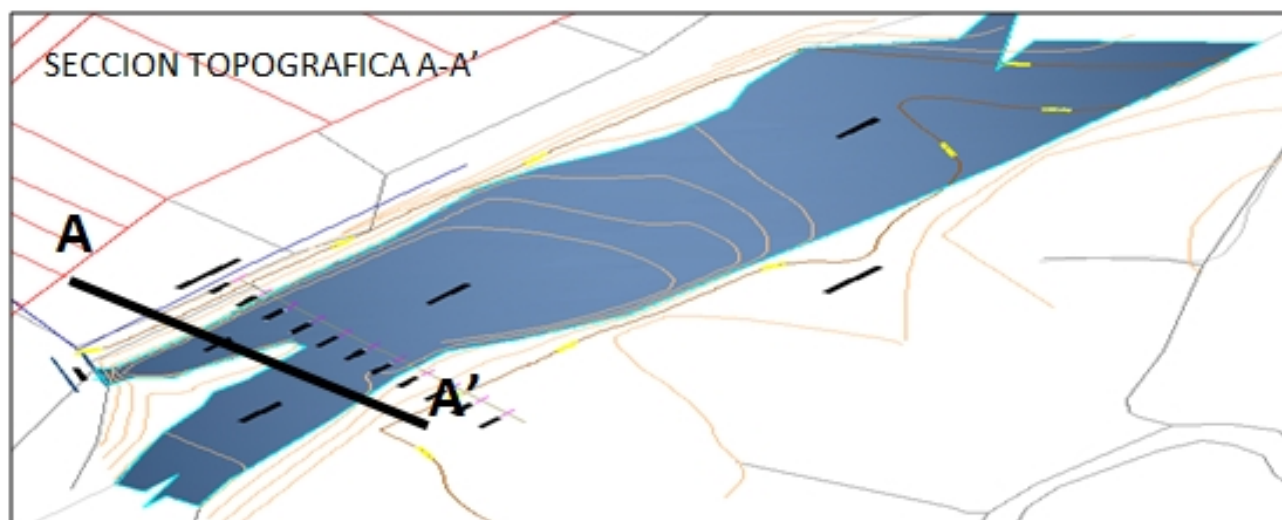


FIGURA 35. Principales características geomorfológicas en la Zona “A” susceptible a inundación

funciona como muro de contención en la margen derecha del río, acumulación de rocas en la parte central del cauce provenientes del arrastre de materiales durante el aumento de su caudal. Así mismo, en la margen derecha del río existen varios terrenos agrícolas en producción.

Los resultados obtenidos en la simulación numérica sugieren que el río Chili, a lo largo de la Sección A, se desbordaría con un caudal superior a $170 \text{ m}^3/\text{seg}$ afectando a viviendas y terrenos agrícolas más cercanos a este.

Zona “B” (Figura 36): se ubica a 12 metros del Puente de Tingo y cerca del P.T. Arancota. En la zona el río presenta un ancho promedio de 59 m con una profundidad de 0.90 m (sección topográfi-

ZONA SUSCEPTIBLE A INUNDACIÓN “B”

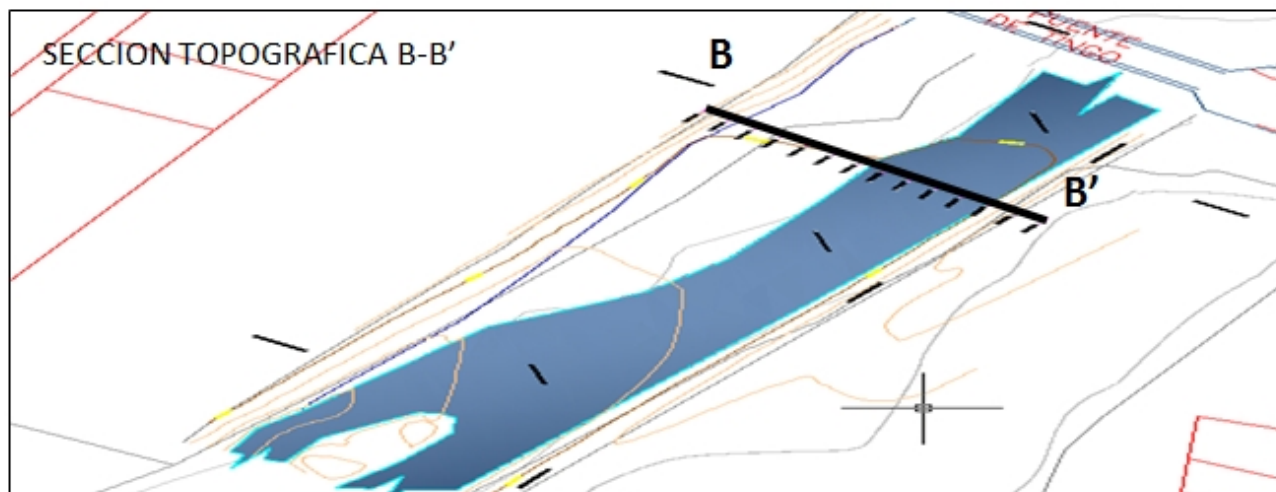


FIGURA 36. Principales características geomorfológicas en la Zona “B” susceptible a inundación

ca B-B') y en promedio, presenta un caudal de $15.425 \text{ m}^3/\text{seg}$ (SENAMHI, Junio 2012). En esta zona se observa la presencia de un talud enrocado en su margen izquierda, la acumulación de detritos en la parte central del cauce provenientes del arrastre de los materiales durante el aumento del caudal del río. Asimismo, la presencia de terrenos agrícolas en la margen derecha del río.

Los resultados obtenidos en la simulación numérica sugieren que el río Chili, a lo largo de la Sección B, se desbordaría con un caudal superior a $177 \text{ m}^3/\text{seg}$ afectando urbanizaciones y terrenos agrícolas más cercanos a este.

Zona "C" (Figura 37): se encuentra ubicada en la Urb. El Palacio. En esta zona el río presenta un ancho promedio de 26 m y una profundidad de 1.00 m (sección topográfica C-C') con un caudal

ZONA SUSCEPTIBLE A INUNDACIÓN "C"

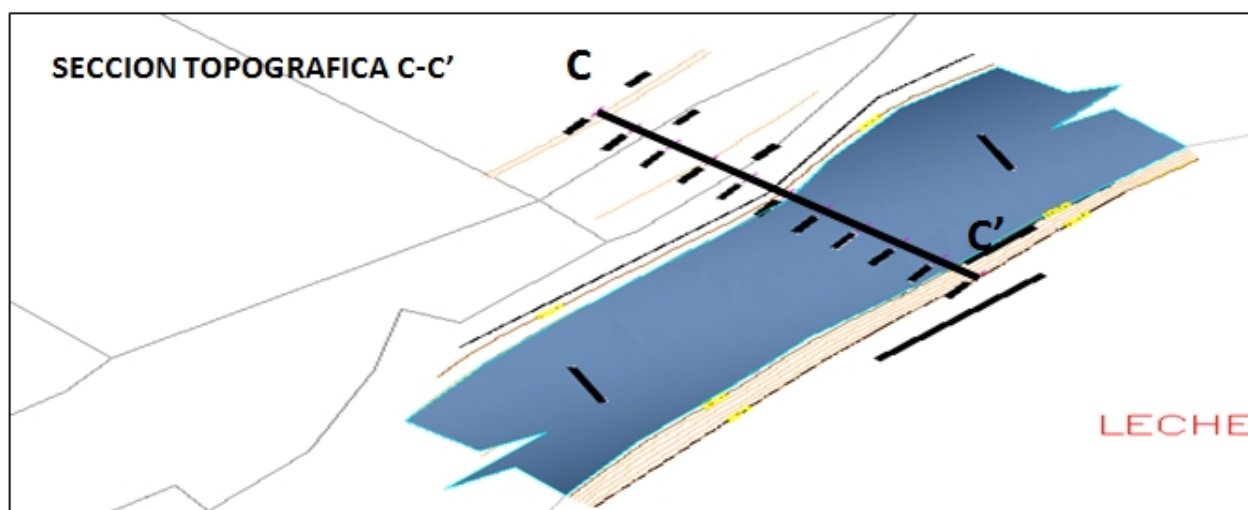


FIGURA 37. Principales características geomorfológicas en la Zona "C" susceptible a inundación

del orden de $15.425 \text{ m}^3/\text{seg}$ (SENAMHI, Junio 2012). En el margen izquierdo del río se observa la existencia de un muro de contención, un enrocado en su margen derecha del río; además, de la presencia de varios terrenos agrícolas en producción.

Los resultados obtenidos en la simulación numérica sugieren que el río Chili, a lo largo de la Sección C, se desbordaría con un caudal superior a $180 \text{ m}^3/\text{seg}$ afectando a urbanizaciones y terrenos agrícolas más cercanos a este.

Zona “D” (Figura 38): se encuentra a 10 metros del Puente de la Vía Férrea. En esta zona el río presenta un ancho promedio de 32 m y una profundidad de 0.65 m (sección topográfica D-D') con un caudal de $15.425 \text{ m}^3/\text{seg}$ (SENAMHI, Junio 2012). En la zona se observa la presencia de un muro de contención en su margen izquierda, un enrocado en su margen derecha, así como terrenos agrícolas y un área deportiva perteneciente al local del Colegio de Contadores.

ZONA SUSCEPTIBLE A INUNDACIÓN “D”

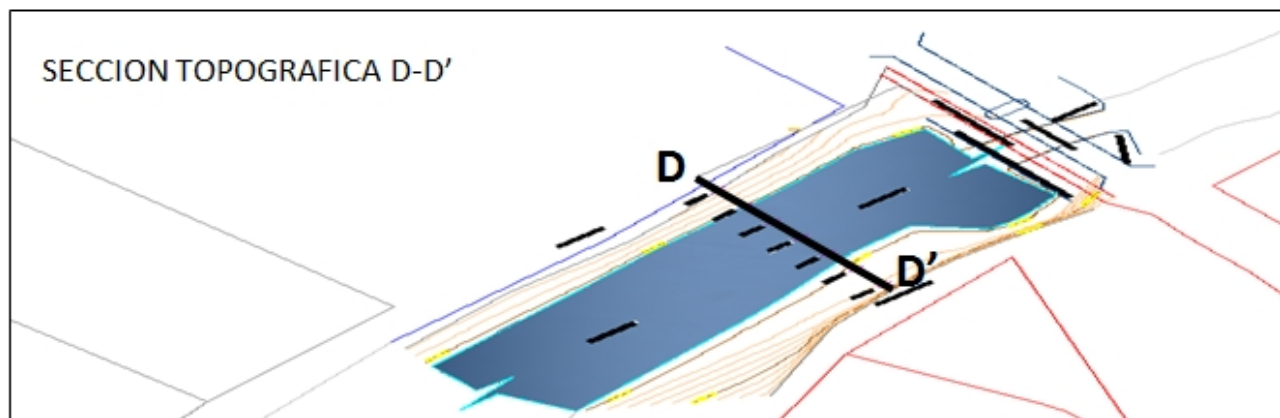


FIGURA 38. Principales características geomorfológicas en la Zona “D” susceptible a inundación

Los resultados obtenidos en la simulación numérica sugieren que el río Chili, a lo largo de la Sección D, se desbordaría con un caudal superior a $200 \text{ m}^3/\text{seg}$ afectando a urbanizaciones y terrenos agrícolas más cercanos a este.

Zona “E” (Figura 39): se ubica en la Variante de Uchumayo y a 10 metros del puente San Isidro. En esta zona el río presenta un ancho promedio de 55 m y una profundidad de 1.20 m (sección topográfica E-E') con un caudal medio de $15.425 \text{ m}^3/\text{seg}$ (SENAMHI, Junio 2012). En la zona se tiene la presencia de terrazas agrícolas en su margen izquierda y otros utilizados para la construcción de viviendas en su margen derecha.

Los resultados obtenidos en la simulación numérica sugieren que el río Chili, a lo largo de la Sección E, se desbordaría con un caudal superior a $270 \text{ m}^3/\text{seg}$ afectando a urbanizaciones y terrenos agrícolas más cercanos a este

ZONA SUSCEPTIBLE A INUNDACIÓN “E”

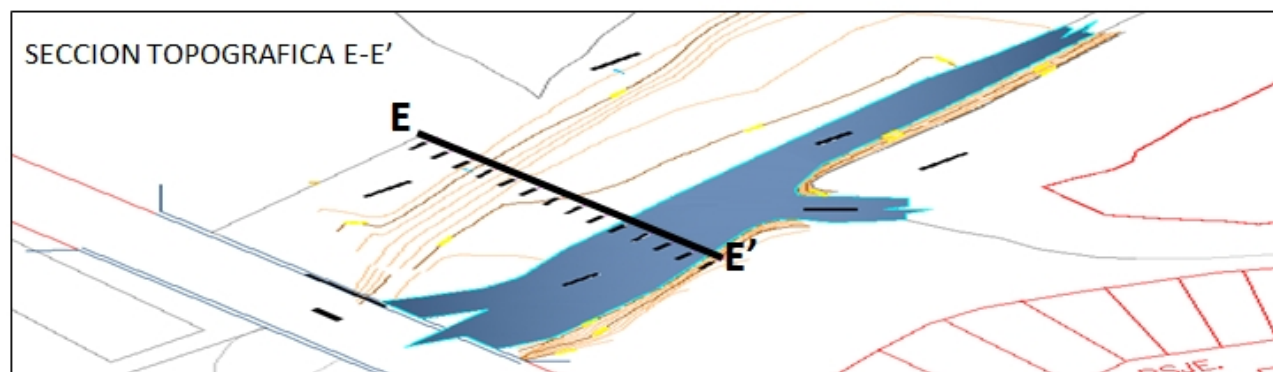


FIGURA 39. Principales características geomorfológicas en la Zona “E” susceptible a inundación

Zona “F” (Figura 40): se encuentra en el P.T. Los Arrayanes, a 179 metros del Puente Fierro. En la zona el río presenta un ancho promedio de 23 m y una profundidad de 0.90 m (sección topográfica F-F’) con un caudal de 15.425 m³/seg (SENAMHI, Junio 2012). En la zona se observa la presencia de terrenos agrícolas en su margen izquierda y derecha, además de un importante escenario de erosión fluvial causada por el aumento temporal de su caudal

ZONA SUSCEPTIBLE A INUNDACIÓN “F”

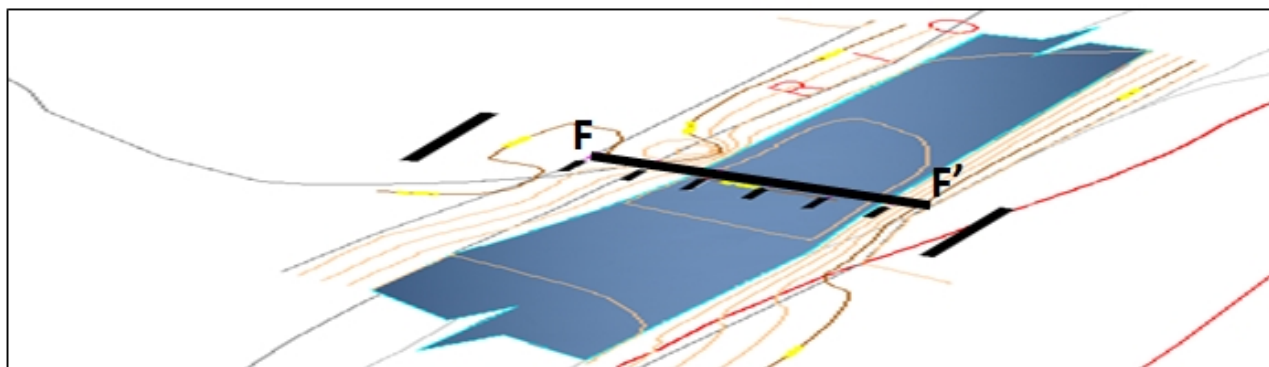


FIGURA 40. Principales características geomorfológicas en la Zona “F” susceptible a inundación

Los resultados obtenidos en la simulación numérica sugieren que el río Chili, a lo largo de la Sección F, se desbordaría con un caudal superior a 290 m³/seg afectando a urbanizaciones y terrenos agrícolas más cercanos a este

En conclusión, en la Figura 34 se muestra el mapa de peligro de inundación a lo largo de la ribera del río Chili entre el P.T. Arancota y el P.T. Los Arrayanes, siendo la ribera comprendida entre el P.T. Arancota y la Urb. El Palacio I, la de mayor riesgo a este tipo de peligro.

9.4. ASPECTOS SÍSMICOS Y GEOFÍSICOS

Para la caracterización física de los suelos en el Distrito de Sachaca se han realizado estudios con la aplicación de métodos sísmicos y geofísicos como razones espectrales (H/V) y arreglos lineales, ambos con el objetivo de conocer sus periodos dominantes y velocidades sísmicas en los diversos estratos por debajo de su superficie.

9.4.1. Estudios Sísmicos con la Técnica H/V

Para la aplicación de la técnica H/V, se procedió a disponer del mapa catastral del área de estudio proporcionado por la Municipalidad del Distrito de Sachaca, a fin de definir la distribución y el número de puntos para la toma de datos de vibración ambiental. La información geológica y geomorfológica fue importante para lograr una mejor distribución de los puntos de medición de data sísmica. En la Figura 41 se muestra la distribución de los 204 puntos de medición de vibración ambiental considerados para el distrito. Para cada punto se ha tomado un tiempo de registro de 20 minutos, lo cual permite tener buena cantidad de información para su posterior análisis.

El análisis de la información recolectada en los diferentes puntos de medida, permite obtener espectros de Fourier para sus tres componentes de registro y a partir de la razón de estos (componentes horizontales / componente vertical), se determina las frecuencias predominantes y/o periodos dominantes para la vibración natural del sub-suelo y en algunos casos, la amplificación sísmica relativa. En la Figura 42 se muestra un ejemplo del procedimiento seguido para el total de la información obtenida en campo.

- **Distribución de Frecuencias Predominantes:** Para el análisis de la información de H/V se debe considerar los siguientes aspectos: 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, 3) Las frecuencias altas o periodos cortos son debidos a depósitos superficiales blandos y de poco espesor (SESAME, 2006; Bernal, 2006) y 4) La presencia de dos o más picos de frecuencias predominantes, sugieren la existencia de suelos con dos o más capas sedimentarias de diferente espesor. En todos los casos, los suelos se encontrarían sobre el basamento rocoso (Figura 43).

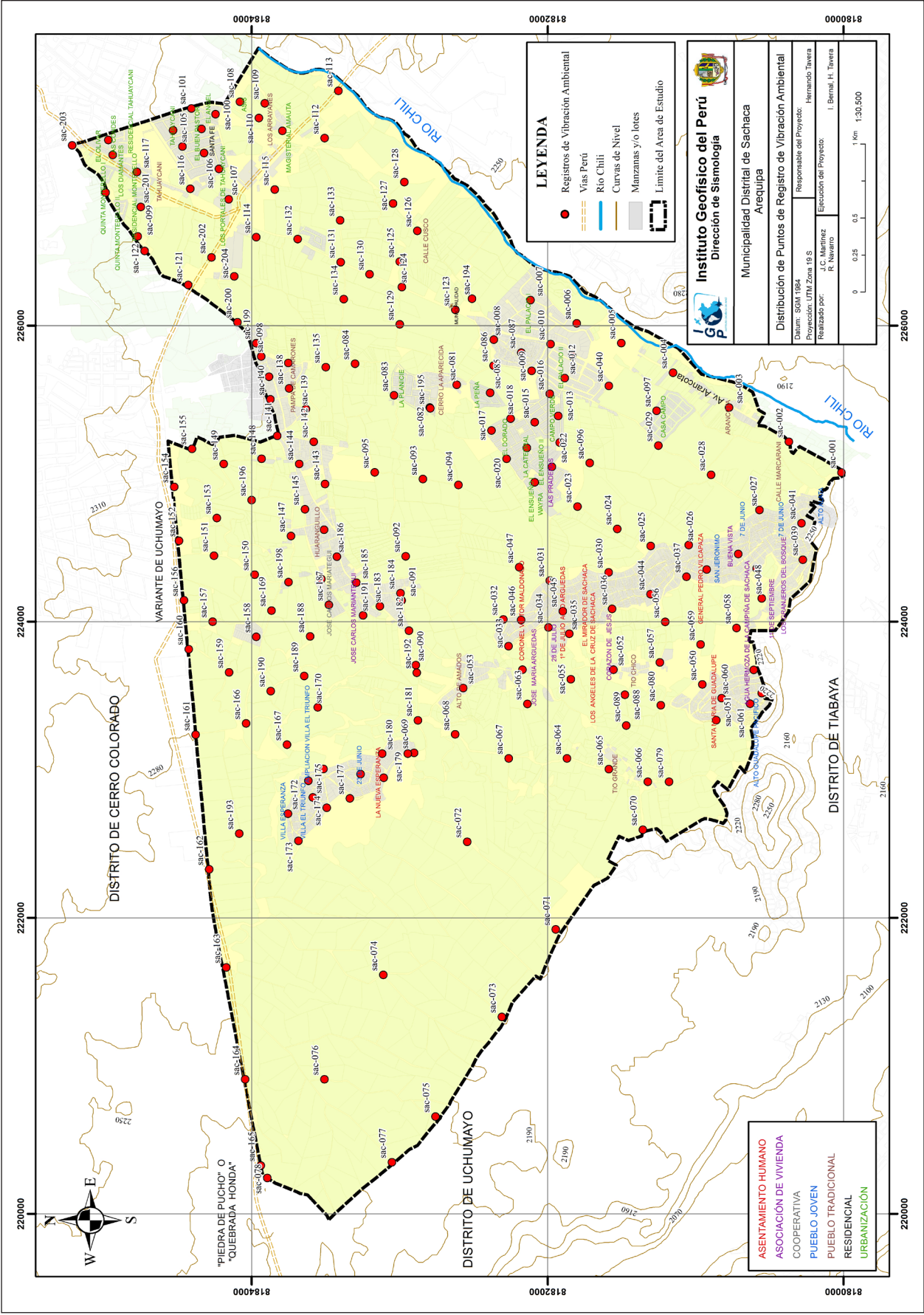


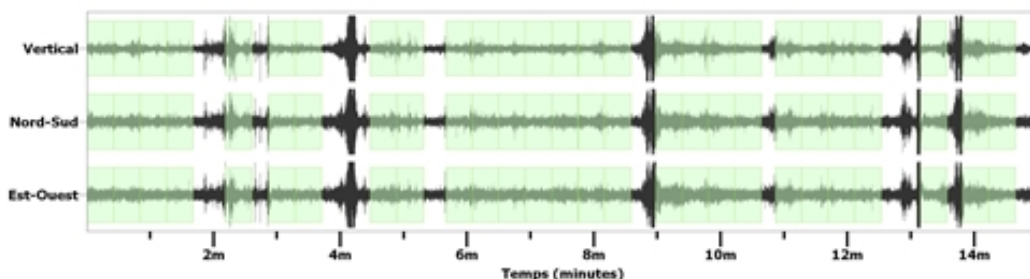
FIGURA 41. Mapa del Distrito de Sachaca y distribución de puntos de registro de vibración ambiental

Zonificación Sísmica – Geotécnica del Distrito de Sachaca - Arequipa

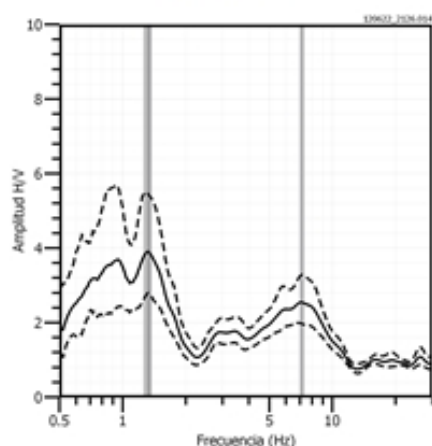
Frecuencias Predominantes del Suelo

Punto SAC-014

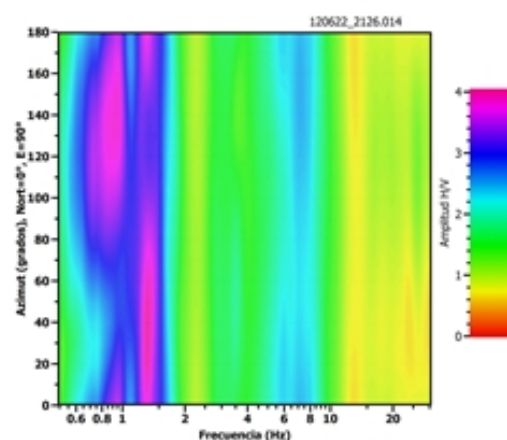
Señal registrada y ventanas seleccionadas para el procesamiento



Curva H/V



Variación Azimutal de la Amplitud



Interpretación de Resultados

Dudoso ☐	Pico(s) H/V ☒ (Hz)	f_0	f_1
Ningún pico ☐		1.4 ± 0.4	7.0 ± 0.2
Observaciones			
Var.azimutal	Homogénea ☐	Amplitud max.entre y°	

FIGURA 42. Ejemplo de la ficha H/V para el punto SAC-014 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. Espectrograma y Abajo: resultados.

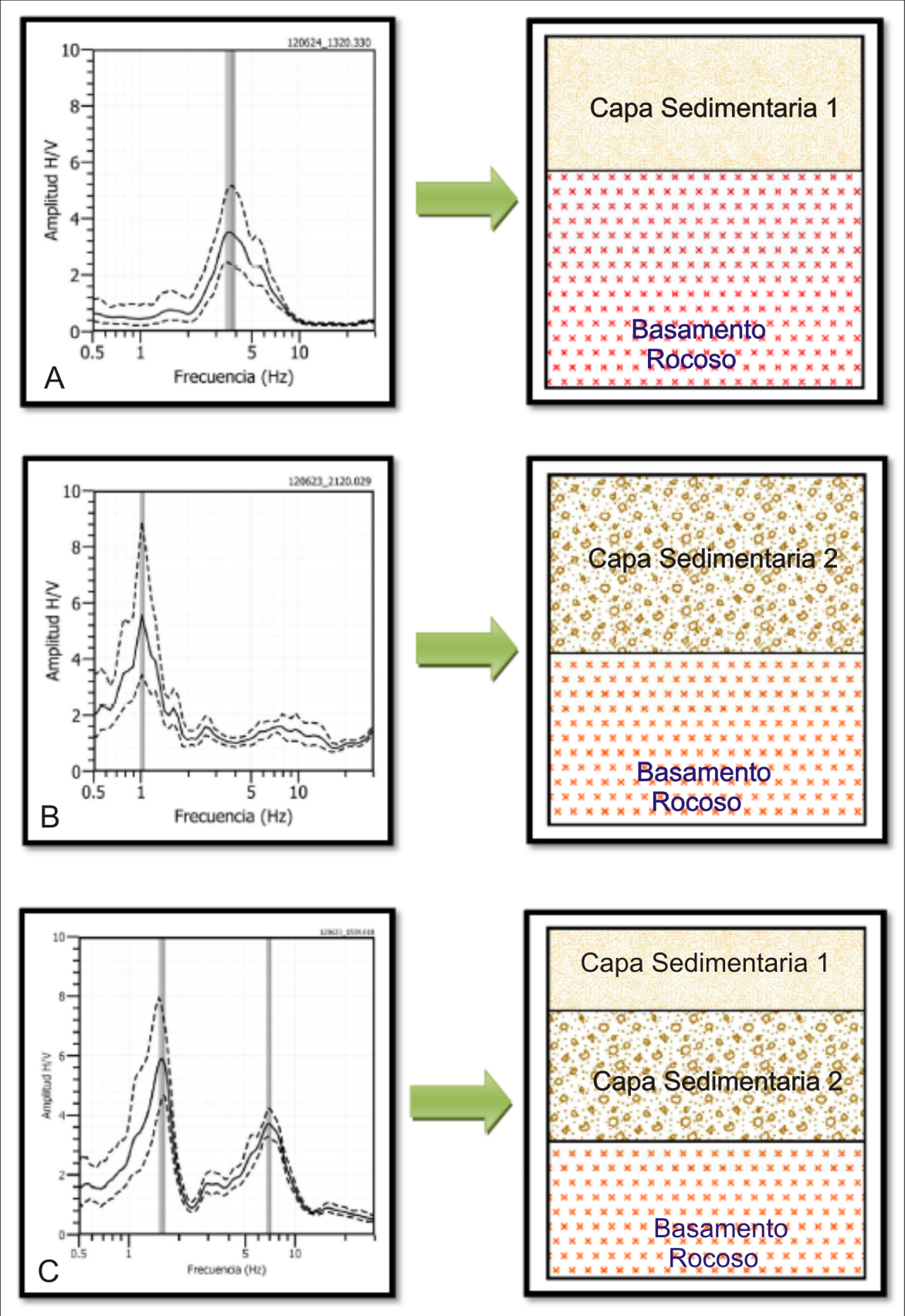


FIGURA 43. Ejemplos de razones espectrales H/V identificados en el Distrito de Sachaca y su correlación aproximada con la distribución de suelos sobre el basamento rocoso.

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 considerando diferentes rangos. En el Distrito de Sachaca se ha identificado la existencia de dos rangos de frecuencias predominantes: el primero entre 2.0 y 3.0 Hz y el segundo entre 3.1 a 10 Hz. Asimismo, se ha identificado, en algunos puntos de medición, la existencia de hasta dos picos de frecuencias que definen la existencia de suelos heterogéneos o complejos.

Distribución de Periodos Dominantes: Para un mejor análisis de los resultados obtenidos para los valores H/V, se ha procedido a convertir los valores de frecuencias a periodos y para su interpretación se ha considerado la Norma Peruana de Construcción Sismorresistente E0-30 (Capítulo 6). Por otro lado, para construir los mapas de periodos dominantes se ha considerado, para cada punto de medición, un radio de confiabilidad del orden de 10 metros y los resultados han permitido identificar la presencia de áreas de similar comportamiento dinámico. Asimismo, a partir de la relación $H=V_s/4F$ y asumiendo un determinado rango de velocidad para las ondas de corte (V_s) obtenidos de los perfiles de velocidad, se procedió a estimar el espesor de las diversas capas sedimentarias presentes en cada rango de periodos dominantes identificados para los suelos del Distrito de Sachaca.

Rango de Periodos entre 0.1 - 0.3 s (3.1 a 10 Hz): En la Figura 44, se presenta el mapa del Distrito de Sachaca y la distribución espacial de los periodos dominantes en el rango de 0.1 a 0.3 segundos, observándose que estos valores se encuentran cubriendo casi el 85% del área total de estudio y definiendo la existencia de una capa sedimentaria, por encima del basamento rocoso, con un espesor entre 4 y 14 metros.

En la Figura 45 se presenta la distribución espacial de 7 razones espectrales representativas para este rango de periodos y frecuencias (3.1 - 10.0 Hz) a fin de buscar evidenciar su relación con los aspectos geomorfológicos y/o geodinámicos de la zona. Obsérvese que existe diferencia en la amplitud de las curvas H/V obtenidas cerca del río Chili en comparación con las del extremo norte del distrito, lo cual sugiere que los suelos son ligeramente menos compactos en las proximidades del río.

Rango de Periodos entre 0.31 - 0.5 s (2.0 - 3.0 Hz): En la Figura 46, se presenta el mapa del Distrito de Sachaca y la distribución espacial de los periodos dominantes en el rango de 0.31 a 0.5 segundos, observándose que estos valores son menores en número y se encuentran en el extremo norte del P. T. Alto de Amados, entre los A. H. Coronel Victor Maldonado y 1 de Julio, entre los P.T. Tío Grande, Tío Chico y el A. H. General Pedro Vilcapaza. Asimismo, entre las urbanizaciones El Dorado, Campo Verde y El Palacio II. Valores aislados en el P. T. Cerro La Aparecida y en el extremo oeste del distrito. Estos valores sugieren que en la zona existe una capa sedimentaria con mayor espesor que en el resto del distrito (entre 12 y 18 metros). Asimismo, es posible que la composición geológica de estos suelos sea diferente a la identificada para el rango de periodos de 0.1 a 0.3 s.

En la Figura 47 se presenta la distribución espacial de 5 razones espectrales representativas para este rango de periodos y frecuencias (2.0 a 3.0 Hz) a fin de buscar evidenciar su relación con los aspectos geomorfológicos y/o geodinámicos de la zona. Obsérvese que los picos de frecuencias son más nítidos en el extremo sur del distrito, lo cual sugiere que los suelos son más homogéneos.

Por otro lado, en un número importante de puntos de medición de H/V se ha identificado la presencia de hasta 2 picos de frecuencias predominantes para el rango de 1.0 a 15.0 Hz, evidenciando la existencia sobre el basamento rocoso, en estos puntos, de al menos dos capas de sedimentos

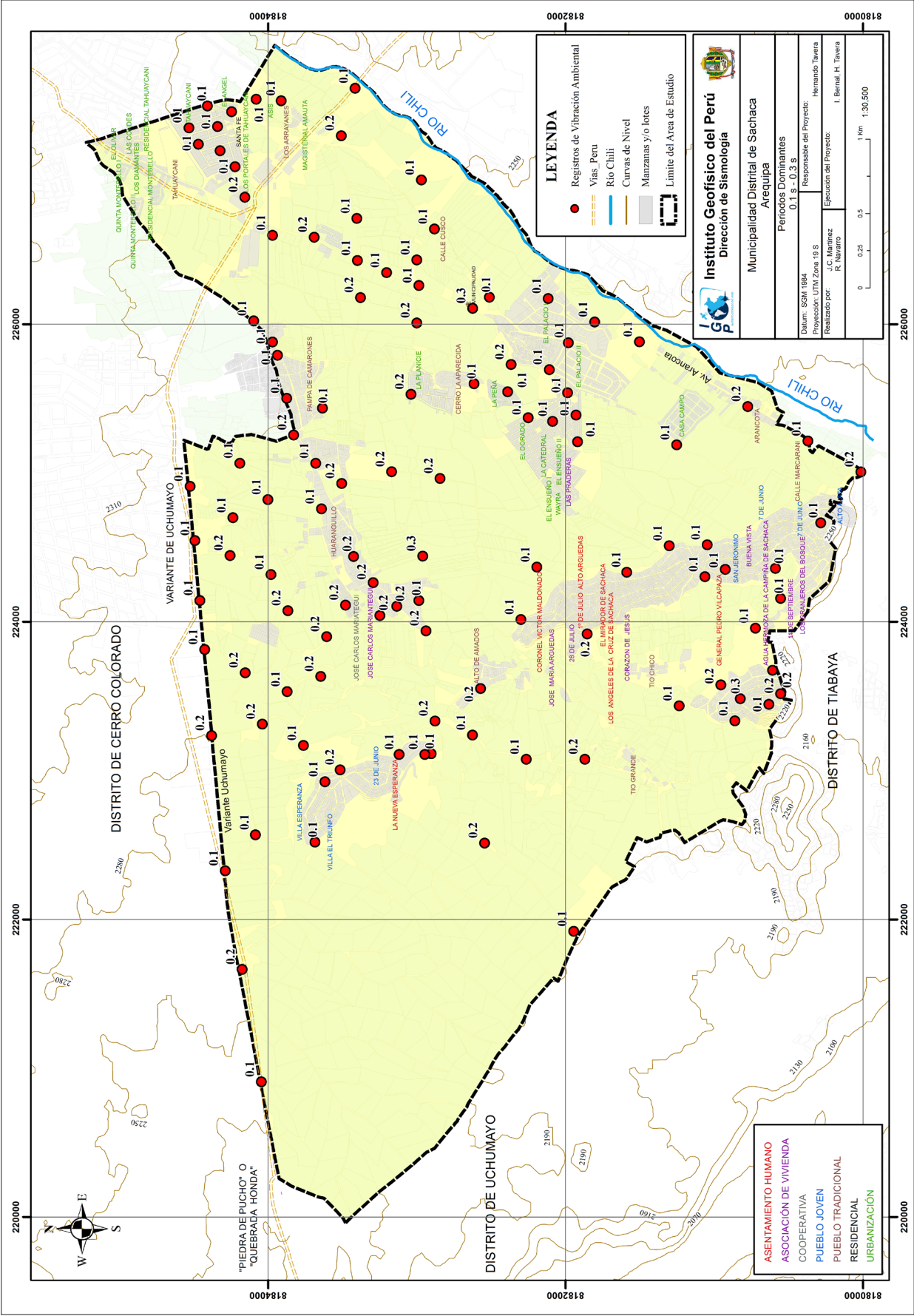
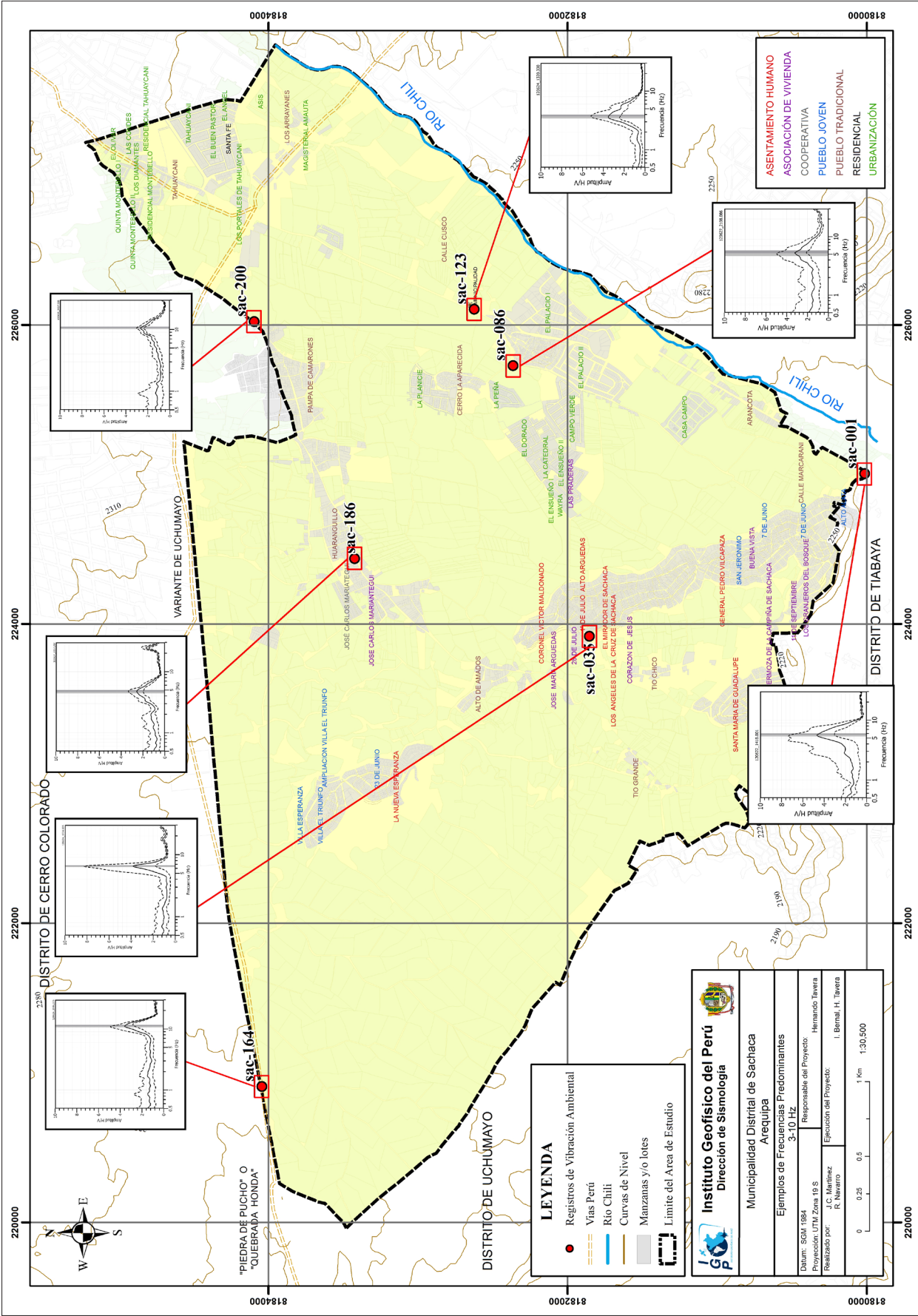


FIGURA 44. Mapa del área de estudio y distribución espacial de periodos dominantes entre 0.1 a 0.3 segundos





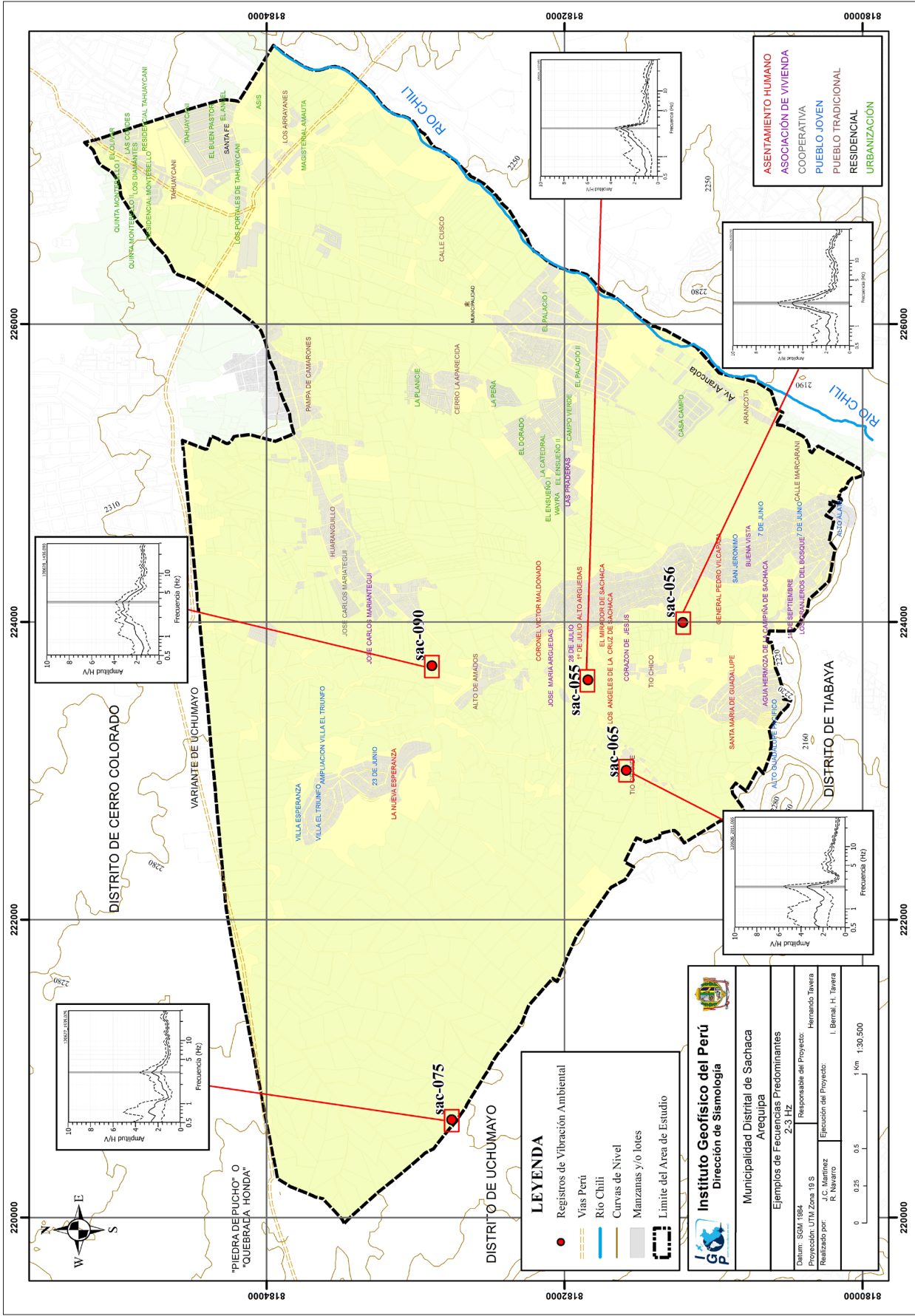


FIGURA 47. Mapa del área de estudio y distribución espacial de ejemplos de H/V para el rango de frecuencias entre 2.0 y 3.0 Hz (0.3 a 0.5 seg.)

con diferente composición geológica. En la Figura 48 se muestra 8 ejemplos representativos H/V correspondiente a estos suelos y en la Figura 49, su correlación espacial con suelos en los cuales se identificó la existencia de un pico de frecuencia predominante. Según la figura, el 40% del área total del Distrito de Sachaca presenta suelos compuestos por dos capas sedimentarias de diferente espesor. Estos suelos están presentes en el área que considera a las urbanizaciones Campo Verde, El Dorado, La Planicie hasta Tahuaycani, Los Portales de Tahuaycani y Asís; además, de los P. T. Cerro La Aparecida y Calle Cusco. Otro grupo de puntos se encuentran en dirección norte del P. T. Huaranguillo y P. J. Ampliación Villa el Triunfo. Asimismo, es notoria la presencia de grupos pequeños al norte del P. T. Alto de Amados y entre el A. H. General Pedro Vilcapaza, Asociación de Vivienda 7 de Junio y P. T. Arancota.

Los resultados obtenidos a partir del análisis de curvas H/V sugieren que el Distrito de Sachaca cuenta con suelos constituidos por una y dos capas sedimentarias, siendo ambos de diferente espesor, pero con similar composición geológica.

9.4.2. Estudios Sísmicos con la Técnica de Arreglos Lineales

La técnica MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) permite conocer la velocidad de propagación de las ondas sísmicas en el subsuelo a partir del análisis de la dispersión de ondas superficiales registradas por arreglos lineales de estaciones sísmicas. Como resultado de la inversión de la curva de dispersión se obtiene el perfil de velocidades para las ondas de corte (V_s) en el punto central de cada arreglo.

Para el registro de la data sísmica se ha utilizado un equipo de refracción sísmica que consta de un registrador multipropósito, modelo GEODE (24 canales), geófonos de 4.5 Hz y registros a una resolución de 24 bits con un rango dinámico mayor a 110dB. Como fuente de impacto y/o energía para generar las ondas sísmicas, se utilizó un martillo de 20 lbs. Los parámetros de registro, tales como la geometría del tendido, espaciamiento entre geófonos (entre 3 y 6 metros) y el punto de impacto del martillo, fue variable ya que dependía de la geomorfología de la zona de estudio. La frecuencia de muestreo fue de 4000 Hz con un pre-trigger de -0.1s y una longitud de registro de 2 segundos. Para eliminar el registro de ruido de fondo se realizaron entre 6 y 12 golpes en cada punto de disparo, permitiendo el estaqueo temporal de los datos y así, aumentar la coherencia en los resultados. La calidad del registro fue verificada en campo y analizada con el software Geopsy 2.8. Las curvas de dispersión de ondas obtenidas para cada tendido y número de impactos, fueron promediadas y luego invertidas usando el algoritmo DINVER a fin de obtener los perfiles de velocidad para puntos específicos de toma de datos. Para el análisis de los resultados se considera la clasificación que la Norma E030 establece para cada tipo de suelo, en base a los siguientes rangos de velocidades para las ondas de corte (V_s):

- *Rocas duras, velocidades $V_s > 1,500$ m/s*
- *Rocas moderadamente duras, velocidades V_s de 760 a 1500 m/s*
- *Suelo muy duro o roca blanda, velocidades V_s de 360 a 760 m/s*
- *Suelo duro, velocidades V_s de 180 a 360 m/s*
- *Suelo blando, velocidades $V_s < 180$ m/s*

En la Figura 50, se presenta el mapa del Distrito de Sachaca con la ubicación espacial de las 8 líneas de refracción sísmica codificadas como: S001, S002, ..., S008 y en la Figura 51, imágenes del

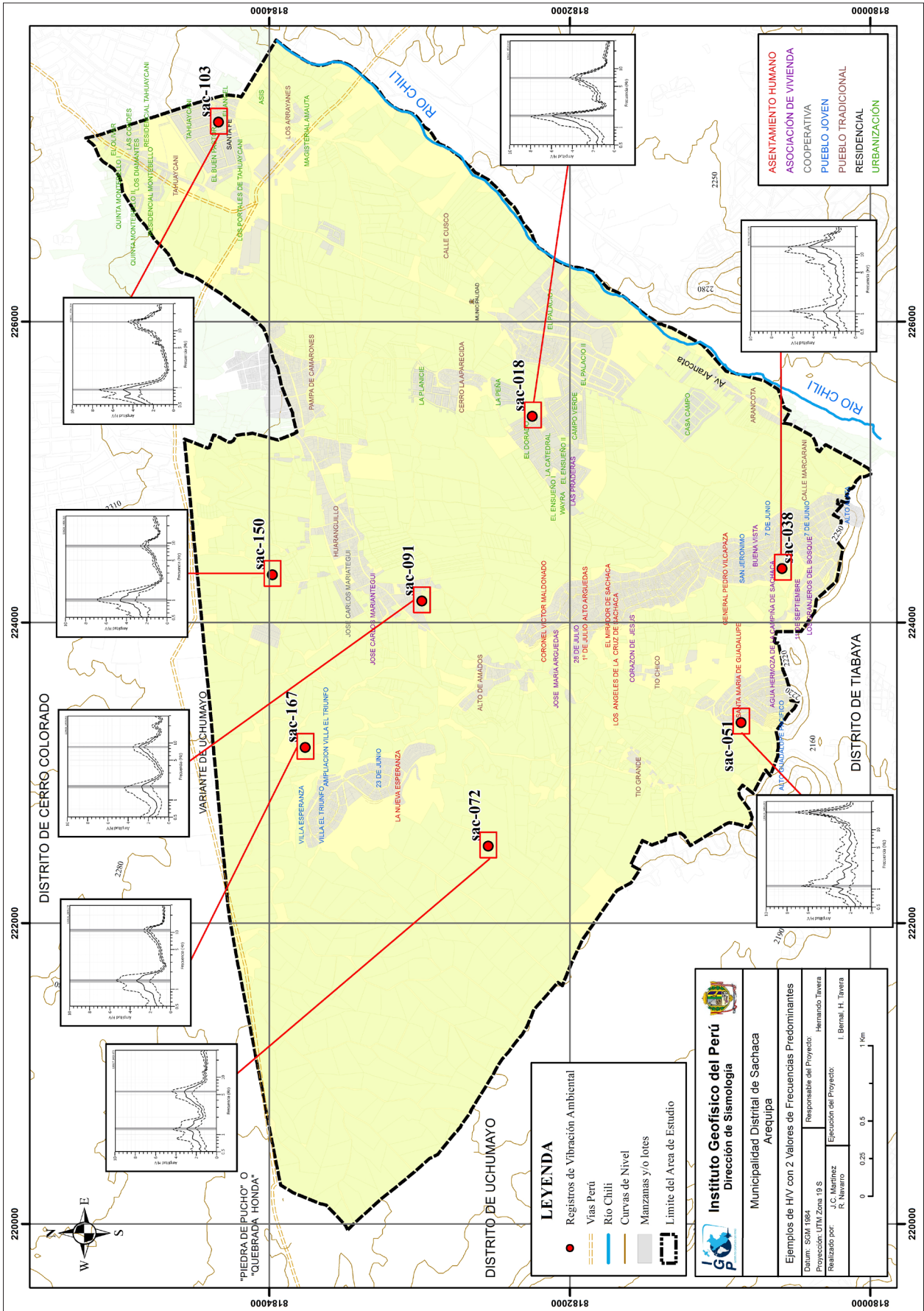


FIGURA 48. Ejemplos de razones espectrales (H/V) en las cuales se ha identificado la existencia de dos (2) picos de frecuencias predominantes.



FIGURA 49. Distribución espacial de puntos en los cuales se ha identificado la existencia de uno y dos picos de frecuencias predominantes en el área del Distrito de Sachaca

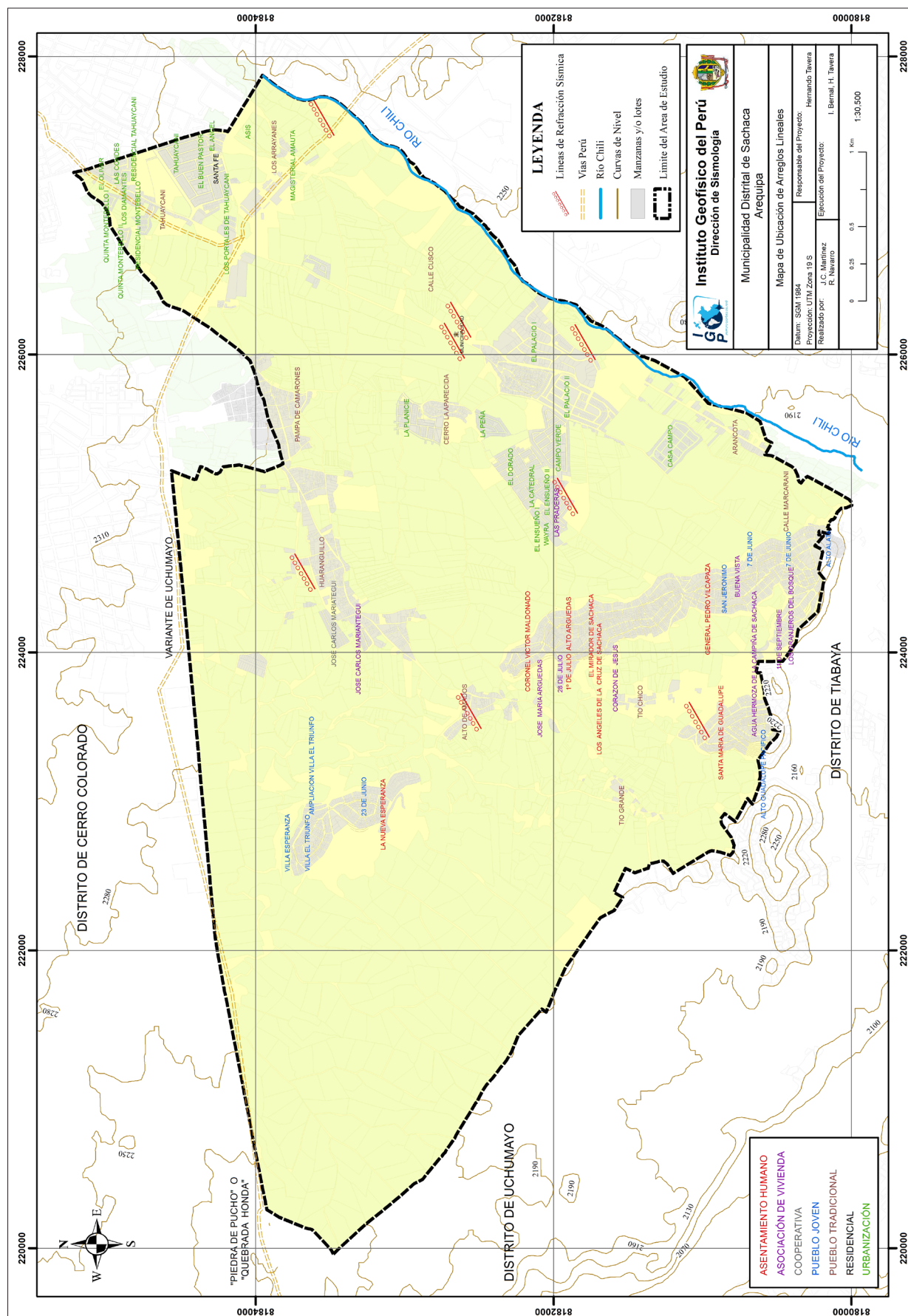


FIGURA 50. Mapa de ubicación de los tendidos de refracción sísmica en el distrito de Sachaca

tendido de línea en el Estadio de Sachaca y el registro de las señales sísmicas correspondientes. Las principales características de cada arreglo sísmico son:

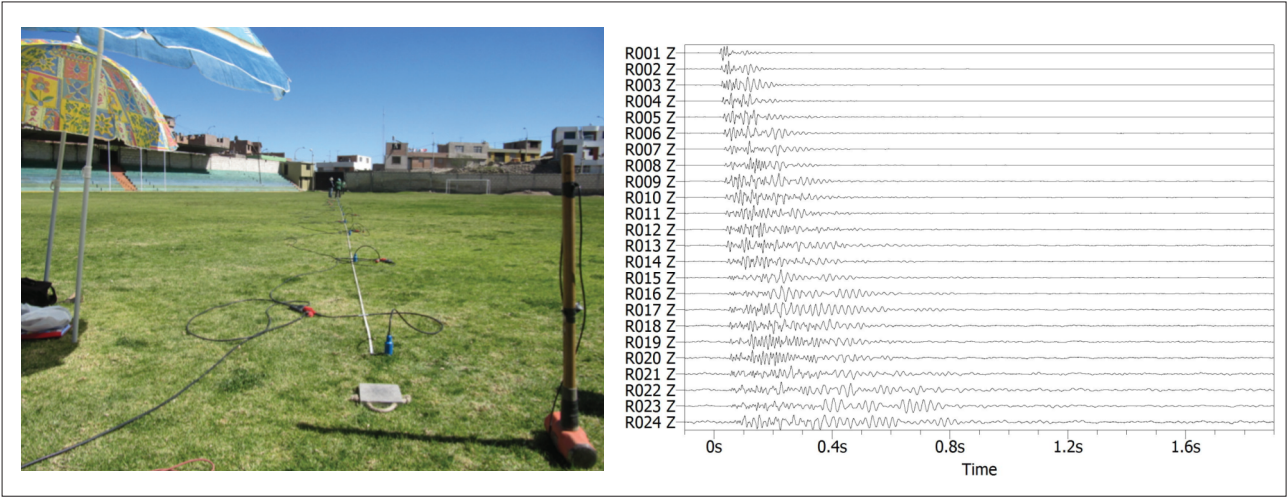


FIGURA 51. Imágenes de la disposición del equipo de refracción sísmica y registro de ondas sísmicas en el local del estadio de fútbol ubicado en el A.H. Santa María de Guadalupe

Arreglos Lineal S001: El arreglo se realizó en los terrenos de la Universidad Católica Santa María y de acuerdo al perfil elaborado (Figura 52), se ha identificado la presencia de dos capas: La primera presenta espesores de hasta 4.4 metros con velocidades V_s de 150 m/s correspondiente a suelos blandos, y la segunda capa presenta espesores de 2. 6 metros y velocidades V_s alrededor de 220 m/s, correspondientes a suelos duros. La superficie de contacto con la siguiente capa, alcanza velocidades V_s de hasta 380 m/s y corresponden a suelos muy duros o rocas blandas. Obsérvese que en esta zona, la capa sedimentaria presenta suelos blandos con espesores de hasta 4.4 m.

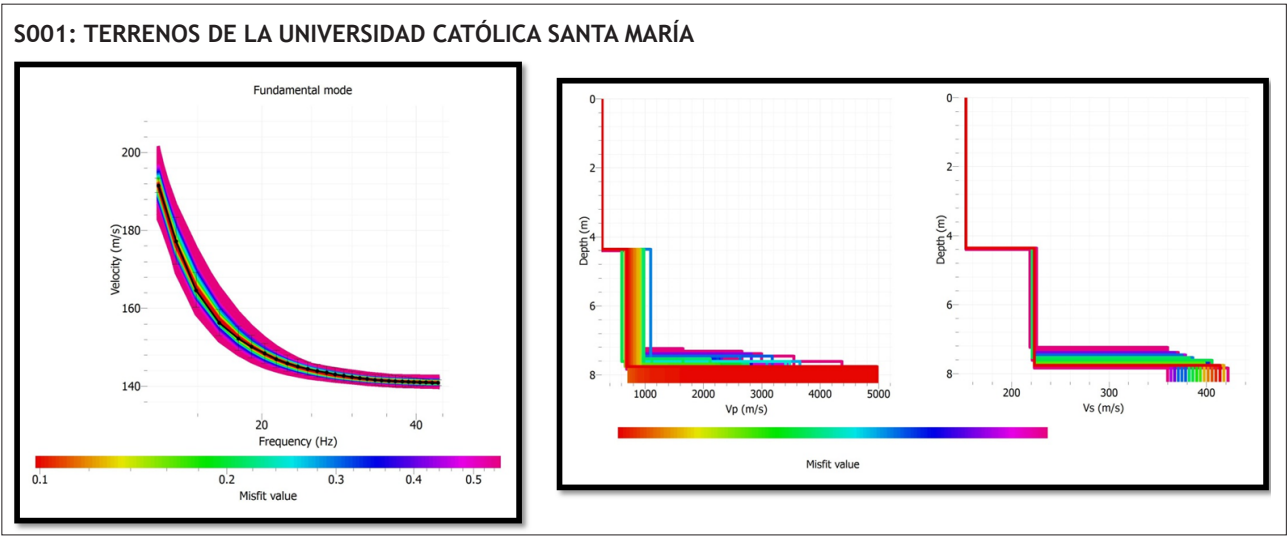


FIGURA 52. Análisis e interpretación geofísica obtenido con el método MASW para el arreglo S001

Arreglos Lineal S002: El arreglo se realizó en el A. H. Santa María de Guadalupe y de acuerdo al perfil elaborado (Figura 53), se ha identificado la presencia de dos capas: La primera presenta espesores de hasta 3.5 metros con velocidades V_s de 200 m/s correspondiente a suelos duros, y

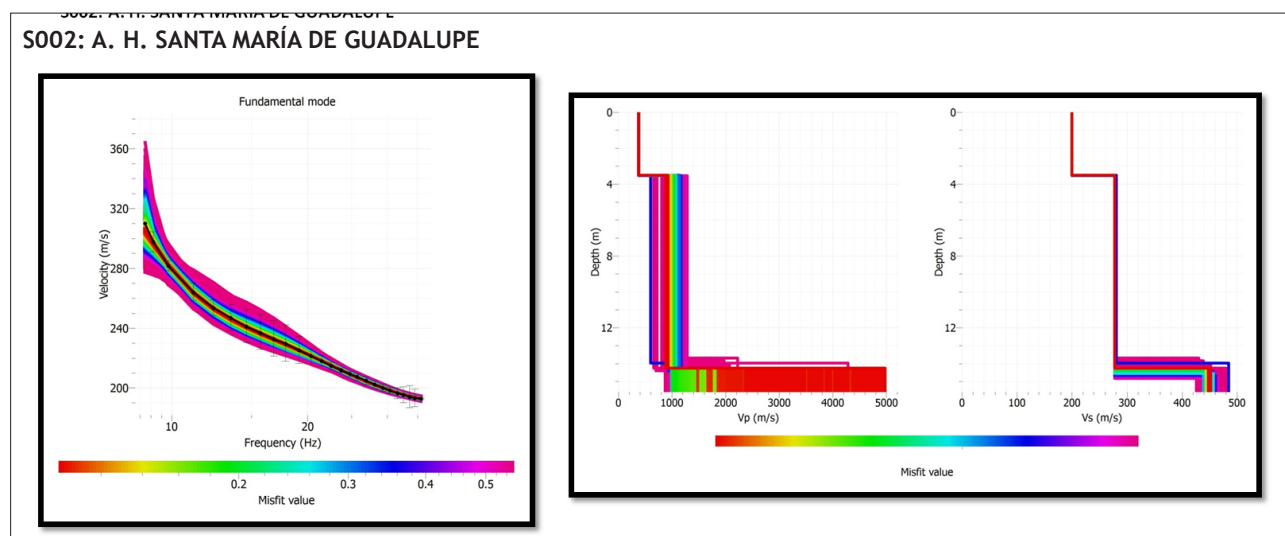


FIGURA 53. Análisis e interpretación geofísica obtenido con el método MASW para el arreglo S002

la segunda capa presenta un espesor de 11 metros y velocidades Vs alrededor de 280 m/s, correspondientes a suelos duros. La superficie de contacto con la siguiente capa, alcanza velocidades Vs de hasta 450 m/s y corresponden a suelos muy duros o roca blanda. Obsérvese que en esta zona, las dos capas sedimentarias corresponden a suelos duros, pero existe una diferencia de espesor, entre ambas, de 7.5 metros y en Vs del orden de 80 m/s, lo cual sugiere importantes diferencias geológicas.

Arreglos Lineal S003: El arreglo se realizó en el P.T. Alto de Amados y de acuerdo al perfil elaborado (Figura 54), se ha identificado la presencia de dos capas: La primera presenta espesores de hasta 13 metros con velocidades Vs de 300 m/s correspondiente a suelos duros, y la segunda presenta espesores de 4 metros y velocidades Vs alrededor de 480 m/s, correspondientes a suelos muy duros o rocas blandas. La superficie de contacto con la siguiente capa, alcanza velocidades Vs de hasta 600 m/s y corresponden a suelos muy duros o rocas blandas. Obsérvese que en esta zona,

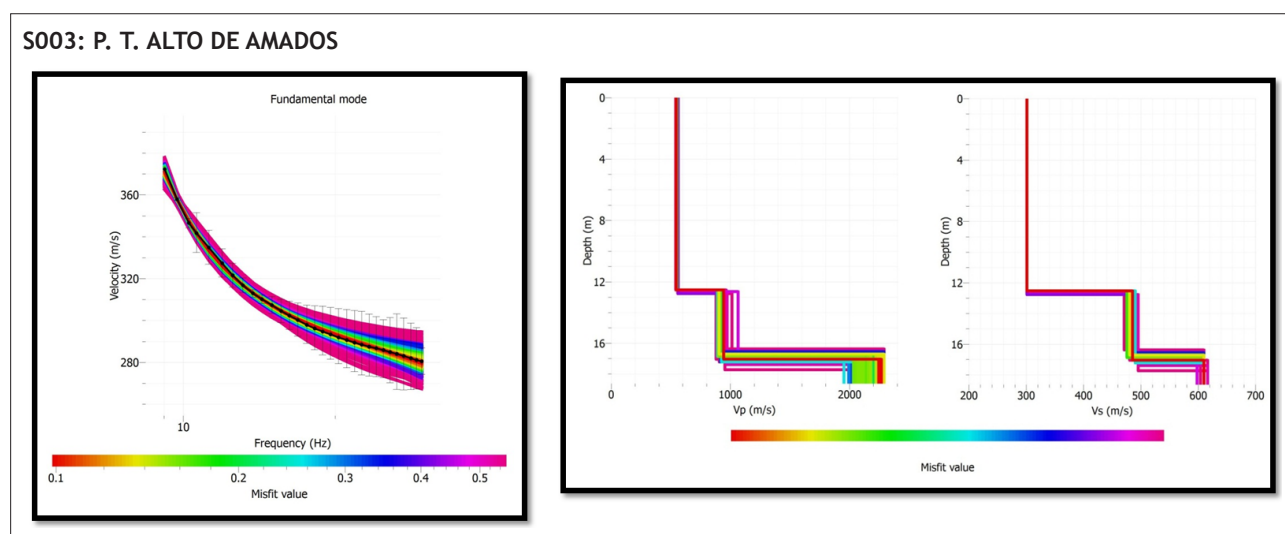


FIGURA 54. Análisis e interpretación geofísica obtenido con el método MASW para el arreglo S003

la primera capa sedimentaria presenta mayor espesor, además de importantes diferencias en sus valores de Vs.

Arreglos Lineal S004: El arreglo se realizó en el P.T. Huaranguillo y de acuerdo al perfil elaborado (Figura 55), se ha identificado la presencia de dos capas: La primera presenta espesores de hasta 4.6 metros con velocidades Vs de 180 m/s correspondiente a suelos blandos y la segunda presenta espesores de 4.2 metros y velocidades Vs alrededor de 290 m/s, correspondientes a suelos duros. La superficie de contacto con la siguiente capa, alcanza velocidades Vs de hasta 640 m/s y corresponden a suelos muy duros o rocas blandas. Obsérvese que en esta zona, la capa sedimentaria presenta suelos blandos con espesores de hasta 4.6 m.

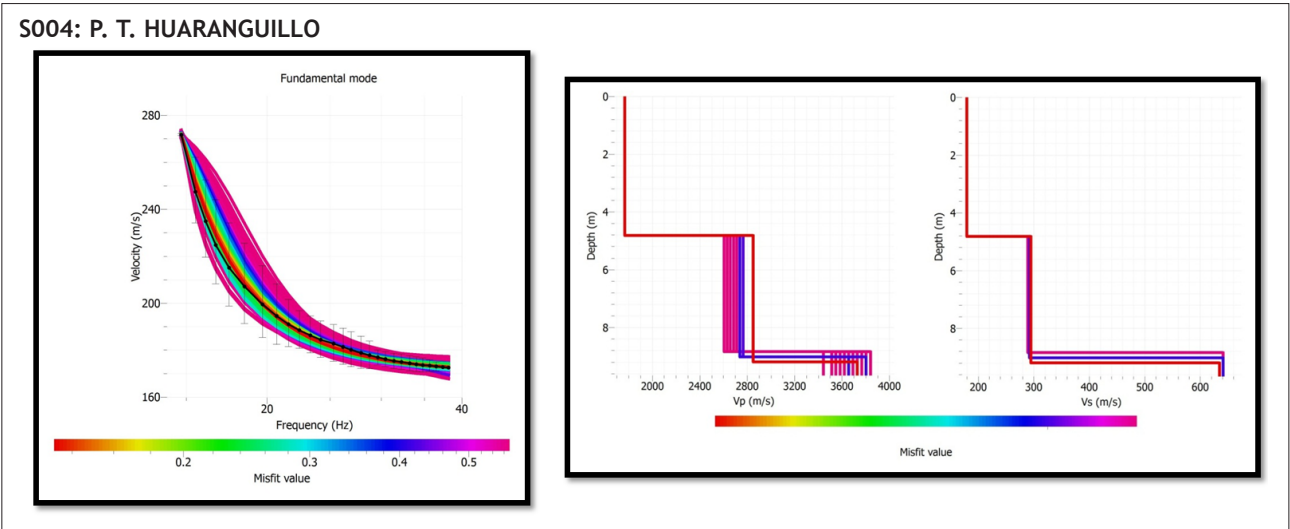


FIGURA 55. Análisis e interpretación geofísica obtenido con el método MASW para el arreglo S004

Arreglos Lineal S005: El arreglo se realizó en la Urb. El Ensueño y de acuerdo al perfil elaborado (Figura 56), se ha identificado la presencia de dos capas: La primera presenta espesores de hasta 1.8 metros con velocidades Vs de 160 m/s correspondiente a suelos blandos y la segunda, presenta espesores de 4.2 metros

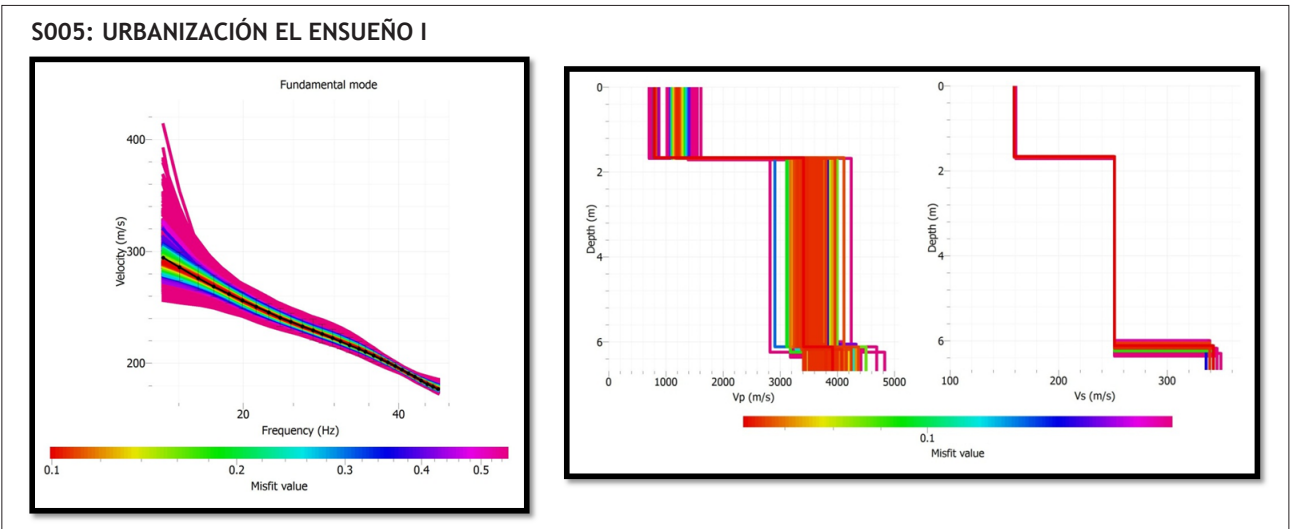


FIGURA 56. Análisis e interpretación geofísica obtenido con el método MASW para el arreglo S005

y velocidades V_s alrededor de 250 m/s, correspondientes a suelos duros. La superficie de contacto con la siguiente capa, alcanza velocidades V_s de hasta 340 m/s y corresponden a suelos muy duros o rocas blandas. Obsérvese que en esta zona, la capa sedimentaria presenta suelos blandos con espesores de tan solo 1.8 m.

Arreglos Lineal S006: El arreglo se realizó en la Urb. El Palacio I y de acuerdo al perfil elaborado (Figura 57), se ha identificado la presencia de dos capas: La primera presenta espesores de hasta 3 metros con velocidades V_s de 200 m/s correspondiente a suelos duros y la segunda, presenta espesores de 8.5 metros y velocidades V_s alrededor de 440 m/s, correspondientes a suelos muy duros o rocas blandas. La superficie de contacto con la siguiente capa, alcanza velocidades V_s de hasta 690 m/s y corresponden a suelos muy duros o rocas blandas.

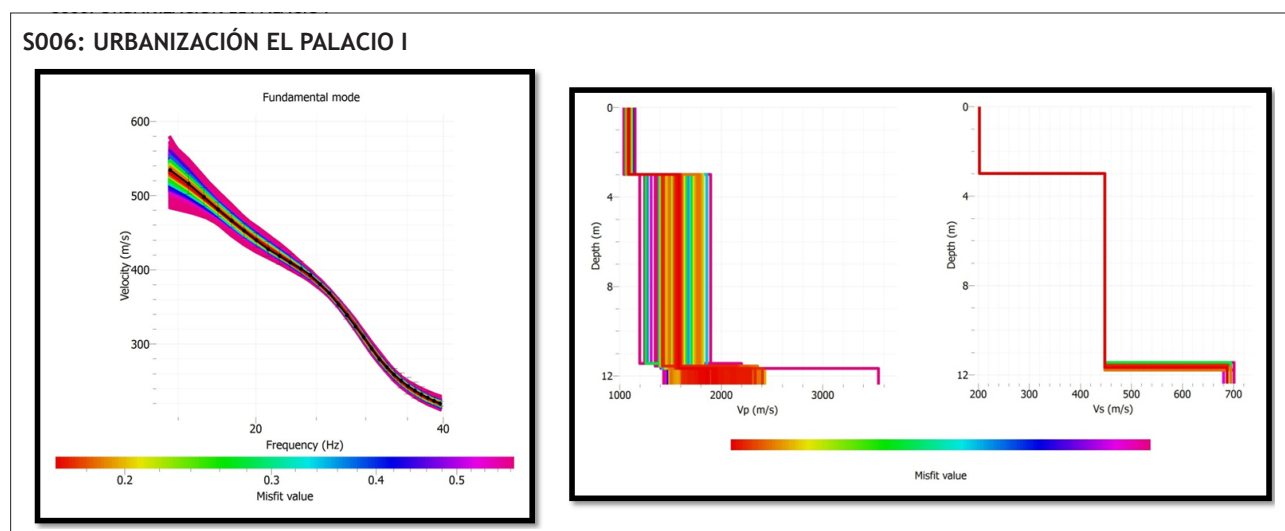


FIGURA 57. Análisis e interpretación geofísica obtenido con el método MASW para el arreglo S006

Arreglos Lineal S007: El arreglo se realizó en el P.T. Arrayanes y de acuerdo al perfil elaborado (Figura 58), se ha identificado la presencia de dos capas: La primera presenta espesores de hasta

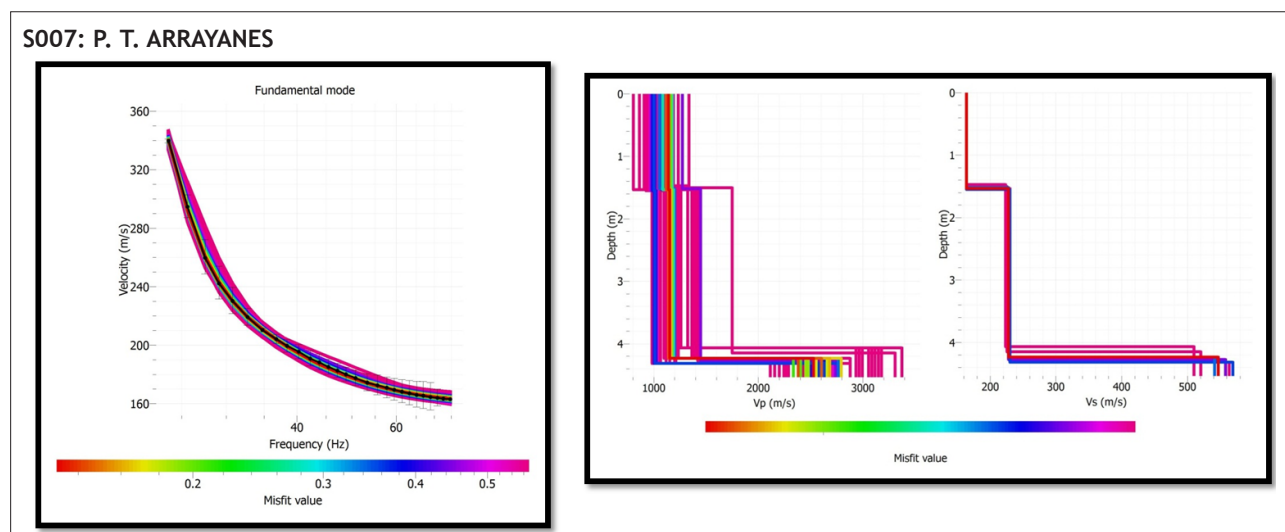


FIGURA 58. Análisis e interpretación geofísica obtenido con el método MASW para el arreglo S007

1.5 metros con velocidades V_s de 160 m/s correspondiente a suelos blandos y la segunda, presenta espesores de 2.5 metros y velocidades V_s alrededor de 220 m/s, correspondientes a suelos duros. La superficie de contacto con la siguiente capa, alcanza velocidades V_s de hasta 530 m/s y corresponden a suelos muy duros o rocas blandas. Obsérvese que las dos capas sedimentarias presentan poco espesor y prácticamente corresponden a suelos blandos.

Arreglos Lineal S008: El arreglo se realizó en el interior del Estadio Municipal de Sachaca, lugar en donde actualmente funciona la Municipalidad del Distrito de Sachaca. De acuerdo al perfil elaborado (Figura 59), se ha identificado la presencia de dos capas: La primera presenta espesores de hasta 2.4 metros con velocidades V_s de 160 m/s correspondiente a suelos blandos y la segunda, presenta espesores de 3.5 metros y velocidades V_s alrededor de 220 m/s, correspondientes a suelos duros. La superficie de contacto con la siguiente capa, alcanza velocidades V_s de hasta 600 m/s y corresponden a suelos muy duros o rocas blandas. Obsérvese que las dos capas sedimentarias presentan poco espesor y prácticamente corresponden a suelos blandos.

S008: ESTADIO MUNICIPAL DE SACHACA

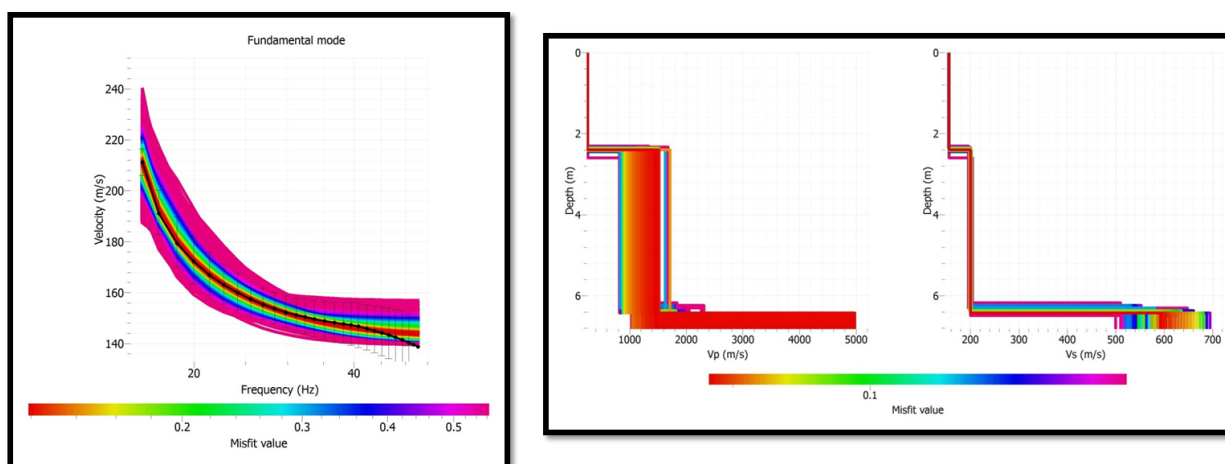


FIGURA 59. Análisis e interpretación geofísica obtenido con el método MASW para el arreglo S008

Una manera de evaluar los valores de velocidad de ondas V_s obtenidas con el método MASW, es utilizar el perfil de velocidad para generar, mediante un método inverso, la función de transferencia teórica expresada en términos de frecuencias y en este, identificar el valor de la frecuencia predominante. Seguidamente, este valor o valores deben ser correlacionados con los valores de frecuencias predominantes obtenidos con el método H/V. Si estos valores de frecuencias son similares, entonces se corrobora que los resultados obtenidos para el área de estudio, son realmente representativos. En la Figura 60 se presentan como ejemplo los resultados obtenidos para el Arreglo Lineal S006 correspondiente a la Urb. El Palacio I y en él se observa que existe buena correlación entre la función de transferencia teórica y el valor de H/V, lo cual confirma los resultados obtenidos en este estudio.

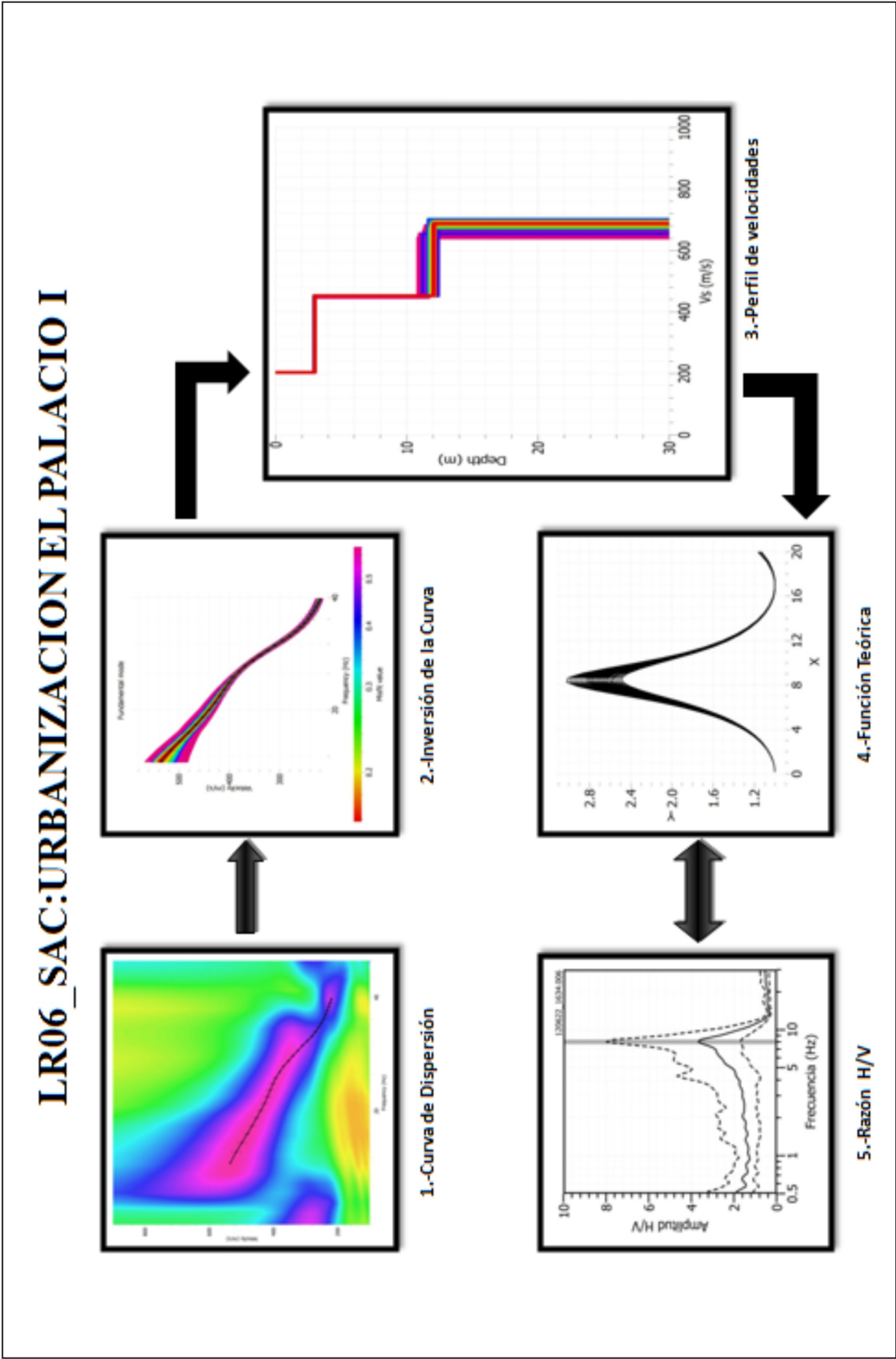


FIGURA 60. Análisis e interpretación geofísica obtenido para el Arreglo Lineal 5006. Los números indican el orden de los pasos a seguir en el procesamiento y análisis de la información sísmica

9.5. MAPA DE ZONIFICACIÓN SÍSMICA - GEOTÉCNICA

El Mapa de Zonificación Sísmica-Geotécnica para los suelos presentes en el Distrito de Sachaca considera el análisis e interpretación de la información geológica, geomorfológica, geodinámica, geotécnica, sísmica y geofísica. Las características dinámicas del suelo han permitido identificar en el área de estudio, de acuerdo a la Norma de Construcción Sismorresistente (Norma E030), la existencia de dos tipos de suelo; es decir, suelos de Tipo S1 y S2. Esta información ha permitido proponer para el Distrito de Sachaca la siguiente zonificación (Figura 61):

ZONA I: Esta zona está conformada por estratos de grava coluvial-aluvial que se encuentran a nivel superficial o cubiertos por un estrato de material fino de poco espesor. Este suelo tiene un comportamiento rígido con periodos de vibración natural, determinados por las mediciones de vibración ambiental, entre 0.1 y 0.3 s correspondientes a suelos de Tipo S1. Asimismo, en esta zona predominan periodos de 0.2 s que se concentran en el extremo Norte y Sur del área urbana. Esta zona considera casi el 80% del suelo del distrito.

ZONA II: En esta zona se incluye a las superficies de aluviales conformadas por columnas de gravas con arenas intercaladas con niveles finos limosas y arcillosas cuyos espesores varían entre 3 y 10 m. Los periodos predominantes del terreno, determinados por las mediciones de vibración ambiental, entre 0.3 y 0.5 s correspondientes a suelos de Tipo S2. Esta zona considera áreas pequeñas comprendidas entre los P.T. Alto de Amados, Tío Chico y Tío Grande; otra en la Urb. El Ensueño, entre Campo Verde y el Palacio, y finalmente, un área alargada paralela al río Chili entre el P.T. Arancota y la Urb. El Palacio I.

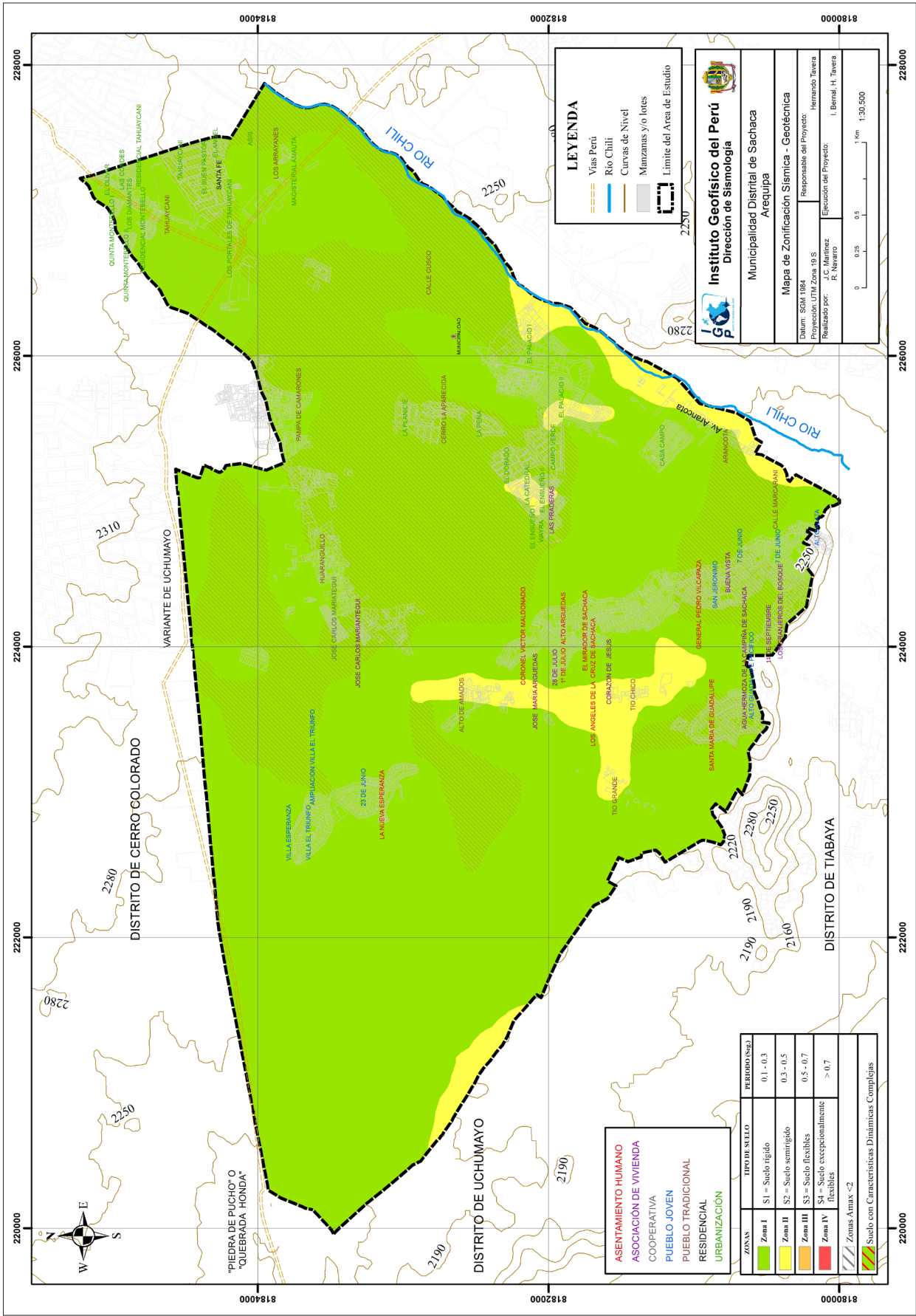


FIGURA 61. Mapa de Zonificación Sísmica - Geotécnica para el Distrito de Sachaca

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La realización del estudio de Zonificación Sísmica-Geotécnica (Comportamiento Dinámico del Suelo) para el Distrito de Sachaca, Provincia y Departamento de Arequipa, ha permitido llegar a las siguientes conclusiones y recomendaciones:

CONCLUSIONES

Aspectos Geológicos:

La geología de Arequipa expone diferentes unidades litológicas cuya naturaleza son: ígneas, sedimentarias y metamórficas, con edades que datan desde el Pre-cambriano hasta el Cuaternario reciente. El área de estudio (Distrito de Sachaca) se asienta sobre unidades de tipo volcánico intrusivo y sedimentos de edad reciente, formado por rocas ígneas-intrusivas, el volcánico Senca y depósitos no consolidados de material aluvial, fluvial y eólicos.

Aspectos Geomorfológicos:

Regionalmente, en la ciudad de Arequipa se reconoce la presencia de cuatro unidades geomorfológicas: la cordillera occidental, la cordillera volcánica, el altiplano y la llanura costanera. En el área de estudio sobresalen unidades como una penillanura, un valle fluvial, así como la presencia de cerros con laderas de variada pendiente.

Aspectos Geodinámicos:

En el área de estudio, no ha sido posible inventariar movimientos en masa activos, pero se han reconocido la existencia de una gran variedad de materiales inestables presentes en algunas laderas y que se han formado a consecuencia del desarrollo de actividades antrópicas como la construcción de rutas de acceso a las partes altas de los cerros y la construcción de viviendas sobre zonas de pendiente.

Aspectos Geotécnicos:

La elaboración de 15 calicatas y el respectivo análisis de muestras realizadas en laboratorio han permitido identificar para el Distrito de Sachaca, la presencia de hasta 3 tipos de suelos, los mismos que ha sido caracterizado de acuerdo a la clasificación SUCS (Suelos tipo SM, SP y SP-SM).

Los valores de capacidad portante definen suelos con alta y baja resistencia al corte, distribuidos de la siguiente manera: En general, los valores definen suelos con alta, media y baja resistencia al corte, distribuidos de la siguiente manera: los suelos con capacidad portante alta se encuentran en las urbanizaciones Asis y Magisterial Amauta; además, del P. T. Los Arrayanes. Suelos con capacidad

portante media se encuentran en las urbanizaciones Quinta Montebello I, Quinta Montebello II, El Olivar, Las Condes, Los Diamantes, Tahuaycani, El Buen Pastor, El Angel, Santa Fe, Los Portales de Tahuaycani y Residencial Montebello. En el resto del área de estudio, los suelos presentan capacidad portante baja.

Por otro lado, es importante señalar que todos los pueblos que se encuentran asentados sobre los cerros, lo hacen en suelos netamente rocosos.

Estabilidad de Taludes:

En el Distrito de Sachaca se ha identificado la presencia de 27 zonas de laderas con posibles índices de inestabilidad de taludes, todas en los cerros ubicados dentro del mismo distrito. Estos cerros presentan material de cobertura de origen coluvial con no más de 90 cm de espesor en su parte central y de 40 cm en sus extremos; mientras que, en las cumbres la cobertura es escasa debido a los procesos de erosión que los afecta. Estos cerros están distribuidos en los P. J. Villa Esperanza, Villa El Triunfo, Ampliación Villa El Triunfo, 23 de Junio, La Chiriguana, Alto Guadalupe Pacífico, 7 de Junio, Alto Alata y San Jerónimo. También en los A. H. La Nueva Esperanza, Coronel Víctor Maldonado, 1 de Julio, Alto Arguedas, Mirador de Sachaca, y General Pedro Vilcapaza. Del mismo modo en las Asociaciones de Vivienda Corazón de Jesús, Buena Vista, José María Arguedas 28 de Julio; además, del P. T. Pasos del Señor, todos densamente poblados

Peligro de Inundación:

El río Chili es el principal colector hídrico de la Provincia de Arequipa e ingresa a la ciudad por su borde oriental a través de un cañón profundo de flancos escarpados ubicado entre los volcanes Chachani y Misti para luego formar un amplio valle. El valle del río Chili se encuentra en el límite de una depresión somera, flanqueada por un dorso de dirección norte - sur en la cual sobresale la presencia de terrazas agrícolas con una geomorfología típicamente antrópica. En este caso, el área de estudio se encuentra comprendida dentro de la cuenca del río Chili, a lo largo de aproximadamente 5 km, considerando sectores del P.T. Arrayanes, el terreno del ex-Mercado La Parada y la zona del P.T. Arancota.

En el cauce del río que limita con el Distrito de Sachaca se ha identificado la presencia de 6 zonas susceptibles a inundaciones por incremento del caudal del río Chili entre el P.T. Arancota y el P.T. Los Arrayanes, siendo la ribera comprendida entre el P.T. Arancota y la Urb. El Palacio I, la de mayor riesgo a este tipo de peligro.

Aspectos Sismológicos y Peligro Sísmico

La región Arequipa y por ende el Distrito de Sachaca, se ubican en una de las regiones de mayor ocurrencia de sismos de diversa magnitud y variados niveles de profundidad. Esta sismicidad ha caracterizado la ocurrencia de sismos de magnitud elevada que históricamente han causado altos niveles de daño en la Provincia de Arequipa. En tal sentido, es importante la ejecución de estudios relacionados a la gestión del riesgo de peligros como los sismos.

El estudio de peligro sísmico ha permitido estimar para un periodo de retorno de 50 años con el 10% de excedencia, aceleraciones de 360 cm/seg^2 . Este valor es equivalente a intensidades de VI-VII (MM); es decir, suficientes como para producir años estructurales y deslizamientos en las zonas de pendiente alta.

Aspectos Sísmicos y Geofísicos:

El análisis de las razones espectrales H/V obtenidos en 204 puntos de medición, ha permitido observar gran variedad de frecuencias predominantes que van desde 0.5 a 30 Hz, lo cual sugiere que el suelo sobre el cual se encuentra el área urbana de Sachaca es muy heterogéneo y por ende, complejo. El rango de frecuencias entre 2 y 10 Hz ha permitido identificar la presencia de dos capas sedimentarias de variado espesor. Estos resultados son confirmados con los obtenidos a partir de estudios de refracción sísmica aplicando el método MASW.

Los resultados obtenidos indican que el Distrito de Sachaca cuenta con suelos constituidos por una y dos capas sedimentarias, siendo ambas de diferente espesor.

Zonificación Sísmica-Geotécnica (Comportamiento Dinámico del Suelo):

Los resultados obtenidos en este estudio han permitido identificar, según la Norma de Construcción Sismorresistente (Norma E030), la existencia en el Distrito de Sachaca de 2 zonas sísmicas - geotécnicas, las mismas que corresponden a suelos de Tipo S1 y S2. Esta clasificación permite proponer, en este estudio, el Mapa de Zonificación Sísmica - Geotécnica (Comportamiento Dinámico del suelo) para el Distrito de Sachaca.

RECOMENDACIONES

Es importante realizar estudios complementarios de geofísica (georadar y/o perforaciones de diamantina) a fin de lograr mayor detalle en la caracterización de los suelos en el Distrito de Sachaca, esto debido a la compleja heterogeneidad identificada en la composición de sus suelos.

Este documento técnico debe ser utilizado por las autoridades del Distrito de Sachaca para una mejor Gestión del Riesgo ante la ocurrencia de sismos, deslizamientos e inundaciones. Del mismo modo, para aportar información técnica a las normativas necesarias para el desarrollo y expansión urbana del distrito.

BIBLIOGRAFÍA

- Alfaro, A., Egozcue y A. Ugalde (1999): Determinación de características dinámicas del suelo a partir de microtemores. Memorias del Primer Congreso de Ingeniería Sísmica, España.
- APESEG (2005): Estudio de vulnerabilidad y riesgo sísmico en 42 distritos de Lima y Callao, CISMID, 10 pag.
- Aki, K., (1957): Space and time spectra of stationary stochastic waves, with special reference to microtemors. Bulletin of the Earthquake Research Institute, University of Tokyo 35, 415-457.
- Bernal, I. (2006): Microzonificación Sísmica de la Ciudad de Tlaxcala - Mexico. Tesis de Maestría, II-UNAM, Mexico.
- Bernal, I. y H. Tavera (2007): Pruebas de vibración ambiental realizadas en la localidad de Condor-marca, provincia de Bolívar. Dpto. de la Libertad. Informe Técnico, 23p.
- Bernal, I. y H. Tavera (2007): Estimación de frecuencias predominantes y amplificaciones relativas en los terrenos del BCP-Ciudad de Trujillo. Informe presentado al BCP, 22p.
- Capon, J.,(1973): Signal processing and frequency-wavenumber spectrum analysis for a large aperture seismic array, in *Methods in Computational Physics*, Vol. 13, ed. Bolt, B.A., Academic Press Inc, New York
- Casagrande. A. (1948): Classification and identification of soils, American Society of Civil Engineers, Transactions, Vol. 113, 901-991.
- Dorbath, L., Cistermas, A., Dorabath, C. (1990): Assessment in the size of large and great historical earthquake in Peru. B.S.S.A., 80,551-576
- Fäh D., Kind F. and Giardini D. (2002). Inversion of local S-wave velocity structures from average H/V ratios, and their use for the estimation of site effects. *Journal of Seismology*, 7, 449-467
- Gutierrez, C. y S.K. Singh (1992): A site effect study in Acapulco, Guerrero, Mexico: Comparison of results from strong motion and microtemor data, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 82, 642-659, 1992.
- INGEMMET (1999): 501 Cuadrángulos Geológicos Digitales de la Carta Nacional 1960-1999. Sector Energía y Minas.
- Lachet, C. y P. Y. Bard (1994): Numerical and theoretical investigations on the possibilities and limitations of Nakamura´s technique, *J. Phys. Earth.*, 42, 377-397 pp.
-

- 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.
- Nakamura, Y., (1989): A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface, *QR of RTRI*, 30, No.1, 25-33 pp.
- Norma E-30 (2003): Technical Building Standard E.030 Earthquake Resistant Standards (E-030 Diseño Sismorresistente). Ministry of Housing, Construction and Sanitation.
- Ordaz, M., A. Aguilar, J. Arboleda (2007): Program for computing seismic hazard: CRISIS-2007 V1.1., Institute of Engineering, UNAM, Mexico.
- Okada, H. (2003): The Microtremor Survey Method, Geophysical monograph series, No 12, Society of exploration geophysicists, 135 pp.
- PREDES (1989): Chosica - Lima, huaycos del año 1987. www.predes.org.pe
- Sadigh, K., C. Chang, J. Egan, F. Makdisi, R. Young (1997): Attenuation relationship for shallow crustal earthquakes based on California Strong Motion Data, *Seis. Res. Lett.*, V-68, N-1, January/February.
- Santacana, N. (2001): Análisis de susceptibilidad del terreno a la formación de deslizamientos superficiales y grandes deslizamientos mediante el uso de sistemas de información geográfico. Aplicación a la cuenca alta del río Llobregat. Tesis Doctoral Universidad Politécnica de Cataluña
- Silgado, E. (1978): Historia de los sismos más notables ocurridos en el Perú entre 1513 y 1974. Instituto Geológico Minero del Perú, Lima, Perú, 120 pag.
- Tavera, H., Buforn, E. (2001): Source mechanism of earthquakes in Peru. *Journal of Seismology* 5: 519-539, 2001.
- Tavera, H., Bernal, I., Gomez, J-C. (2010): Zonificación Sísmico-Geotécnico para el Distrito del Callao (Comportamiento Dinámico del Suelo). Informe Técnico COOPI-IRD.
- Tavera, H., Bernal, I., Gomez, J-C. (2010): Zonificación Sísmico-Geotécnico para el Distrito del Lima (Comportamiento Dinámico del Suelo). Informe Técnico COOPI-IRD.
- Tavera, H., Bernal, I., Condori, C. (2012): Propuesta del mapa de Peligro Sísmico para el Perú. Sismología, IGP.
- Young, R., S. Chiou, W. Silva, J. Humphrey (1997): Strong Ground Motion Attenuation Relationship for subduction zone earthquakes. *Seism. Res. Lett.*, V-68, N-1, January/February.
-