

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA

FACULTAD DE GEOLOGÍA, GEOFÍSICA Y MINAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOFÍSICA



**EVALUACIÓN GEODINÁMICA EXTERNA Y ANÁLISIS DINÁMICO DE
LOS SUELOS EN EL DISTRITO DE SACHACA (AREQUIPA) USANDO
MÉTODOS GEOFÍSICOS**

*Tesis Presentada por la Bachiller en
Ciencias Geofísicas:*

Lisbeth Eliana Bejarano Pinto

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO GEOFÍSICO

ASESOR INTERNO: Dr. Armando Minaya Lizarraga

ASESOR EXTERNO: Dr. Hernando Tavera Huarache

AREQUIPA - PERÚ

2016

*Dedicada a mis hijos Ander e Ilena y a mí
esposo Huberth, por su amor incondicional
y su apoyo en todo momento. Gracias por
estar siempre a mi lado. Los amo.*

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco a Dios y a la Virgencita de Chapi por acompañarme siempre, me han guiado y dado la fortaleza de seguir adelante.

Un agradecimiento especial a mis papis, Zulema y Jesús y a mi hermano Alonzo, que nunca dejaron de ayudarme, gracias por su amor y apoyo incondicional. Desde que inicie mi carrera hasta hoy, siempre han estado a mi lado; los amo.

Mi agradecimiento al Instituto Geofísico del Perú (IGP), por haberme dado la oportunidad de desarrollar mi tesis en la unidad de Sismología.

Gracias a mi asesor externo de Tesis, Dr. Hernando Tavera Director de la Subdirección de Ciencias de la Tierra Sólida del Instituto Geofísico del Perú, por su constante apoyo y orientación que hicieron posible la realización y culminación de la tesis.

A mi asesor interno de Tesis, Dr. Armando Minaya Lizarraga, por su apoyo incondicional, sus consejos y enseñanzas en el desarrollo del presente trabajo.

A las autoridades municipales por que apoyaron enormemente a la ejecución de este proyecto, al ex alcalde de la Municipalidad Distrital de Sachaca, Emilio Díaz y al Ing. José Montaña Enríquez. Así mismo, a los responsables del proyecto de investigación, MsC. Isabel Bernal, Ing. Juan Carlos Gómez y Tco. Henry Salas.

A mis compañeros de la unidad de Sismología que con sus sugerencias y conocimientos me ayudaron mucho con la elaboración de la presente tesis, Lic. C. Agüero, Lic. S. Rodríguez, Ing. E. Fernández, Lic. J. Millones, Ing. J. Martínez, Ing. R. Navarro, Ing. E. Vizcarra, Ing. P. Guardia, Tco. E. Torres, Ing. L. Torres, Bach. L. Arredondo, Ing. R. Bustamante, Ing. F. Rosado, MsC. C. Condori, Ing. C. Flores, Ing. E. Zúñiga, Ing. K. Pari, Ing. L. Velarde, Ing. M. Añazco, Bach. J. Huarachi, Ing. W. Sulla, Bach. G. Pérez, Bach. V. Nina, Ing. J. Guzmán, Bach. A. Cuya, Bach. J. Oyola.

Agradezco a los catedráticos de mi Alma Mater, la Universidad Nacional de San Agustín, Dr. Jorge Soto, MsC. Edgar Gonzales, Dr. Orlando Macedo, MsC Sebastián Zúñiga, muchas gracias por sus enseñanzas, experiencias y consejos impartidos durante mi formación académica.

A ti Patricia, gracias amiga por haberme impulsado en la realización de mi tesis, te quiero mucho.

INDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

INDICE

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABLAS

RESUMEN

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN	1
1.1 Ubicación del área de estudio	3
1.2 Accesibilidad	7
1.3 Justificación	7
1.4 Formulación del problema	8
1.4.1 Definición del Problema	8
1.4.2 Interrogantes del problema	8
1.5 Objetivos	9
1.5.1 Objetivo general	9
1.5.2 Objetivos específicos	9
1.6 Metodología	10
1.7 Trabajos anteriores	11
CAPÍTULO II GEOLOGÍA, GEOMORFOLOGÍA E HIDROLOGÍA	13
2.1 Geología	13
2.1.1 Geología regional	13
2.1.2 Geología Local	14
2.2 Geomorfología	17
2.2.1 La penillanura	18
2.2.2 Valle fluvial (cauce del río Chili)	18
2.2.3 Colinas y laderas	19
2.3 Hidrología	19
2.3.1 Drenaje	20
2.3.2 Clima	20
CAPÍTULO III MARCO TEÓRICO	21
3.1 Cuantificación de inundaciones	21
3.1.1 Precipitación	21

3.1.2 Caudal	21
3.1.3 Inundaciones	22
3.1.3.1 Las inundaciones y su entorno	23
3.1.3.2 Efectos que producen las inundaciones	24
3.2 Geodinámica	25
3.2.1 Deslizamientos	25
3.2.2 Comportamiento sísmico de taludes	27
3.2.2.1 Clasificación de los deslizamientos co-sísmicos	28
3.2.2.2 Factores que afectan la respuesta de los taludes	29
3.3 Geotecnia	30
3.3.1 Suelo	31
3.3.2 Efectos de sitio	31
3.3.3 Propiedades dinámicas de los suelos	33
3.3.4 Efectos de suelo en superficie	34
3.3.4.1 Amplificación geométrica	34
3.3.4.2 Amplificación dinámica	35
3.3.5 Caracterización geotécnica de suelos	37
3.3.5.1 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)	37
3.3.5.2 Análisis geotécnico	40
3.4 Métodos geofísicos	44
3.4.1 Clasificación de ondas sísmicas	44
3.4.1.1 Ondas de cuerpo	45
3.4.1.2 Ondas superficiales	46
3.4.2 Vibración ambiental	47
3.4.3 Metodología H/V o Nakamura	50
3.4.4 Velocidad de fase y velocidad de grupo	53
3.4.5 Método de refracción sísmica	54
3.4.6 Arreglos sísmicos lineales (MASW)	55
3.4.7 Aplicación MASW	57
CAPÍTULO IV ADQUISICIÓN, PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	59
4.1 Cuantificación de inundaciones	59
4.1.1 Estadística de caudales	60
4.1.2 El aporte de las torrenteras	63

4.1.3	Identificación de tramos críticos	66
4.1.4	Peligrosidad de flujos de lodo	69
4.1.5	Evaluación de inundaciones	71
4.2	Geodinámica	96
4.2.1	Estabilidad de taludes en el distrito de Sachaca	96
4.3	Aplicación de métodos geotécnicos	105
4.3.1	Clasificación SUCS	105
4.3.1.1	Suelos tipo SM	108
4.3.1.2	Suelos tipo SP	108
4.3.1.3	Suelos tipo SP_SM	108
4.3.2	Capacidad portante	111
4.4	Métodos geofísicos	114
4.4.1	Aplicación de la técnica H/V	114
4.4.1.1	Equipo utilizado	114
4.4.1.2	Adquisición de datos	114
4.4.1.3	Consideraciones para la toma de datos	117
4.4.1.4	Procesamiento de Datos	118
4.4.1.5	Frecuencias Predominantes	122
4.4.1.5.1	Rango de Periodos entre 0.1 – 0.3 s	123
4.4.1.5.2	Rango de Periodos entre 0.31 – 0.5 s	123
4.4.2	Aplicación MASW	131
4.4.2.1	Adquisición de Datos	131
4.4.2.2	Inversión de la curva de dispersión	135
CAPÍTULO V	DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS Y	143
ZONIFICACIÓN		
5.1	Zonificación por inundación	144
5.2	Análisis de la Norma de Diseño Sismoresistente (E-030)	155
5.2.1	Suelos muy rígidos (Tipo S1)	155
5.2.2	Suelos intermedios (Tipo S2)	155
5.2.3	Suelos flexibles o con estratos de gran espesor (Tipo S3)	156
5.2.4	Condiciones excepcionales (Tipo S4)	156
5.3	Resultados y discusión	159
5.3.1	Análisis geodinámico	149
5.3.2	Análisis geotécnico	162

5.3.3 Análisis sísmico	162
5.3.4 Método MASW	166
5.4 Zonificación sísmica-geotécnica	167

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXO I

LISTA DE MAPAS

Mapa 1.1	: Ubicación geográfica del Distrito de Sachaca, provincia y departamento de Arequipa.	6
Mapa 1.2	: Distrito de Sachaca y distribución de sus Asentamientos Humanos, Asociaciones de Vivienda, Cooperativas, Pueblos Jóvenes, Pueblos Tradicionales, Residenciales y Urbanizaciones.	8
Mapa 2.1	: Mapa Geológico local del distrito de Sachaca – Arequipa.	15
Mapa 4.1	: Ubicación de torrenteras y caudales máximos con respecto al río Chili en la ciudad de Arequipa. Adaptado de Fuse y Benites (2009).	64
Mapa 4.2	: Mapa de distintos tramos críticos y peligrosidad de las torrenteras de la ciudad de Arequipa. Adaptado de Fuse y Benites (2009).	68
Mapa 4.3	: Mapa de Peligro por emplazamiento del flujo hiperconcentrado Adaptado de Cereceda (2007).	70
Mapa 4.4	: Mapa de zona críticas y de daños del distrito de Sachaca durante los años de, 1961-2013.	91
Mapa 4.5	: Mapa de ubicación de puntos críticos y de daños representativos en la ciudad de Arequipa para los años entre 1961 – 1994.	92
Mapa 4.6	: Mapa de ubicación de puntos críticos y de daños representativos de la ciudad de Arequipa para los años entre 1997 – 2012.	93
Mapa 4.7	: Mapa de ubicación de puntos críticos y de daños representativos de la ciudad de Arequipa en el año 2013.	94
Mapa 4.8	: Mapa de ubicación de puntos críticos y de daños representativos del distrito de Sachaca, para los años entre 1961a 2013.	95
Mapa 4.9	: Distribución espacial de cerros y laderas presentes en el Distrito de Sachaca (líneas color rojo).	98
Mapa 4.10	: Distribución espacial de las 15 (quince) calicatas construidas en el distrito de Sachaca, Arequipa.	106
Mapa 4.11	: Mapa de clasificación de suelos SUCS para el Distrito de Sachaca, Arequipa.	110
Mapa 4.12	: Mapa de capacidad portante para el distrito de Sachaca – Arequipa.	113
Mapa 4.13	: Mapa del Distrito de Sachaca y distribución de puntos de registro de vibración ambiental.	116
Mapa 4.14	: Mapa del área de estudio y distribución espacial de periodos dominantes entre 0.1 a 0.3 segundos.	124
Mapa 4.15	: Mapa del área de estudio y ejemplos de razones espectrales para periodos 0.1 a 0.3 seg. (3.0 a 10.0 Hz).	125
Mapa 4.16	: Mapa del área de estudio y distribución espacial de periodos dominantes entre 0.31 a 0.5 segundos.	126
Mapa 4.17	: Área de estudio y ejemplos de razones espectrales para periodos dominantes 0.31 a 0.5 seg. (2.0 y 3.0 Hz).	127
Mapa 4.18	: Ejemplos de razones espectrales (H/V) en las cuales se ha identificado la existencia de dos (2) picos de frecuencias predominantes. Obsérvese las diferencias existentes entre las amplitudes de los picos de frecuencias.	129
Mapa 4.19	: Distribución espacial de puntos de H/V en los cuales se ha identificado la existencia de uno y dos picos de frecuencias predominantes en el área del Distrito de Sachaca.	130
Mapa 4.20	: Ubicación de los tendidos de refracción sísmica en el distrito de Sachaca.	133
Mapa 5.1	: Mapa de ubicación espacial de las zonas susceptibles a inundaciones por crecida del río Chili, todas denotadas por letras de la A hasta la F.	146
Mapa 5.2	: Mapa zoom de zonas susceptibles a inundaciones.	154

Mapa 5.3	: <i>Mapa del área de estudio y distribución espacial de periodos dominantes entre 0.1 a 0.3 segundos.</i>	164
Mapa 5.4	: <i>Mapa del área de estudio y distribución espacial de periodos dominantes entre 0.31 a 0.5 segundos.</i>	165
Mapa 5.5	: <i>Mapa de zonificación Sísmica-Geotécnica para el Distrito de Sachaca.</i>	168

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	: Penillanura del Distrito de Sachaca la mayor parte cubierta por parcelas agrícolas.	18
Figura 2.2	: Valle del río Chili, con presencia de vegetación que recubren las terrazas.	18
Figura 2.3	: Colinas del distrito de Sachaca que muestran con gran densidad poblacional.	19
Figura 3.1	: Falla típica de un relleno en caso de un sismo (Seed, 1970.)	28
Figura 3.2	: Estructuras y configuraciones tipo que pueden dar lugar a efectos de sitio. a) Capas sedimentarias horizontales sobre substrato rocoso; b) Relleno sedimentario de un valle; c) Discontinuidades laterales bruscas; d) Relieves (Efecto topográfico). Tomado de Bard et al., (1995).	32
Figura 3.3	: Caracterización de una columna litológica en una zona donde se realiza un análisis de la respuesta de suelos. Para cada estrato debe indicarse potencia, densidad y velocidad de las ondas sísmicas S.	33
Figura 3.4	: Función de amplificación de suelo uniforme sobre una roca rígida con coeficiente de amortiguamiento nulo.	35
Figura 3.5	: Función de amplificación de un suelo uniforme sobre una roca rígida.	35
Figura 3.6	: Carta de Casagrande para los suelos cohesivos	39
Figura 3.7	: Esfuerzos en el interior de una masa elástica.	41
Figura 3.8	: Diagrama de Mohr.	42
Figura 3.9	: Esfuerzos normales y cortantes en un bloque de suelo, según la teoría de Coulomb.	42
Figura 3.10	: Envolvente de Mohr y teoría de Coulomb.	43
Figura 3.11	: Detalles del equipo de corte directo y diagrama de ruptura de Mohr.	44
Figura 3.12	: Propagación de ondas sísmicas partiendo desde el hipocentro	45
Figura 3.13	: Modelo de propagación de la onda P.	45
Figura 3.14	: Modelo de propagación de la onda S.	46
Figura 3.15	: Modelo de propagación de las ondas sísmicas superficiales.	47
Figura 3.16	: Fuentes de Vibración ambiental.	48
Figura 3.17	: Modelo asumido por Nakamura para interpretar la propagación de vibración ambiental sobre un semiespacio de espesor Z.	51
Figura 3.18:	: Esquema que descubre la velocidad de grupo y de fase.	54
Figura 3.19	: Frentes de ondas generados por una fuente activa.	55
Figura 3.20	: Configuración de campo y equipo de datos para el Método MASW.	56
Figura 3.21	: Esquema de la metodología utilizada para el procesamiento de datos obtenidos por un arreglo lineal, para determinar el perfil de velocidades.	58
Figura 4.1	: Valle del río Chili en el cual se observa la presencia de las terrazas agrícolas con influencia antrópica que invaden parcialmente el cauce del río.	60
Figura 4.2	: Caudales en el río Chili durante los meses de febrero (caudal alto) y setiembre (caudal normal) durante el año 2012, en el puente Grau.	61
Figura 4.3	: Caudales medios alcanzados por el río Chili en la ciudad de Arequipa durante un periodo de 39 años.	62
Figura 4.4	: Viviendas asentadas sobre las laderas del cerro “Arguedas”. Se observa la presencia de herraduras sobre la cima. El rango de pendiente en la zona es de 25° a 40°.	99

Figura 4.5	: Viviendas asentadas sobre la ladera del cerro donde se ubican a las Asoc. 28 de Julio y José María Arguedas. Obsérvese que el cerro está cubierto por viviendas y de ocurrir un movimiento en masa, estas serían afectadas.	99
Figura 4.6	: Factor de seguridad para la ladera L18 del cerro ubicado en el A. H. Coronel Victor Maldonado considerando un modelo estático.	101
Figura 4.7	: Factor de seguridad para la ladera L18 del cerro ubicado en el A. H. Coronel Victor Maldonado considerando un modelo pseudo estático.	101
Figura 4.8	: Factor de seguridad para la ladera L24 del cerro ubicado en el P.J. Villa El Triunfo considerando un modelo estático.	102
Figura 4.9:	: Factor de seguridad para la ladera L24 del cerro ubicado en el P.J. Villa El Triunfo considerando un modelo pseudo estático.	102
Figura 4.10	: En la imagen se observa el Pueblo Joven 7 de Junio, ubicada en el extremo sur del distrito de Sachaca. Esta área es considerada como la de mayor riesgo a deslizamientos y caída de piedras.	104
Figura 4.11	: En la imagen se observa el Pueblo Joven Villa el Triunfo, ubicada en el extremo norte del distrito de Sachaca. Esta área es considerada con riesgo medio a deslizamientos y caída de piedras.	104
Figura 4.12	: Calicata construida por una retroexcavadora proporcionada por el Municipio del Distrito de Sachaca.	107
Figura 4.13	: Equipo sísmico utilizado para el registro de vibraciones ambientales: sensores Lennartz y registrador City Shark	115
Figura 4.14	: 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.	117
Figura 4.15	: Esquema que muestra el procedimiento para el de los registros de vibraciones ambientales para obtener los cocientes espectrales H/V.	119
Figura 4.16	: Ejemplo de selección de ventanas de registro de vibración ambiental (rectángulos de colores) punto SAC 035 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.	121
Figura 4.17	: Imagen de la disposición del equipo de refracción sísmica para la toma de data en el distrito de Sachaca	132
Figura 4.18	: Imágenes de la disposición del equipo de refracción sísmica y registro de ondas sísmicas en el local del estadio de futbol ubicado en el A.H. Santa María de Guadalupe.	134
Figura 4.19	: Análisis e interpretación geofísica obtenido con el método MASW para el arreglo S001	136
Figura 4.20	: Análisis e interpretación geofísica obtenido con el método MASW para el arreglo S002.	136
Figura 4.21	: Análisis e interpretación geofísica obtenido con el método MASW para el arreglo S003.	137
Figura 4.22	: Análisis e interpretación geofísica obtenido con el método MASW para el arreglo S004.	138
Figura 4.23	: Análisis e interpretación geofísica obtenido con el método MASW para el arreglo S005.	138
Figura 4.24	: Análisis e interpretación geofísica obtenido con el método MASW para el arreglo S006	139
Figura 4.25	: Análisis e interpretación geofísica obtenido con el método MASW para el arreglo S007.	140
Figura 4.26	: Análisis e interpretación geofísica obtenido con el método MASW para el arreglo S008.	140

Figura 4.27	: <i>Análisis e interpretación geofísica obtenido para el Arreglo Lineal S006. Los números indican el orden de los pasos a seguir en el procesamiento y análisis de la información sísmica.</i>	141
Figura 5.1	: <i>Diferentes tipos de viviendas presentes en la variada morfología del Distrito de Sachaca.</i>	144
Figura 5.2	: <i>Principales características geomorfológicas en la Zona “A” susceptible a inundación.</i>	147
Figura 5.3	: <i>Principales características geomorfológicas en la Zona “B” susceptible a inundación.</i>	148
Figura 5.4	: <i>Principales características geomorfológicas en la Zona “C” susceptible a inundación.</i>	149
Figura 5.5	: <i>Principales características geomorfológicas en la Zona “D” susceptible a inundación.</i>	150
Figura 5.6	: <i>Principales características geomorfológicas en la Zona “E” susceptible a inundación.</i>	151
Figura 5.7	: <i>Principales características geomorfológicas en la Zona “F” susceptible a inundación.</i>	152
Figura 5.8	: <i>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).</i>	157
Figura 5.9	: <i>Se observa las viviendas que pueden ser afectadas por deslizamientos en el P.J. Villa el Triunfo.</i>	160
Figura 5.10	: <i>Viviendas que pueden verse afectadas por deslizamientos en el P.J. José María Arguedas.</i>	160
Figura 5.11	: <i>Viviendas que pueden verse afectadas por deslizamientos en el P.J. Corazón de Jesús.</i>	161
Figura 5.12	: <i>Viviendas que pueden verse afectadas por deslizamientos en el P.J. 7 de Junio.</i>	161

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1	: <i>Interrogantes para el área de estudio.</i>	4
Tabla 1.2	: <i>Relación de Urbanizaciones, Pueblos Tradicionales, Pueblos Jóvenes, Asociaciones de Vivienda y otros existentes en el distrito de Sachaca.</i>	7
Tabla 3.1	: <i>Clasificación de falla de taludes, (Hunt, 1984).</i>	26
Tabla 3.2	: <i>Posibilidad de deslizamientos causados por sismos (Keefer 1984).</i>	29
Tabla 3.3	: <i>Símbolos de grupo en la clasificación SUCS.</i>	37
Tabla 3.4	: <i>Tipología de suelos, características generales</i>	38
Tabla 3.5	: <i>Características del suelo según SUCS.</i>	39
Tabla 3.6	: <i>Fuentes de vibración ambiental en función a la frecuencia. Reproducido de Bonnefoy – Claudet et al (2006b).</i>	49
Tabla 3.7	: <i>Diferenciación de las vibraciones ambientales según Bard et al, (2004).</i>	49
Tabla 4.1	: <i>Prioridad de tramos críticos de las torrenteras en ambas riberas del río Chili.</i>	67
Tabla 4.2	: <i>Descripción de los daños producidos en la ciudad de Arequipa por inundación (Fuente: Diarios El Pueblo, El Correo, 1961, 1967, 1973, 1986, 1994, 1997, 1999, 2001, 2008, 2011, 2012).</i>	72
Tabla 4.3	: <i>Descripción de los daños en la ciudad de Arequipa por inundación (Fuente: Diarios El Pueblo, El Correo, 1961, 1967, 1973, 1986, 1994, 1997, 1999, 2001, 2008, 2011, 2012).</i>	75
Tabla 4.4	: <i>Descripción de los daños en la ciudad de Arequipa por inundaciones (Fuente: Diarios El Pueblo, El Correo, 1972, 1989, 2013).</i>	77
Tabla 4.5	: <i>Daños clasificación y ordenamiento por año de la ciudad de Arequipa (Fuente: Diarios El Pueblo, El Correo, 1972, 1989, 2013).</i>	78
Tabla 4.6	: <i>Simbología para la clasificación de daños por año en la ciudad de Arequipa</i>	80
Tabla 4.7	: <i>Zonas afectadas en la Torrentera Polanco periodo 1961-2013 (Fuente: Diarios El Pueblo, El Correo 1961, 1967, 1972, 1973, 1986, 1989, 1994, 1997, 1999, 2001, 2008, 2011, 2012, 2013).</i>	81
Tabla 4.8	: <i>Zonas afectadas en la Torrentera San Lázaro periodo 1961-2013 (Fuente: Diarios El Pueblo, El Correo 1961, 1967, 1972, 1973, 1986, 1989, 1994, 1997, 1999, 2001, 2008, 2011, 2012, 2013).</i>	82
Tabla 4.9	: <i>Zonas afectadas en la Torrentera Miraflores periodo 1961-2013 (Fuente: Diarios El Pueblo, El Correo 1961, 1967, 1972, 1973, 1986, 1989, 1994, 1997, 1999, 2001, 2008, 2011, 2012, 2013).</i>	83
Tabla 4.10	: <i>Zonas afectadas en la Torrentera Mariano Melgar periodo 1961-2013 (Fuente: Diarios El Pueblo, El Correo 1961, 1967, 1972, 1973, 1986, 1989, 1994, 1997, 1999, 2001, 2008, 2011, 2012, 2013).</i>	84
Tabla 4.11	: <i>Zonas afectadas en la Torrentera Paucarpata periodo 1961-2013 (Fuente: Diarios El Pueblo, El Correo 1961, 1967, 1972, 1973, 1986, 1989, 1994, 1997, 1999, 2001, 2008, 2011, 2012, 2013).</i>	85
Tabla 4.12	: <i>Zonas afectadas en la Torrentera Zamácola periodo 1961-2013 (Fuente: Diarios El Pueblo, El Correo 1961, 1967, 1972, 1973, 1986, 1989, 1994, 1997, 1999, 2001, 2008, 2011, 2012, 2013).</i>	86
Tabla 4.13	: <i>Zonas afectadas en el río Chili periodo 1961-2013 (Fuente: Diarios El Pueblo, El Correo 1961, 1967, 1972, 1973, 1986, 1989, 1994, 1997, 1999, 2001, 2008, 2011, 2012, 2013).</i>	87

Tabla 4.14	: Zonas afectadas en otros distritos periodo 1961-2013 (Fuente: Diarios El Pueblo, El Correo 1961, 1967, 1972, 1973, 1986, 1989, 1994, 1997, 1999, 2001, 2008, 2011, 2012, 2013).	89
Tabla 4.15	: Zonas afectadas en el distrito de Sachaca periodo 1961-2013 (Fuente: Diarios El Pueblo, El Correo 1961, 1967, 1972, 1973, 1986, 1989, 1994, 1997, 1999, 2001, 2008, 2011, 2012, 2013).	90
Tabla 4.16	: Rango de factor de seguridad en taludes (Sowers y Sowers 1970).	100
Tabla 4.17	: Propiedades geotécnicas de las unidades geológicas presentes en los cerros del Distrito de Sachaca (Ocola, 2005).	100
Tabla 4.18	: Valores de factor de seguridad para las 27 laderas identificadas en los cerros existentes en el distrito de Sachaca.	103
Tabla. 4.19	: Coordenadas UTM de las 15 (quince) calicatas construidas en el Distrito de Sachaca, Arequipa.	107
Tabla 4.20	: Simbología de los principales tipos de suelos.	107
Tabla 4.21	: Clasificación de suelos SUCS para el Distrito de Sachaca.	109
Tabla 4.22	: Rangos de capacidad de carga admisible con su respectiva denominación.	112
Tabla 4.23	: Valores de capacidad portante para cada calicata construida en el Distrito de Sachaca y rangos de capacidad de carga admisible.	112
Tabla 4.24	: Valores de espesor y velocidad para las 8 líneas de refracción sísmica.	142
Tabla 5.1	: Coordenadas UTM de ubicación de las secciones topográficas sobre el río Chili	145
Tabla 5.2	: Parámetros del suelo según la Norma E-030 (2003).	156
Tabla 5.3	: Características de las para las 8 líneas de refracción sísmica.	166

RESUMEN

Históricamente, la ciudad de Arequipa ha sido afectada por diversos peligros, entre ellos, las erupciones volcánicas, los sismos y las precipitaciones pluviales extremas, este último con mayor frecuencia en el tiempo. Sin embargo, han sido los terremotos que en escasos 120 segundos han producido mayor destrucción en viviendas y mortandad. La experiencia del terremoto del 2001, dejó una enseñanza que los daños en la ciudad están ligados a la calidad de los suelos y al tipo de las construcciones, por ello es importante incrementar los estudios que permitan conocer el comportamiento dinámico de los suelos ante la sollicitación sísmica. Este es uno de los objetivos de este estudio, zonificar los suelos existentes en el distrito de Sachaca (Arequipa), aplicando métodos geofísicos. Los resultados indican que en este distrito prevalecen suelos tipo S1 y tipo S2 según la Norma Sismoresistente E - 030.

El peligro de precipitaciones extremas, en el caso de Arequipa, es frecuente cada año y solo su historia bien documentada permitirá identificar y cuantificar la ubicación de áreas críticas. Debe entenderse, que, al ser los peligros recurrentes en el tiempo, las áreas afectadas en el pasado, serán las mismas en el futuro con la diferencia que el riesgo es mayor al incrementarse la expansión urbana y la exposición de la población. En el caso del distrito de Sachaca, las zonas de mayor riesgo se encuentran entre el Pueblo Tradicional de Arancota y el puente Tingo.

Conocer la calidad de los suelos y las zonas críticas al peligro de inundaciones, permite plantear acciones conectadas a una correcta gestión de riesgo. Los resultados obtenidos en esta investigación deben ser punto de partida para establecer las respectivas medidas de prevención en salvaguarda de la población.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La ciudad de Arequipa, por su ubicación geográfica, es afectada por diversos peligros y de ellos los más importantes son las fuertes precipitaciones, muy frecuentes en el tiempo, y los sismos de gran magnitud, cuyos daños en ciudades dependerán de su morfología, de las características de los suelos y del tipo de construcción.

Las fuertes precipitaciones pluviales presentes en la ciudad de Arequipa en épocas de verano, ocasionan inundaciones por el aumento del caudal del río Chili. Las inundaciones en centros poblados ubicados cerca de las riberas del río, pueden ocurrir entre los meses de diciembre a marzo, dañando viviendas, muros de contención, puentes, pistas, servicios de agua y desagüe, servicios de energía eléctrica y terrenos de cultivo. Por lo tanto, es necesario realizar la recopilación y evaluación de información histórica sobre las inundaciones producidas por el río Chili, a lo largo de su cauce, así como el aporte de las torrenteras para el incremento de su caudal. La recopilación, análisis y evaluación de la información permitirá conocer el riesgo en el que se encuentra el distrito de Sachaca.

Por otro lado, la historia sísmica del Perú muestra que 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 en los constantes daños observados post-sismo en cada área urbana de los principales departamentos ubicados en la zona

costera (Silgado, 1978, Dorbath et al, 1990, Tavera 2014). Así mismo los sismos han mostrado que los daños en ciudades dependen de la morfología y calidad de los suelos, además del tipo de las construcciones. La geología local es uno de los parámetros más importantes, ya que influye grandemente en el tipo de respuesta de sitio; es decir, cada suelo, de acuerdo a su composición, responderá de diferente modo a la sollicitación sísmica. Los sismos son cíclicos, y es de esperarse que, en el futuro, las mismas áreas urbanas sean afectadas por nuevos eventos sísmicos con la misma o mayor intensidad. En este escenario es importante conocer el comportamiento dinámico de los suelos a fin de reducir el riesgo en las ciudades.

En el caso del distrito de Sachaca (Arequipa), con la aplicación de métodos geofísicos, geológicos, y geotécnicos, se conocerá el comportamiento dinámico de los suelos ante la ocurrencia de sismos. Esta información es importante para prever las futuras áreas de expansión urbana con la construcción de estructuras adecuadas para cada tipo de suelo.

El presente estudio, ha sido estructurado en cinco capítulos, los mismos que se detallan a continuación:

El Capítulo I, está constituido por la introducción, ubicación del área de estudio, accesibilidad, justificación definición y formulación del problema, objetivos, metodología y trabajos anteriores.

El Capítulo II, describe la geología, geomorfología e hidrología del distrito de Sachaca.

En el Capítulo III, se describe el marco teórico de los estudios aplicados en el presente estudio.

En el capítulo IV, se describe la adquisición de datos de los estudios aplicados, se procesa y se analiza los resultados obtenidos para el área de estudio.

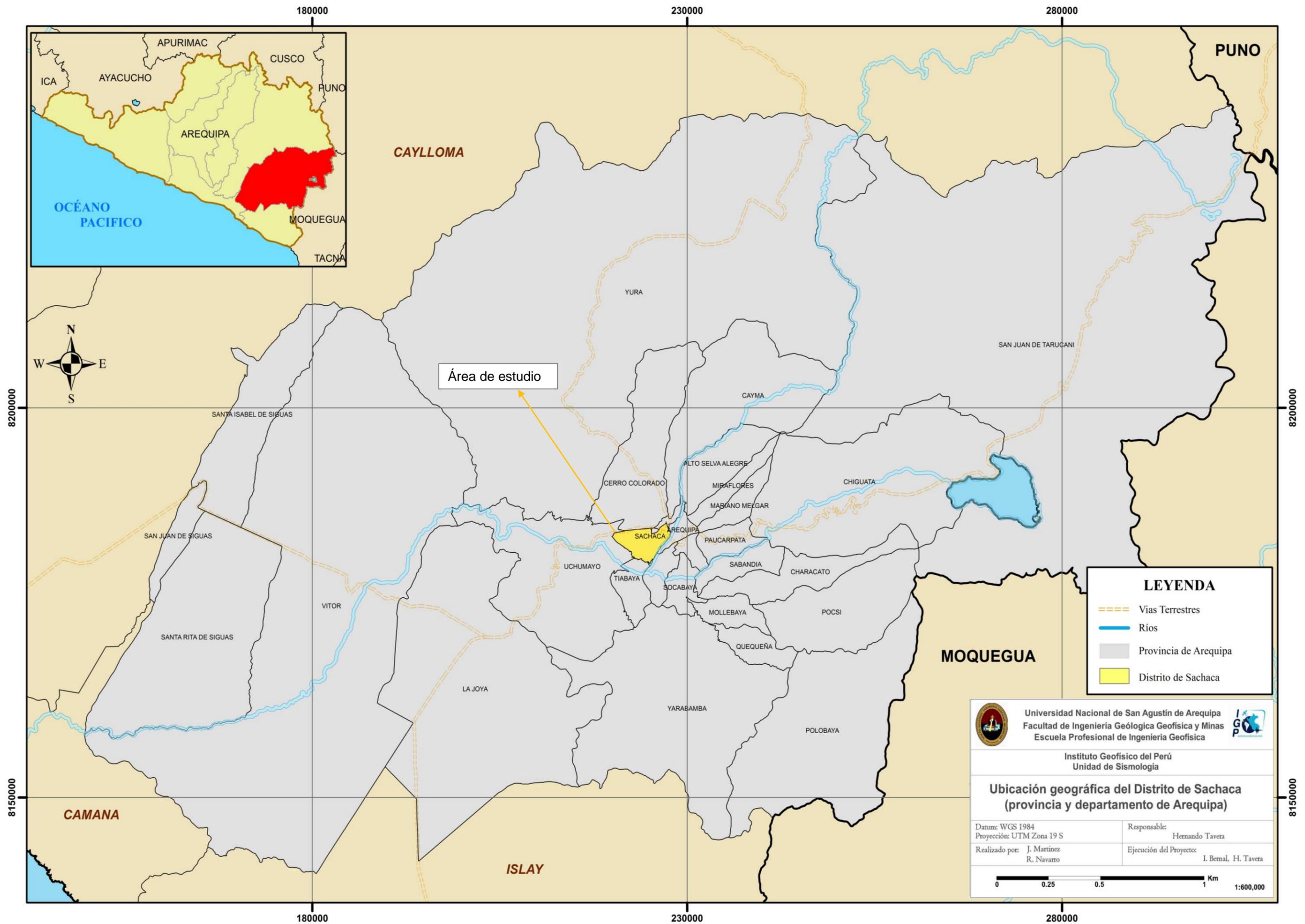
En el Capítulo V, se realiza el análisis de resultados de inundación por precipitación, y de las condiciones mecánicas – dinámicas de los suelos en el distrito de Sachaca, para proponer su zonificación por inundación y zonificación sísmica geotécnica.

Por último, se presentan las conclusiones para realizar una correcta gestión del riesgo.

1.1 Ubicación del área de estudio

El distrito de Sachaca es uno de los 29 distritos que conforman la Provincia de Arequipa en el Departamento Arequipa, se encuentra bajo la administración del Gobierno Regional de Arequipa en la región sur del Perú (Mapa 1.1). Cuenta con una superficie de 26.6 Km² y alberga una población del orden de 17, 537 habitantes. Su altitud media es de 2240 m.s.n.m. Sachaca está ubicado a 4 Km en dirección sur – oeste del centro histórico de Arequipa, entre las coordenadas 224000 E, 8182000 N SGM 1984 Zona 19 S y está conformada por un gran número de Urbanizaciones, Asociaciones de Vivienda, Asentamientos Humanos (A.H.), Pueblos Jóvenes (P.J.) y Pueblos Tradicionales (P.T.); además de dos barrios residenciales, una Cooperativa y un Centro Poblado. Los límites políticos del distrito de Sachaca son: por el norte, con los distritos de Cerro Colorado y Yanahuara; por el sur, con los distritos de Tiabaya y Hunter; por el este, con la margen derecha del río Chili y por el oeste, con el distrito de Uchumayo.

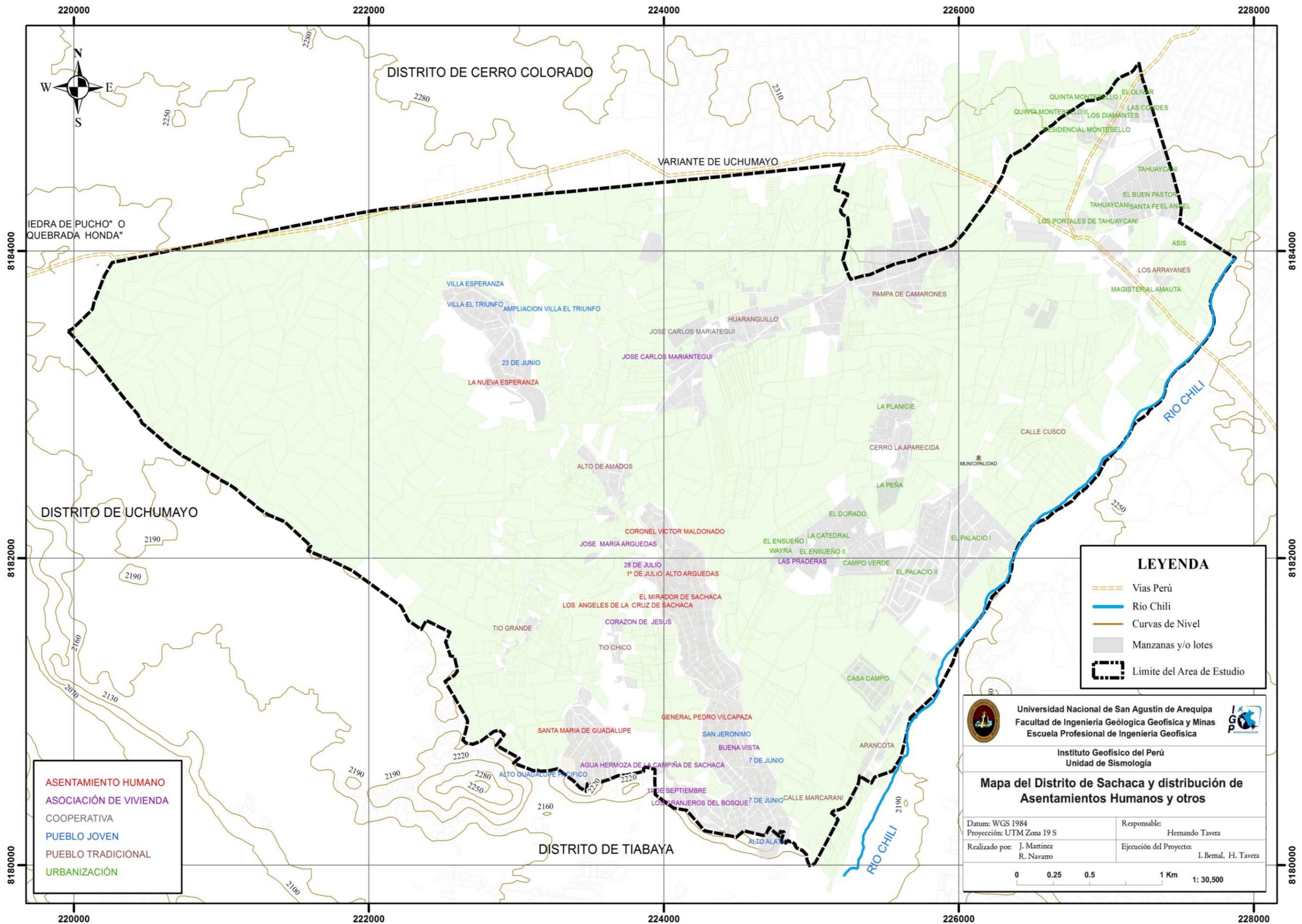
El detalle de todas las urbanizaciones (Urb.), Asociaciones de Viviendas (Asoc.), Asentamientos Humanos (AA.HH.), Pueblos Jóvenes (P.J.), Pueblos Tradicionales (P.T.), Residenciales (Res.), Cooperativas (Coop.) y Centros Poblados (C.P.) existentes en el Distrito de Sachaca se presenta en la Tabla 1.2 y su distribución espacial en el Mapa 1.2.



Mapa 1.1: Ubicación geográfica del Distrito de Sachaca (provincia y departamento de Arequipa).

Tabla 1.2: Relación de Urbanizaciones, Pueblos Tradicionales, Pueblos Jóvenes, Asociaciones de Vivienda y otros existentes en el distrito de Sachaca.

Residencial Huimanguillo 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



Mapa 1.2: Distrito de Sachaca y distribución de sus Asentamientos Humanos, Asociaciones de Vivienda, Cooperativas, Pueblos Jóvenes, Pueblos Tradicionales, Residenciales y Urbanizaciones.

1.2 Accesibilidad

Por carretera tiene como vía de acceso principal la carretera Panamericana Sur (Asfaltada) que une las ciudades Lima –Arequipa. Existen además carreteras de penetración (afirmadas), trochas y caminos de herradura que permiten acceder al área de trabajo.

El recorrido y tiempo de viaje en camioneta desde la ciudad de Lima es:

- Ruta: Lima – Arequipa.
- Recorrido: 1009Km.
- Tiempo: 16 horas.

Por vía aérea los vuelos son diarios desde la ciudad de Lima cuyo tiempo de vuelo es:

- Ruta: Lima – Arequipa
- Tiempo: 1 h 15 min.

1.3 Justificación

Los peligros en Sachaca son las inundaciones, muy frecuentes en el tiempo, los deslizamientos y los sismos de gran magnitud, los daños en zonas urbanas dependerán de su morfología, de las características de los suelos y del tipo de construcción.

Las precipitaciones pluviales, ocasionan inundaciones por el aumento del caudal del río Chili, estas pueden ocurrir entre los meses de Diciembre a Marzo dejando cuantiosas pérdidas económicas y algunas pérdidas de vidas humanas, por lo tanto, es necesario realizar la recopilación y evaluación de información histórica sobre las inundaciones producidas por el río Chili, a lo largo de su cauce, así como el aporte de las torrenteras para el incremento de su caudal como afecta a la zona de estudio y poder proponer escenarios de inundación que permitan disponer de información a ser utilizada en futuras decisiones de prevención y gestión de riesgos.

Por otro lado, de acuerdo a la historia sísmica del Perú, la ciudad de Arequipa ha sido afectada en varias oportunidades por eventos sísmicos de diferente magnitud que han generado altos niveles de intensidad, en este escenario es importante conocer el comportamiento dinámico de los suelos a fin de reducir el riesgo en la zona urbana del distrito de Sachaca.

1.4 Formulación del problema

1.4.1 Definición del Problema

En épocas de verano, las precipitaciones pluviales, ocasionan inundaciones por el aumento del caudal del río Chili. Las inundaciones en centros poblados ubicados cerca de las riberas del río, pueden ocurrir entre los meses de diciembre a marzo, generando deslizamientos, también ocasionan daños en viviendas, muros de contención, puentes, pistas, servicios de agua y desagüe, servicios de energía eléctrica y terrenos de cultivo.

Además, los sismos han mostrado que los daños en las ciudades dependen de la morfología y calidad de los suelos, además del tipo de las construcciones. Los sismos son cíclicos, y es de esperarse que, en el futuro, las mismas áreas urbanas sean afectadas por nuevos eventos sísmicos con la misma o mayor intensidad.

1.4.2 Interrogantes del problema

El distrito de Sachaca siempre ha sido afectado por fuertes precipitaciones pluviales y sismos de gran magnitud, dentro de este contexto es necesario realizar las siguientes interrogantes ver tabla 1.1

Tabla 1.1: Interrogantes para el área de estudio.

PROBLEMA	CAUSAS	EFECTO (Solución)
¿A qué se debe las inundaciones en la margen derecha del río Chili que limita con el distrito de Sachaca?	Afluencia de lluvias entre los meses de diciembre a marzo. Aumento del caudal del río Chili entre los meses de diciembre a marzo.	Conocer la estadística e historia de inundaciones y generar escenarios de inundación que permitan disponer de información a ser utilizada en futuras decisiones de prevención y gestión de riesgos.
¿A qué se debe la inestabilidad de taludes en pueblos jóvenes y asentamientos humanos del Distrito de Sachaca (Arequipa)?	Actividades antrópicas sobre las laderas de los cerros que conforman Sachaca todos con materiales inestables.	Conocer el factor de seguridad para definir la estabilidad de taludes en Sachaca y establecer medidas preventivas en las laderas de alto riesgo.
¿Por qué se debe realizar la zonificación sísmica geotécnica en el distrito de Sachaca (Arequipa)?	Los terremotos destructivos recientes han demostrado la importancia de la amplificación del movimiento sísmico debido a efectos locales provocada por la calidad de los suelos.	Clasificar y hacer el uso apropiado del suelo, así como la adopción de medidas conducentes a la reducción de los daños y pérdidas ocasionadas por los terremotos en la zona de estudio.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Proponer escenarios de inundación del río Chili debido a caudales extremos en el sector de Sachaca y conocer el Comportamiento Dinámico de los Suelos en el distrito de Sachaca (Provincia y Departamento de Arequipa), aplicando una combinación de métodos geofísicos, geológicos y geotécnicos.

1.5.2 Objetivos específicos

- Comprender la geodinámica externa de la zona evaluando la estabilidad de los taludes.
- Identificar zonas de peligro y riesgo en las márgenes del río Chili en el sector de Sachaca, debido a inundación por precipitación y flujos de lodo.
- Identificar torrenteras que contribuyen al caudal del río Chili (caudales, tramos críticos, zonas de peligrosidad) en la zona de estudio.

- Conocer las zonas susceptibles a inundación en la ribera del río Chili en el sector del distrito de Sachaca.
- Realizar la clasificación SUCS y estimar la capacidad portante de los suelos.
- Conocer la frecuencia fundamental del suelo.
- Estimar la distribución de velocidades de las ondas de corte (Vs) y espesores de las diferentes estructuras.
- Realizar la zonificación de los suelos en el distrito de Sachaca usando la Norma E030.

1.6 Metodología

El presente estudio se realizó en tres etapas:

- **Primera etapa:** se realizó la recolección de material bibliográfico sobre la geología, geomorfología e hidrología del distrito de Sachaca, además de cada uno de los estudios que se aplicó en nuestra zona de estudio, descritos a continuación. En geodinámica sobre deslizamientos, y comportamiento sísmico de taludes, en cuantificación de eventos extremos sobre precipitaciones, caudales e inundaciones y los efectos que pueden producir además de información histórica sobre inundaciones que hayan afectado nuestra área de estudio, en geotecnia sobre suelo, efectos de sitio, propiedades dinámicas de los suelos y caracterización geotécnica de los suelos, en métodos geofísicos sobre ondas sísmicas, vibración ambiental, método H/V, velocidad de fase y de grupo y método MASW, finalmente conocer más a fondo la Norma E – 030 (2003).
- **Segunda etapa:** Se realizó la recolección y adquisición de datos de los estudios de geodinámica, inundaciones, geotecnia y de los métodos geofísicos en el distrito de Sachaca, conjuntamente con el reconocimiento de más de 27 laderas con posibles índices de inestabilidad, la identificación in situ de posibles zonas susceptibles a inundación y el conocimiento de estadística e historia de las inundaciones producidas en la ciudad de Arequipa, la realización de 15 calicatas y toma de muestra de suelo que fueron evaluadas en laboratorio de suelos. Luego se realizó la implementación de softwares adecuados para realizar el procesamiento y análisis de la data recolectada y adquirida, prosiguiendo con el procesamiento de la data con los softwares SLIDE, HEC-RAS, GEOPSY,

DINVER, ArcGIS, AutoCAD, para un adecuado manejo durante el análisis y obtener resultados óptimos.

- **Tercera etapa:** Se correlacionaron los resultados obtenidos, realizando su interpretación y posterior discusión de los parámetros que caracterizan los diversos métodos y técnicas geofísicas, geológicas y geotécnicas para el área urbana del distrito de Sachaca.

1.7 Trabajos anteriores

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).

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.

Cereceda en el 2007, reliza el estudio “Estratigrafía, sedimentología y peligro por emplazamiento de LAHARES, sector Chapi Chico- Uchumayo, Valle de río Chili-Arequipa” según este estudio la zona con mayor afectación se encuentra entre la localidad Vallecito y la localidad de Tingo, con un recorrido aproximado de 2.5 Km. Los flujos que afectarían destruirían 125 m. en ambos flancos. Asimismo a partir del Puente Tingo hasta la entrada del distrito de Tiabaya, las zonas colindantes hasta distancias de 250 m se verían afectadas por el flujo hiperconcentrado.

Fuse y Benites en el 2009, realizan un estudio “Inundaciones en la Localidad de Arequipa ocasionadas por el Ingreso de las Torrenteras”, dicho estudio nos permite

ver que otro factor importante que a contribuido al incremento del caudal en el río Chili, son las torrenteras que atraviesan la localidad de Arequipa, todas presentes en ambas riberas, y que tramos de las torrenteras son los más afectados a nivel de la ciudad de Arequipa y en el distrito de Sachaca.

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 y 2012, 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, Santa Rosa, Chosica, Chaclacayo, Huaycan (Ate) y Carapongo (Chosica).

CAPÍTULO II

GEOLOGÍA, GEOMORFOLOGÍA E HIDROLOGÍA

2.1 Geología

2.1.1 Geología regional

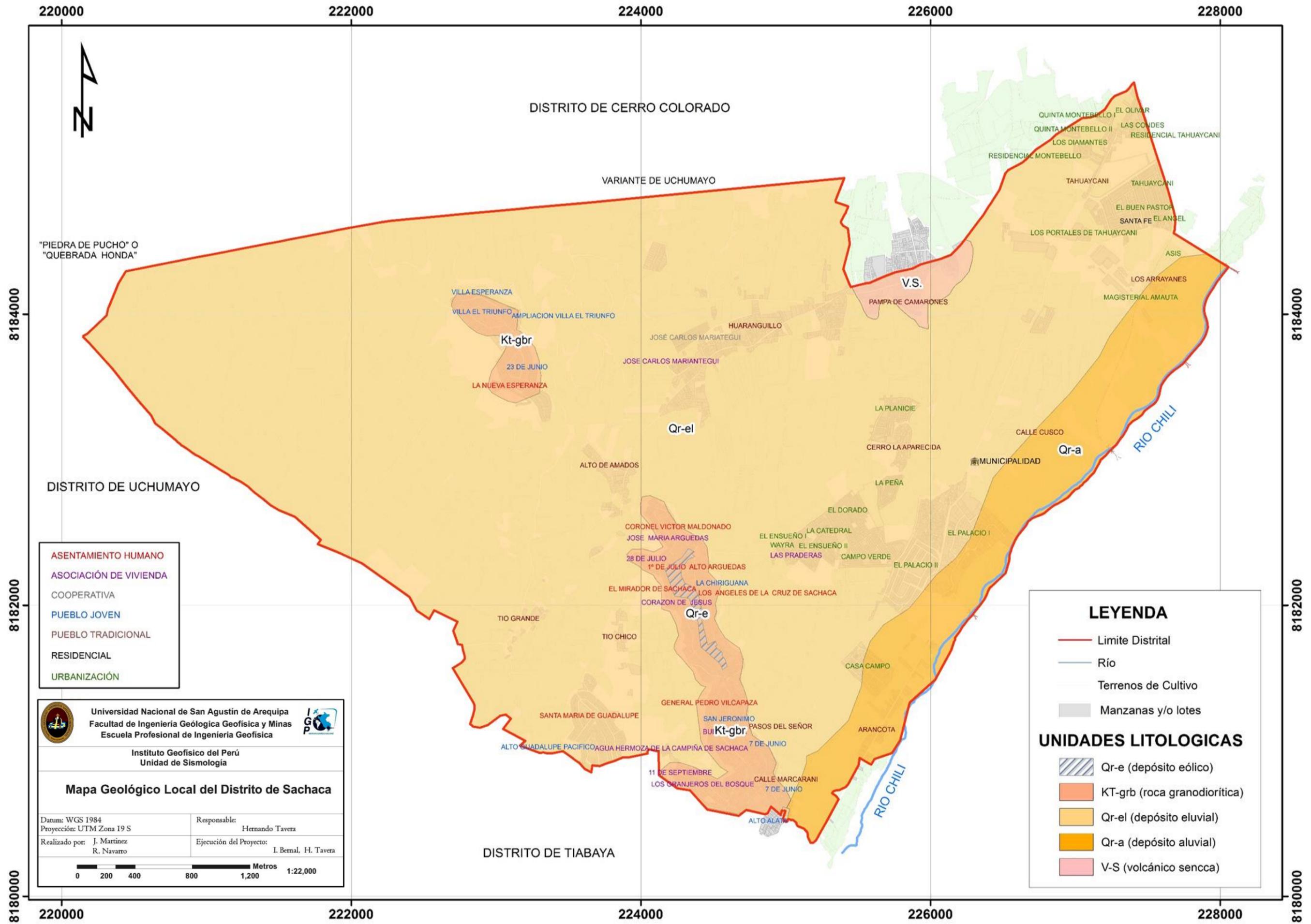
En la ciudad de Arequipa se encuentran unidades ígneas, sedimentarias y metamórficas con edades que van desde el Prepaleozoico hasta el Cuaternario Reciente. Estas unidades son:

- a) **Gabriodiorita de la caldera:** Son rocas ígneas intrusivas que afloran en la parte sur de la ciudad.
- b) **Granodiorita de Tiabaya:** Estas rocas afloran en forma de elipses groseras en los cerros vecinos del distrito de Tiabaya.
- c) **Volcánico Sencca Compacto:** Constituido por un tufo blanco, compacto coherente y algo poroso. Es conocido con el nombre de sillar.
- d) **Volcánico Sencca Salmón:** Son tufos de color rosáceo, estratificados en bandos subhorizontales.
- e) **Volcánico Chila:** Conformado por derrames andesíticos y basálticos de color oscuro, altamente fracturados.
- f) **Flujos de Barro:** Compuestos por bloques andesíticos y diversos tamaños, cuyos intersticios están rellenos por una matriz arenosa tufacea.

- g) Depósitos Piroclásticos:** Son tobas volcánicas de color blanco amarillentas, deleznales, ásperas y de aspecto azucarado muy livianas.
- h) Materiales Aluviales:** Conformados por el aluvial de Acequia Alta, aluvial de Umacollo, y el aluvial de Miraflores, constituido por materiales que rellenan los cauces de los ríos y quebradas.
- i) Eluviales Recientes:** Están conformados por arenas limosas de color beige, de origen residual, que constituyen los terrenos de cultivos.

2.1.2 Geología Local

La geología local en el distrito de Sachaca es compleja y deriva del tectonismo y vulcanismo ocurrido en diferentes épocas produciendo muchas discordancias erosionables y sedimentarias. La zona de estudio corresponde a la secuencia de cuerpos plutónicos y tiene la particularidad de haberse emplazado a lo largo de la faja central y longitudinal del distrito de Sachaca (Cerros de Alata, Tingo Grande y Tingo forman parte de este intrusivo). Otras que interesan para el estudio, se originan desde el Terciario Superior o Plioceno, edad a la que pertenece la formación volcánica Sencca (formada por tufos de composición dacítica o riolítica), al cual le superyacen conglomerados aluviales del Cuaternario Pleistocénico, con espesores variables, y conformados por rodados de intrusivos, gneis, cuarcitas y principalmente otras rocas andesíticas, tales como andesitas de grano grueso (porfiríticas) y también afaníticas (de grano fino), ambas de color gris oscuro, asociados al Grupo Barroso de los sedimentos volcánicos Barroso y Chila que los superyacen y que tienen carácter regional ubicándose en cotas más altas que las del área de estudio (Mapa 2.1).



Mapa 2.1: Mapa Geológico local del distrito de Sachaca – Arequipa.

a) Súper unidad Tiabaya (KTI-GB): Litológicamente se encuentra compuesta por tres grupos de rocas, producto de una cristalización fraccionada de máfico a félsico: una primera melanócrata – mesócrata consiste en gabrodiorita – diorita cuarcífera, una segunda mesócrata – leucócrata con tonalita dominante que varía a granodiorita y una tercera más clara y consistente en monzogranito. Todas las rocas de esta súper unidad se caracterizan por su grano fanerítico y textura granítica a hipiodomórfica con cuarzo intersticial. Contiene plagioclasas, grandes cristales prismáticos de horblenda, biotita, euhedral. La súper unidad Tiabaya está conformada por los plutones más jóvenes del segmento de Arequipa y las dataciones radiométricas indican una edad de Intrusión de 80 millones de años, (Cobbing 1979).

b) Formación Sencca (TP-VSE): Los sedimentos volcánicos Sencca sobre la que se desarrolla el área de estudio se ubican en la zona de Penillanura de Arequipa. Ella se encuentra bisectada por quebradas, siendo de dos clases: uno altamente consolidado y cementado, el Sencca de color blanco o “Sillar” y otro menos cementado de color rosado que contiene más fracturamiento que el anterior. El volcánico rosado o marrón rojizo Sencca de edad pliocénica, que es el más abundante y predominante en el área de estudio. Está conformado por 2 tipos: uno cementado de una disyunción columnar no tan “Neta” o definida como el Sencca Blanco, pero bastante fracturado y posteriormente erosionada por acción diluvial. El otro sedimento Sencca rosado debería considerarse como “Suelo” y no “Roca”, ya que su consistencia es de flojo a muy flojo, no tiene cohesión y está sujeta a erosión no solamente por el agua sino también por vientos intensos. El Sencca rosado es un material colapsable y sujeto a subsidencias, hundimientos o asentamientos bajo condiciones saturadas.

c) Depósitos Eluviales (Q-EL): En el distrito de Sachaca los depósitos útiles tienen un espesor promedio de 2m, de los cuales los últimos 80 cm presentan bioturbación (suelo). Es masivo y poco compacto, contiene pómez con diámetros menores a 2 cm que suman un 15 % aproximadamente. Así mismo, el depósito presenta líticos lávicos angulosos, con tamaños del orden centimétrico y englobados en una matriz areno limosa de color beige rojizo que se presentan un 75 % del depósito. Hacia la base se observa una mayor cantidad de líticos

polimícticos angulosos que constituyen el 10 % con tamaños que varían entre 2-4 cm. Por sus características son hiperconcentrados proveniente de cualquier sedimentación muy rápida de grano por suspensión o tracción, con areno-limosos masivos). Las rocas intrusivas sobre las que asentó parte de estos distritos, sirvieron de barrera a los flujos que discurrieron por las laderas y parte por el cauce del río Chili. En este sector la acumulación de sedimentos es escasa, puesto que fueron erosionados por flujos posteriores, por esta razón se explica la ausencia de terrazas en ambos márgenes. A partir del cerro Alata hasta las inmediaciones del distrito de Tiabaya tenemos depósito vulcano clásticos provenientes del volcán Misti y algunas terrazas eluviales.

d) Depósitos aluviales (Q-E): A lo largo del río Chili se ubican depósitos aluviales, estos son acumulaciones de clásticos constituidos por gravas, arenas, limo arcilloso y cantos; entremezclados en diferentes proporciones debido a que han sido depositados bajo condiciones muy variables en cuanto a volumen y velocidad de flujo. Estos depósitos constituyen mayormente el área agrícola están ubicados a lo largo de todo el valle constituyendo las terrazas aluviales y formando el lecho actual del río.

2.2 Geomorfología

En la región Arequipa se reconocen cuatro unidades geomorfológicas: cordillera occidental, cordillera volcánica, el altiplano y la llanura costanera. De manera local, en el distrito de Sachaca se pueden distinguir 3 unidades geomorfológicas:

- La penillanura del distrito.
- El valle fluvial (Cauce del río Chili).
- Zona de colinas y laderas.

El distrito de Sachaca se desarrolla mayormente sobre un terreno de penillanura, conformado por el valle del Río chili y zonas de colinas con altitudes no mayores a los 2400 m.s.n.m.

2.2.1 La penillanura

Abarca la mayor parte del distrito de Sachaca (80 % del área), 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 2.1).



Figura 2.1: Penillanura del Distrito de Sachaca la mayor parte cubierta por parcelas agrícolas.

2.2.2 Valle fluvial (cauce del río Chili)

Presenta una morfología sub horizontal, con ancho variable entre 25 a 50 m (basado en las secciones topográficas), es alimentado por las precipitaciones pluviales variables a lo largo del año. Sus principales componentes litológicos son los materiales que arrastra desde su nacimiento y los que va incorporando en su recorrido, encontrándose arenas, limos, arcillas, gravas de diferentes diámetros (Figura 2.2).



Figura 2.2: Valle del río Chili, con presencia de vegetación que recubren las terrazas.

2.2.3 Colinas y laderas

La periferia del distrito presenta zona de elevaciones con una topografía suave y ondulada, con laderas de pendiente moderada (25° a 45°) y que en gran parte se encuentran pobladas. El suelo de estas colinas está cubierto por material de origen eólico (arenas sueltas) y mantos de cenizas. El sustrato rocoso lo conforman rocas intrusivas de tipo granodiorita (Figura 2.3).



Figura 2.3: Colinas del distrito de Sachaca que muestran con gran densidad poblacional.

2.3 Hidrología

Hidrográficamente el distrito de Sachaca pertenece a la cuenca del río Chili, Hoya hidrográfica del Pacífico.

2.3.1 Drenaje

El río Chili se origina por la confluencia de los ríos Sumbay y Blanco e ingresa a la ciudad de Arequipa por el borde norte. En los últimos años el caudal del río Chili, en épocas de estiaje, se ha incrementado de $5 \text{ m}^3/\text{s}$ a $12 \text{ m}^3/\text{s}$ debido a la implementación de un sistema regulado de agua constituido por la represa Aguada Blanca. El drenaje es detrítico y en partes bajas subparalelo. La mayor crecida del río Chili es en épocas de lluvia (diciembre a marzo). Las quebradas tributarias, drenan agua al río Chili incrementando su caudal.

2.3.2 Clima

Sachaca cuenta con un clima semi tropical, debido al Anticiclón del Pacífico Sur, la corriente peruana de Humboldt y la Cordillera de los Andes. Por ello el clima de Sachaca es templado, desértico y con amplitud térmica moderada. La temperatura media anual varía entre una temperatura máxima de 22.2 °C y una temperatura mínima de 7.0 °C. La precipitación media acumulada anual es de 95.3 mm.

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO

3.1 Cuantificación de inundaciones

3.1.1 Precipitación

La precipitación es un fenómeno muy variable en el espacio y el tiempo. La precipitación es el resultado del enfriamiento de las masas de aire calientes saturadas de agua, las cuales, al perder temperatura por el ascenso a niveles superiores, se condensan formando pequeñas gotas, que se precipitan a la tierra en forma de lluvia, nieve o granizo. Se mide en altura de precipitación (milímetros) y equivale a la altura obtenida por la caída de un litro de agua sobre la superficie en un metro cuadrado.

Las precipitaciones afectan de forma distinta según el tamaño de las cuencas. Hay que tomar en cuenta que cuando ocurren grandes precipitaciones las características geomorfológicas de una cuenca como la pendiente o la vegetación son un factor básico en la generación de una avenida, estas características pueden variar por la actividad humana en dicha cuenca.

3.1.2 Caudal

Caudal es la cantidad de agua que lleva el río en un punto y momento concreto de su recorrido por unidad de tiempo. Se refiere fundamentalmente al volumen hidráulico

de la escorrentía de una cuenca hidrográfica concentrada en el río principal de la misma. Los caudales se expresan en volúmenes por unidad de tiempo, generalmente en metros cúbicos por segundo, y son variables en tiempo y en el espacio.

Las variaciones del caudal repercuten en forma directa la actividad erosiva del río.

El caudal resulta de la suma del agua de las precipitaciones, más la aportada por las fuentes, menos la infiltración y la evaporación.

3.1.3 Inundaciones

Una inundación es la ocupación por parte del agua en zonas que habitualmente se encuentran secas. Las inundaciones constituyen el riesgo geológico más destructivo y que más víctimas produce. Normalmente es consecuencia de la aportación inusual y más de una repentina cantidad de agua superior a la que puede drenar el propio cauce del río.

Las inundaciones se producen por diversas causas (o la combinación de estas), pueden ser causas naturales como las lluvias torrenciales, deshielo o por subida de mareas por maremotos, y por causas humanas.

De acuerdo a su origen las inundaciones se clasifican en:

- a) **Inundaciones pluviales:** Sucede cuando el agua de lluvia satura la capacidad del terreno para drenarla, acumulándose por horas o días sobre este.
- b) **Inundaciones fluviales:** Se genera cuando el agua se desborda de ríos queda sobre la superficie del terreno cercano a ellos.
- c) **Inundaciones costeras:** La marea de tormenta que se desarrolla durante ciclones puede afectar zonas costeras, sobre elevando el nivel del mar hasta que este penetra tierra adentro, cubriendo en ocasiones grandes extensiones.

Las inundaciones también se pueden clasificar como repentinas o súbitas y como lentas y progresivas.

- a) **Inundaciones súbitas o repentinas:** Se producen generalmente en cuencas hidrográficas de fuerte pendiente por la presencia de grandes cantidades de agua en muy corto tiempo, causadas por fuertes lluvias, tormentas o huracanes, pueden desarrollarse en minutos u horas, estas inundaciones pueden arrastrar rocas, tumbar árboles destruir edificios y otras estructuras además de crear nuevos canales de escurrimiento.
- b) **Inundaciones lentas o progresivas:** Se producen sobre terrenos planos que desaguan muy lentamente y cercanos a las riberas de los ríos o donde las lluvias son frecuentes o torrenciales. Muchas de ellas son parte del comportamiento normal de los ríos. También las poblaciones ubicadas en superficies planas pueden sufrir inundaciones como efecto directo de las lluvias.

3.1.3.1 Las inundaciones y su entorno

Para entender por qué se producen las inundaciones y cómo, es necesario entender la dinámica fluvial. De hecho, las inundaciones se desarrollan en terrenos donde este fenómeno es recurrente. A pesar de esto, causan pérdidas que se pueden prevenir con la predicción meteorológica y una buena planificación urbanística.

Debemos comprender que el agua tiende a pasar por dónde transcurre su camino natural y que por tanto se deben respetar al máximo los cursos de agua y las formas de los mismos, eliminar meandros puede incrementar el riesgo de las crecidas. Además, cuanto más natural se conserva el entorno menos daños causará. Esto es muy importante también en zonas de cursos de agua temporales, como rieras, dónde una gran parte del año no hay agua. Una lluvia intensa hace que en muy poco tiempo estos cursos se llenen mucho de agua. Esto provoca unas variaciones de caudal muy bruscos.

El peligro principal de esta irregularidad es olvidar que los cauces de estos ríos, torrentes y rieras temporales tarde o temprano se volverán a llenar de aguas impetuosas que pueden llevarse por delante todo lo que se encuentren.

Es por ello es también importante conocer cómo es el entorno del río, descrito a continuación:

- a) **Riera o rambla:** Lecho natural de las aguas pluviales, habitualmente seco, que se llena con lluvias copiosas.
- b) **Avenida:** Riada, inundación, crecida de los ríos.
- c) **Cauce:** Terreno cubierto por las aguas en la máxima crecida ordinaria, definida está según la Ley de Aguas.
- d) **Orilla o margen:** Zona de tierra que está más inmediata al agua.
- e) **Riberas:** Tierra cercana a los ríos, aunque no esté a su margen.
- f) **Zona inundable:** Extensión de tierra a ambos lados del río que puede inundarse en grandes avenidas.

3.1.3.2 Efectos que producen las inundaciones

Los efectos que producen las inundaciones son:

- Arrastre de sólidos.
- Extensas áreas cubiertas por agua
- Intensa erosión.
- Proliferación de microorganismos.
- Viviendas dañadas.
- Interrupción de vías de comunicación.
- Pérdida de vidas.
- Pérdida de cosechas.

➤ Depósito de sedimentos.

3.2 Geodinámica

Los procesos de geodinámica superficial dan lugar a diversas geoformas que están sometidas a procesos de intemperismo y meteorización conducente a la ocurrencia de movimientos en masa. Estos movimientos están relacionados a los siguientes parámetros intrínsecos (Santacama, 2001): litología, pendientes, geomorfología, cobertura vegetal y drenaje; y como agentes detonantes intervienen las precipitaciones, los sismos y la actividad antrópica.

3.2.1 Deslizamientos

Se denomina deslizamiento a la rotura y al desplazamiento del suelo situado debajo de un talud, lo que origina movimientos hacia abajo y hacia afuera de toda la masa que participa del mismo. Se presentan de diferentes tipos de falla de taludes basados en el reconocimiento de los factores geológicos que condicionan la falla. Los deslizamientos de taludes ocurren de muchas maneras; es decir, en forma lenta o rápida, con o sin provocación aparente. Generalmente, se producen como consecuencia de excavaciones o socavaciones en el pie del talud, aumento de las presiones intersticiales debido a filtraciones de agua durante el periodo de lluvias, por un evento sísmico de gran magnitud, por grietas en el terreno. Conociendo la dinámica del suelo, es posible reducir la posibilidad que se presenten derrumbes o deslizamientos, pero aún persiste cierto grado de incertidumbre en su predictibilidad, rapidez de ocurrencia y área afectada. En la Tabla 3.1 se presenta la clasificación de falla de taludes adaptada de Hunt (1984).

Tabla 3.1: Clasificación de falla de taludes, (Hunt, 1984).

Tipo de falla	Forma	Definición
Desprendimientos	Caída libre Volcadura	Desprendimiento repentino de uno o más bloques de suelo o roca que descienden en caída libre. Caída de un bloque de roca con respecto a un pivote ubicado debajo de un centro de gravedad. Los desprendimientos por caída libre o volcadura pueden ser causados por socavación de taludes debido a la acción del hombre y erosión de quebradas.
Derrumbes	Planar Rotacional Desparramiento lateral Deslizamiento de escombros	Movimiento lento o rápido de un bloque de suelo o roca a lo largo de una superficie de falla plana. Movimiento relativamente lento de una masa de suelo, roca o una combinación de las dos a lo largo de una superficie curva de falla bien definida. La causa principal es el incremento de inclinación de talud, meteorización y fuerzas de filtración. Movimiento de diferentes bloques de suelo con desplazamientos distintos, este puede activarse repentinamente por eventos sísmicos. Mezcla de suelo y pedazos de roca moviéndose a lo largo de una superficie de roca plana, lo causa el incremento de las fuerzas de filtración y la inclinación del talud.
Avalanchas	De roca o escombros	Movimiento rápido de una masa incoherente de escombros de roca o suelo-roca donde no se distingue la estructura original del material. Las principales causas de avalanchas son las altas fuerzas de filtración, alta pluviosidad, derretimiento de nieve, sismos.
Flujo	De escombros	Suelo o suelo-roca moviéndose como un fluido viscoso, desplazándose usualmente hasta distancias mucho mayores de falla. Usualmente originado por exceso de presiones de poros a causa de grandes lluvias y material suelto en superficie.
Repteo		Movimiento lento e imperceptible talud debajo de una masa de suelo o suelo-roca. El repteo es el resultado de la acción de fuerzas de filtración.

3.2.2 Comportamiento sísmico de taludes

Talud es cualquier superficie inclinada respecto a la horizontal que haya adoptado una estructura de suelo y que su dinámica puede ser acelerada con movimientos sísmicos para producir deslizamientos de tierra. Cuando el talud se produce en forma natural, se denomina ladera natural o simplemente ladera. Cuando los taludes son hechos por el hombre se denominan cortes o taludes artificiales.

La ocurrencia de deslizamientos de gran envergadura después de la ocurrencia de sismos, es muy frecuente. Los sismos pueden aumentar los esfuerzos y reducir la resistencia de los suelos, generando la falla progresiva o instantánea del talud.

Históricamente, los deslizamientos han generado, en ocasiones, mayor cantidad de muertos que el colapso de estructuras. En general, debe tomarse en cuenta diversos procesos para el análisis de taludes y laderas expuestas a eventos sísmicos (Figura 3.1):

- Fuerzas sísmicas aplicadas sobre las masas del suelo potencialmente deslizables.
- La disminución de la resistencia debida a las cargas vibratorias, las cuales inducen las deformaciones cíclicas.
- El aumento de la presión de poros especialmente en los suelos limosos y de arenas finas, en los cuales se puede producir una disminución de resistencia tal, que produzca el fenómeno de licuación.
- El aumento de la fuerza sísmica generado por la amplificación en los mantos de suelos blandos.
- La posibilidad de ocurrencia de fenómenos de resonancia relacionados con la similitud entre la frecuencia natural de vibración de talud y del evento sísmico.
- La magnitud de las deformaciones en la masa de suelo.
- La licuación durante los sismos. Los rellenos o capas de materiales que se encuentran sobre estos suelos licuables pueden deslizarse durante los sismos, tal como ha ocurrido en Chile, Alaska y Japón.

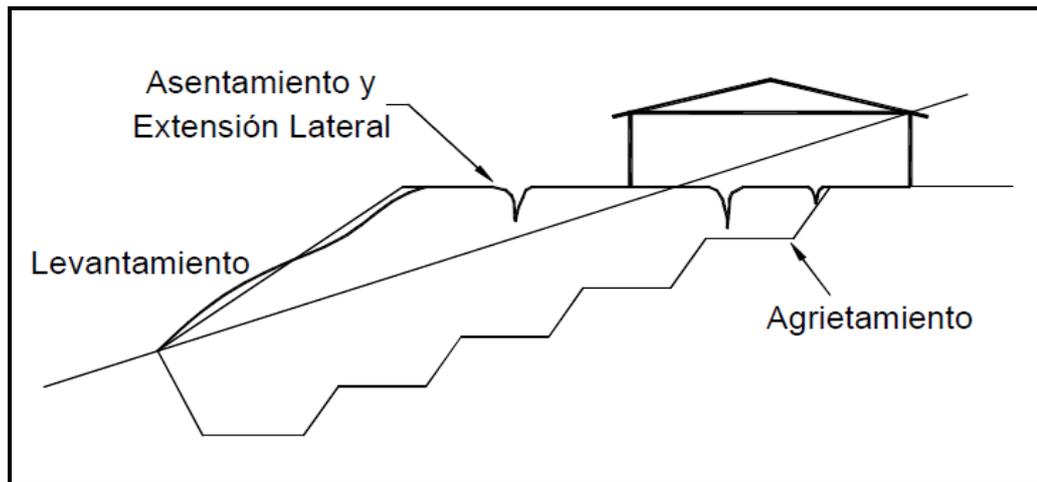


Figura 3.1: Falla típica de un relleno en caso de un sismo (Seed, 1970.)

3.2.2.1 Clasificación de los deslizamientos co-sísmicos

Son muchos los tipos de deslizamientos que se pueden producir durante la etapa co-sísmica. Después del sismo de Kobe de 1995 Sassa (1996) presentó una clasificación para este tipo de deslizamientos:

- a) **Fracturación co-sísmica (Agrietamiento):** La fracturación o agrietamiento del suelo y de los macizos rocosos, se presenta como un efecto directo de los esfuerzos inducidos por sismo y en donde las áreas responden con diversas intensidades de sacudimiento. El agrietamiento se presenta especialmente en la corona de los taludes de alta pendiente y en los escarpes semi-verticales de terrazas cementadas y erosionadas.
- b) **Inclinaciones:** Las inclinaciones pueden considerarse como factores importantes en el proceso de deterioro del talud.
- c) **Caídas de roca:** Para la caída de muchos bloques de roca, en un solo evento, requiere que haya ocurrido el debilitamiento de la masa rocosa, debido a la fragmentación y a la ausencia de soporte lateral. El volumen de la falla depende de los diversos planos de discontinuidad que puede cubrir en un solo momento varios planos (falla en escalera).

- d) Deslizamientos rápidos (Flujos):** Son movimientos espacialmente continuos en los que las superficies de cizalla tienen corta vida, se encuentran muy próximas y generalmente no se conservan. La distribución de velocidades en la masa desplazada se parece a la que se presenta en un fluido viscoso.
- e) Deslizamientos lentos (Esparcimientos laterales):** En los esparcimientos laterales, el modo de movimiento dominante es la extensión lateral acomodada por fracturas de corte y tensión.
- f) Hundimientos (Colapso):** El hundimiento de tierra es un movimiento de la superficie terrestre en el que predomina el sentido vertical descendente y que tiene lugar en áreas de distintas características y pendientes.

3.2.2.2 Factores que afectan la respuesta de los taludes

Abramson y otros (2002) indican que los principales factores que afectan la respuesta sísmica de los taludes son:

- a) La magnitud de la aceleración sísmica:** El trabajo realizado por Keefer (1984) muestra que, para la producción de ciertos tipos de deslizamientos, se requiere sismos de gran magnitud (Tabla 3.2). A mayor magnitud, mayor será el área afectada.

Tabla 3.2: Posibilidad de deslizamientos causados por sismos (Keefer 1984).

Magnitud del sismo	Tipo de deslizamiento producido
4.0	Caídas de roca, deslizamientos de roca, caídas de suelo y alteración de masas de suelo.
4.5	Deslizamiento de translación rotación y bloques de suelo.
5.0	Flujos de suelo, esparcimientos laterales, deslizamientos subacuáticos.
6.0	Avalanchas de roca.
6.5	Avalanchas de suelo

- b) La duración del sismo:** A mayor duración de un sismo, los efectos son mayores. La duración aumenta al incrementarse la magnitud del sismo.
- c) La distancia al área epicentral:** Es lógico esperar que la actividad de deslizamiento disminuya al aumentar la distancia al área epicentral. Existe además una distancia a partir de la cual no ocurren deslizamientos de un determinado tamaño.
- d) La dirección principal del sismo:** La dirección de los deslizamientos puede tener una tendencia hacia la dirección en donde el sismo produce la mayor aceleración del suelo, la cual es generalmente normal a la dirección de la falla (Sassa y Fukuoka, 1995).
- e) La formación geológica:** Las características de la resistencia dinámica de los materiales que conforman el talud o la susceptibilidad a los deslizamientos cósmicos. La ocurrencia de los deslizamientos depende principalmente de la litología estructura y condiciones de saturación de los suelos o rocas.
- f) Las dimensiones del talud:** Factores como la cinemática y geometría del talud facilitan la ocurrencia de flujos o avalanchas al momento de ocurrir los sismos.

3.3 Geotecnia

La amplificación sísmica y el daño observado durante la ocurrencia de sismos de gran magnitud, presentan gran variabilidad de un lugar a otro, aún en distancias relativamente cortas, siendo posibles explicarlas mayoritariamente por las variaciones locales del tipo de suelo y la topografía. El fenómeno de amplificación local de las ondas sísmicas asociado principalmente a las propiedades geotécnicas del subsuelo y profundidad del basamento rocoso se suele denominar “efecto de sitio” o simplemente “amplificación del suelo”. De este modo, el daño causado por sismos es fuertemente dependiente de las condiciones locales del terreno y, por tanto, la caracterización del subsuelo es un tema de considerable interés en ingeniería. La

geotecnia estudia las características y propiedades mecánicas de las rocas, materiales y los suelos sobre los que se emplazaran las ciudades y las obras públicas de ingeniería (edificaciones, diques, túneles, carreteras, presas, trazados de ferrocarril, puentes, etc.). Su finalidad es asegurar que los factores geológicos condicionantes como las propiedades físicas y mecánicas de los suelos, cumplan con los mejores requisitos para el emplazamiento de estas.

3.3.1 Suelo

El suelo puede tener varias definiciones:

Desde el punto de vista ingenieril, el material que constituye la corteza terrestre se divide en dos categorías: suelo y roca. Suelo es el agregado natural de granos minerales que pueden separarse mediante medios mecánicos, como por ejemplo la agitación en agua. En cambio, roca es el agregado natural de minerales que están conectados por fuerzas permanentes y cohesivas de carácter fuerte y permanente. Las dos definiciones difieren en los términos “fuerte” y “permanente”, que son muy subjetivos y por tanto, están sujetos a interpretaciones diferentes.

Desde el punto de vista geológico, suelo es el material producido por los efectos de la meteorización o alteración sobre las rocas de la superficie de la tierra y está dividido en estratos u horizontes. En cambio, roca es el material constitutivo de la corteza terrestre, formado en general por una asociación de minerales y que presenta una cierta homogeneidad estadística; en general, es dura y coherente, pero a veces es plástica (por ejemplo, la arcilla) o móvil (como ejemplo, la arena).

En todas estas definiciones se observa que el concepto suelo describe algo que es dinámico, por lo que discernir muchas veces entre roca con un alto grado de meteorización o suelo es, al menos, discutible.

3.3.2 Efectos de sitio

El origen de los efectos de sitio es debido a la presencia de relieves (efecto topográfico), compuesto por materiales superficiales (suelos blandos) con fuertes

discontinuidades laterales (Figura 3.2) que pueden ser determinantes para la distribución de las vibraciones del suelo y, por lo tanto, para la distribución de los daños en caso de un terremoto (Coral, 2002).

Al considerar la geología local, se distinguen dos fenómenos que normalmente dan lugar a la amplificación del movimiento y, por consiguiente, pueden ocasionar daños a obras civiles. El primero de éstos es la ampliación por resonancia y está asociada a la interacción de la onda sísmica y la estructura del subsuelo. La resonancia está presente en medios estratificados con rigidez creciente con la profundidad y resulta de la superposición de múltiples reflexiones dentro de los estratos de baja velocidad cercanos a la superficie. Su efecto depende fundamentalmente de la frecuencia. El segundo tipo de amplificación no requiere de las discontinuidades bruscas donde tienen lugar fenómenos de reflexión, más bien, se trata de un efecto debido a la baja impedancia de los materiales próximos a la superficie (Coral, 2012)

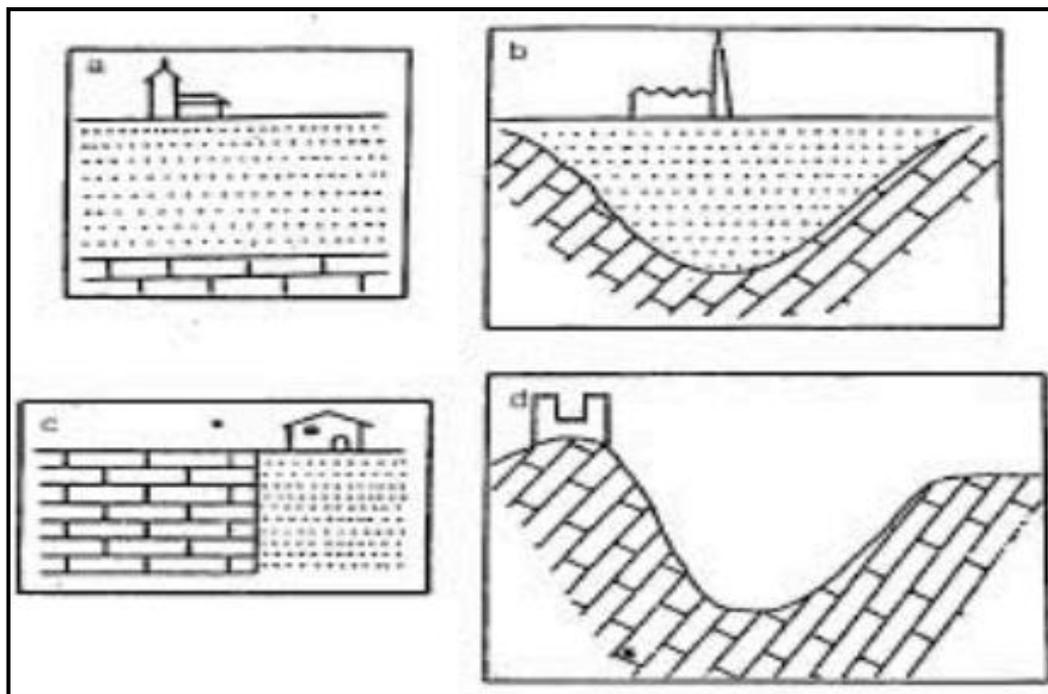


Figura 3.2: Estructuras y configuraciones tipo que pueden dar lugar a efectos de sitio. a) Capas sedimentarias horizontales sobre substrato rocoso; b) Relleno sedimentario de un valle; c) Discontinuidades laterales bruscas; d) Relieves (Efecto topográfico). Tomado de Bard et al., (1995).

3.3.3 Propiedades dinámicas de los suelos

La amplificación del movimiento en el suelo está determinada por sus propiedades dinámicas. Dentro de éstas, la rigidez y el amortiguamiento del suelo constituyen las propiedades claves para el estudio de la respuesta de sitio. El módulo de corte (G) representa una buena medida de la rigidez del suelo, el cual se calcula por medio de la velocidad de las ondas sísmicas. Por su parte la razón de amortiguamiento (ξ), representa la capacidad que tiene el suelo para disipar la energía. Otras propiedades, pero de menor influencia, son la densidad (ρ) y el índice de Poisson (ν). Por otro lado, existen factores claves que influyen en las propiedades dinámicas del suelo, tales como la tensión efectiva de confinamiento, el nivel de tensiones en el suelo, el índice de poros y la plasticidad.

En la Figura 3.3 se muestra la caracterización de una columna litológica orientada a realizar un estudio de respuesta del suelo. Para cada estrato debe indicarse, al menos, su potencia, densidad y velocidad de las ondas sísmicas de cizalla. Información adicional sería el tipo de material, edad geológica consistencia, límites de Atterberg, índice de plasticidad, humedad y profundidad del nivel freático, entre otros.

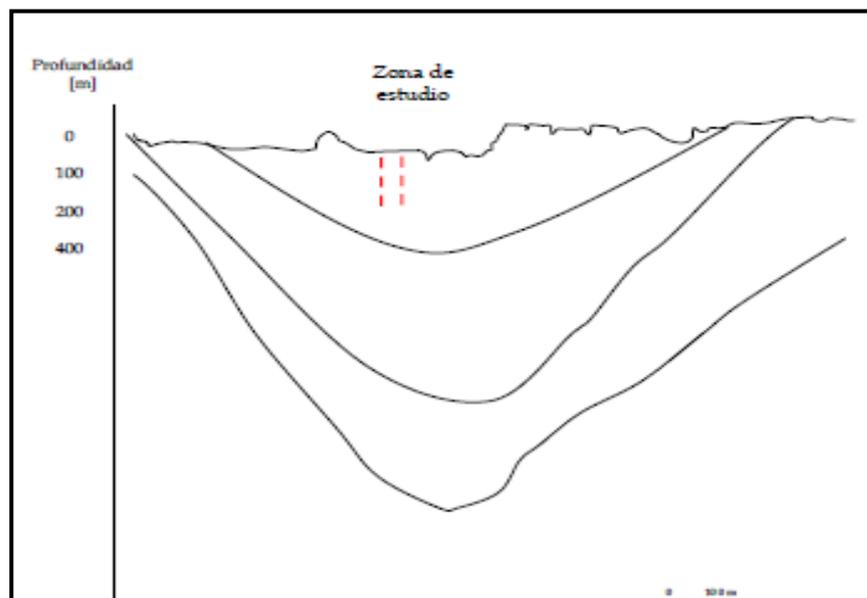


Figura 3.3: Caracterización de una columna litológica en una zona donde se realiza un análisis de la respuesta de suelos. Para cada estrato debe indicarse potencia, densidad y velocidad de las ondas sísmicas S .

3.3.4 Efectos de suelo en superficie

La amplificación del movimiento del suelo es la responsable del daño ocurrido en áreas constituidas por depósitos de sedimentos blandos y poco compactos. Para terremotos de magnitud pequeña, la amplificación es típicamente mayor en áreas ubicadas a una cierta distancia epicentral donde sería esperable que las ondas sísmicas redujesen la amplitud debido a los efectos de atenuación en la propagación de la señal sísmica por el interior de la tierra.

En general, se acepta que dos mecanismos contribuyen a los efectos de amplificación de la señal en el suelo: la amplificación geométrica y la amplificación dinámica.

3.3.4.1 Amplificación geométrica

Corresponde a los efectos de amplificación debidos al contraste de impedancias entre dos medios en contacto. Para sedimentos, el contraste de impedancias se expresa como:

$$I_G = \frac{\rho_B v_B}{\rho_S v_S} \text{ con } v_B > v_S \quad (\text{Ec.3.1.})$$

Donde, el subíndice B representa al sustrato rocoso y S se refiere al nivel sedimentario, ρ es la densidad y v es la velocidad de las ondas sísmicas.

En materiales más jóvenes y menos consolidados el contraste de impedancias es mayor, lo que provoca un mayor nivel de amplificación de la señal sísmica. Asimismo, produce el atrapamiento de las ondas sísmicas dentro de un nivel con baja impedancia y esto provoca la amplificación en la banda de las frecuencias características. La velocidad de las ondas sísmicas S en el suelo decrece entonces cuando el depósito sedimentario está situado sobre un sustrato rocoso duro aumenta el contraste de impedancias. Como se ha mencionado anteriormente, los depósitos del suelo se comportan como filtros reduciendo la energía de alta frecuencia (o corto período), pero la amplificación de las bajas frecuencias puede causar daño potencial a estructuras que tienen frecuencias naturales bajas, como por ejemplo edificios altos y puentes.

3.3.4.2 Amplificación dinámica

La teoría clásica de amplificación de suelos predice que al considerar una capa de suelo horizontal infinita de espesor H , uniforme e isótropa y con un comportamiento lineal elástico, sobre sustrato rocoso, también horizontal, sometido a un campo de propagación de ondas SH verticalmente, la función de amplificación del suelo será como se muestra en la Figura 3.4.

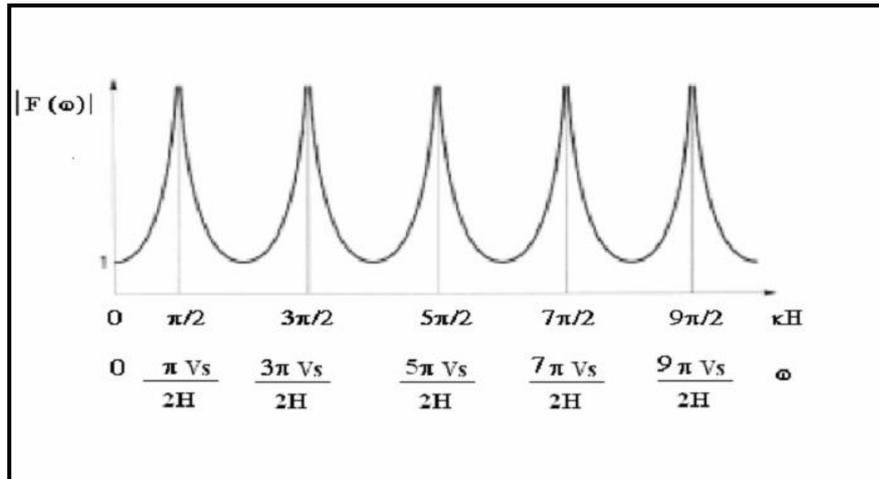


Figura 3.4: Función de amplificación de suelo uniforme sobre una roca rígida con coeficiente de amortiguamiento nulo.

Si el suelo no fuese capaz de amortiguar el movimiento ondulatorio se produciría una amplificación infinita (resonancia) para frecuencias que tienden a $\pi/2 + n\pi$. Sin embargo, gracias a la capacidad del material para amortiguar el movimiento se producen dichas amplificaciones, pero no infinitas (Figura 3.5).

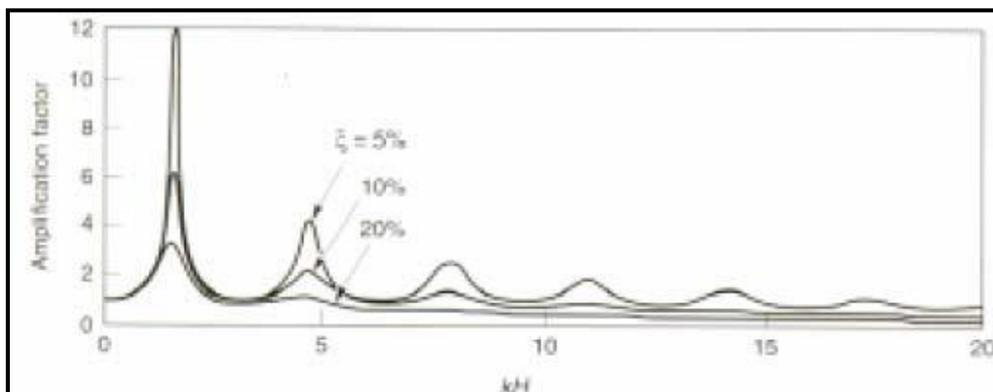


Figura 3.5: Función de amplificación de un suelo uniforme sobre una roca rígida

Las frecuencias a las que se dan estos máximos locales se conocen con el nombre de frecuencias naturales del suelo y dependen de la velocidad de ondas sísmicas S y del espesor del sedimento H según:

$$\omega n = \frac{V_S}{H} \left(\frac{\pi}{2} + N\pi \right) \quad \text{Con } n = 0, 1, 2, \dots, \infty \quad (\text{Ec. 3.2})$$

La frecuencia fundamental es la frecuencia más baja, $\omega_0 = \pi V_S / 2H$ cuyo periodo asociado se conoce como el periodo característico del sitio:

$$T_S = \frac{2\pi}{\omega_0} = \frac{4H}{V_S} \quad (\text{Ec. 3.3})$$

Esta amplificación también se conoce como efecto de resonancia. Dicho efecto considera la diferencia entre la frecuencia de las ondas sísmicas y la frecuencia natural del depósito sedimentario.

Si la frecuencia de la onda sísmica es aproximadamente igual a la frecuencia natural del depósito se produce amplificación incrementándose la amplitud del movimiento del suelo significativamente. Así, los fenómenos que contribuyen a la amplificación de la señal sísmica están relacionados directamente con la velocidad de las ondas sísmicas de corte S en el depósito. Cuando una onda elástica se propaga a través de un material, el flujo de energía transmitida está definido por $\rho V_s u^2$, donde ρ es la densidad del material V_s es la velocidad de la onda S y u la velocidad de la partícula. Este flujo de energía permanece constante y en consecuencia las amplitudes del movimiento del suelo en materiales con baja velocidad de propagación de las ondas sísmicas son mayores dado que la velocidad de la partícula, u , y la velocidad de las ondas sísmicas S son inversamente proporcionales. Como consecuencia, materiales como arena suelta o arcilla blanda amplifican el movimiento del suelo significativamente.

Por lo tanto, en el diseño de estructuras sismo resistentes situadas en depósitos sedimentarios caracterizados por velocidades de ondas sísmicas bajas deben considerarse especialmente estos efectos.

3.3.5 Caracterización geotécnica de suelos

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). Los suelos se pueden clasificar utilizando el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), así como conocer su capacidad portante.

3.3.5.1 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

Fue Casagrande quien en 1942 ideó un sistema genérico de clasificación de suelos y que fue empleado por el cuerpo de ingenieros del ejército de los EE.UU. para la construcción de pistas de aterrizaje durante la II guerra mundial. Diez años más tarde y vista la gran utilidad de este sistema en Ingeniería Civil, fue ligeramente modificado por el Bureau of Reclamation, naciendo el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). Este sistema fue adoptado por la ASTM (American Society of Testing Materials) como parte de sus métodos normalizados. Dicha clasificación se vale de unos símbolos de grupo, consistentes en un prefijo que designa la composición del suelo y un sufijo que matiza sus propiedades. En la Tabla 3.3 se muestra esta clasificación:

Tabla 3.3: Símbolos de grupo en la clasificación SUCS.

SÍMBOLOS DE GRUPO (SUCS)			
TIPO DE SUELO	PREFIJO	SUBGRUPO	SUFIJO
Grava	G	Bien graduado	W
Arena	S	Pobrementemente graduado	P
Limo	M	Limoso	M
Arcilla	C	Arcilloso	C
Orgánico	O	Límite líquido alto (>50)	L
Turba	Pt	Límite líquido bajo (<50)	H

En función de estos símbolos, se pueden establecer diferentes combinaciones que definen uno y otro tipo de suelo (Tabla 3.4). Sin embargo, existe una clara distinción entre tres grandes grupos de suelos.

Tabla 3.4: Tipología de suelos, características generales

Tipología de suelos (SUCS)			
SÍMBOLO	Características generales		
GW	GRAVAS (> 50% en tamiz #4 ASTM)	Limpias	Bien graduados
GP		(Finos < 5%)	Pobremente graduados
GM		Con finos	Componente limoso
GC		(Finos > 12%)	Componente arcilloso
SW	ARENAS (< 50% en tamiz #4 ASTM)	Limpias	Bien graduadas
SP		(Finos < 5%)	Pobremente graduadas
SM		Con finos	Componente limoso
SC		(Finos > 12%)	Componente arcilloso
ML	LIMOS	Baja plasticidad (LL<50)	
MH		Alta plasticidad (LL>50)	
CL	ARCILLAS	Baja plasticidad (LL<50)	
CH		Alta plasticidad (LL>50)	
OL	SUELOS ORGÁNICOS	Baja plasticidad (LL<50)	
OH		Alta plasticidad (LL>50)	
Pt	TURBA	Suelos altamente orgánicos	

- Suelos de grano grueso (GyS): Formado por gravas y arenas con menos del 50% de contenido en finos, empleando el tamiz 0.080 UNE (200 ASTM).
- Suelos de grano fino (M y C): Formados por suelos con al menos un 50 % de contenido en limos y arcillas.
- Suelos orgánicos (O, Pt) constituidos fundamentalmente por materia orgánica, son inservibles como terreno de cimentación.

Dentro de la tipología expuesta pueden existir casos intermedios, empleándose una doble nomenclatura, por ejemplo, una grava bien graduada que contenga entre un 5 y un 12 % de finos se clasificará como GW – GM.

Tras un estudio experimental de diferentes muestras de suelos de grano fino, Casagrande consigue ubicarlos en un diagrama que relaciona el límite líquido (LL) con el índice de plasticidad (IP), con lo cual se logra clasificar e identificar los suelos. El límite líquido también puede utilizarse para estimar asentamientos en problemas de consolidación (Figura 3.6 y Tabla 3.5). En este diagrama, conocido

como la carta de Casagrande de los suelos cohesivos, destacan dos grandes líneas que actúan a modo de límites:

Linea A: $IP = 0.73 (LL - 20)$.

Linea B: $LL = 50$

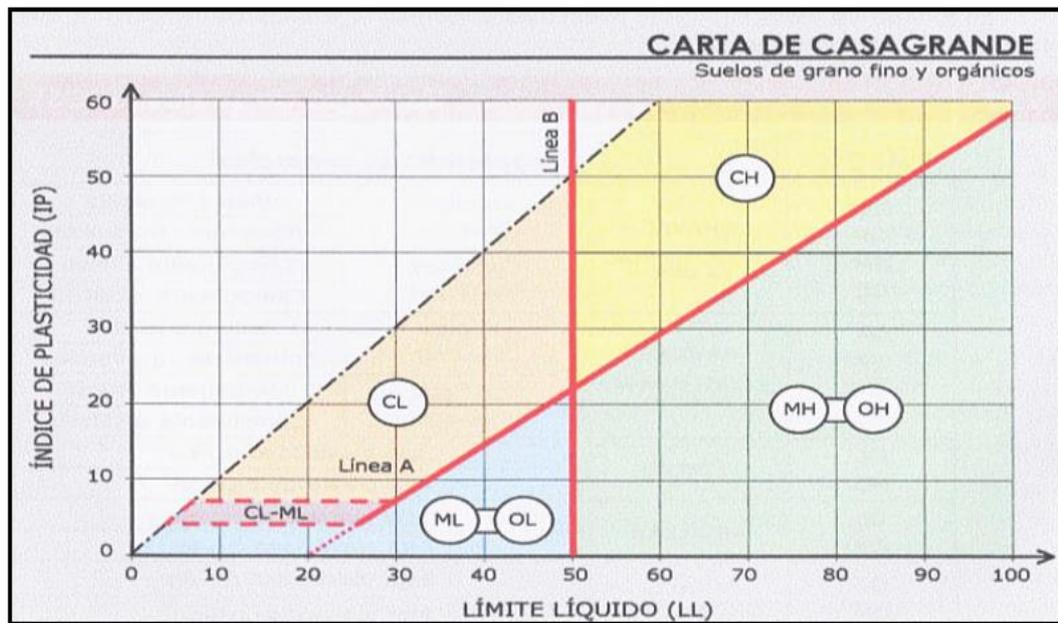


Figura 3.6: Carta de Casagrande para los suelos cohesivos

Tabla 3.5: Características del suelo según SUCS

DIVISIONES PRINCIPALES		SÍMBOLO	COMPORTAMIENTO MECÁNICO	CAPACIDAD DE DRENAJE	Densidad óptima P.M.	CBR In situ	Características de los suelos según el SUCS	
SUELOS DE GRANO GRUESO	Gravas	GW	Excelente	Excelente	2.00-2.24	60-80		
		GP	Bueno a excelente	Excelente	1.76-2.08	25-60		
		GM{	d	Bueno a excelente	Aceptable a mala	2.08-2.32		40-80
			u	Bueno	Mala a impermeable	1.92-2.24		20-40
	GC	Bueno	Mala a impermeable	1.92-2.24	20-40			
	Arenas	SW	Bueno	Excelente	1.76-2.08	20-40		
		SP	Aceptable a bueno	Excelente	1.60-1.92	10-25		
		SM{	d	Aceptable a bueno	Aceptable a mala	1.92-2.16		20-40
u			Aceptable	Mala a impermeable	1.68-2.08	10-20		
SC	Malo a aceptable	Mala a impermeable	1.68-2.08	10-20				
SUELOS DE GRANO FINO	Limos y arcillas (LL < 50)	ML	Malo a aceptable	Aceptable a mala	1.60-2.00	5-15		
		CL	Malo a aceptable	Casi impermeable	1.60-2.00	5-15		
		OL	Malo	Mala	1.44-1.70	4-8		
	Limos y arcillas (LL > 50)	MH	Malo	Aceptable a mala	1.28-1.60	4-8		
		CH	Malo a aceptable	Casi impermeable	1.44-1.76	3-5		
OH	Malo a muy malo	Mala	1.28-1.68	3-5				
SUELOS ORGÁNICOS		Pt	Inaceptable	Aceptable a mala	-	-		

3.3.5.2 Análisis geotécnico

La capacidad portante de un suelo puede definirse como la carga que éste es capaz de soportar sin que se produzcan asentamientos excesivos. El objetivo es explicar los principios que se usan para determinar la capacidad portante de los suelos, para tener criterios de cálculo y diseño locales. Se pone énfasis en el ensayo de laboratorio de corte directo, a fin de aplicar la teoría del Dr. Karl Terzaghi.

- **Capacidad de carga limite (qd):** Define a la máxima presión que se puede aplicar a la cimentación, sin que ésta penetre en el suelo.
- **Capacidad de carga admisible (qadm):** Es la carga límite dividida entre un factor de seguridad. A este esfuerzo se le llama capacidad portante. Terzaghi (2001) recomienda que FS no sea menor que 3.

$$q_{adm} = \frac{q_d}{FS} \quad \dots\dots\dots \text{Ec. 3.4}$$

- **Esfuerzo neto (q neto):** Es el esfuerzo útil, que queda para la superestructura, después de quitarle el esfuerzo que va a utilizar el peso del relleno del suelo y la sobrecarga de piso:

$$q_{neto} = q_{adm} - \gamma * D_f - \text{sobrecarga de piso} \quad \dots\dots\dots \text{Ec. 3.5}$$

Dónde:

γ = peso específico del relleno.

D_f = Profundidad de cimentación.

Sobrecarga de piso = 500 kg/m².

- **Presión de contacto (qc):** Es producida por la carga muerta y viva de la superestructura y actúa debajo de la zapata, en el encuentro zapata-suelo. En el diseño de cimentaciones, se busca que **qc** sea menor o igual a **q neto**.

- **Ecuación de Mohr-Coulomb:** Mohr presentó en 1900, una teoría sobre la ruptura de materiales, según la cual, la falla de un suelo se presenta debido a la combinación crítica de esfuerzos verticales y horizontales.

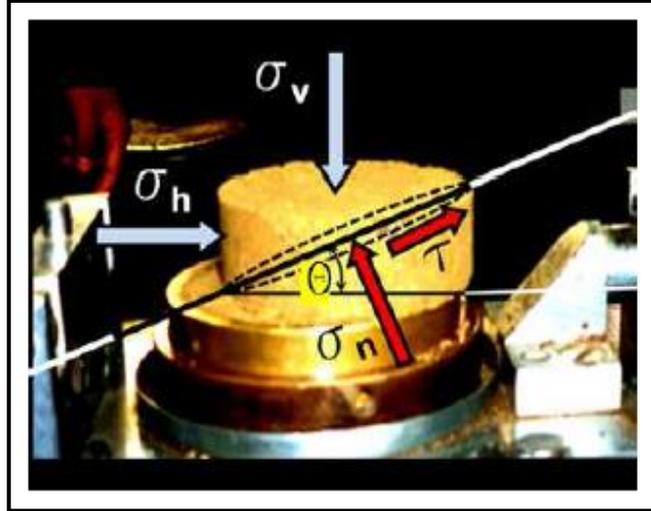


Figura 3.7: Esfuerzos en el interior de una masa elástica.

Del equilibrio de fuerzas en ambas direcciones y del bloque triangular, se obtiene τ y σ_n , y tal como se observa en la Figura 3.7:

$$\tau = \frac{\sigma_v - \sigma_h}{2} \text{sen}2\theta \quad (\text{Ec.3.6})$$

$$\sigma_n = \frac{\sigma_v + \sigma_h}{2} + \frac{\sigma_v - \sigma_h}{2} \text{cos}2\theta \quad (\text{Ec.3.7})$$

Por otro lado, los esfuerzos verticales y horizontales pueden ser representados en un diagrama de Mohr, tal como se muestra en la Figura 3.8:

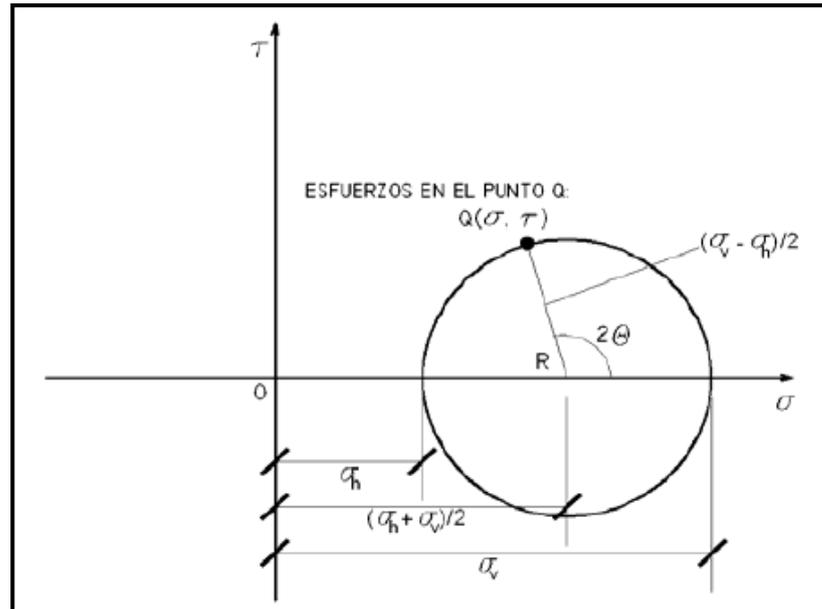


Figura 3.8: Diagrama de Mohr.

La teoría de Coulomb (Figura 3.9), relaciona el esfuerzo cortante t , como función del esfuerzo normal n , la tangente del ángulo de fricción interna, y la cohesión c como:

$$\tau = \sigma_n \operatorname{tg} \varphi + c \quad (\text{Ec.3.8})$$

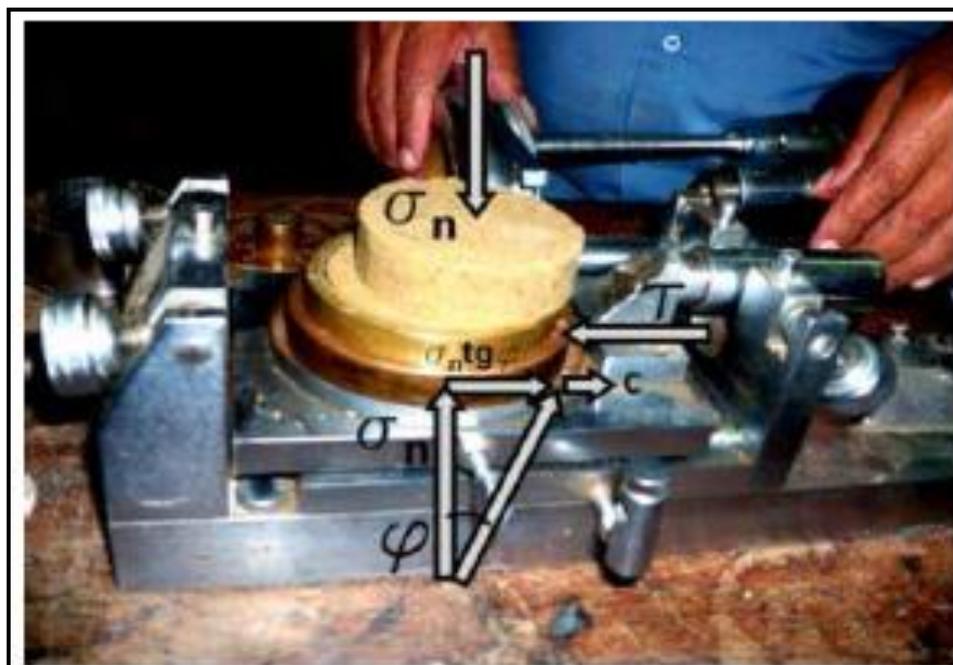


Figura 3.9: Esfuerzos normales y cortantes en un bloque de suelo, según la teoría de Coulomb.

De la Figura 3.10 se obtiene:

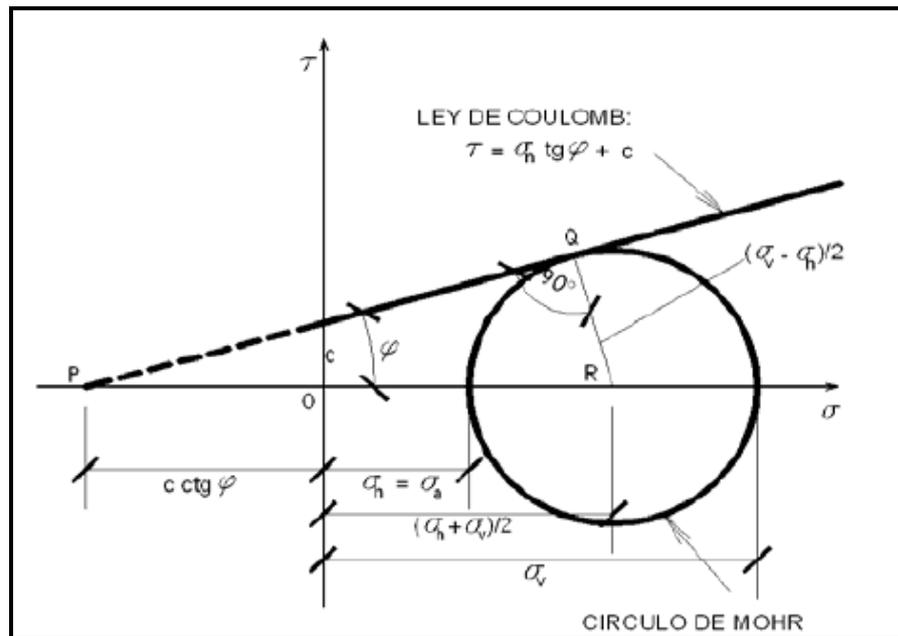


Figura 3.10: Envolvente de Mohr y teoría de Coulomb.

$$\operatorname{sen} \varphi = \frac{\frac{\sigma_v - \sigma_h}{2}}{\frac{\sigma_h + \sigma_v}{2} + c \operatorname{ctg} \varphi} \quad (\text{Ec.3.9})$$

Despejando, se obtiene el esfuerzo horizontal en una masa de suelo en función del esfuerzo normal, el ángulo de fricción interna y la cohesión del suelo:

$$\sigma_h = \sigma_v \frac{1 - \operatorname{sen} \varphi}{1 + \operatorname{sen} \varphi} - 2c \frac{\operatorname{cos} \varphi}{1 + \operatorname{sen} \varphi} \quad (\text{Ec.3.10})$$

$$\sigma_h = \sigma_v K_a - 2c \sqrt{K_a} \quad (\text{Ec.3.11})$$

Siendo:

$$K_a = \frac{1 - \operatorname{sen} \varphi}{1 + \operatorname{sen} \varphi} \quad (\text{Ec.3.12})$$

La ecuación 3.11 representa la relación de Mohr – Coulomb o el estado de esfuerzos en una masa de suelo, cuando hay fuerzas verticales y horizontales. Relaciona los esfuerzos efectivos horizontales con los esfuerzos verticales, a través de los parámetros, ángulo de fricción interna y la cohesión.

El ensayo de corte directo es un ensayo de cortante, consiste en aplicar esfuerzos verticales y horizontales a tres muestras de suelo y determinar el instante de falla a corte (Figura 3.11). Cuando se aplica un esfuerzo vertical fijo de 0.5 Kg/cm^2 , la primera muestra falla con esfuerzo horizontal o cortante τ_1 , la segunda muestra es sometida a un esfuerzo de 1.0 Kg/cm^2 y falla con un esfuerzo cortante τ_2 . Con estos tres pares ordenados se grafica el diagrama de ruptura de Mohr. La tercera muestra es sometida a un esfuerzo de compresión de 1.5 Kg/cm^2 y falla con un cortante τ_3 .

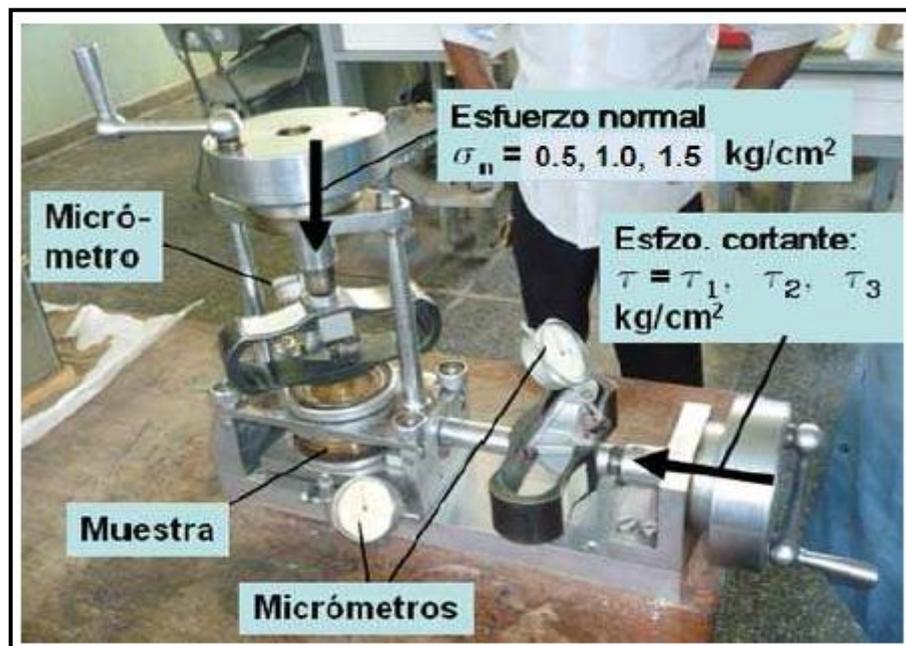


Figura 3.11: Detalles del equipo de corte directo y diagrama de ruptura de Mohr.

3.4 Métodos geofísicos

3.4.1 Clasificación de ondas sísmicas

Las ondas sísmicas (ondas elásticas) corresponden a perturbaciones temporales generadas por pequeños movimientos del suelo y que se propagan en un medio homogéneo y/o heterogéneo. Estas ondas, que se originan en el interior de la corteza terrestre, debido a repentinos desplazamientos en fallas o hendiduras en la tierra, se propagan hacia la superficie terrestre originando movimientos de baja y/o alta intensidad (Figura 3.12). Siendo las más conocidas las ondas de cuerpo y ondas superficiales.

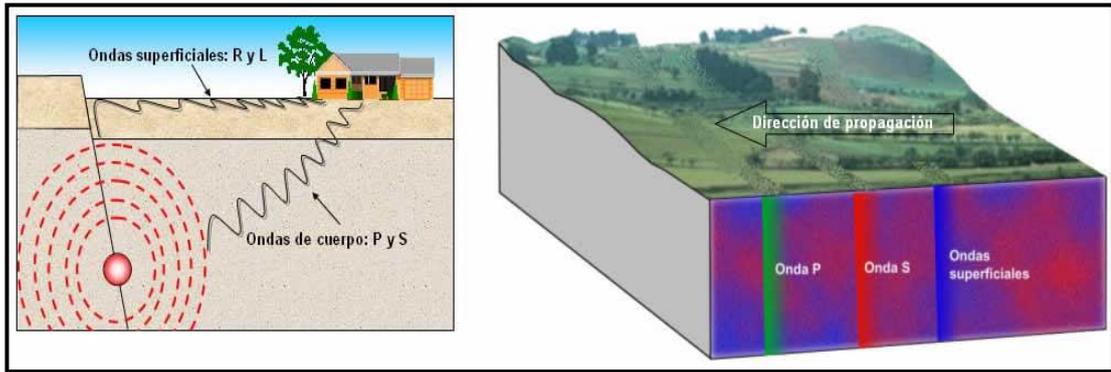


Figura 3.12: Propagación de ondas sísmicas partiendo desde el hipocentro.

3.4.1.1 Ondas de cuerpo

Las ondas de cuerpo viajan a través del interior de la Tierra. Siguen caminos curvos debido a la variada densidad y composición del interior de la Tierra. Este efecto es similar al de refracción de ondas de luz. Las ondas de cuerpo transmiten los temblores preliminares de un terremoto, pero poseen poco poder destructivo. Las ondas de cuerpo son divididas en dos grupos: ondas primarias (P) y secundarias (S).

➤ Ondas P

Las ondas P son ondas longitudinales o compresionales (Figura 3.13), lo cual significa que el suelo es alternadamente comprimido y dilatado en la dirección de la propagación. Estas ondas generalmente viajan a una velocidad 1.73 veces de las ondas S y pueden viajar a través de cualquier tipo de material. Velocidades típicas son 330m/s en aire, 1450m/s en agua y cerca de 5000m/s en granito.

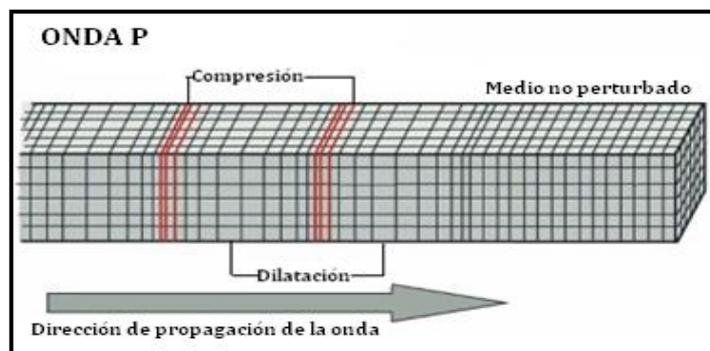


Figura 3.13: Modelo de propagación de la onda P.

➤ Ondas S

Las ondas S son ondas transversales o de corte, lo cual significa que el suelo es desplazado perpendicularmente a la dirección de propagación, alternadamente hacia un lado y hacia el otro (Figura 3.14). Las ondas S pueden viajar únicamente a través de sólidos debido a que los líquidos no pueden soportar esfuerzos de corte. Su velocidad es alrededor de 58% la de una onda P para cualquier material sólido.

Usualmente la onda S tiene mayor amplitud que la P y se percibe más fuerte que ésta.

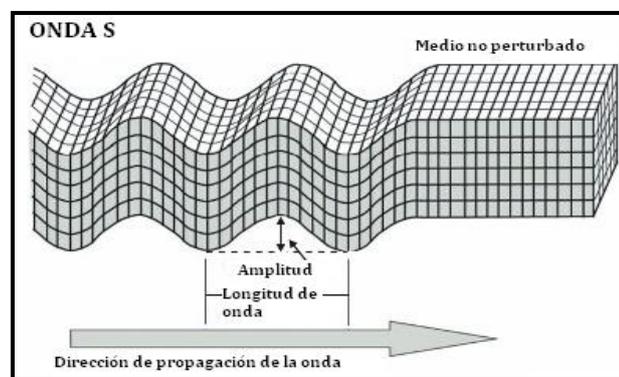


Figura 3.14: Modelo de propagación de la onda S.

3.4.1.2 Ondas superficiales

Las ondas superficiales viajan sobre la superficie de la Tierra y se desplazan a menor velocidad que las ondas de cuerpo. Debido a su baja frecuencia, frecuentemente provocan resonancia en edificios con mayor facilidad que las ondas de cuerpo y son, por ende, las ondas sísmicas más destructivas. En general, las ondas superficiales son las que se propagan en dirección paralela a la superficie y su amplitud decrece con la profundidad. Existen dos tipos de ondas superficiales: ondas Rayleigh y ondas Love (Figura 3.15).

➤ Ondas Rayleigh

Las ondas Rayleigh son ondas superficiales que viajan como ondulaciones similares a aquellas encontradas en la superficie del agua (Figura 3.15). Las propiedades más importantes de estas ondas son que su amplitud disminuye con la profundidad y su

velocidad es menor que de las ondas S y los desplazamientos que producen están contenidos en el plano de incidencia o plano vertical.

➤ Ondas Love

Las ondas Love son ondas superficiales que provocan cortes horizontales en la tierra. Las ondas Love son levemente más lentas que las ondas de Rayleigh (Figura 3.15).

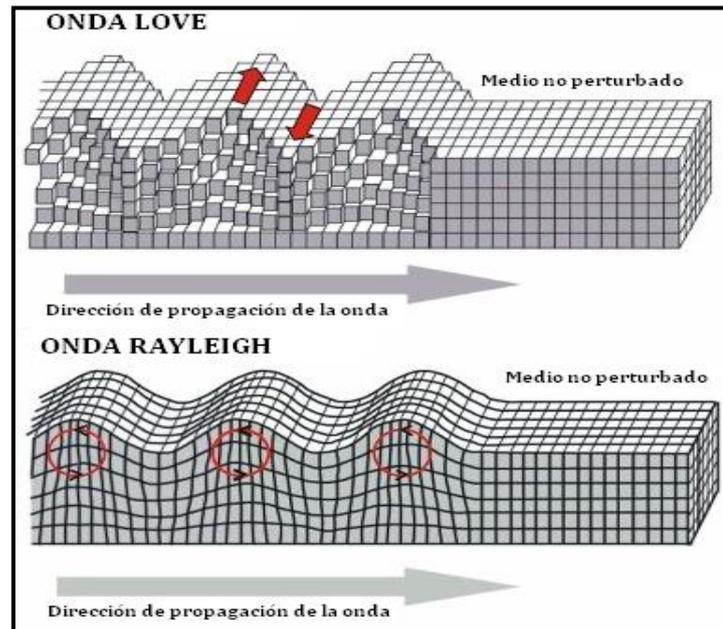


Figura 3.15: Modelo de propagación de las ondas sísmicas superficiales.

3.4.2 Vibración ambiental

En la sismica tradicional, el ruido de una señal sísmica se ha considerado como algo negativo y que hay que cancelar o evitar. En la actualidad, lo que hasta hace pocas décadas constituía un problema en los estudios de propagación y atenuación de ondas sísmicas se ha convertido en una herramienta excelente para caracterizar los efectos locales y las propiedades dinámicas del lugar de registro y de las estructuras., Así pues existen diferentes denominaciones para ese ruido el término microtrepidaciones corresponde a una traducción del inglés de microtremors, en castellano no hay uniformidad con el nombre aplicado y también se usan los siguientes términos: microtemblores, microvibraciones, vibración ambiental, ruido sísmico y ruido sísmico ambiental.

La vibración ambiental se define como el movimiento del suelo generado por fuentes no sismogénicas (fuentes naturales y artificiales), por ejemplo, las fuentes naturales pueden ser las olas de mar en costas, el viento, variaciones en la presión del aire, etc. así como las fuentes artificiales ligadas a la actividad humana como pueden ser el tráfico vehicular, maquinaria pesada, industrias, etc. (Figura 3.16).

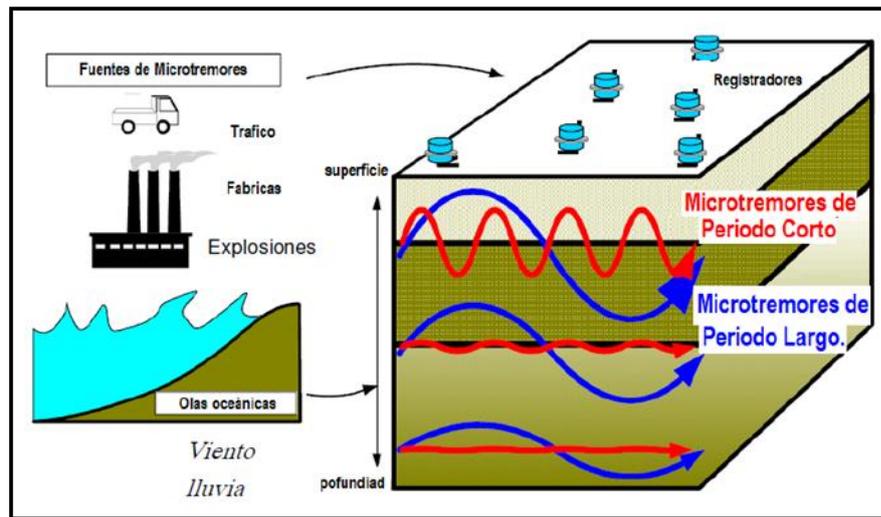


Figura 3.16: Fuentes de Vibración ambiental.

En la Tabla 3.6 se muestran los posibles orígenes asignados a la vibración ambiental según Gutenberg (1958), Aste (1978) y Aste y Henstrdige (1984) para distintos rangos de frecuencia. Para frecuencias inferiores a 1Hz se les atribuye origen natural. El pico espectral entre 0.15 – 0.2 Hz se asocia al efecto causado por las olas oceánicas que viajan generando ondas estacionarias que disipan energía en forma de ondas elásticas.

Algunos estudios (Young et al., 1996; Withers et al., 1996) indican que el viento da lugar a ruido sísmico de alta frecuencia (entre 15 y 60 Hz), en sitios poblados y por encima de 5 Hz las fuentes son predominantemente urbanas (tráfico, maquinarias, etc.). Sin embargo, estas ondas resultan fuertemente atenuadas al alejarse varios kilómetros de la fuente generadora. Entre 1 y 5 Hz existe una banda de transición en la que contribuirían ambos tipos de fuentes. Yamanaka *et al.* (1993) demostraron, con medidas continuas en la Universidad de California del Sur en los Ángeles, la dependencia de la amplitud del microtemor de corto periodo (0.3s) con el ciclo día/noche así como su caída durante el fin de semana, lo que prueba la elevada contribución de fuentes antrópicas.

Por otro lado, Bard et al. (2004) diferencian la vibración ambiental según su origen en dos, natural y humano (Tabla 3.7), el primero originado principalmente por las olas oceánicas y condiciones atmosféricas, frecuencias entre 0.1 – 1 Hz; mientras que, el segundo tiene un origen antrópico como el tráfico y la industria que generan ondas superficiales en el rango de frecuencia de 1 – 10 Hz.

Tabla 3.6: Fuentes de vibración ambiental en función a la frecuencia. Reproducido de Bonnefoy – Claudet et al (2006b).

	Gutenberg (1958)	Asten (1978) Asten and Henstridge(1984)
Olas oceánicas golpeando en las costas.	0.05 – 0.1 Hz	0.5 – 1.2 Hz
Monzones y perturbaciones meteorológicas a gran escala.	0.1 – 0.25 Hz	0.16 – 0.5 Hz
Ciclones sobre los océanos.	0.3 – 1 Hz	0.5 – 3 Hz
Condiciones meteorológicas a escala local.	1.4 – 5 Hz	
Tremor volcánico.	2 – 10 Hz	
Urbano.	1 – 100 Hz	1.4 – 30 Hz

Tabla 3.7: Diferenciación de las vibraciones ambientales según Bard et al, (2004).

Origen	Natural	Humano
Nombre	Microsismos	Microtremores (microtemblores)
Frecuencia que predomina en la vibración (aprox.).	0.1 Hz a 1 Hz (baja frecuencia)	1 Hz a 10 Hz (alta frecuencia)
Fuente	Oceánico y condiciones Atmosféricas (frecuencia muy baja)	Tráfico, industria
Onda incidente	Ondas superficiales (fuentes lejanas)	Ondas superficiales + ondas internas (fuente cercana)
Variación en amplitud	Relacionada con ondas oceánicas	Día/noche, semana/fin de semana
Rayleigh/Love	Predominante Rayleigh	Amplitud comparable, Love con un poco más de energía
Modo Fundamental / modos superiores	Principalmente fundamental	Posibilidad de modos más altos en frecuencias altas (al menos en el caso de dos capas)

Se debe tener en cuenta que la vibración ambiental se caracteriza por tener baja amplitud y un amplio rango de frecuencias. Su uso para la evaluación de la respuesta dinámica del suelo es muy atractivo, debido a su bajo costo y a la facilidad y rapidez para obtener información.

3.4.3 Metodología H/V o Nakamura

La metodología de H/V o Nakamura (1989) ha ganado popularidad en los últimos años por ser un procedimiento económico y fácil de aplicar, obteniéndose a partir de éste los valores de frecuencia y período fundamental de un sitio, parámetros claves a la hora realizar la caracterización de sitio.

Este procedimiento emplea mediciones de vibración ambiental (compuesto de ondas superficiales tipo Rayleigh) producido por la interacción viento – estructuras, tráfico y varias formas de actividad humana (Lermo y Chavez-Garcia, 1994). Se ha demostrado que el cociente espectral entre las componentes horizontales y verticales de estas mediciones ofrece un buen estimado de la frecuencia fundamental de depósitos sedimentarios sueltos y, en cierta forma, el factor de amplificación. El uso extensivo del método permite el mapeo rápido y detallado de estas frecuencias en áreas urbanas. Combinando informaciones sobre la respuesta de suelo y vulnerabilidad, se pueden anticipar los efectos potenciales de un sismo a edificios y estructuras civiles.

La teoría y las hipótesis del método no han sido aceptadas unánimemente por la comunidad científica, pero las comparaciones con otras técnicas han comprobado en diversos estudios recientes la validez y la eficiencia del método (Lermo y Chavez-Garcia, 1994).

Nakamura (1989) desarrolló la técnica basado en tres hipótesis principales:

1. La vibración ambiental es generada por la reflexión y refracción de ondas de corte al interior de capas de suelo superficial y por ondas de superficie.
2. Fuentes superficiales locales de vibración no afectan a la vibración ambiental en la base de la estructura no consolidada.

3. Capas de suelo blando no amplifican la componente vertical de la vibración ambiental.

Las funciones SE y AS que representan la respuesta sísmica intrínseca del sitio y el efecto singular de la onda Rayleigh pueden ser definidos como:

$$S_E = \frac{H_S}{H_B} \quad A_S = \frac{V_S}{V_B} \quad (\text{Ec. 3.13})$$

Donde H y V representan, respectivamente, los espectros de las componentes horizontales y verticales del ruido ambiental en superficie (S) o en el basamento (B) (Figura 3.17). La respuesta sísmica del sitio que no incluye la contribución de la fuente es definida por SM.

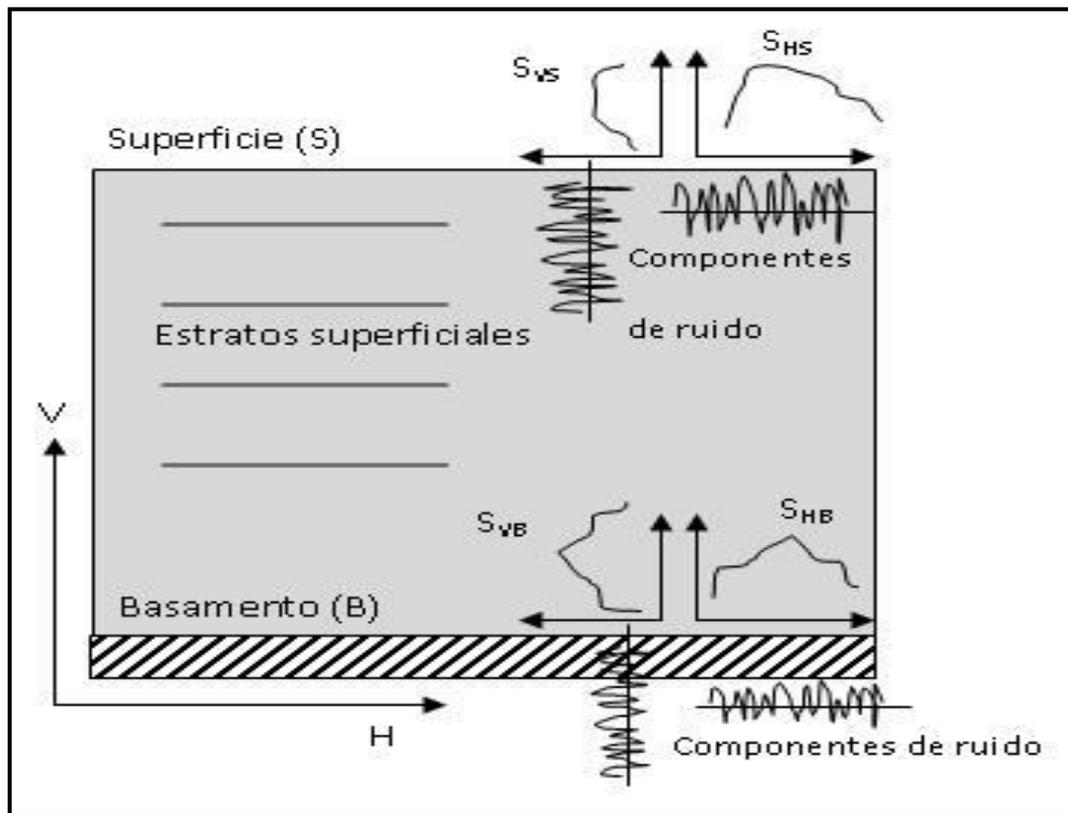


Figura 3.17: Modelo asumido por Nakamura para interpretar la propagación de vibración ambiental sobre un semiespacio de espesor Z.

Entonces:

$$S_M = \frac{S_E}{A_S} \quad S_M = \frac{H_S}{V_S} \frac{V_B}{H_B} \quad (\text{Ec. 3.14})$$

Nakamura (1989) y Theodulidis et al. (1996) demostraron que el espectro de las componentes vertical (VB) y horizontal (HB) son equivalentes a la base de la estructura, es decir una de las hipótesis consideradas es que en el basamento rocoso no hay amplificación, así la componente horizontal es proporcional a la vertical.

$$\text{Luego } \frac{H_S}{V_S} \cong 1 \quad \text{entonces } S_M = \frac{H_S}{V_S} \quad (\text{Ec.3.15})$$

Por lo tanto, la respuesta sísmica del sitio SM puede ser expresada como el cociente espectral de las componentes horizontal y vertical del ruido ambiental en superficie. Resumiendo, esta descripción teórica implica que, un estimado práctico de la respuesta del sitio puede ser obtenido registrando el ruido ambiental con un sismógrafo sencillo de 3 componentes (X-Y-Z).

Determinación de la Profundidad del Basamento

La profundidad del basamento, la relación espectral H/V usando la siguiente relación puede ser determinado a partir de:

$$F_0 = \frac{C_s}{4 * h} \quad (\text{Ec. 3.16})$$

Donde F_0 es la frecuencia fundamental en Hz, C_s es la velocidad de onda S (m/s) en el estrato superficial, h es el espesor del estrato.

Se puede complementar el cálculo anterior con:

$$F_0 = \frac{C_s}{4 * h * Amp} \quad (\text{Ec. 3.17})$$

Donde F_0 es la frecuencia fundamental en Hz, C_s es la velocidad de onda S (m/s) en el basamento y Amp es el factor de amplificación del microtremor o vibración ambiental.

3.4.4 Velocidad de fase y velocidad de grupo

La velocidad de fase es la rapidez en la cual un punto de una fase de ondícula constante viaja en dirección normal a la superficie de la onda en un medio homogéneo. Esta es la rapidez de una onda plana que viaja en la misma dirección. En un medio anisotrópico, la velocidad de fase está sujeta a la dispersión angular; es decir, la rapidez varía con el ángulo. En un medio atenuante, la velocidad de fase está sujeta a la dispersión de frecuencia; es decir, la rapidez varía con la frecuencia (Winterstein, 1990). La velocidad de fase, a diferencia de la velocidad de grupo, no se puede obtener directamente de mediciones de ondas, dividiendo la distancia recorrida en un tiempo, a menos que la fuente genere ondas planas (Winterstein, 1990), ver Figura 3.18.

La velocidad de grupo es la rapidez en la cual la superficie de una onda, viaja en una dirección dada radialmente hacia fuera, desde una fuente puntual en un medio homogéneo. Si el medio es atenuante, esta velocidad varía con la frecuencia (debido a que la atenuación implica dispersión de frecuencia); si es anisotrópico, varía con la dirección. En ambos casos las expresiones teóricas para la velocidad de grupo son obtenidas diferenciando la frecuencia con el vector de onda. La velocidad de grupo se puede obtener a partir de mediciones de ondas, dividiendo la distancia recorrida en un tiempo a partir de una fuente puntual (Winterstein, 1990) (Figura 3.18).

Para los estudios de zonificación sísmica la velocidad de fase es de gran importancia, nos permite realizar el análisis de ondas superficiales con el método MASW con la velocidad de fase se puede observar los cambios de velocidad en función del contenido de frecuencias de diferentes capas del subsuelo.

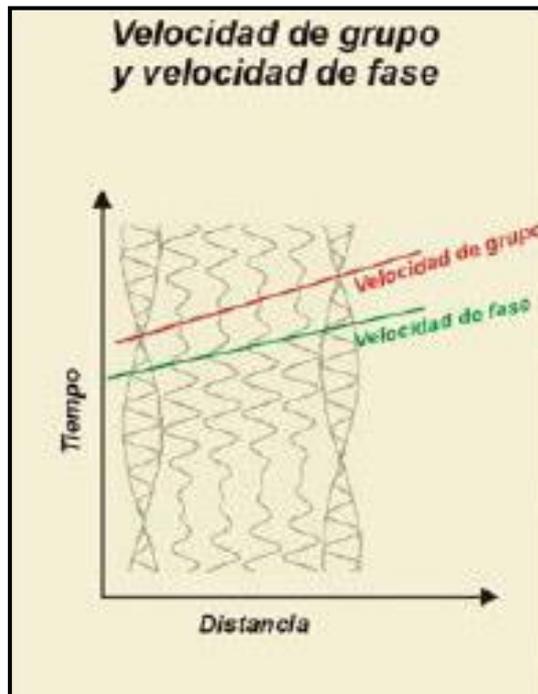


Figura 3.18: Esquema que descubre la velocidad de grupo y de fase.

3.4.5 Método de refracción sísmica

Las propiedades elásticas de los materiales que componen el subsuelo y sus efectos en la propagación de ondas sísmicas son fundamentales para la caracterización de un sitio. Dentro de estas propiedades, uno de los parámetros clave es el perfil de velocidades de ondas de corte, debido a que permite evaluar la respuesta dinámica de un punto y/o área (Tokimatsu, 1997).

Los métodos de refracción sísmica tienen la particularidad de que necesitan una fuente artificial para generar ondas sísmicas de acuerdo a la extensión del área a estudiar y de las propiedades mecánicas del subsuelo. La fuente artificial puede ir desde golpes con un martillo a una placa, hasta varios kilos de. Los métodos geofísicos, son de amplia aplicación en el área de ingeniería civil y de construcción.

Originalmente estos métodos fueron utilizados para la búsqueda de petróleo y otros depósitos minerales, y a partir del año 1970 se empezó a utilizar para caracterizar los suelos blandos especialmente en áreas aluviales y depósitos sedimentarios.

Estos métodos llamados activos, permiten el registro de ondas superficiales generadas por una fuente dinámica que produce una perturbación en superficie para

ser captadas por geófonos alineados con la fuente. Esta perturbación puede ser generada con un mazo o martillo, dejando caer un peso al terreno o utilizando mecanismos más sofisticados que permitan un mayor control sobre las perturbaciones generadas, y, por ende, sobre el rango de frecuencias y amplitud de las ondas (Stokoe et al., 2004), ver Figura 3.19.

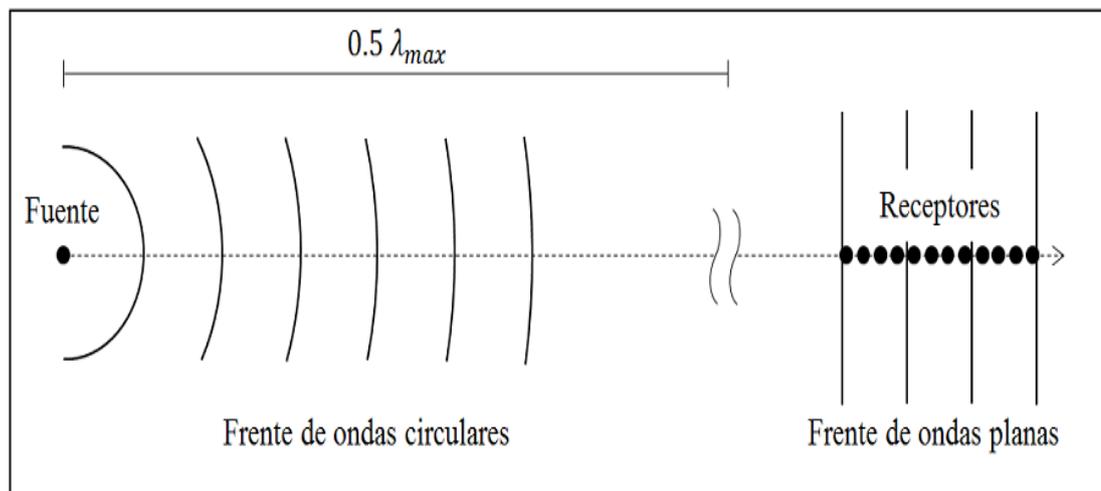


Figura 3.19: Frentes de ondas generados por una fuente activa.

3.4.6 Arreglos sísmicos lineales (MASW)

La técnica de Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW ó Multichannel Analysis of Surface Wave) propuesto por Park (1999), fue originalmente propuesto para el análisis de ensayos activos, posteriormente se extendió para ser aplicado en ensayos pasivos utilizando arreglos bidimensionales (Park, 2008) y arreglos lineales utilizando como fuente el tráfico vehicular (Park y Miller, 2008).

Este método se basa en el análisis de los principios básicos de la dispersión geométrica de ondas sísmicas, a fin de obtener un modelo de velocidad de ondas de corte, obtenidos con la aplicación de métodos inversos basados en la propagación y dispersión de ondas superficiales en medios verticalmente heterogéneos. Las altas frecuencias (longitud de onda corta) de las ondas superficiales proveen información de estratos superficiales; mientras que, bajas frecuencias (longitud de ondas larga) proporcionan información de estratos más profundos.

La técnica MASW analiza las propiedades de dispersión de las ondas sísmicas superficiales (modos fundamentales de ondas Rayleigh), las cuales se propagan horizontalmente a lo largo de la superficie, desde el punto de impacto a los receptores. Los registros simultáneos de 12 o más receptores en distancias cortas (1-2 m) y largas (50-100 m) desde una fuente impulsiva o vibratoria, proporcionan una redundancia estadística para medir velocidades de fase. Los datos multicanales muestran un formato de frecuencia variable con el tiempo para permitir la identificación de modos fundamentales de ondas Rayleigh (Louie, 2001).

La configuración básica del tendido y la rutina de adquisición con el método MASW, generalmente es la misma que se usa en los estudios convencionales refracción de ondas corporales. En la Figura 3.20 se presenta la configuración utilizada por el método MASW, donde x_1 es la distancia de la fuente de disparo (source offset) al primer geófono, Δx la distancia entre geófonos y D la dimensión del arreglo. La profundidad máxima de investigación ($Z_{m\acute{a}x}$) a la que se puede llegar depende de las propiedades del subsuelo y del tipo de fuente utilizada.

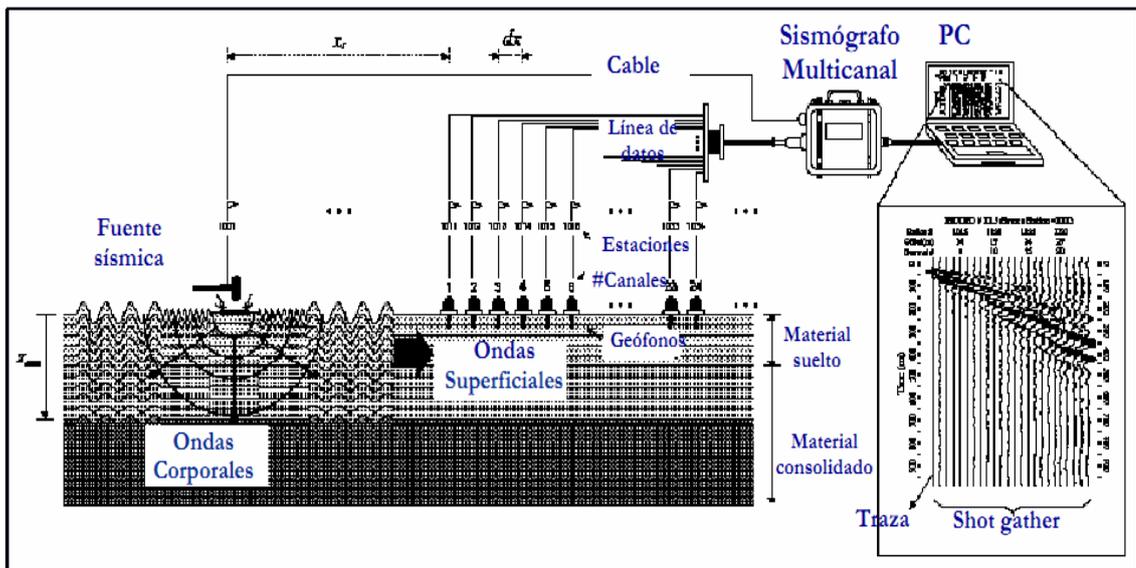


Figura 3.20: Configuración de campo y equipo de datos para el Método MASW.

3.4.7 Aplicación MASW

La técnica MASW (Multichannel Análisis 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.

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, ver Figura 3.21.

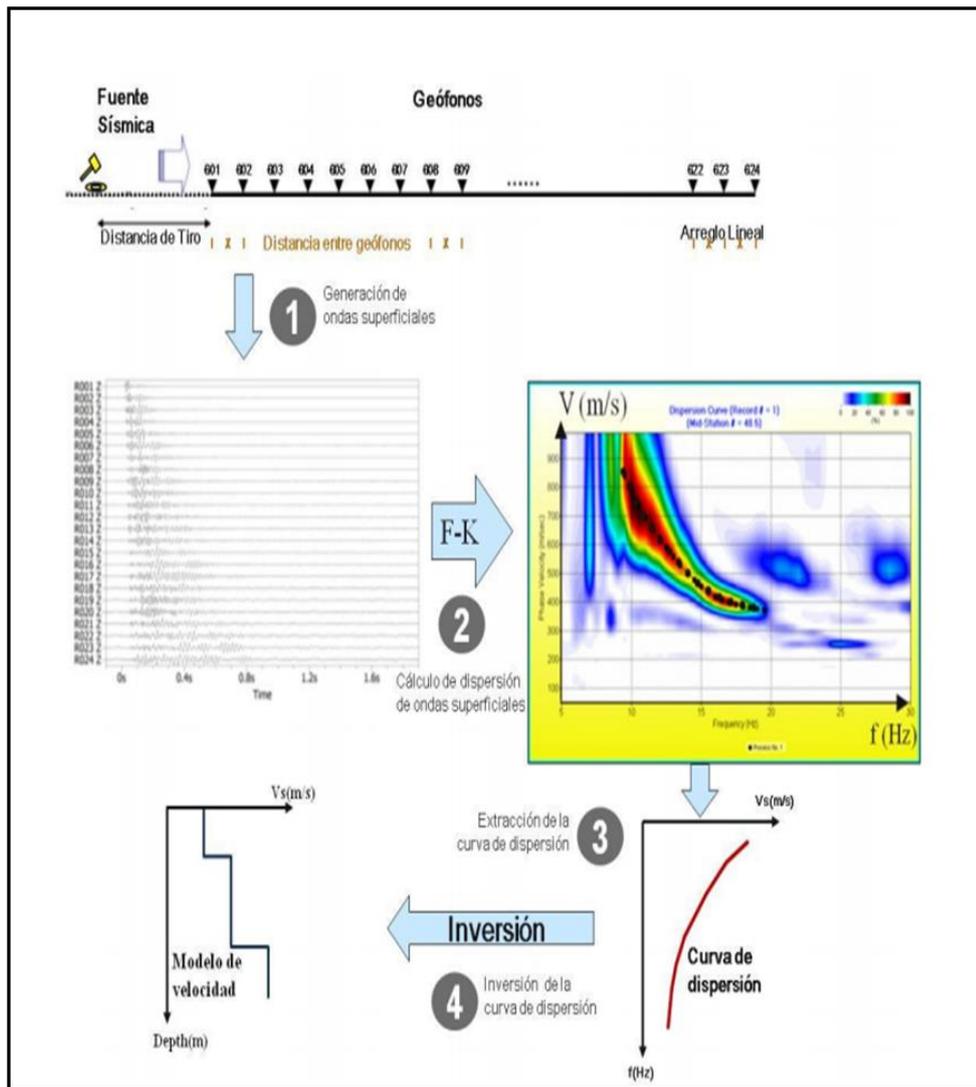


Figura 3.21: Esquema de la metodología utilizada para el procesamiento de datos obtenidos por un arreglo lineal, para determinar el perfil de velocidades.

CAPÍTULO IV

ADQUISICIÓN, PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Cuantificación de inundaciones

Uno de los eventos extremos más frecuentes en la región de Arequipa es el de las inundaciones que se producen en épocas de lluvia debido a la acumulación de agua en lugares donde habitualmente no existe. Las precipitaciones son las causantes del aumento del caudal de los ríos que, al llegar a sobrepasar su nivel de almacenamiento, provocará el 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 entre los volcanes Chachani y Misti, para luego formar un amplio valle. El río Chili tiene una extensión de 90 Km, nace a una altitud de 3750 m.s.n.m. y finaliza su recorrido en la localidad de Palca, al unirse con el río Yura.

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 4.1.



Figura 4.1: Valle del río Chili en el cual se observa la presencia de las terrazas agrícolas con influencia antrópica que invaden parcialmente el cauce del río.

4.1.1 Estadística de caudales

El río Chili aumenta su caudal durante el periodo de afluencia de lluvias; es decir, entre los meses de diciembre a marzo, alcanzando como máximo caudales de 180 m³/seg (SENAMHI, 2012), situación que reúne las condiciones favorables para provocar el desborde del mismo y daños en 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, con caudales promedio de 14 m³/seg (SENAMHI, 2012), escenario propio de los meses de abril a diciembre. En la Figura 4.2 se muestra escenarios para el río Chili correspondientes a los meses de febrero y setiembre, el primero en el puente Grau en épocas de alto caudal y el segundo en el mismo puente en épocas de bajo caudal.



Figura 4.2: Caudales en el río Chili durante los meses de febrero (caudal alto) y setiembre (caudal normal) durante el año 2012, en el puente Grau.

En la Figura 4.3 se muestra en cuadros estadísticos, los caudales máximos alcanzados por el río Chili entre los años de 1973 al 2012 (39 años) y en ellos se observa que las precipitaciones pluviales se presentaron en mayor cantidad durante el mes de febrero, tal como ocurrió en el año 2012 que alcanzó un caudal promedio de $177.625 \text{ m}^3/\text{seg}$, llegando a provocar el desborde del río para luego arrasar con terrenos de cultivos y afectando, no solo al Distrito de Sachaca, sino también, a los Distritos de Tiabaya, Hunter y Uchumayo. Otro caudal importante que resaltar se presentó en el mes de febrero del año 1994 con $220 \text{ m}^3/\text{seg}$., llegándose a reportar daños por desbordes en varias zonas a lo largo del cauce del río Chili.

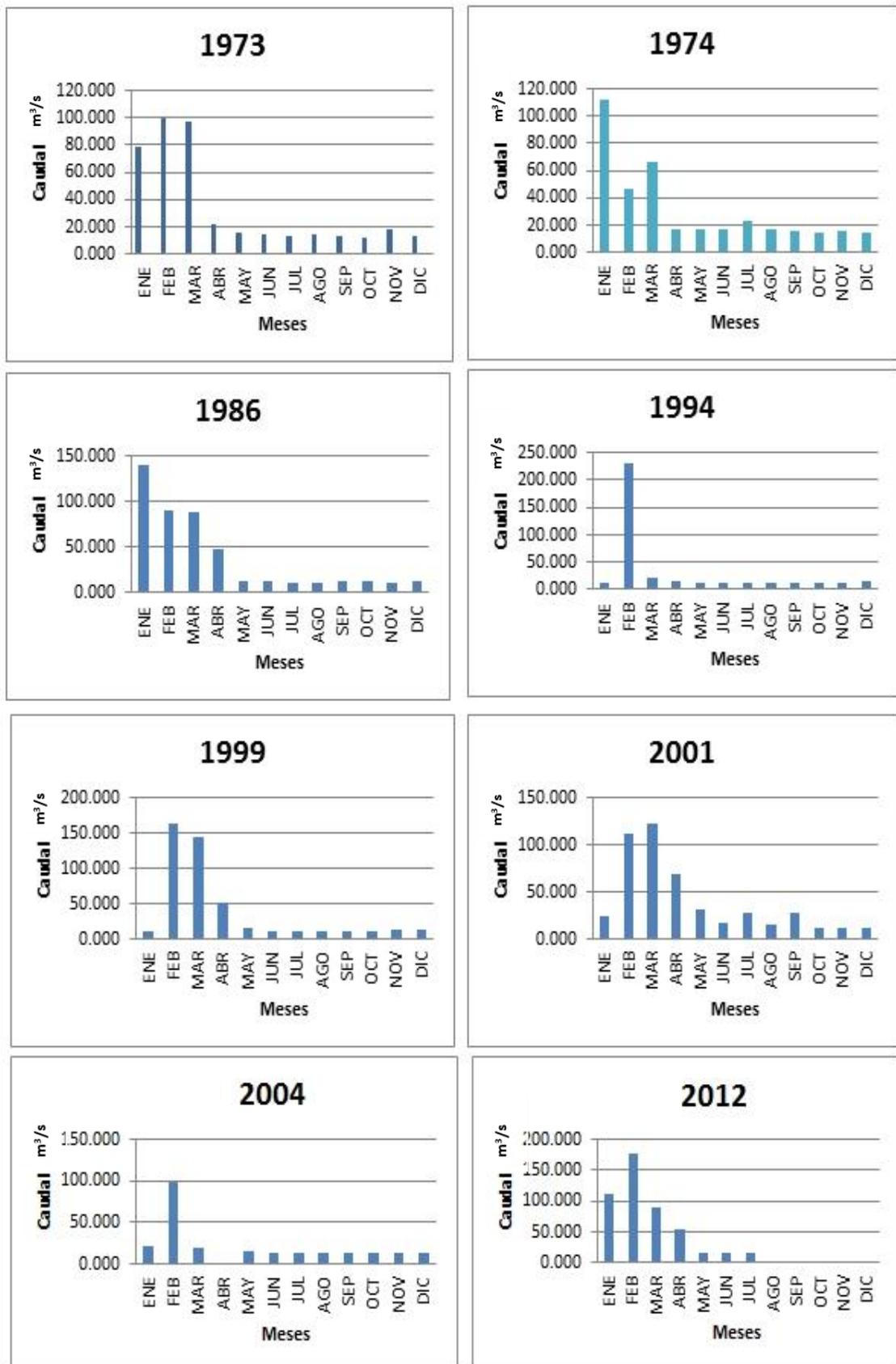
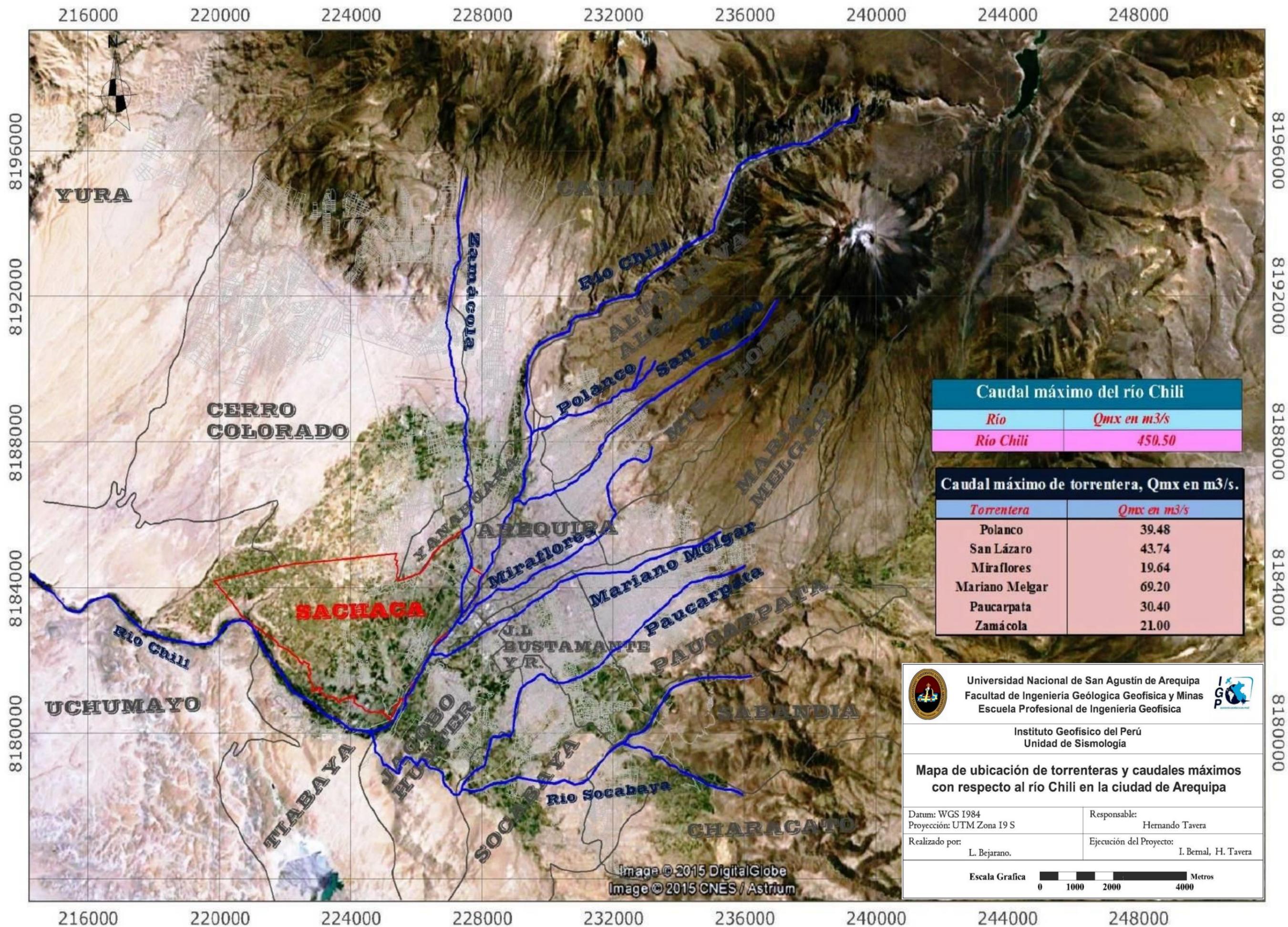


Figura 4.3: Caudales medios alcanzados por el río Chili en la ciudad de Arequipa durante un periodo de 39 años.

4.1.2 El aporte de las torrenteras

Otro factor importante que ha contribuido al incremento del caudal en el río Chili, son las torrenteras que atraviesan la localidad de Arequipa (Fuse y Benites, 2009), todas presentes en ambas riberas del río. De acuerdo a el Mapa 4.1, las torrenteras que se encuentran en la ribera izquierda del río Chili son:

- Polanco, se inicia en las coordenadas 239970-E, 8190315-N (Datum: SGM 84, UTM Zona 19 S), con una altitud media de 3210 msnm. Su drenaje es sub paralelo y en su zona de influencia se ubican dos asentamientos humanos de alta significación, Independencia y Pampas de Polanco.
- San Lázaro (tradicionalmente llamada Segunda Torrentera) se origina en la quebrada del mismo nombre, entre las coordenadas 237010-E, 8191879-N (Datum: SGM 84, UTM Zona 19 S), y a una altitud media 3726 msnm, se encuentra en dirección noreste de la ciudad de Arequipa, su drenaje es detrítico a sub paralelo, presentando una dirección aproximada NE – SO, hasta su desembocadura en el río Chili a la altura del Puente Grau.
- Miraflores (tradicionalmente llamada Tercera Torrentera), se origina en las depresiones topográficas occidentales del cerro El Botadero, entre las coordenadas 233180-E, 8187864-N (Datum: SGM 84, UTM Zona 19 S), con una altura media de 2751 msnm. A partir de su origen hasta el Cuartel Mariano Bustamante, presenta un rumbo NO – SE, seguidamente a NE – SO hasta su desembocadura en el río Chili, situada 150 metros antes del Puente Trébol, al inicio de la Variante de Uchumayo.
- Mariano Melgar (tradicionalmente llamada Cuarta Torrentera), se origina en las quebradas denominadas El Chilcal y Guarangal, entre las coordenadas 235271-E, 8185552-N (Datum: SGM 84, UTM Zona 19 S) en una altitud media 3118 msnm, se presenta en dirección Este Oeste hasta su desembocadura en el río Chili a la altura del Cuartel Arias Araguez en Tingo.
- Paucarpata (tradicionalmente llamada Quinta Torrentera), tiene su nacimiento en las depresiones del cerro Alto Jesús, entre las coordenadas 236021-E, 8184589-N (Datum: SGM 84, UTM Zona 19 S) con altura media 2667 msnm. Su dirección es NE a SO hasta la altura de Ciudad Mi Trabajo, cambiando de rumbo hacia el SE hasta su desembocadura en el río Socabaya entre Bellapampa y Huasacache.



Mapa 4.1: Ubicación de torrenteras y caudales máximos con respecto al río Chili en la ciudad de Arequipa. Adaptado de Fuse y Benites (2009).

La torrentera en la margen derecha del río Chili es:

- Zamácola (tradicionalmente llamada Primera Torrentera o Cerro Colorado), se origina en la quebrada Piedraypicho, entre las coordenadas 227508-E, 8195260-N (Datum: SGM 84, UTM Zona 19 S) a una altura media 2994 msnm. Su rumbo general es de NO a SE. Es la única torrentera que desemboca en la margen derecha del río Chili en las cercanías del puente de la Variante de Uchumayo. Se encuentra conformada por tres ramales contribuyentes que son de sureste a noroeste (alejándose del río Chili): Pastoraiz, Gamarra y El Azufral. En el ramal Pastoraiz se han instalado asentamientos humanos y la cruzan varias calles (badenes), considerándose de alto peligro. En el ramal Gamarra, el cauce ha sido respetado. En el ramal El Azufral, el cauce es muy amplio sin indicaciones de peligrosidad se une al de Gamarra entre los asentamientos de Villa Paraíso, El Nazareno y Alto Cayma, y ambos se unen al de Pastoraiz un poco más abajo del Parque El Azufral.

Según el mapa 4.1, estas torrenteras tienen su nacimiento en cuencas altas, su drenaje depende del tipo de estructura o composición de las rocas, densidad y profundidad de disección. La densidad del drenaje variará, según si la roca es permeable o impermeable o si se disuelve con facilidad o no.

En estas seis torrenteras se distingue el drenaje dendrítico (rocas horizontales u homogéneas) y el sub paralelo (rocas plegadas o sobre materiales depositados en laderas inclinadas). En general, el material que se encuentra en el cauce de las torrenteras está constituido de pequeños cantos con un diámetro aproximado de 2 a 3 cm, contenidos en un material areno-arcilloso de escasa o nula consolidación. El diámetro de los cantos aumenta a medida que se asciende hacia los orígenes de las torrenteras, llegándose a encontrar incluso bolones y rocas, incrementándose el peligro en caso de fuertes avenidas. Estas seis torrenteras descargan sus aguas en el río Chili haciendo la sumatoria a su caudal antes de pasar por el distrito de Sachaca, excepto la torrentera Paucarpata que descarga en el río Socabaya que se une al río Chili en el distrito de Tiabaya.

4.1.3 Identificación de tramos críticos

Con el propósito de conocer que tramos de las torrenteras son los más afectados a nivel de la ciudad de Arequipa y en el distrito de Sachaca, fue necesario reagrupar la información recolectada (Fuse y Benites, 2009) y considerar su clasificación.

Para realizar la clasificación por tramos, se ha considerado parámetros como la capacidad máxima de transporte de agua por áreas de m^2 , la precipitación crítica en mm/hora (precipitación para colmar y desbordar el cauce del tramo), la frecuencia anual de desborde, el período medio de retorno para cada tramo y el área seccional de los tramos de las torrenteras.

La Tabla 4.1 muestra la prioridad que se presenta en los tramos críticos de cada una de las torrenteras y, en base al periodo de retorno, definiendo de este modo, la peligrosidad de cada uno de ellos.

El análisis y cuantificación de estos parámetros han permitido clasificar las torrenteras de Arequipa e identificar los tramos más críticos. El mapa 4.2 muestra la distribución espacial de las torrenteras del Río Chili, donde se detalla con círculos de diferentes colores la prioridad de cada tramo crítico y cuyas características son:

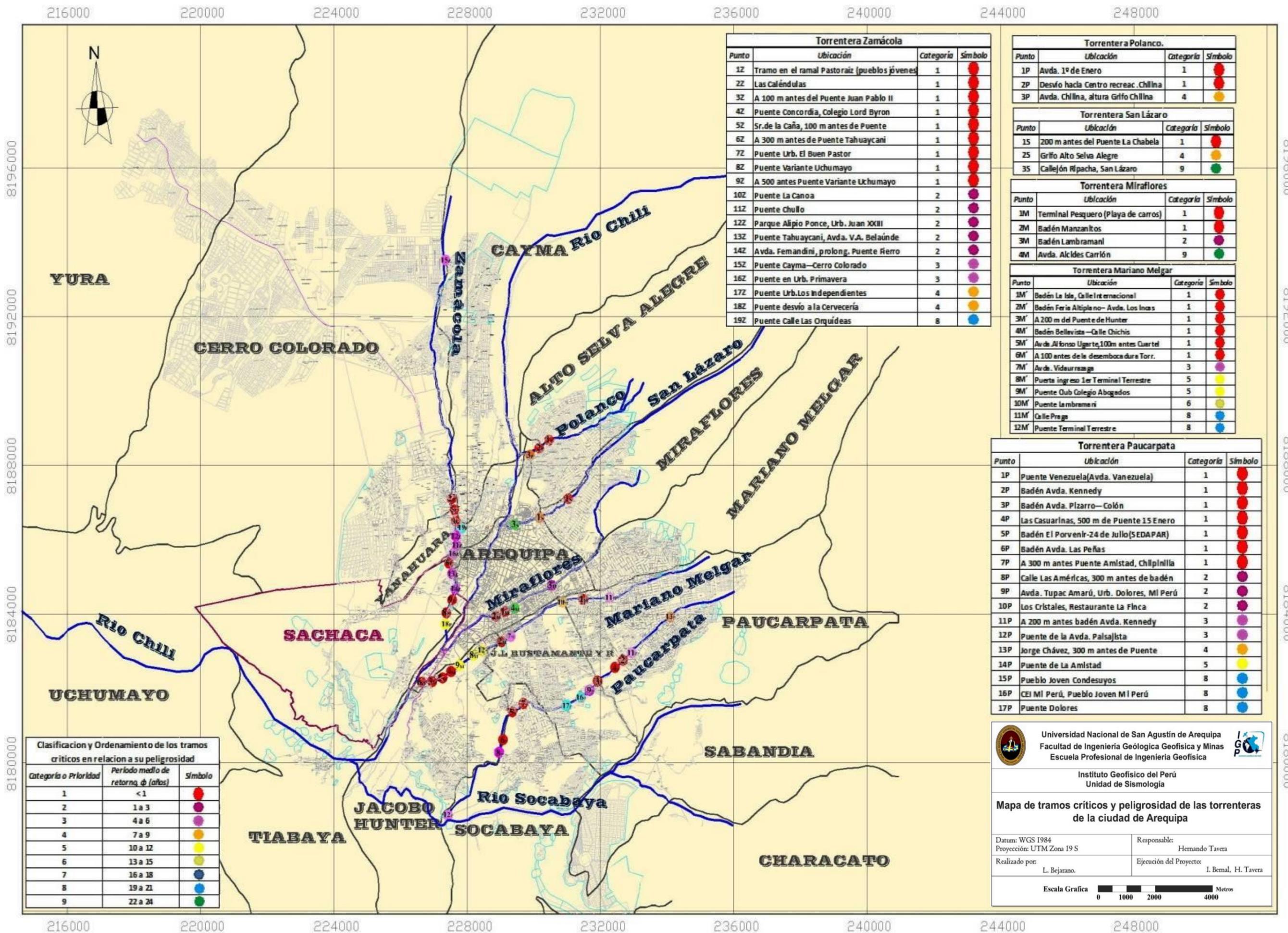
- Zamácola, los tramos mas criticos son: Tramo Pastoraiz, las Calendulas, 100 m antes del puente Juan Pablo II, puente Concordia, colegio Lord Byron, Sr. de la Caña, puente Tahuaycani, puente Urb. El Buen Pastor y Puente Variante Uchumayo.
- Paucarpata, los tramos mas criticos son: Puente Venezuela, Av. Venezuela, Baden Av. Kennedy, Baden Av. Pizarro-Colón, las Casuarinas, Baden el Porvenir (SEDAPAR), Baden Av. las Peñas y Chilpiñilla.
- Mariano Melgar, los tramos más criticos son Baden la Isla, Calle Internacional, Baden feria El Antiplano, Av. Los Incas, Puente Hunter, Baden Bellavista, Av. Alfonso Ugarte, y 100 m antes de la desembocadura de la torrentera.
- Miraflores, los tramos criticos son: en el Terminal Pesquero y Baden Manzanitos.
- Polanco, los tramos más criticos son: asociaciones Hoyo Rubio, Juan Velasco Alvarado, Los Eucaliptos y cruce a Chilina.

➤ San Lázaro, los tramos más críticos son: La Chavela y San Lazaro.

Tabla 4.1: Prioridad de tramos críticos de las torrenteras en ambas riberas del río Chili.

Prioridad	Periodo de retorno (años)	Color	Descripción
1	< 1	Red	Peligrosidad Alta
2	1 a 3	Purple	
3	4 a 6	Pink	
4	7 a 9	Orange	Peligrosidad Media
5	10 a 12	Yellow	
6	13 a 15	Light Green	
7	16 a 18	Blue	Peligrosidad Baja
8	19 a 21	Cyan	
9	22 a 24	Green	

Los resultados indican, que la torrentera de Zamácola, Paucarpata y Mariano Melgar representan ser las de mayor peligro para la cuenca del río Chili en razón que afecta a mayor número de la población que irresponsablemente a ocupado sus riberas.

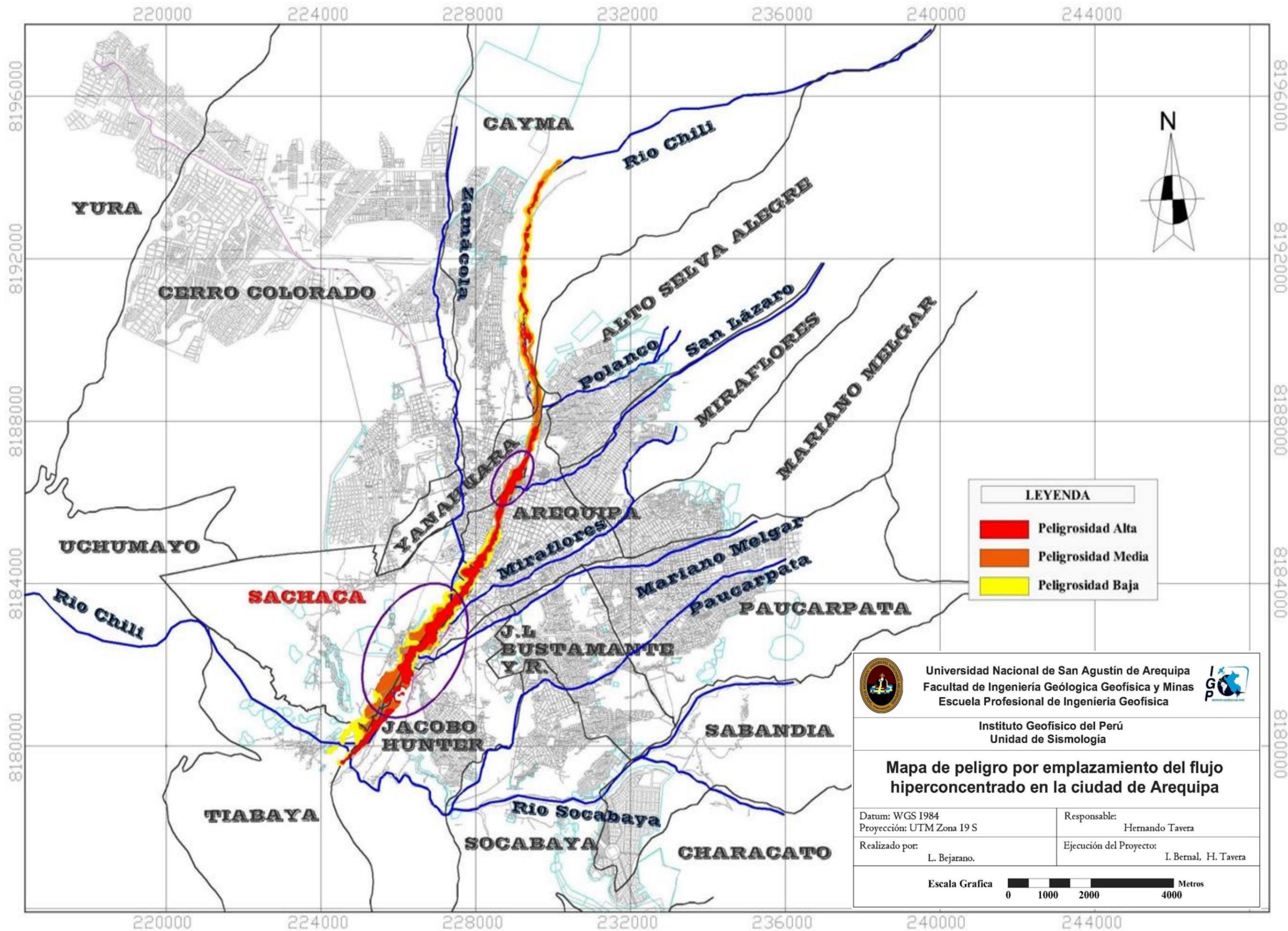


Mapa 4.2: Mapa de distintos tramos críticos y peligrosidad de las torrenteras de la ciudad de Arequipa. Adaptado de Fuse y Benites (2009).

4.1.4 Peligrosidad de flujos de lodo

Al incrementarse el caudal del río Chili por fuertes precipitaciones pluviales, sus efectos son bastante destructivos, tanto por el caudal de agua o por la presencia de flujos de lodo y escombros. El caudal de agua moviliza fragmentos líticos socavando la matriz del lahar de diferentes edades (40000 años el mas antiguo a 330 años el mas reciente) y en el caso de Arequipa, el proceso esta presente en toda la ribera del río Chili, formando flujos de agua, lodo y escombros. Estos flujos constituyen un peligro inminente para la población que habita en las proximidades del río.

El mapa 4.3 resume la distribución de flujos en el río Chili de manera comparativa con el estudio realizado por Cereceda (2007). Mediante el uso del software FLO2D, se ha modelado el flujo hiperconcentrado proveniente del volcan Misti, dando como resultado que en el sector comprendido entre la localidad de Bolognesi y la localidad Carmen Alto, en un tramo de 4 Km. aproximadamente, el flujo afectaria 50 m en las zonas aledañas a ambas márgenes del cauce actual del río Chili (125m^3) a ambos flancos. La zona con mayor afectación se encuentra entre la localidad de Vallecito y la localidad de Tingo, con un recorrido aproximado de 2.5 Km. Los flujos que afectarían destruirían 125 m. en ambos flancos. Asimismo a partir del Puente Tingo hasta la entrada del distrito de Tiabaya, las zonas colindantes hasta distancias de 250 m se verían afectadas por el flujo hiperconcentrado. En conclusión, la zona más afectada y de alto riesgo se encuentra a partir de la localidad de Tingo hasta la entrada del distrito de Tiabaya, siendo la margen derecha la de mayor probabilidad de presentar y causar daños económicos, materiales y humanos, pues aquí se encuentra la Urbanización El Palacio y el P.T. Arancota.



Mapa 4.3: Mapa de Peligro por emplazamiento del flujo hiperconcentrado Adaptado de Cereceda (2007).

4.1.5 Evaluación de inundaciones

El origen de las inundaciones en la cuenca del río Chili se deben a las intensas precipitaciones, y al posible colapso de las represas El Fraile y Aguada Blanca. En general, se observa que los mayores volúmenes de lluvia están presentes en alturas superiores a los 4000 m, valores compatibles con la estratégica ubicación de las represas de Arequipa, a esto se suma la contribución hidrológica de sus torrenteras y quebradas. A lo largo de su historia, la ciudad de Arequipa, ha sido afectada muchas veces por fuertes precipitaciones pluviales, que han causado inundaciones que han producido destrucción y en muchas ocasiones, cobrado vidas humanas.

A fin de conocer la estadística e historia de las inundaciones producidas en la ciudad de Arequipa, se realizó la recopilación y posterior evaluación de la información existente; noticias periodísticas publicadas por diferentes diarios, páginas web, informes técnicos, entre otros. Toda esta información refiere a los años de 1961 al 2013.

La información evaluada permitió elaborar tablas a nivel de la provincia de Arequipa y del distrito de Sachaca (Tabla 4.2) y en ellas se describe los sucesos ocurridos con las inundaciones ocasionada por el río Chili en los años 1961, 1967, 1973, 1986, 1994, 1997, 1999, 2001, 2008, 2011 y 2012: torrenteras, campos de cultivos y puentes de la ciudad de Arequipa. Del mismo modo en la Tabla 4.3 se describe los daños producidos en avenidas, calles, domicilios, en personas y servicios en la ciudad de Arequipa.

En general, se observa que los mayores daños producidos por inundaciones se presentaron en los años 1972, 1989 y 2013, ver Tablas 4.4 y 4.5.

Tabla 4.2: Descripción de los daños producidos en la ciudad de Arequipa por inundación (Fuente: Diarios El Pueblo, El Correo, 1961, 1967, 1973, 1986, 1994, 1997, 1999, 2001, 2008, 2011, 2012).

TABLA DE DAÑOS CLASIFICACIÓN Y ORDENAMIENTO POR AÑO.								
Año	Río		Torrentera		Cultivos		Puentes	
	Lugar	Detalle	Lugar	Detalle	Lugar	Detalle	Lugar	Detalle
1961			<ul style="list-style-type: none"> ➤ Torrentera San Lázaro en Alto Misti y Miraflores, Torrentera de Miraflores. ➤ La Pampilla (A lado de la Facultad de Medicina). 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Afectó alrededores de estas zonas. ➤ Afectó los alrededores de estas zonas. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Characato. ➤ Quequeña y Sogay. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 50 Has. Afectadas y se perdieron. ➤ Cultivos son arrasados. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Puente Izcuchaca (Ingreso a la Av. Parra). 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Se precipitó el puente Izcuchaca y puso en peligro el acceso a Tingo.
1967			<ul style="list-style-type: none"> ➤ Torrentera San Lázaro a la altura de Selva Alegre y Miraflores, además la Torrentera Paucarpata a la altura de Porongoche. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Afectaron los alrededores. 				
1973	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Río Chili. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Aforo de 180 litros por segundo. Afectó puente Grau y Bolognesi, y a los distritos de Sachaca, Tiabaya, Uchumayo. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ San Lázaro. Torrentera de Mariano Melgar en 15 de Agosto, Jorge Chávez y puente próximo al hospital General. Torrentera de Miraflores a la altura de Sepúlveda. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Ingreso de las torrenteras afectó varios sectores. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 13 de Enero. ➤ Sachaca, Arancota, Tiabaya, Uchumayo. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Torrentera arrasó cultivos. ➤ El río Chili arrasó cultivos. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Puente Grau, puente Bolognesi. ➤ Puente próximo al Hospital General. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Daños considerables. ➤ Puente a punto de ser arrasado.
1986	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Río Chili. ➤ Río Socabaya. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Afectó varios puentes, a partir del puente Grau, hasta el Puente Tiabaya. ➤ Se cortó el pase en el puente Socabaya. 			<ul style="list-style-type: none"> ➤ Tingo, Arancota, Sachaca, Tiabaya y Uchumayo. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Inundó varios cultivos. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Puente de Tingo, Puente Grau, Puente San Martín de Vallecito, Puente Tiabaya. ➤ Puente Socabaya. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Bases afectadas. ➤ Se cortó pase de vehículos y transeúntes por fuerte ingreso de río Socabaya.
1994	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Río Chili. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Inundación de cultivos a lo largo del río. Aforo 230 m³/seg, puentes afectados desde el puente Grau hasta el puente de Fierro. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Torrentera Paucarpata, en las zonas altas del distrito de Paucarpata. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Afectó varios sectores. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ El Huayco. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Más de 40 topos de cultivos dañados. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Puente bajo Grau, Puente Bolognesi, puente San Martín, puente de Fierro. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Erosionó las estructuras y destruyó 50 m.de muros de contención. Daños considerables en sus bases.

... continuación Tabla 4.2.

TABLA DE DAÑOS CLASIFICACION Y ORDENAMIENTO POR AÑO.								
Año	Río		Torretera		Cultivos		Puentes	
	Lugar	Detalle	Lugar	Detalle	Lugar	Detalle	Lugar	Detalle
1997	➤ Río Chili.	➤ 95,000 lt /seg, afectó sectores desde el puente Grau hasta el distrito de Uchumayo.	➤ Torretera Polanco en Pampas de Polanco, la torretera San Lázaro en Miraflores y cerca al puente Grau, la torretera Miraflores en la Av. Venezuela y el distrito de Mariano Melgar, en la torretera de Mariano Melgar la Av. Los Incas, torretera de Paucarpata, zonas altas de Paucarpata, en la Av. Jesús, puente de Jesús.	➤ Inundó varios sectores.	➤ Alata. ➤ Mercado La Parada. ➤ Tiabaya, el Huayco y Uchumayo, Socabaya.	➤ El río se ha bifurcado. y terrenos inundados. ➤ Parte del terreno devorado. ➤ Cultivos inundados.	➤ Puente San Martín. ➤ Puente Jesús (une Mariano Melgar con Paucarpata).	➤ Sobrepasaron las aguas. ➤ Dañado.
1999	➤ Río Chili.	➤ Aforo más de 250m3/seg. afectó sectores desde el puente Grau hasta el distrito de Uchumayo.	➤ Torretera de San Lázaro, Miraflores y Mariano Melgar.	➤ Entrada de las torreteras, su ingreso inundó varios sectores de las zonas altas.	➤ Mercado La Parada. ➤ Sachaca, Tiabaya, El Huayco, Uchumayo. ➤ Socabaya.	➤ El río carcome parte de su rivera. ➤ El río Chili arrasó cultivos. ➤ Río Socabaya inunda cultivos.	➤ Puentes Socabaya y Tingo. Puente Bajo Grau. Puentes Consuelo y San Martín.	➤ Afectó bases. Se llevó el enrocado. Dañados.
2001	➤ Río Socabaya. ➤ Río Chili.	➤ Arrasó la vía del puente Virgen de los Remedios, y la Mansión del Fundador. ➤ Los sectores más afectados, Urb. Los Ángeles, frente a la Av. LA Marina, el Malecón Vallecito, Arrasó más de 17 puestos en la Parada.	➤ Ingresó de la torreteras San Lázaro, Miraflores,	➤ Entraron las torreteras afectando varias zonas de sus alrededores.	➤ Characato, Sabandía, Mollebaya, Sachaca, Tiabaya y Uchumayo.	➤ Arrasó cultivos.	➤ Puente Jorge Chávez (Paucarapata).	➤ Colapsó.

... continuación Tabla 4.2.

TABLA DE DAÑOS CLASIFICACION Y ORDENAMIENTO POR AÑO.								
Año	Río		Torretera		Cultivos		Puentes	
	Lugar	Detalle	Lugar	Detalle	Lugar	Detalle	Lugar	Detalle
2008	➤ Río Chili.	➤ Afectó zonas desde el Puente Grau hasta Uchumayo.	➤ Torreteras de Mariano Melgar y Paucarpata.	➤ Entraron torreteras.	➤ Sachaca, Tiabaya y Uchumayo.	➤ Afectó e inundó varios terrenos de cultivo.	➤ Puentes bajo Grau, Grau, San Martín y Tingo.	➤ Afectó sus bases.
2011	➤ Río Chili, Río Yarabamba.	➤ Aforo de 235 m3/seg, afectando varias zonas desde el puente Grau hasta el distrito de Uchumayo. ➤ Yarabamba y Quequeña aislados por ingreso del río.	➤ Torretera San Lázaro, torretera Miraflores, torretera de Mariano Melgar, torretera de Zamácola.	➤ Ingreso de torreteras.	➤ Sachaca (Tingo, Arancota), Tiabaya (El Huayco), Uchumayo, Hunter.	➤ Cultivos inundados, más de 90 hectáreas en dichos distritos..	➤ Puente Grau, puente San Martín, Puente Tingo	➤ Afectados además fueron cerrados en intensa lluvia.
2012	➤ Río Chili	➤ El aforo del río Chili alcanzó 280 m3/seg. Av. Arancota zona crítica, carcomió 6 metros de la ribera en lo que era antes la Parada de Tingo.	➤ Torretera Polanco, torretera San Lázaro, torretera Miraflores, torretera de Mariano Melgar, torretera Paucarpata, torretera de Zamácola.	➤ Ingreso de torreteras.	➤ Sachaca. ➤ Pampas del Cuzco Hunter.	➤ Río carcomio la margen derecha, afectando terrenos de cultivo y restaurantes. ➤ Terrenos inundados.	➤ Puente Grau. ➤ Puente Bajo Grau, puente Congata. ➤ Puente Tingo	➤ Cerrado por hundimiento de capa asfáltica. ➤ Afectaron sus bases. ➤ A la altura del puente Tingo un muro perteneciente a empresa avicultora cedió y se desbordó cerca de 20 metros.

Tabla 4.3: Descripción de los daños en la ciudad de Arequipa por inundación (Fuente: Diarios El Pueblo, El Correo, 1961, 1967, 1973, 1986, 1994, 1997, 1999, 2001, 2008, 2011, 2012).

TABLA DE DAÑOS CLASIFICACIÓN Y ORDENAMIENTO POR AÑO.								
Año	Avenidas y Calles		Domicilios		Daños personales		Servicios	
	Lugar	Detalle	Lugar	Detalle	Lugar	Detalle	Lugar	Detalle
1961			<ul style="list-style-type: none"> ➤ La Pampilla (Al lado de la facultad de Medicina), Miraflores y Alto Misti. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Lluvias dejan sin vivienda a familias. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Los Manzanitos. ➤ Yarabamba. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Muerte de dos vacas por rayos. ➤ Dos personas fulminadas por rayo. 		
1967			<ul style="list-style-type: none"> ➤ Torrentera San Lázaro a la altura de Alto Selva Alegre, y Miraflores. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Lluvia inundó viviendas. 			<ul style="list-style-type: none"> ➤ Arequipa. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Huayco cortó suministro de agua a la planta N°4 de la Central Eléctrica.
1973	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Jorge Chávez, 15 de Agosto 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Avenidas y calles inundadas. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Sepúlveda distrito de Mariano Melgar, en 13 de Enero, 15 de Agosto y Jorge Chávez 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Se inundaron viviendas. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Puente Bolognesi. ➤ La entrada de la segunda torrentera. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Camión del ejército fue arrastrado. ➤ Casi arrastra tractor. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Arequipa. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Huayco cortó el suministro de la Planta 4 de la Central Hidroeléctrica.
1986	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Avenida La Marina y el Cercado de Arequipa 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Avenidas y calles inundadas. 						
1994	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Vallecito, Av. La Marina. ➤ El Huayco. ➤ Zonas altas de Paucarpata. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Inundadas. ➤ Vía principal afectada. ➤ Avenidas y calles inundadas. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Zonas altas de Paucarpata. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Varias viviendas inundadas. 				
1997	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Cerca al puente Grau. ➤ Zonas altas de Paucarpata, avenida La Marina, calles del Cercado, Socabaya. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Unos 100 metros inundados. ➤ Avenidas y calles inundadas. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Pampas de Polanco, zonas altas de los distritos de Paucarpata, Mariano Melgar y Miraflores, además Socabaya, Hunter y Sachaca. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Viviendas inundadas. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Uchumayo. ➤ Av. Los Incas. ➤ Av. Jesús. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 6 personas desaparecidas. ➤ 2 personas muertas. ➤ 2 personas muertas. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Escuela de Suboficiales de la Policía de Charcani. ➤ Arequipa. ➤ Central Hidroeléctrica Charcani V. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Aislada por huayco. ➤ Buzones de desagüe colapsaron. ➤ Fluido eléctrico suspendido en varios distritos de la ciudad.
1999	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Cercado de Arequipa, zonas altas de Mariano Melgar. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Calles dañadas e inundadas. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Zonas altas de Mariano Melgar, Socabaya. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Viviendas inundadas. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Uchumayo. ➤ El Huayco, Leticia y Santa Teresa. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ En emergencia. ➤ Incomunicados. 		

... continuación Tabla 4.3.

TABLA DE DAÑOS CLASIFICACION Y ORDENAMIENTO POR AÑO.								
Año	Avenidas y calles		Domicilios		Daños personales		Servicios	
	Lugar	Detalle	Lugar	Detalle	Lugar	Detalle	Lugar	Detalle
2001	➤ Ferrovianos, María Isabel, zonas altas de Mariano Melgar, J.L.B.y R., Av. Jesús, Pablo VI, Av. Los Incas, Av. Kennedy, Ciudad mi Trabajo, San Martín de Socabaya, Lara, vía a la Mansión del Fundador y Malecón Vallecito.	➤ Vías dañadas, erosionadas e inundadas.	➤ M. Melgar zonas altas, J. L.B. y R, Horacio Zeballos Games, Socabaya en Lara y Ciudad mi Trabajo, Juan Pablo Vizcardo y Guzmán.	➤ Casas inundadas.	➤ Mercado La Parada.	➤ Río arrasó con 17 puestos.		
2008	➤ Zonas altas de Mariano Melgar, zonas altas de Paucarpata.	➤ Vías inundadas.						
2011	➤ By pass de la Avenida Parra. La Av. La Marina. El cercado	➤ Inundado. ➤ Se desbordó. ➤ Sus calles completamente inundadas.	➤ Sachaca. ➤ Torrentera de Tingo. Lara Socabaya	➤ Se inundó restaurante Luz y Luna. ➤ Viviendas inundadas.	➤ Charcani V. ➤ Sachaca. ➤ Yarabamba,Quequeña. ➤ Canal de Zamácola.	➤ Aislada por huayco. ➤ Pérdidas materiales de restaurant. ➤ Aisladas. ➤ A punto de colapsar.	➤ Arequipa.	➤ Buzones dedesagüe colapsaron, fluido eléctrico y agua suspendido en varios distritos de la ciudad.
2012	➤ Av. El Palacio en Sachaca.	➤ Ingresó agua del río Chili.					➤ Arequipa.	➤ Sin fluido eléctrico en varios distritos, y servicio de agua cortado.

Tabla 4.4: Descripción de los daños en la ciudad de Arequipa por inundaciones (Fuente: Diarios El Pueblo, El Correo, 1972, 1989, 2013).

TABLA DE DAÑOS CLASIFICACIÓN Y ORDENAMIENTO POR AÑO.								
Año	Río		Torretera		Cultivos (Has)		Puentes	
	Lugar	Detalle	Lugar	Detalle	Lugar	Detalle	Lugar	Detalle
1972	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Río Chili , Tingo y Arancota. ➤ Río Socabaya. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Afectó varias zonas a lo largo de su rivera, casi se lleva un microbús, cinco personas aisladas por ingreso del río. ➤ Corta la pasada a los pueblos de La Pampa y Pueblo Viejo en el distrito de Socabaya. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Torreteras Polanco, San Lázaro, Miraflores, Mariano Melgar, Paucarpata, Zamácola. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Las torreteras de la rivera izquierda y derecha entraron en su totalidad dejando destrucción y daños. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Puente Bolognesi. ➤ Zona de Tingo. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Arrasó con varios cultivos. ➤ Inundó varios terrenos de cultivo. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Puente de Socabaya. ➤ El sector del puente de Jesús y Puente Bolognesi. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ No hubo pasada por dos días. ➤ Desborde. Afectó sus bases.
1989	<ul style="list-style-type: none"> ➤ El río Chili - Barrio San Lázaro. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Aforo 300 m3/seg. Carcomió parte de la Av. La Marina. El caudal del río Chili aumentó considerablemente su volumen y debido a algunos obstáculos que existían en su cauce se produjo la inundación. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Torreteras Polanco, San Lázaro, Miraflores, Mariano Melgar, Paucarpata, Zamácola. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Hicieron su ingreso. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ El canal de la Tomilla. ➤ Distritos con sector agrícola. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Fue rellenado. ➤ El sistema de canales de regadío en varios sectores fue destruido. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Puentes Grau, Bolognesi, San Martín, Tingo, Tiabaya. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Sus bases fueron afectadas.
2013	<ul style="list-style-type: none"> ➤ El río Chili. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Se desbordó en el sector de Arancota en una extensión de 4 kilómetros. La precipitación en 5 horas fue 124 mm después de 50 años (8 de febrero). Afectó los puentes desde el puente Grau hasta el puente Uchumayo. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Torreteras Polanco, San Lázaro, Miraflores, Mariano Melgar, Paucarpata, Zamácola. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Hicieron su ingreso y generaron grandes destrozos. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Los distritos de Hunter, Paucarpata, Socabaya, Sabandía, Characato, Tiabaya, Uchumayo. ➤ En el sector de Arancota - Sachaca. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Inundó terrenos de cultivos. ➤ Arrasó una extensión de 4 Km. de cultivos. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Puente José Olaya en Alto Selva Alegre. ➤ Puentes Bolognesi, Quiñones, San Martín, de Fierro, San Isidro, Tingo, Tiabaya, Uchumayo. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Se cayó el puente. ➤ Seriamente dañados.

Tabla 4.5: Daños clasificación y ordenamiento por año de la ciudad de Arequipa (Fuente: Diarios El Pueblo, El Correo, 1972, 1989, 2013).

TABLA DE DAÑOS CLASIFICACIÓN Y ORDENAMIENTO POR AÑO.								
Año	Avenidas y Calles		Domicilios		Daños personales		Servicios	
	Lugar	Detalle	Lugar	Detalle	Lugar	Detalle	Lugar	Detalle
1972	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Distrito de Miraflores - Av. Progreso, Barrio San Lázaro, en A. S. A. las Palmeras y Primavera, distrito de Mariano Melgar, P. J. 15 de agosto, badén de la Av. Dolores, Urb. Pablo VI, Villa Eléctrica, la calle Arica en Yanahuara, en Characato la vía que conduce al distrito de Mollebaya, calles del Cercado, badén de san Martín de Socabaya, Urbanización María Isabel y Obando. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Calles anegadas, inundadas, erosionadas, intransitables, trabajos de pavimentación son los más afectados en los distritos de Mariano Melgar y Miraflores. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Pueblo joven 15 de Agosto. ➤ Cayma. ➤ Torrentera San Lázaro - Barrio San Lázaro. ➤ En Alto Selva Alegre - Urbs. Las Palmeras y Primavera. ➤ Pablo VI y La Pampilla. ➤ Urb. Maria Isabel y Obando y pueblos jóvenes de Paucarpata y Mariano Melgar. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Humilde vivienda quedo totalmente anegada. ➤ Viviendas construidas de materiales precarios son las afectadas. ➤ Las urbanizaciones sufrieron graves daños, donde el agua llegó hasta 8 metros de altura. ➤ Las aguas arrasaron varias viviendas. ➤ Afectó viviendas. ➤ afectadas enormemente. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Baden de la Av. Dolores. ➤ En la Av. Mariscal Castilla y en Porongoche. ➤ Tingo. ➤ Arancota. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Una camioneta fue atrapada. ➤ Se paralizó el tránsito. ➤ Casi se lleva un microbús. ➤ 5 personas aisladas por ingreso del río Chili. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Troncal de La Bedoya. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Avería en la tubería.
1989	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Chilina, Barrio San Lázaro. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Calles inundadas. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Chilina, Barrio San Lázaro. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Viviendas inundadas y destruidas. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Torrentera Polanco en el sector Chilina. ➤ Arequipa. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ La entrada de esta, cobro una vida humana. ➤ Varios meses hubo desabastecimiento en los productos de pan llevar y ocurrió brotes de epidemia en algunos sectores de la ciudad. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Arequipa. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ La mayoría de los distritos de la ciudad de Arequipa se quedaron sin servicio de agua durante 20 días, la red de desagüe en su mayoría fue averiada, hubo un desabastecimiento.

... continuación Tabla 4.5.

TABLA DE DAÑOS CLASIFICACION Y ORDENAMIENTO POR AÑO.								
Año	Avenidas y Calles		Domicilios		Daños personales		Servicios	
	Lugar	Detalle	Lugar	Detalle	Lugar	Detalle	Lugar	Detalle
2013	<p>➤ P.J. Independencia - A. S. A., Av Venezuela, Cooperativa Universitaria, todo el Cercado, el distrito de Mariano Melgar el P. J. Vencedores del Cenepa, San Miguel, P. J. Gólgota, Los Alpes, Villa Militar, Malecón Zolezzi, alrededores del mercado Palomar, distrito de Miraflores, Av. Jesús a la altura de la I.E. La Gran Unidad Escolar, Av. Lambramani, distrito de J. L. B. y R., Porongoche, P.J. San Martín, calle Porongoche con Prolongación Mariscal Castilla, distrito de Paucarpata, P. J. Amazonas, distritos de Yanahuara, Cayma, Hunter, Sachaca, Tiabaya, Socabaya, Sabandía, Characato.</p>	<p>➤ Varios distritos quedaron comunicados, calles dañadas, hundidas, erosionadas, intransitables, 500 Km de vías destruidas en toda la ciudad.</p>	<p>➤ P.J. Independencia - A. S. A., Cooperativa Universitaria, Av Venezuela, todo el Cercado, el distrito de Mariano Melgar el P. J. Vencedores del Cenepa, San Miguel, P. J. Gólgota, Los Alpes, Villa Militar, Malecón Zolezzi, alrededores los mercados Palomar, mercado Productores, La Feria el Altiplano, distrito de Miraflores, Av. Jesús a la altura de la I.E. La Gran Unidad Escolar, Av. Lambramani, distrito de J. L. B. y R., Porongoche, P.J. San Martín, calle Porongoche con Prolongación Mariscal Castilla, distrito de Paucarpata, P. J. Amazonas, distritos de Yanahuara, Cayma, Hunter, Sachaca, Tiabaya, Socabaya, Sabandía, Characato, centros comerciales Parque Lambramani, Mall Aventura Plaza, Saga Falabella, Hospital Goyoneche.</p>	<p>➤ Inundó y daño leve y severamente viviendas, se cayeron muros de la UNSA área de Ingenierías y en la Villa se cayeron muros posteriores, Militar, el mercado El Palomar casi desapareció</p>	<p>➤ Arequipa.</p>	<p>➤ 48 mil afectados, autos destrozados. 11 mil viviendas afectadas 79 destruidas, 5,5 Km de vías dañadas y la muerte de 6 personas.</p>	<p>➤ Arequipa.</p>	<p>➤ No hubo servicio eléctrico en varios distritos, hubo corte de agua potable, y el servicio de desagüe colapso en toda la ciudad.</p>

De acuerdo a la información histórica y de su análisis presentado se concluye que las fuertes precipitaciones e inundaciones en la ciudad de Arequipa afectan siempre a los mismos lugares y los niveles del desastre son reportados con la misma o mayor intensidad.

Para identificar y cuantificar el tipo de desastre, se ha procedido a generar una tabla de códigos (Tabla 4.6) que define y agrupa a los desastres más comunes producidos en ríos, torrenteras, cultivos, puentes, avenidas, viviendas, daños personales y servicios. El color define el año de ocurrencia: 1961, 1967, 1972, 1973, 1986, 1989, 1994, 1997, 1999, 2001, 2008, 2011, 2012, 2013 y afectación en la ciudad de Arequipa y distrito de Sachaca.

Tabla 4.6: Simbología para la clasificación de daños por año en la ciudad de Arequipa.

CLASIFICACIÓN Y ORDENAMIENTO DE LOS TRAMOS CRÍTICOS EN RELACIÓN A SU PELIGROSIDAD

Símbolo							
Río	Torrentera	Cultivos	Puentes	Avenidas	Viviendas	Daños Pers.	Servicios

Año / Color													
1961	1967	1972	1973	1986	1989	1994	1997	1999	2001	2008	2011	2012	2013

El análisis de daños y desastres por sectores se detalla en las Tablas 4.7, a la 4.15 y sus características son:

Torrentera Polanco (Tabla 4.7): Durante un periodo de 5 años los lugares con más daños producidos por precipitación e inundación se encuentran al ingreso a la torrentera (1972, 1989, 1997, 2012, 2013). Daños moderados a fuertes se produjeron principalmente en el año 1989 en la localidad de Chilina, afectando avenidas (inundadas), viviendas (inundadas) y personales (año 1989), En el poblado de Pampas de Polanco, los daños más acentuados fueron en viviendas durante el año 1997. En el P.J Independencia y Alto Selva Alegre se presentaron daños de moderados a fuertes en avenidas y viviendas durante el año 2013.

Tabla 4.7: Zonas afectadas en la Torrentera Polanco periodo 1961-2013 (Fuente: Diarios El Pueblo, El Correo 1961, 1967, 1972, 1973, 1986, 1989, 1994, 1997, 1999, 2001, 2008, 2011, 2012, 2013).

TORRENTERA POLANCO					
Lugar	Símbolo / Año				
	1972	1989	1997	2012	2013
Ingreso de torrentera	←	←	←	←	←
Pampas de Polanco			▲		
P.J. Independencia					■ ▲
Alto Selva Alegre					■ ▲
Chilina		■ ▲ ●			

Leyenda			
Torrentera	Avenidas	Viviendas	Daños personales
←	—	▲	☹

Torrentera San Lázaro (Tabla 4.8): Por precipitación e inundación, lugares con más daños están presentes al ingreso a la torrentera, escenario que se repitió durante 11 años (1961, 1967, 1972, 1973, 1989, 1997, 1999, 2001, 2011, 2012, 2013), daños moderados a fuertes afectando viviendas (inundadas) se produjeron en la localidad de Alto Misti y en el distrito de Miraflores (año 1961), en el distrito de Alto Selva Alegre y el distrito de Miraflores se presentaron daños moderados en viviendas (inundadas) (año 1967), en las localidades Las Palmeras, Primavera, Barrio San Lázaro se presentaron daños en avenidas (inundadas) y viviendas (inundadas), además se inundó la avenida Progreso y otras calles y avenidas del distrito de Miraflores (año 1972). Otros daños leves por inundación se presentaron en las avenidas del barrio San Lázaro (año 1989), en las zonas altas del distrito de Miraflores se presentaron daños en viviendas (inundadas) y cerca al Puente grau hubo daños en avenidas (inundadas) en el año 1997. Daños fuertes se presentaron en el año 2013 el puente José Olaya colapsó.

Tabla 4.8: Zonas afectadas en la Torrentera San Lázaro periodo 1961-2013 (Fuente: Diarios El Pueblo, El Correo 1961, 1967, 1972, 1973, 1986, 1989, 1994, 1997, 1999, 2001, 2008, 2011, 2012, 2013)..

TORRENTERA SAN LÁZARO											
Lugar	Símbolo / Año										
	1961	1967	1972	1973	1989	1997	1999	2001	2011	2012	2013
Ingreso de torrentera											
Alto Selva Alegre											
Puente José Olaya en A.S.A.											
Las Palmeras											
Primavera											
Zonas altas de Miraflores											
Alto Misti Miraflores											
Miraflores											
Av. Progreso (Miraflores)											
Barrio San Lázaro											
Cerca al Puente Grau											

Leyenda							
Río	Torrentera	Cultivos	Puentes	Avenidas	Viviendas	Daños Pers.	Servicios

Torrentera Miraflores (Tabla 4.9): Los lugares con más daños y desastres por precipitación e inundación se presentaron durante 9 años al ingreso de la torrentera (1961, 1972, 1973, 1997, 1999, 2001, 2011, 2012, 2013). Los daños de moderado a fuerte afectaron a viviendas en la localidad La Pampilla (año 1961), daños de moderados a fuertes, en el distrito de Mariano Melgar y en la facultad de Medicina en la localidad de la Pampilla afectando avenidas (inundadas), en la localidad de María Isabel afectó a avenidas y viviendas (inundadas), la Av. Mariscal Castilla se inundó afectando a muchas personas todo esto se presentó en el año 1972. Daños leves en la calle Sepúlveda en el distrito de Mariano Melgar y en zonas altas del distrito de Mariano Melgar afectando a viviendas (en los años 1973 y 1997 consecutivamente), en el año 2001 hubo daños en avenidas (inundadas) en las localidades de María Isabel y Ferroviarios, la Av. Mariscal Castilla se inundó en el año 2011. En el Pueblo Joven Vencedores del Cenepa y la localidad San Miguel ubicados en el distrito de Mariano Melgar, además el distrito de Miraflores, la Villa Militar, el Malecón Zolezzi, la Feria el Altiplano, la Coop. Universitaria, la Avenida Venezuela, calle Paucarpata y la localidad la Pampilla al lado de la Facultad De Medicina de la Universidad Nacional de San Agustín los daños más acentuados fueron en avenidas y viviendas (inundadas) durante el año 2013 siendo afectadas muchas personas durante ese año.

Tabla 4.9: Zonas afectadas en la Torrentera Miraflores periodo 1961-2013 (Fuente, Diarios El Pueblo, El Correo 1961, 1967, 1972, 1973, 1986, 1989, 1994, 1997, 1999, 2001, 2008, 2011, 2012, 2013).

TORRENTERA MIRAFLORES									
Lugar	Símbolo / Año								
	1961	1972	1973	1997	1999	2001	2011	2012	2013
Ingreso de torrentera									
Zonas altas de Mariano Melgar									
Pueblo Joven Vencedores del Cenepa – Mariano Melgar									
San Miguel – Mariano Melgar									
Sepúlveda – Mariano Melgar									
Mariano Melgar									
Miraflores									
Villa Militar									
Malecón Zolezzi									
Feria el altiplano									
Avenida Mariscal Castilla									
Cooperativa Universitaria									
Avenida Venezuela									
Calle Paucarpata									
María Isabel									
Ferrovianos									
Facultad de Medicina									
Mercado El Palomar									
La Pampilla (al lado de la facultad de Medicina)									

Leyenda							
Río	Torrentera	Cultivos	Puentes	Avenidas	Viviendas	Daños Pers.	Servicios

Torrentera Mariano Melgar (Tabla 4.10): Los lugares con más daños por precipitación e inundación, se produjo al ingreso a la torrentera durante 9 años (1972, 1973, 1997, 1999, 2001, 2008, 2011, 2012, 2013). Daños de moderados a fuertes se presentaron en el Pueblo Joven 15 de Agosto y otros Pueblos Jóvenes del distrito de Mariano Melgar, en la localidad de La Pampilla, en el badén de la Av. Dolores, en la Urb. Pablo Sexto y en la Villa Eléctrica, afectaron a avenidas y viviendas (inundadas) durante el año de 1972. El Pueblo Joven 15 de Agosto, el centro poblado Jorge Chávez ubicados en el distrito de Mariano Melgar hubo daños en avenidas y viviendas (inundadas) en año 1973. En el año 1997 en la Av. Los Incas hubo personas muertas. En el año 2001 los centros poblados de Jerusalén y San Martín ubicados en el distrito de Mariano Melgar, la Av. Jesús, la Av. Los Incas, el distrito de José Luis Bustamante y Rivero, la Urb. Pablo VI, y la localidad de Los Manzanitos, los daños de moderados a fuertes afectaron a avenidas y viviendas (inundadas) perjudicando a muchas personas, además el puente próximo a el hospital

General se afectó repitiéndose este problema en el año 2011. Daños fuertes se presentaron en el año 2013 afectando principalmente a avenidas y viviendas (inundadas) en los pueblos jóvenes del distrito de Mariano Melgar, en la Avenida Jesús a la altura de la I.E. La Gran Unidad Escolar, el Centro Comercial Mall Aventura Plaza, en la Av. Lambramani, en el Centro Comercial Parque Lambramani, en el distrito de José Luis Bustamante y Rivero y en el Mercado Productores siendo afectadas muchas personas.

Tabla 4.10: Zonas afectadas en la Torrentera Mariano Melgar periodo 1961-2013 (Fuente: Diarios El Pueblo, El Correo 1961, 1967, 1972, 1973, 1986, 1989, 1994, 1997, 1999, 2001, 2008, 2011, 2012, 2013).

TORRENTERA MARIANO MELGAR									
Lugar	Símbolo / Año								
	1972	1973	1997	1999	2001	2008	2011	2012	2013
Ingreso de torrentera	←	←	←	←	←	←	←	←	←
P.J. 15 de Agosto	▲	▲							
Jorge Chávez		▲							
P.J. Gólgota – Mariano Melgar									▲
Jerusalén- Mariano Melgar					▲				
San Martín Mariano Melgar					▲				
Pueblos Jóvenes de Mariano Melgar	▲								▲
Av. Jesús					—				
Av. Jesús a la altura de la I.E. La Gran Unidad Escolar									▲
Centro Comercial Mall Aventura Plaza									▲
Av. Lambramani									▲
Av. Los Incas			●		—				
Centro comercial Parque Lambramani									▲
José Luis Bustamante y Rivero					▲				▲
La Pampilla	▲								
Baden de la Av. Dolores	▲								
Puente próximo al hospital General					▲		▲		
Urb. Pablo VI	▲				—				
Villa Eléctrica	▲								
Los Manzanitos					●				
Mercado Productores									▲

Leyenda							
Río	Torrentera	Cultivos	Puentes	Avenidas	Viviendas	Daños Pers.	Servicios
→	←	□	⌋	—	▲	⊕	⚙

Torrentera Paucarpata (Tabla 4.11): Los lugares con más daños por precipitación e inundación, se dieron al ingreso de la torrentera durante 10 años (1967, 1972, 1973, 1994, 1997, 2001, 2008, 2011, 2012, 2013), Los daños de moderados a fuertes se presentaron en la calle Porongoche y en la Av. Jesús afectando avenidas (inundadas) y personas afectadas (año 1967), en las zonas altas del distrito de Paucarpata se inundaron viviendas, la calle Porongoche inundada el Puente Jesús averiado durante el año 1972, en el año de 1973 la localidad 13 de enero se afectaron cultivos y viviendas (inundadas), en 1994 las zonas altas del distrito de Paucarpata hubo daños de moderados a fuertes en avenidas y viviendas (inundadas) repitiéndose el mismo

escenario el año 1997, además este año se volvió averiar el Puente Jesús. En el año 2001 hubo daños en el puente Jorge Chávez, se afectaron avenidas y viviendas (inundadas) en la localidad de Juan Pablo Vizcardo y Guzmán, la Av. Kennedy, y la localidad de Mi Perú hubo avenidas inundadas. Las zonas altas del distrito de Paucarpata hubo avenidas inundadas en el año 2008. Durante el año 2013 se presentaron daños fuertes en la localidad de San Martín y Los Alpes en el distrito de Mariano Melgar, además en la Calle Porongoche con prolongación Mariscal Castilla afectó avenidas y viviendas (inundadas severamente), y en el distrito de Paucarpata se presentaron daños en avenidas, viviendas (inundadas), cultivos destruidos, afectando a varias personas.

Tabla 4.11: Zonas afectadas en la Torrentera Paucarpata periodo 1961-2013 (Fuente: Diarios El Pueblo, El Correo 1961, 1967, 1972, 1973, 1986, 1989, 1994, 1997, 1999, 2001, 2008, 2011, 2012, 2013).

TORRENTERA PAUCARPATA										
Lugar	Símbolo / Año									
	1967	1972	1973	1994	1997	2001	2008	2011	2012	2013
Ingreso de torrentera										
Zonas altas del distrito de Paucarpata										
Puente Jorge Chávez										
San Martín										
Los Alpes – Mariano Melgar										
Juan Pablo Vizcardo y Guzmán						 				
Porongoche		 								
Calle Porongoche con prolongación Mariscal Castilla										
Av. Jesús										
Av. Kennedy										
Puente Jesús										
Paucarpata										
Mi Perú										
13 de Enero			 							

Leyenda							
Río	Torrentera	Cultivos	Puentes	Avenidas	Viviendas	Daños Pers.	Servicios

Torrentera Zamácola (Tabla 4.12: Los lugares con más daños y producidos por precipitación e inundación, se dieron al ingreso de la torrentera durante 5 años (1972, 1997, 2011, 2012, 2013). Daños de moderados a fuertes se presentaron en la Calle Arica – Yanahuara y en el distrito de Cayma afectando avenidas y viendas (inundadas) (año 1972), el Canal La Tomilla se afectó en el año 1997, en la localidad José Santos Atahualpa en el distrito de Cerro Colorado se afectaron avenidas y viviendas (inundadas) (año 2011), en el año 2012 el Canal de Zamacola se averió

afectando a varias personas. En el año 2013 en el Pueblo Joven Amazonas, en los distritos de Yanahuara y Cayma, además del Centro Comercial Saga Falabella, los daños más acentuados fueron en avenidas y viviendas (inundadas), viéndose afectadas varias personas.

Tabla 4.12: Zonas afectadas en la Torrentera Zamácola periodo 1961-2013 (Fuente: Diarios El Pueblo, El Correo 1961, 1967, 1972, 1973, 1986, 1989, 1994, 1997, 1999, 2001, 2008, 2011, 2012, 2013).

TORRENTERA ZAMACOLA					
Lugar	Símbolo / Año				
	1972	1997	2011	2012	2013
Ingreso de torrentera					
P.J. Amazonas					
Canal de Zamácola					
El canal la Tomilla					
José Santos Atahualpa – Cerro Colorado					
Calle Arica – Yanahuara					
Yanahuara					
Cayma					
Centro Comercial Saga Falabella					

Leyenda				
Torrentera	Avenidas	Viviendas	Daños Pers.	Servicios

Zonas afectadas en el río Chili (Tabla 4.13): Las zonas con más daños producidos y peligrosos por precipitación e inundación, se dieron en ambas riberas del río Chili y el mismo escenario se repite durante los 14 años evaluados (1961, 1967, 1972, 1973, 1986, 1989, 1994, 1997, 1999, 2001, 2008, 2011, 2012, 2013). En su trayecto las zonas más afectadas durante el año 1972 fueron el puente Bolognesi, el puente Tingo la localidad de Tingo y Arancota, donde se inundaron varios cultivos, se dañaron los puentes y se afectaron varias personas. En el año 1973 se dañó el puente San Martín, En el año 1986 los puentes afectados fueron el puente Grau, el puente San Martín, el puente Tingo, el puente Tiabaya, la Av. La Marina y el By pass de la Av. Parra se inundaron y se inundaron varios cultivos en los alrededores del puente Tingo, el distrito de Sachaca, la localidad de Arancota, el distrito de Tiabaya y el distrito de Uchumayo. En 1989 se afectaron los puentes Bolognesi, Quiñones, San Martín, Tingo y Tiabaya. En 1994 se afectaron los puentes Bajo Grau, Bolognesi, San Martín y de Fierro, se inundó la Av. La Marina y calles de la localidad El Huayco además de cultivos afectados. En 1997 se afectó el puente –san Martín, se inundó la Av. La Marina, también se inundaron varios cultivos en los alrededores del Mercado La Parada, en las localidades de Alata y el Huayco y en los distritos de Tiabaya y Uchumayo afectando a varias personas, presentándose el mismo escenario en 1999,

además de viviendas inundadas en los distritos de Hunter y Sachaca. En el año 2001 hubo daños en el puente Tingo, se inundaron las avenidas de la Urb. Los Ángeles, y el Malecón Vallecito y hubo muchos cultivos inundados en los alrededores del mercado La Parada, en el distrito de Sachaca, en la localidad de Alata en la localidad del Huayco y en el distrito de Uchumayo. En el 2011 se afectaron los puentes Grau y Tingo, hubo varias avenidas y viviendas inundadas en los distritos de Sachaca y Uchumayo, además de la pérdida de muchos cultivos en los distritos ya mencionados como también en los distritos de Hunter y Tiabaya. En el año 2012 se afectaron los puentes Grau, Bajo Grau, Tingo y Tiabaya, hubo cultivos inundados en los distritos de Hunter y Sachaca además de avenidas inundadas afectando a muchísimas personas. En el año 2013 hubo daños severos se afectaron los puentes Grau, Bajo Grau, Bolognesi, Consuelo, San Martín, de Fierro, San Isidro, Ferroviario y Tingo, también hubo daños en cultivos, viviendas (inundadas), viéndose afectadas muchas personas (heridas, y muertas), en los distritos de Sachaca, Hunter, Tiabaya y Uchumayo.

Tabla 4.13: Zonas afectadas en el río Chili periodo 1961-2013 (Fuente: Diarios El Pueblo, El Correo 1961, 1967, 1972, 1973, 1986, 1989, 1994, 1997, 1999, 2001, 2008, 2011, 2012, 2013).

RIO CHILI														
Lugar	Símbolo / Año													
	1961	1967	1972	1973	1986	1989	1994	1997	1999	2001	2008	2011	2012	2013
Ingreso del río	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
Puente Grau					■						■	■	■	■
Puente Bajo Grau						■	■		■		■	■	■	■
Puente Bolognesi			■				■							■
Puente Quíñones o Consuelo									■					■
Puente San Martín				■	■	■	■	■	■		■			■
Puente Bolívar o puente de Fierro							■		■					■
Puente San Isidro														■
Puente ferroviario														■
Puente Tingo			■		■	■	■		■		■	■	■	■
Puente Tiabaya					■	■							■	■
Puente Uchumayo												■		
By pass de la Av. Parra					■						■			
Av. La Marina					■		■	■	■		■			
Urbanización Los Angeles										■				
Malecón Vallecito										■			■	
Mercado la Parada							■	■	■					
Hunter								■				■	■	■
Sachaca					■			■	■	■	■	■	■	■
Urb. El Palacio												■		
Tingo			■							■		■	■	■
Arancota			■		■							■	■	■
Alata								■						
Tiabaya					■			■		■	■	■	■	■
El Huayco							■	■	■	■				
Leticia								■	■					
Santa Teresa								■	■					
Uchumayo					■			■	■	■	■	■		■

Leyenda							
Río	Tormenta	Cultivos	Puentes	Avenidas	Viviendas	Daños Pers.	Servicios
→	←	□	■	■	■	■	■

En los 14 años evaluados los daños producidos por precipitación e inundación en otros distritos de la ciudad de Arequipa (Tabla 4.14) se presentaron en los distritos de Quequeña, Yarabamba, Characato afectando terrenos de cultivo además de averías en el puente Izcuchaca (año 1961), en el año de 1972 se inundaron avenidas en los distritos de Characato, Socabaya y Cercado, hubo daños en el puente Socabaya por ingreso del río Socabaya, se averió la troncal Bedoya en Chiguata averiando los servicios de agua en la ciudad. En el año 1973 hubo avenidas y viviendas inundadas en los distritos de Socabaya y Cercado, ingresaron los ríos de Yarabamba y Quequeña, se presentaron averías en la Planta N° 4 de la Central Hidroeléctrica afectando en los servicios de electricidad en la ciudad de Arequipa. En 1986 se inundaron varias avenidas del Cercado de Arequipa y se averió el puente Socabaya por ingreso del río. En 1989 se hubo falla en el servicio de electricidad en la ciudad de Arequipa porque se vio afectada la planta N° 4 de la Central Hidroeléctrica que abastece la ciudad. En el año de 1997 se inundaron las avenidas de los distritos de Socabaya y el Cercado, también se inundaron cultivos y viviendas en el distrito de Socabaya ese mismo año y hubo averías en la Planta hidroeléctrica de Charcani 5 afectando los servicios de electricidad en la ciudad de Arequipa. En el 2001 se inundaron terrenos de cultivos en los distritos de Mollebaya y Sabandía, se inundaron avenidas y viviendas en el distrito de Socabaya, el río Socabaya inundó la vía de la Mansión del Fundador. En el año 2012 se afectaron muchas personas en los distritos de Quequeña y Yarabamba y falló el servicio de electricidad en la ciudad. En el año 2013 se presentaron daños severos inundando cultivos, avenidas, y viviendas de los distritos de Characato, Sabandía y Socabaya y Cercado hubo fuertes averías en el hospital Goyoneche, y fallo el fluido eléctrico en toda la ciudad.

Tabla 4.14: Zonas afectadas en otros distritos periodo 1961-2013 (Fuente: Diarios El Pueblo, El Correo 1961, 1967, 1972, 1973, 1986, 1989, 1994, 1997, 1999, 2001, 2008, 2011, 2012, 2013).

Lugar	OTROS													
	Símbolo / Año													
	1961	1967	1972	1973	1986	1989	1994	1997	1999	2001	2008	2011	2012	2013
Quepeña - Sogay														
Yarabamba														
Mollebaya														
Characato														
Sabandía														
Socabaya														
Puente Socabaya														
Puente Izcuchaca														
Planta N°4 Central Hidroeléctrica														
Charcani 5														
Cercado														
Plazoleta del Mercado San Camilo														
Troncal Bedolla Chiguata														
Arequipa														
Escuela de sub oficiales de la policía Charcani														
Horacio Zevallos Games Socabaya														
Vía Mansión del Fundador														
Hospital Goyoneche														

Leyenda							
Río	Torrentera	Cultivos	Puentes	Avenidas	Viviendas	Daños Pers.	Servicios

Zonas afectadas en el distrito de Sachaca (Tabla 4.15): En el distrito de Sachaca los lugares con más daños producidos por precipitación e inundación se presentaron desde la Urb. El Palacio, hasta el P. T. Alata. Los lugares que sufrieron de daños moderados a fuertes fueron el puente de Fierro (año 1994), puente San Isidro (año 1961), el puente Tingo (años 1972, 1986, 1989, 2001, 2008, 2011, 2012), los servicios básicos de electricidad y agua se vieron afectados en el distrito de Sachaca en los años de 1967, 1972, 1973, 1989, 2011, 2012, hubo inundación de terrenos de cultivo como consecuencia se generó grandes pérdidas económicas en los años 1972, 1973, 1986, 1997, 2001, 2008, 2011, 2012 principalmente en las localidades de Alata, Arancota, Tingo y otros en sectores de Sachaca, también se inundaron avenidas y viviendas en el distrito de Sachaca los años 1997, 2011 y 2012. En el año 2013 hubo daños severos, los puentes afectados en el distrito de Sachaca fueron el de Fierro, San Isidro, Ferroviario y Tingo, se cortaron los servicios de fluido eléctrico y de agua, se inundaron avenidas, viviendas y terrenos de cultivo, la zona más afectada en el distrito fue la localidad de Arancota, afectando a muchas personas y generando grandes pérdidas económicas.

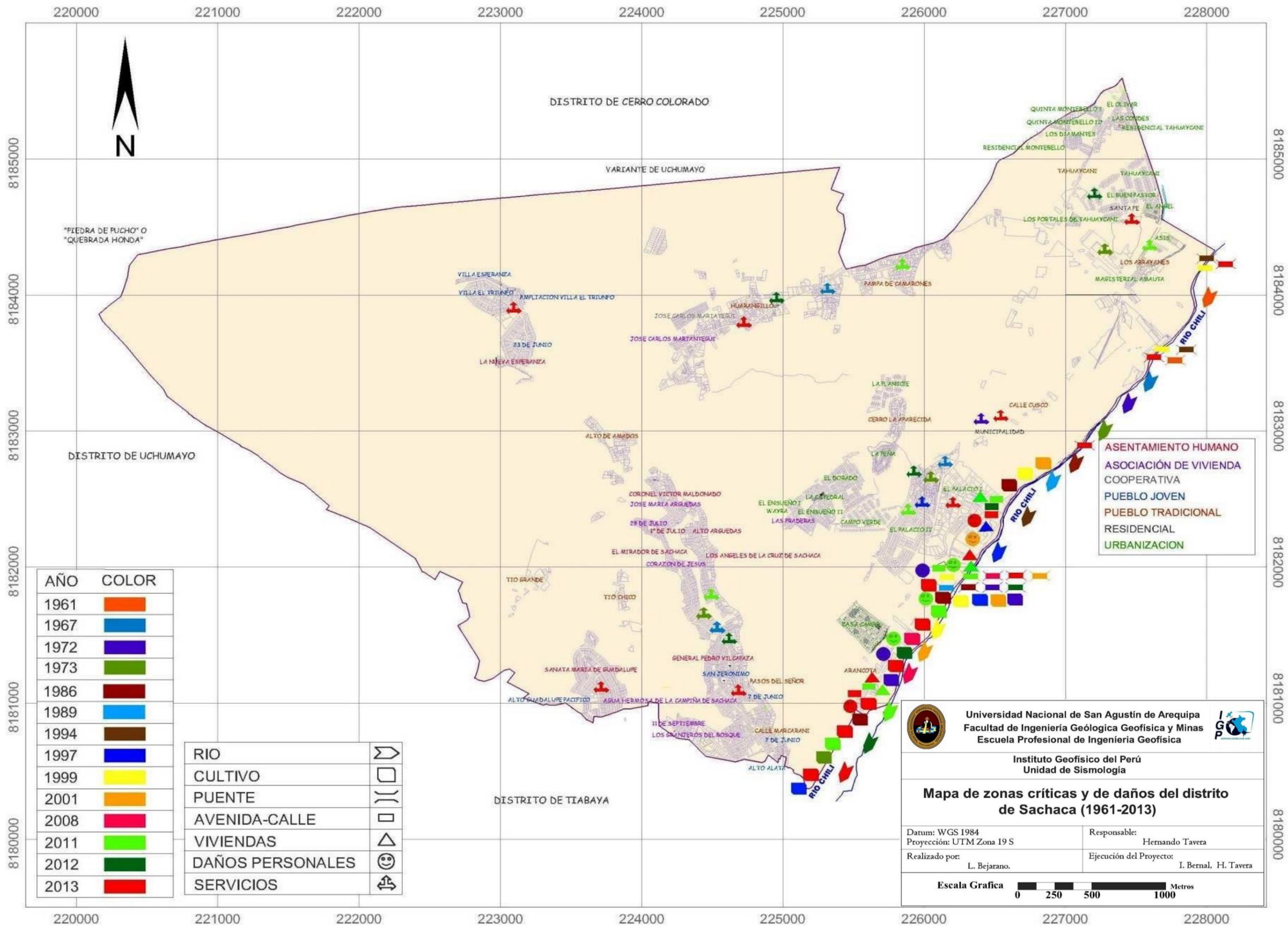
Tabla 4.15: Zonas afectadas en el distrito de Sachaca periodo 1961-2013 (Fuente: Diarios El Pueblo, El Correo 1961, 1967, 1972, 1973, 1986, 1989, 1994, 1997, 1999, 2001, 2008, 2011, 2012, 2013).

SACHACA														
Lugar	Símbolo / Año													
	1961	1967	1972	1973	1986	1989	1994	1997	1999	2001	2008	2011	2012	2013
Ingreso del Río Chili	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
Puente Bolívar o puente de Hierro														
Puente San Isidro														
Puente ferroviario														
Puente Tingo														
Mercado la Parada														
Sachaca														
Urb. El Palacio														
Tingo														
Arancota														
Alata														

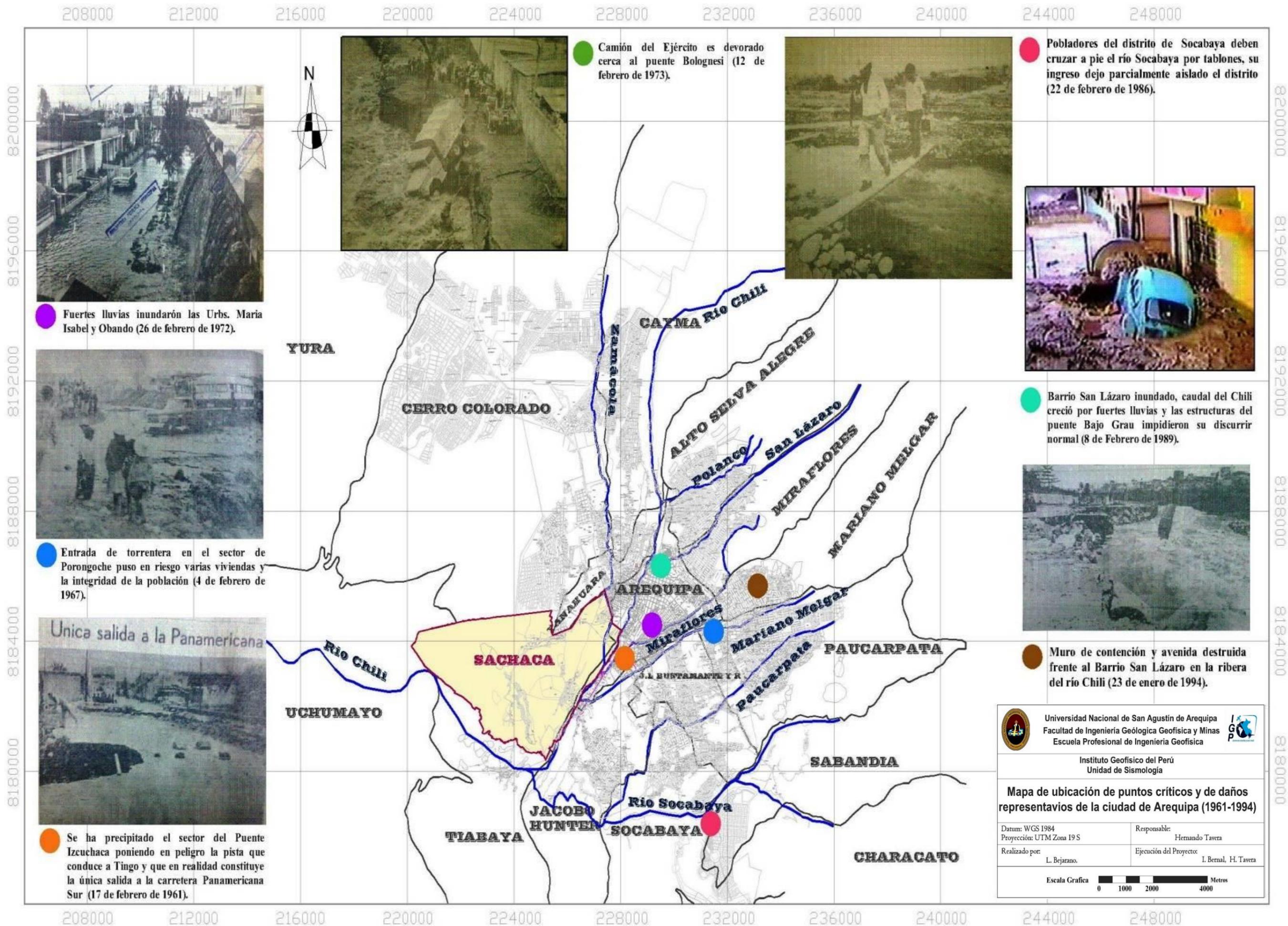
Leyenda							
Río	Torrentera	Cultivos	Puentes	Avenidas	Viviendas	Daños Pers.	Servicios

Con la información analizada y evaluada, para el distrito de Sachaca se elaboró un mapa en el cual se muestra el tipo de daño y año de ocurrencia a fin de identificar los lugares más críticos (Mapa 4.4).

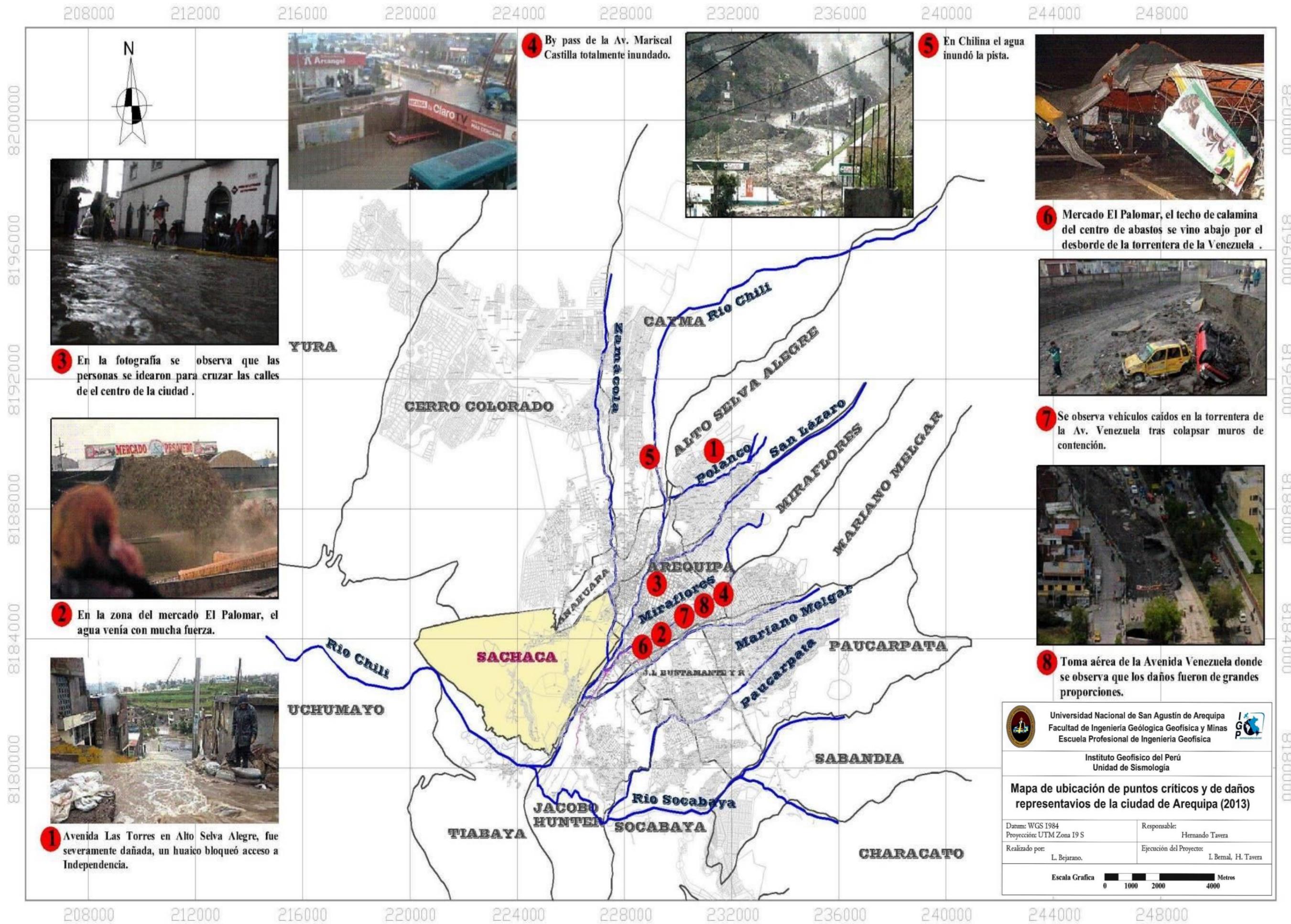
Los datos muestran claramente que, en 14 años evaluados, el lugar más afectado fue la localidad de Arancota, principalmente en terrenos de cultivo sobre una extensión de 200 metros a partir de la ribera derecha del río Chili y este problema siempre se ha presentado desde la Urbanización el Palacio I Etapa hasta la entrada a Tiabaya. El puente Tingo fue afectado con leves y severos daños en sus bases, el Puente San Isidro sufrió daños moderados con menor frecuencia en sus bases. Las avenidas y calles más afectadas y dañadas por inundaciones se encuentran en las Urbanizaciones El Palacio y Alata, además de daños en viviendas y personales. En resumen, en 14 años en el distrito de Sachaca los daños fueron recientes, en puentes, terrenos de cultivo, viviendas servicios como consecuencia muchas personas afectadas, principalmente en su Margen derecha. Para tener mejor percepción de los desastres producidos por las precipitaciones e inundaciones en la ciudad de Arequipa y especialmente en el distrito de Sachaca, se procedió a elaborar mapas con imágenes de los puntos más críticos, lo cual permite observar y evaluar el tipo y magnitud de desastre a tomar en cuenta para futuras acciones de Gestión del Riesgo de Desastres (Mapas 4.5, 4.6, 4.7, 4.8).



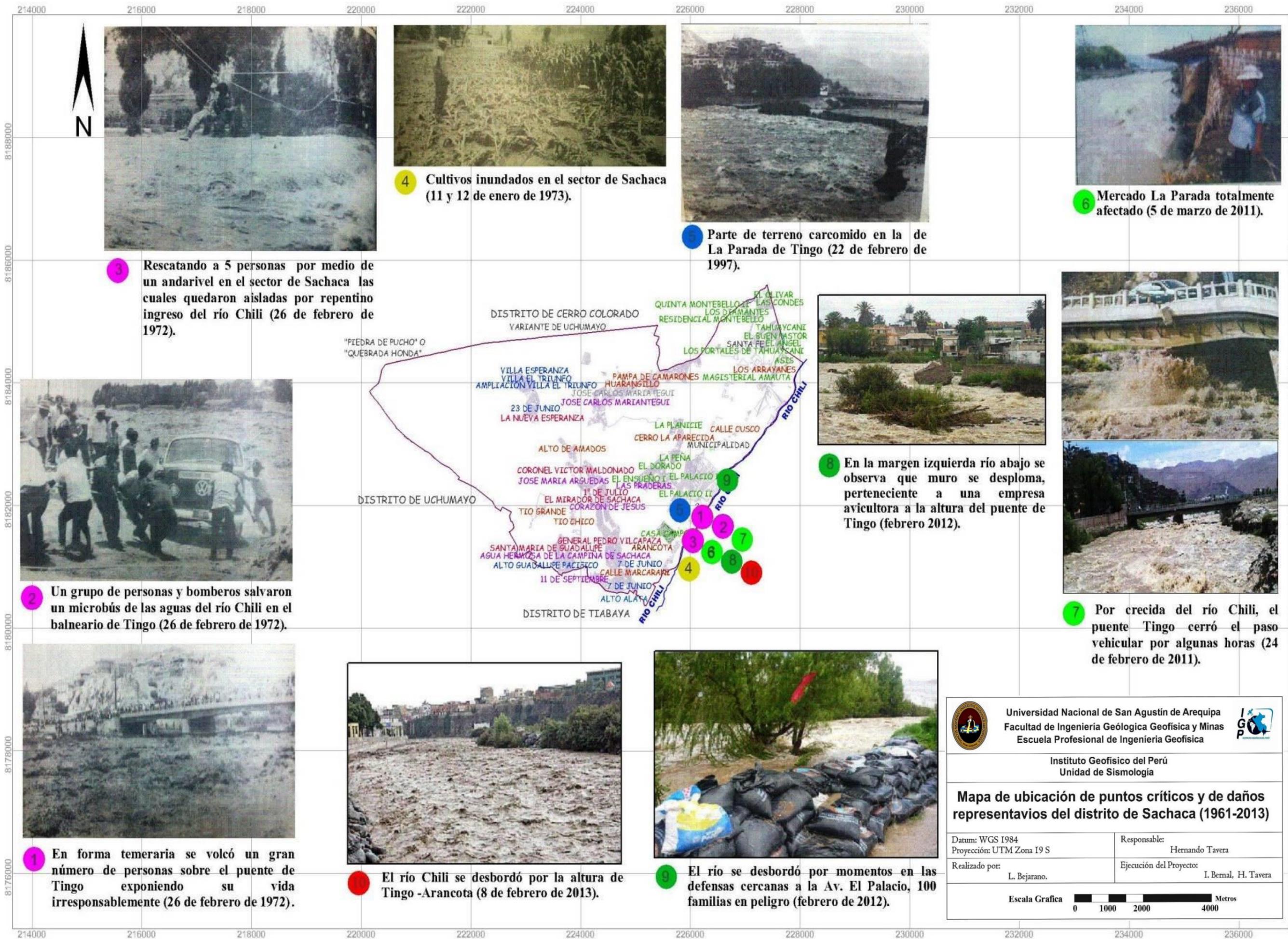
Mapa 4.4: Mapa de zonas críticas y de daños del distrito de Sachaca durante los años de, 1961-2013.



Mapa 4.5: Mapa de ubicación de puntos críticos y de daños representativos en la ciudad de Arequipa para los años entre 1961 – 1994.



Mapa 4.7: Mapa de ubicación de puntos críticos y de daños representativos de la ciudad de Arequipa en el año 2013.



3 Rescatando a 5 personas por medio de un andarivel en el sector de Sachaca las cuales quedaron aisladas por repentino ingreso del río Chili (26 de febrero de 1972).

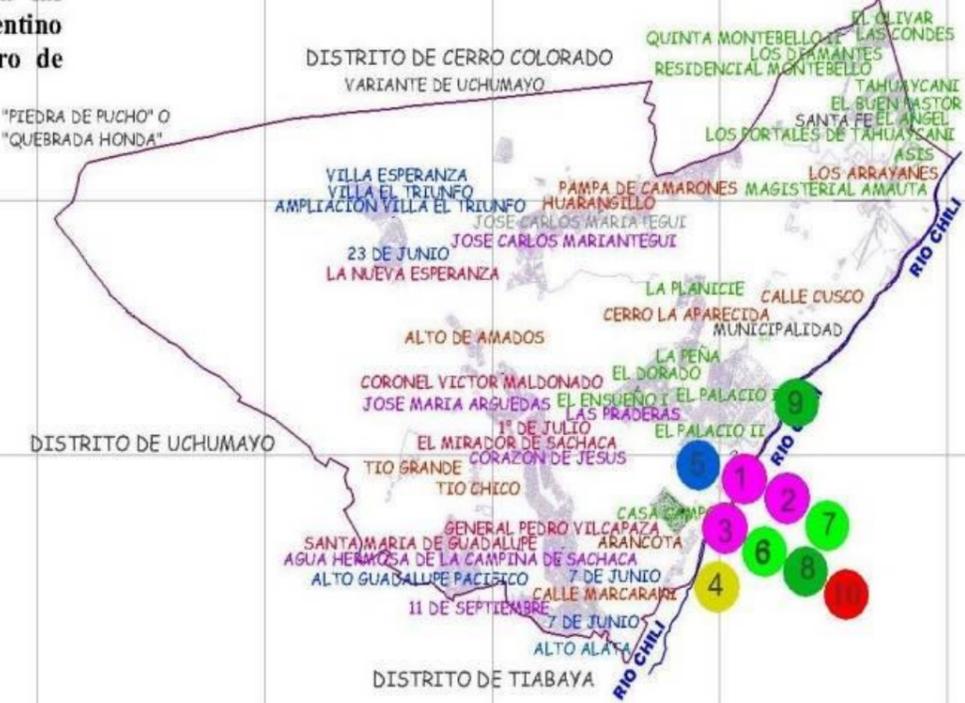
4 Cultivos inundados en el sector de Sachaca (11 y 12 de enero de 1973).

5 Parte de terreno carcomido en la de La Parada de Tingo (22 de febrero de 1997).

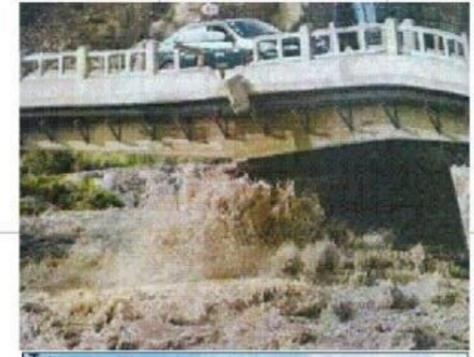
6 Mercado La Parada totalmente afectado (5 de marzo de 2011).



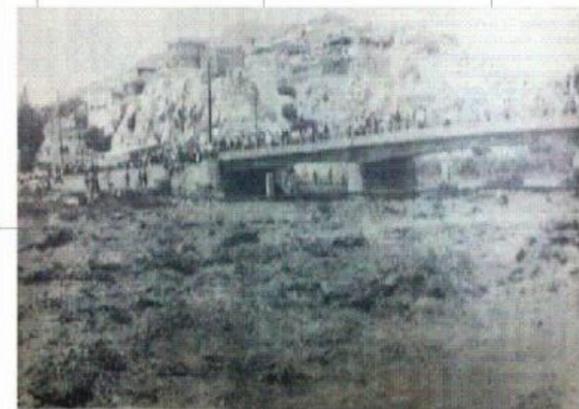
2 Un grupo de personas y bomberos salvaron un microbús de las aguas del río Chili en el balneario de Tingo (26 de febrero de 1972).



8 En la margen izquierda río abajo se observa que muro se desploma, perteneciente a una empresa avicultora a la altura del puente de Tingo (febrero 2012).



7 Por crecida del río Chili, el puente Tingo cerró el paso vehicular por algunas horas (24 de febrero de 2011).



1 En forma temeraria se volcó un gran número de personas sobre el puente de Tingo exponiendo su vida irresponsablemente (26 de febrero de 1972).



10 El río Chili se desbordó por la altura de Tingo -Arancota (8 de febrero de 2013).



9 El río se desbordó por momentos en las defensas cercanas a la Av. El Palacio, 100 familias en peligro (febrero de 2012).


 Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa
 Facultad de Ingeniería Geológica Geofísica y Minas
 Escuela Profesional de Ingeniería Geofísica


 Instituto Geofísico del Perú
 Unidad de Sismología

Mapa de ubicación de puntos críticos y de daños representativos del distrito de Sachaca (1961-2013)

Datum: WGS 1984 Proyección: UTM Zona 19 S	Responsable: Hernando Tavera
Realizado por: L. Bejarano.	Ejecución del Proyecto: I. Bernal, H. Tavera

Escala Grafica  Metros

Mapa 4.8: Mapa de ubicación de puntos críticos y de daños representativos del distrito de Sachaca, para los años entre 1961a 2013.

4.2 Geodinámica

4.2.1 Estabilidad de taludes en el distrito de Sachaca

Se entiende por estabilidad a la seguridad de una masa de tierra contra la falla o movimiento. El propósito del cálculo de estabilidad de taludes en el distrito de Sachaca se centra en determinar la resistencia media al corte de los suelos a partir de deslizamientos ya producidos; y la determinación del coeficiente de seguridad que define la estabilidad del talud. Los factores que influyen a la estabilidad de taludes son:

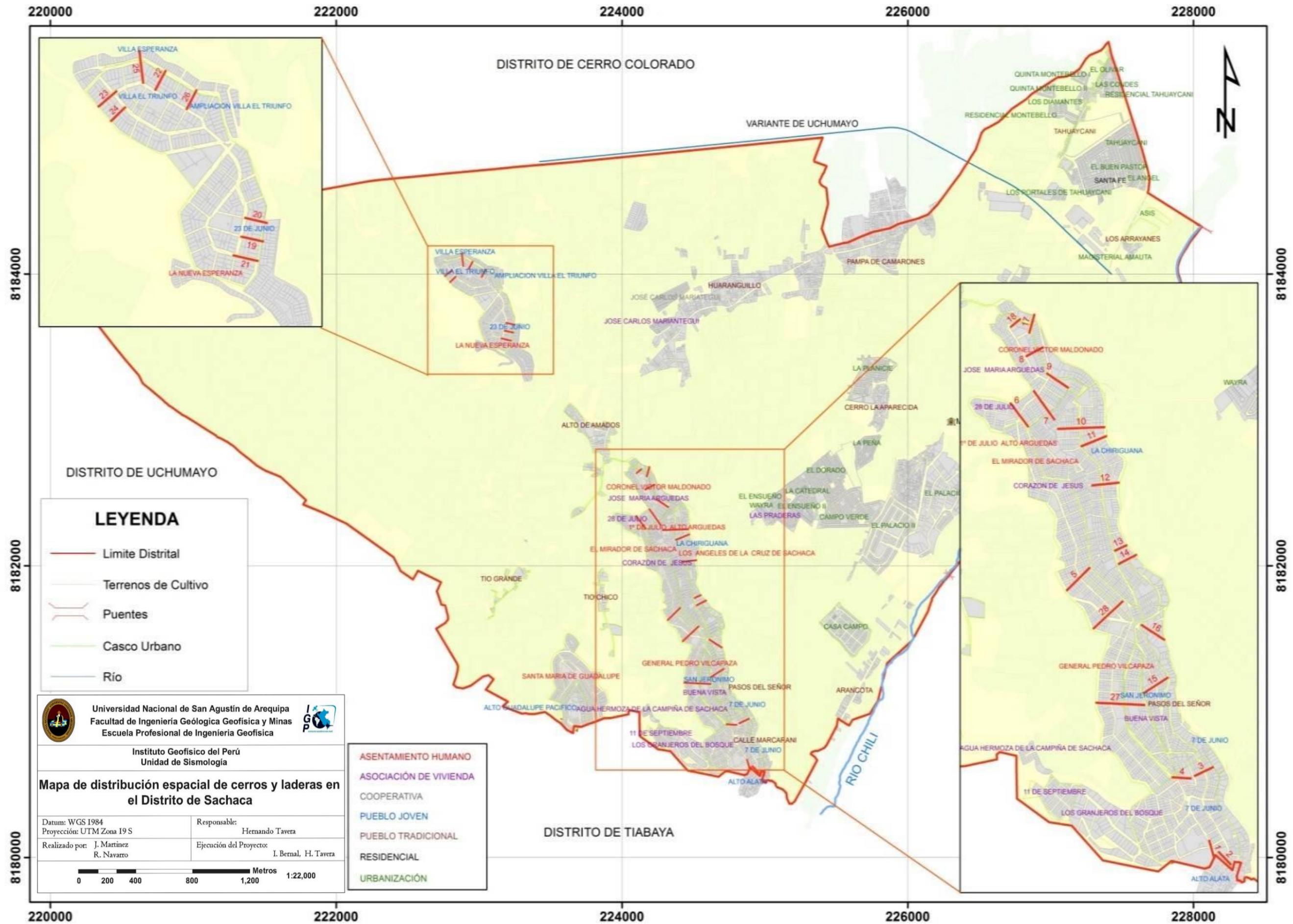
- Antecedentes históricos de deslizamientos en taludes el cual permitirá la detección y evaluación de potenciales deslizamientos en un futuro.
- La geología de la región, donde el relieve y la topografía actual es el producto de millones de años de desarrollo y modificación a lo largo de diferentes procesos geológicos.
- La topografía y estabilidad, donde los mapas topográficos representan una excelente fuente de información para la detección de deslizamientos
- Efecto de la resistencia del suelo y la pendiente del talud, el suelo tiene dos comportamientos básicos ante la aplicación del esfuerzo cortante, uno, a través de la fricción intergranular de las partículas que lo integran y la otra por medio de fuerzas que unen a las partículas entre sí.

En el distrito de Sachaca se ha identificado la presencia de 27 zonas de laderas con posibles índices de inestabilidad y propensas para la generación de deslizamientos, todas ubicadas en los cerros que se encuentran dentro del distrito (Mapa 4.9).

Los cerros están compuestos por sustratos rocosos de granodiorita y coberturas de origen coluvial con menos de 90 cm de espesor en su parte central y de 40 cm en sus extremos. En las cumbres de los cerros la cobertura es escasa debido al desarrollo de procesos de erosión que afecta a la deposición. En general, el total de las laderas presentan en promedio, pendientes de 25° a 40°.

Los 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 4.4 y 4.5).

Considerando la morfología de los cerros y las propiedades geotécnicas de los materiales presentes (Tabla 4.16), se procede a generar escenarios y evaluar la estabilidad de taludes y prever posibles deslizamientos. Para tal fin se hace uso del software SLIDE.



Mapa 4.9: Distribución espacial de cerros y laderas presentes en el Distrito de Sachaca (líneas color rojo).



Figura 4.4: Viviendas asentadas sobre las laderas del cerro "Arguedas". Se observa la presencia de herraduras sobre la cima. El rango de pendiente en la zona es de 25° a 40°.



Figura 4.5: Viviendas asentadas sobre la ladera del cerro donde se ubican a las Asoc. 28 de Julio y José María Arguedas. Obsérvese que el cerro está cubierto por viviendas y de ocurrir un movimiento en masa, estas serían afectadas.

Tabla 4.16: 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

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 4.16). 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. Así mismo, para definir las propiedades geotécnicas de las unidades geológicas presentes en Sachaca se hace uso de los valores propuesto por Ocola (2005), ver tabla 4.17.

Tabla 4.17: 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		0-0.30	27	N.P

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 4.6), 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 4.7).

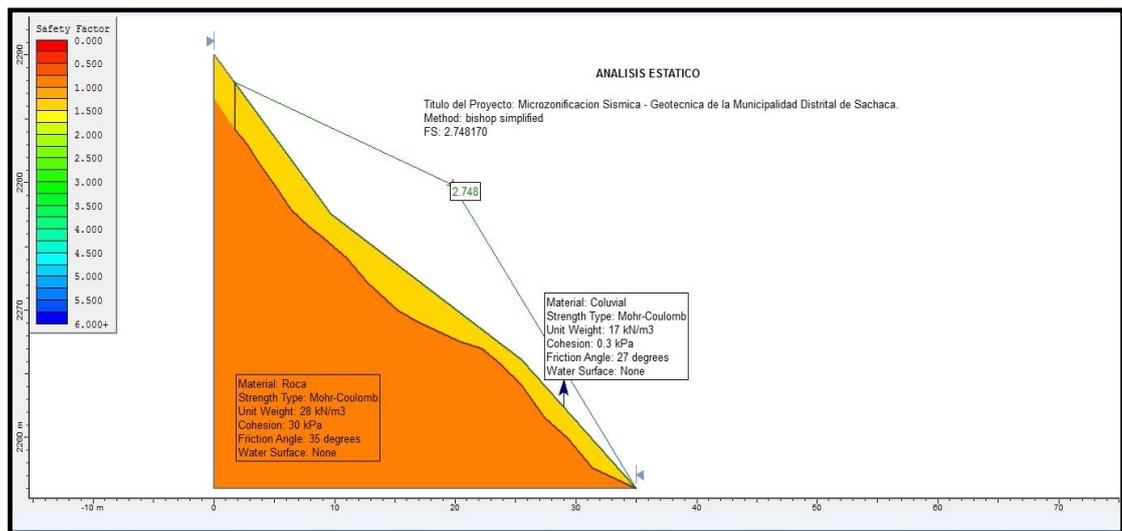


Figura 4.6: Factor de seguridad para la ladera L18 del cerro ubicado en el A. H. Coronel Victor Maldonado considerando un modelo estático.

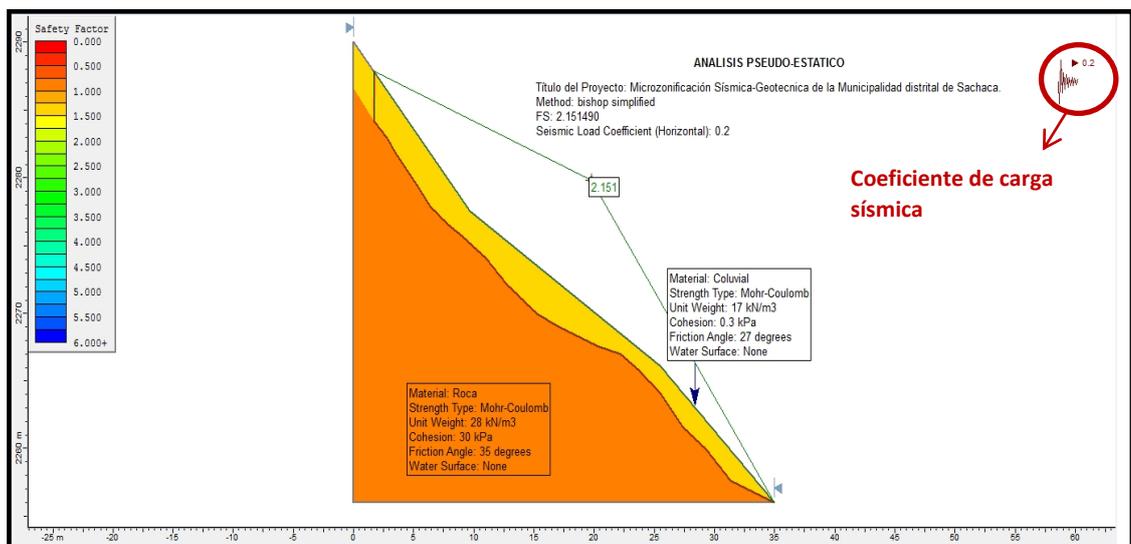


Figura 4.7: Factor de seguridad para la ladera L18 del cerro ubicado en el A. H. Coronel Victor Maldonado considerando un modelo pseudo estático.

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 4.8), 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 4.9), se obtiene un factor de seguridad de 0.945; es decir, bajo condiciones sísmicas, dicha unidad es inestable.

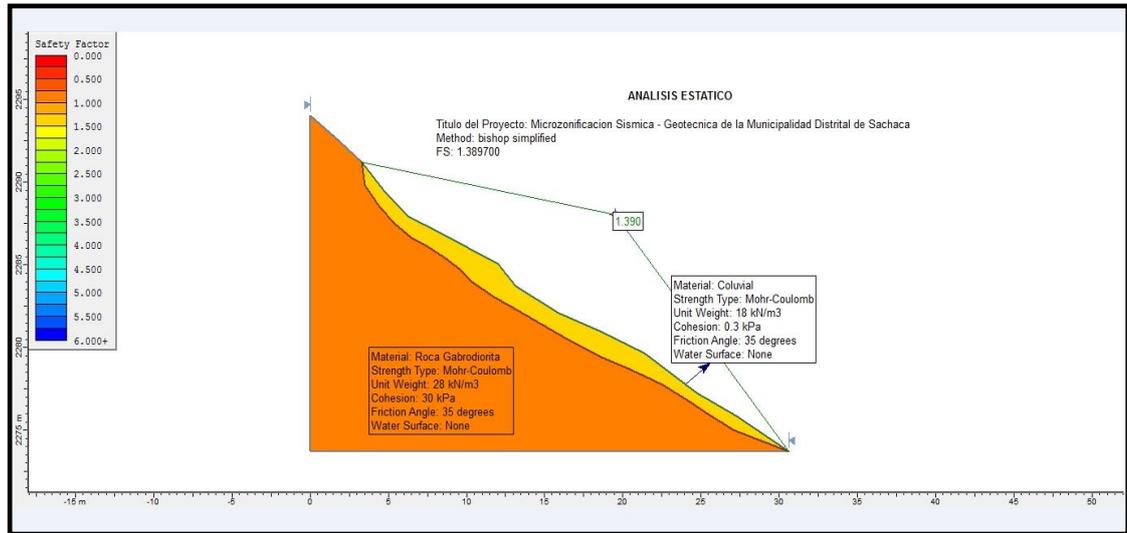


Figura 4.8: Factor se seguridad para la ladera L24 del cerro ubicado en el P.J. Villa El Triunfo considerando un modelo estático.

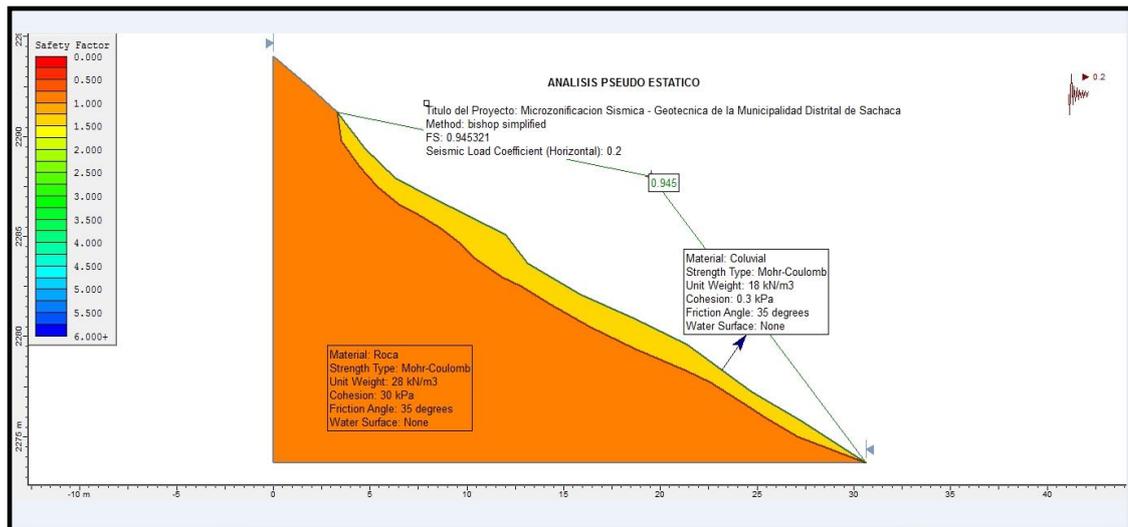


Figura 4.9: Factor se seguridad para la ladera L24 del cerro ubicado en el P.J. Villa El Triunfo considerando un modelo pseudo estático.

A continuación, en la Tabla 4.18 se detalla los resultados obtenidos para las 27 laderas evaluadas.

Tabla 4.18: Valores de factor de seguridad para las 27 laderas identificadas en los cerros existentes en el distrito de Sachaca.

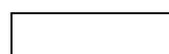
Ladera	Modelo Estático (F.S)	Modelo Pseudo Estático S.L.C. (0.2)
L-01	1.178	0.885
L-02	1.695	1.332
L-03	2.439	1.317
L-04	2.414	1.902
L-05	2.086	1.554
L-06	2.465	1.947
L-07	3.52	3.008
L-08	3.428	2.858
L-09	1.428	1.113
L-10	1.749	1.359
L-11	1.587	1.247
L-12	1.514	1.162
L-13	1.853	1.448
L-14	1.448	1.192
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	2.01	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	1.39	0.945
L-25	4.805	4.004
L-26	3.293	2.686
L-27	2.865	2.124



Inestable



Precario



Estable

En conclusión, las laderas de mayor riesgo son L-01 y L-23 que afectarían los Pueblos Jóvenes 7 de Junio y Villa el Triunfo respectivamente, tal como se observa en las Figuras 4.10 y 4.11. Las laderas L-24 en el P.J. Villa el Triunfo presenta un factor de seguridad inestable; las laderas L-09 en el P.J. José María Arguedas, L-12, L-14 en el P.J. Corazón de Jesús el factor de seguridad es precario.



Figura 4.10: En la imagen se observa el Pueblo Joven 7 de Junio, ubicada en el extremo sur del distrito de Sachaca. Esta área es considerada como la de mayor riesgo a deslizamientos y caída de piedras.



Figura 4.11: En la imagen se observa el Pueblo Joven Villa el Triunfo, ubicada en el extremo norte del distrito de Sachaca. Esta área es considerada con riesgo medio a deslizamientos y caída de piedras.

De acuerdo a estos resultados, es importante establecer medidas preventivas principalmente en los cerros ubicados en los Pueblos Jóvenes 7 de Junio, Villa el Triunfo, José María Arguedas y Corazón de Jesús, en razón, que la región sur de Perú es considerada de alto potencial sísmico, es decir, propensa a ser afectada frecuentemente por sismos.

4.3 Aplicación de métodos geotécnicos

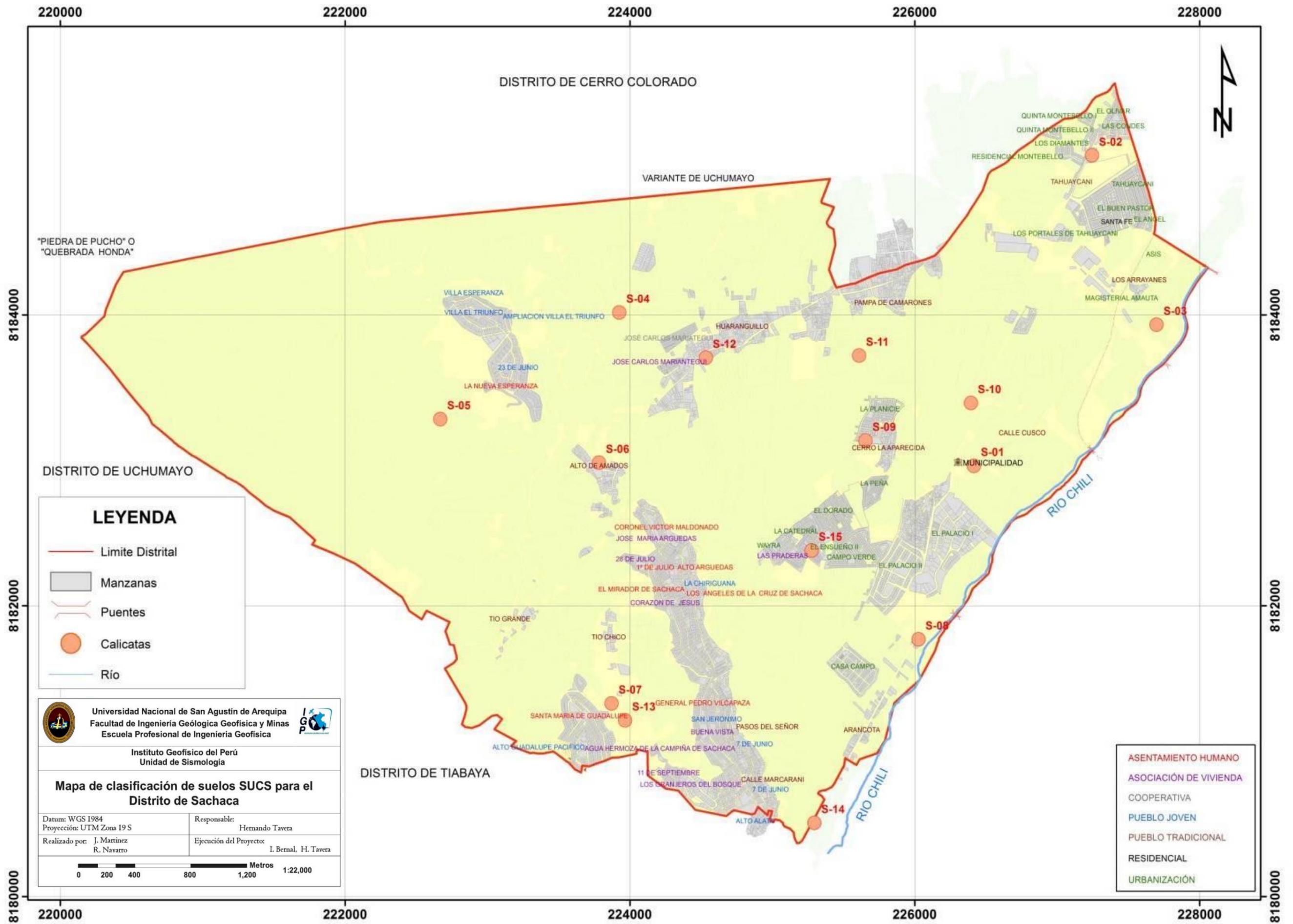
Para el estudio de los suelos en el distrito de Sachaca se construyeron 15 calicatas distribuidas de tal modo que cubran toda el área de estudio (Mapa 4.10, Tabla 4.19). Se pretende obtener muestras de suelo a fin de realizar los análisis granulométricos, límites de elasticidad, contenido de humedad y corte directo (capacidad portante).

Estas calicatas tienen dimensiones de 1.5 m x 1.5 m x 3.0 m (Figura 4.12) y las muestras fueron tomadas de la capa más profunda y representativa del tipo de suelo en el sitio evaluado.

4.3.1 Clasificación SUCS

Para la clasificación SUCS, 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).

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) ver Tabla 4.20; mientras que, los sufijos indican subdivisiones en dichos grupos.



Mapa 4.10: Distribución espacial de las 15 (quince) calicatas construidas en el distrito de Sachaca, Arequipa.

Tabla. 4.19: 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 4.12: Calicata construida por una retroexcavadora proporcionada por el Municipio del Distrito de Sachaca.

Tabla 4.20: Simbología de los principales tipos de suelos.

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

El análisis de laboratorio permitió clasificar los suelos de la siguiente manera (Mapa 4.11):

4.3.1.1 Suelos tipo SM

Corresponden a suelos compuestos por arenas limosas que se encuentran presentes en el 74% del área total de estudio (Tabla 4.21) 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 Pacifico; 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.

4.3.1.2 Suelos tipo SP

Corresponden a suelos constituidos por arena pobremente gradada, pero con partículas de tamaño uniforme (Tabla 4.21). 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 Ángel, 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.

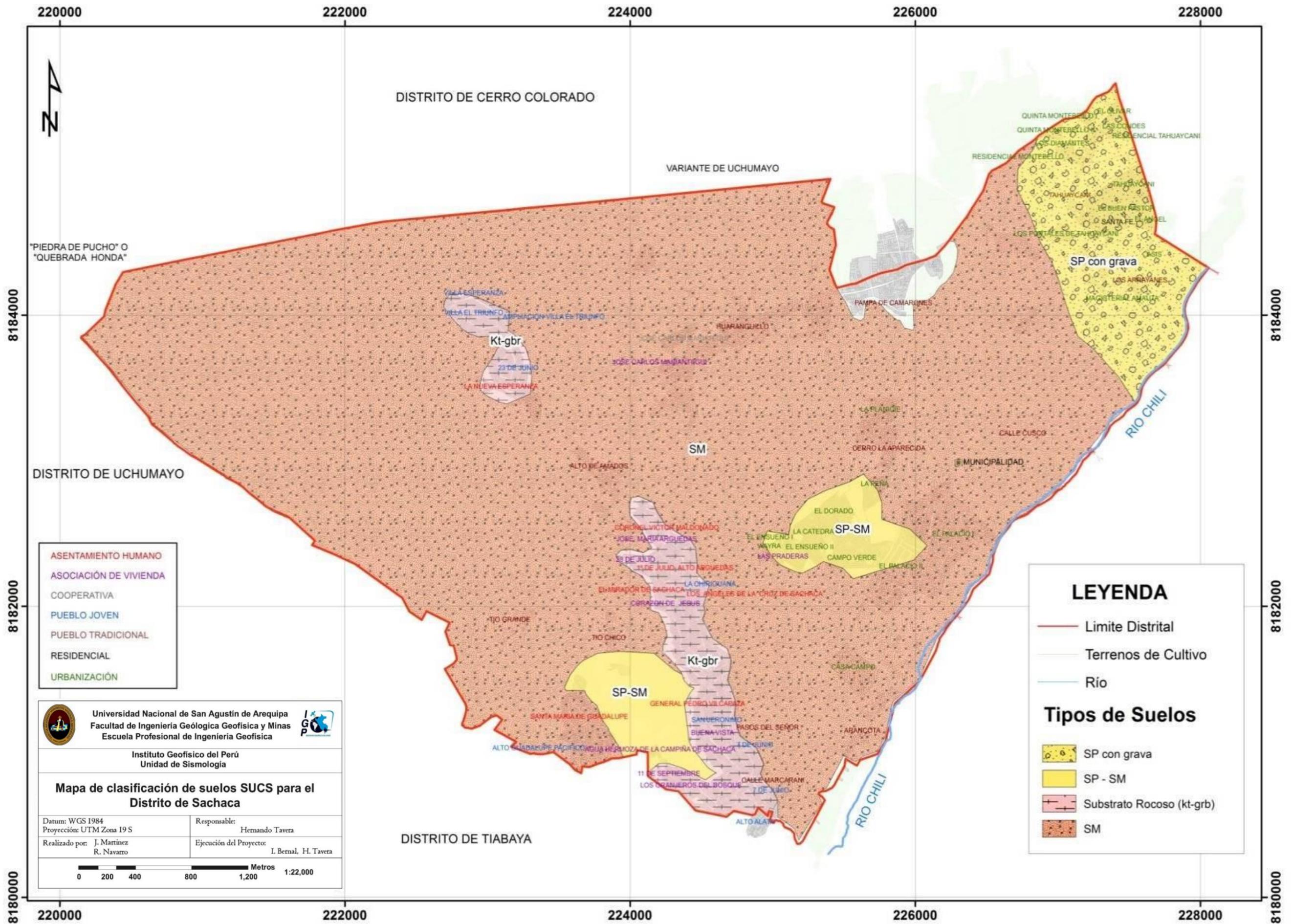
4.3.1.3 Suelos tipo SP_SM

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 urbanizaciones 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%.

Tabla 4.21: 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(>0.74mm<4.76mm)	Finos(<0.074mm)	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 pob.grad. - Arena lim.
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	6.91	5.0	86.0	9.0	SP-SM	Arena pob.grad. - Arena lim.



Mapa 4.11: Mapa de clasificación de suelos SUCS para el Distrito de Sachaca, Arequipa.

La clasificación SUCS ha permitido identificar la existencia de hasta 3 tipos de suelos: SM compuestos por arenas limosas que se encuentran presentes en el 74 % del área total; SP constituidos por arena pobremente gradada con partículas de tamaño uniforme presente en un 13% del área, SP - SM conformados por arena pobremente gradada y arena limosa, presentes en un 13% del área de estudio. Todos los pueblos jóvenes que se encuentran asentados sobre los cerros presentan suelos rocosos conformados por granodiorita.

4.3.2 Capacidad portante

La segunda muestra de suelo obtenida en campo fue utilizada para el análisis de corte directo, es decir, 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.

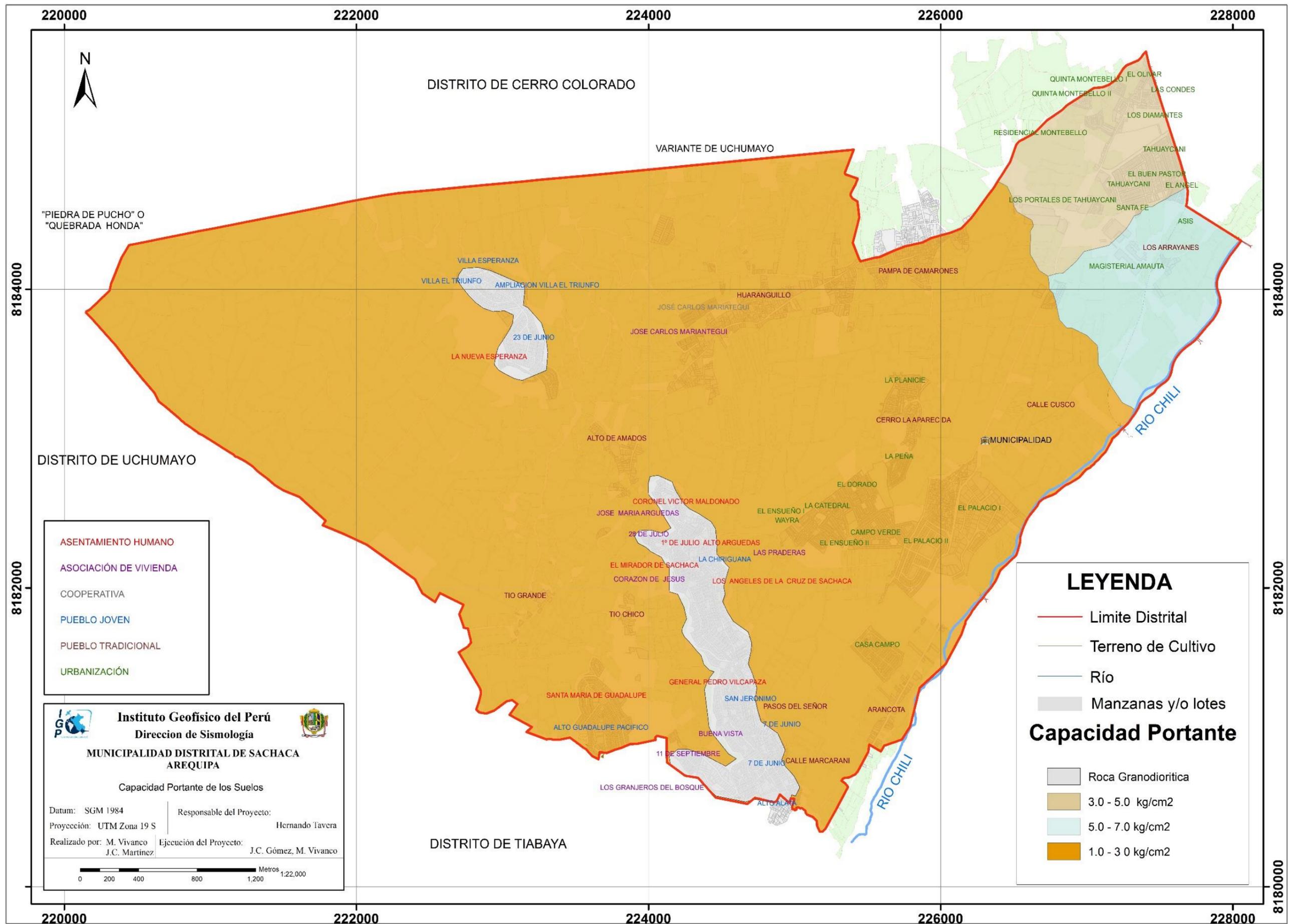
En base a los ensayos de corte directo aplicado a las muestras de suelos de las quince (15) calicatas, se ha calculado la capacidad portante, llamada también capacidad última de carga del suelo de cimentación. Es decir, es la carga que puede soportar un suelo sin que su estabilidad sea amenazada, siendo los valores obtenidos para una profundidad y ancho mínimo de cimentación de 1 metro. Para la clasificación de la capacidad portante de los suelos se utiliza la escala definida en la Tabla 4.22. La capacidad portante de los suelos presentes en el distrito de Sachaca se presenta en la Mapa 4.12 y en la Tabla 4.23. los valores obtenidos en cada calicata. Los valores obtenidos definen suelos con alta, media y baja resistencia al corte todos 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.

Tabla 4.22: Rangos de capacidad de carga admisible con su respectiva denominación.

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

Tabla 4.23: Valores de capacidad portante para cada calicata construida en el Distrito de Sachaca y rangos de capacidad de carga admisible.

CALICATAS	Capacidad Carga Admisible (Kg/cm²)
S-01	1.78
S-02	3.98
S-03	6.50
S-04	1.32
S-05	2.23
S-06	1.24
S-07	1.27
S-08	1.76
S-09	1.11
S-10	1.68
S-11	1.98
S-12	1.31
S-13	1.32
S-14	1.46
S-15	1.44



Mapa 4.12: Mapa de capacidad portante para el distrito de Sachaca – Arequipa.

Finalmente, según el análisis de la capacidad portante de los suelos, el 74 % del área de estudio presenta capacidad portante baja ($1.0 - 3.0 \text{ Kg/cm}^2$) y se recomienda construcciones de un piso; el 13 % presenta capacidad portante media (3.0 a 5.0 Kg/cm^2) y se recomienda realizar construcciones hasta de 2 pisos; y un 13 % presenta capacidad portante alta ($5.0 - 7.0 \text{ Kg/cm}^2$), siendo favorable para construir viviendas con mas de tres pisos, siendo las Urbs. mas beneficiadas Asis y Magisterial Amauta y el P. T. Los Arrayanes.

4.4 Métodos geofísicos

4.4.1 Aplicación de la técnica H/V

Una parte esencial para la caracterización sísmica del área urbana de Sachaca es conocer la frecuencia fundamental del suelo y para ello se aplica la técnica de razones espectrales.

4.4.1.1 Equipo utilizado

El equipo utilizado consistió en dos sismómetros de tres componentes marca Lennartz de 5 seg y dos digitalizadores City Shark de la marca Leas (Figura 4.13). Este equipo fue diseñado exclusivamente para este tipo de recolección de datos, permitiendo disponer de distintas ganancias para cambiar la resolución y el valor de saturación de la vibración ambiental.

También se hizo uso de GPS, brújulas, cámaras fotográficas y fichas de campo en las cuales se registran parámetros característicos e información complementaria de cada punto de medida (coordenadas de ubicación, observaciones, etc.).

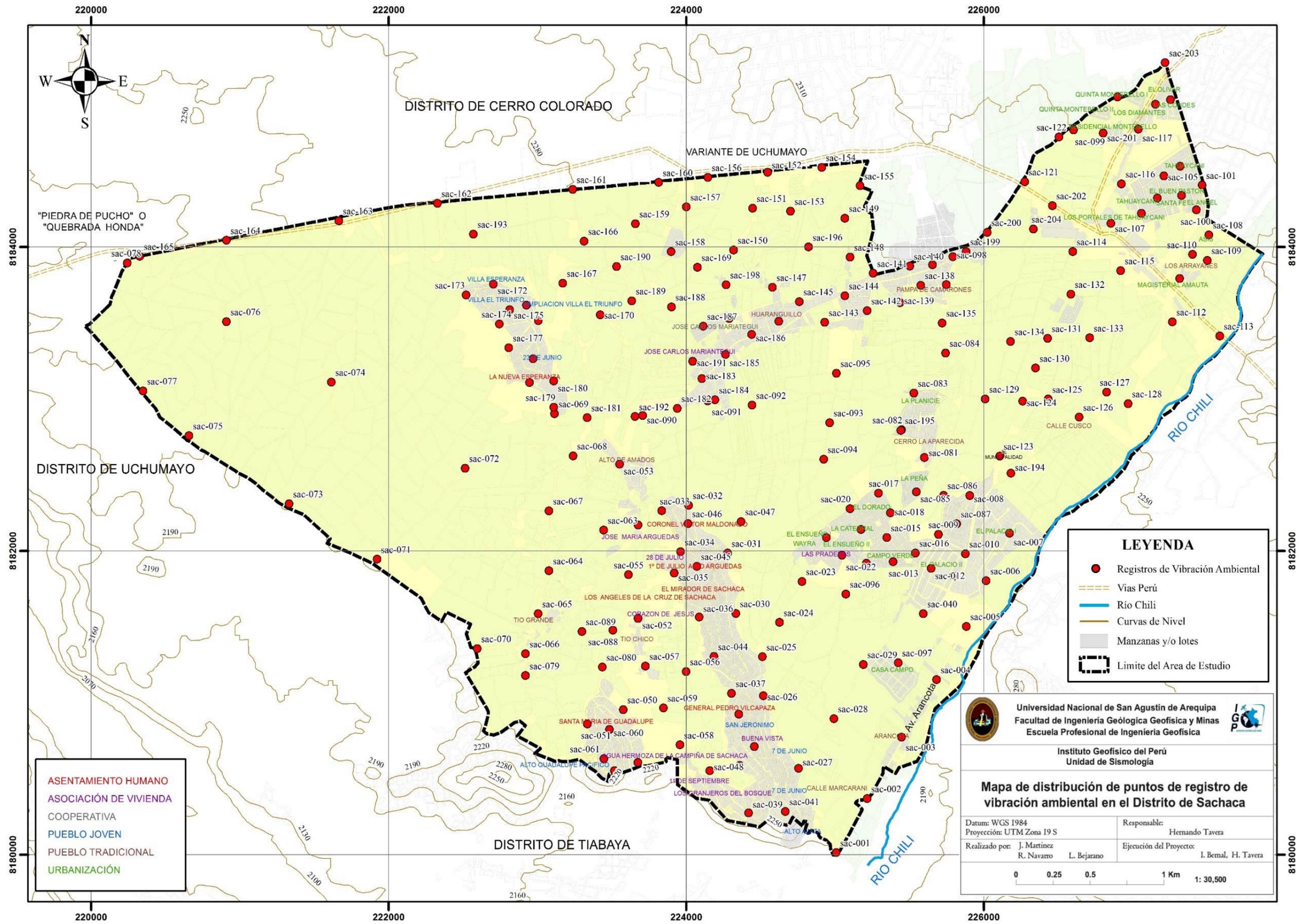
4.4.1.2 Adquisición de datos

Los datos de vibración ambiental fueron recolectados durante un periodo de 15 días. Para la selección de los puntos de medida se procedió a disponer del mapa catastral proporcionado por la municipalidad del distrito de Sachaca, así como la información

geológica, geomorfológica y la facilidad de acceso a los diferentes emplazamientos de la zona. Se obtuvo registros de vibración ambiental en 204 puntos distintos y que permitió cubrir toda el área de estudio, ver mapa 4.13



Figura 4.13: Equipo sísmico utilizado para el registro de vibraciones ambientales: sensores Lennartz y registrador CityShark.



ASENTAMIENTO HUMANO
 ASOCIACIÓN DE VIVIENDA
 COOPERATIVA
 PUEBLO JOVEN
 PUEBLO TRADICIONAL
 URBANIZACIÓN

LEYENDA

- Registros de Vibración Ambiental
- Vías Perú
- Río Chili
- Curvas de Nivel
- Manzanas y/o lotes
- ⬡ Limite del Area de Estudio

Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa
 Facultad de Ingeniería Geológica Geofísica y Minas
 Escuela Profesional de Ingeniería Geofísica

Instituto Geofísico del Perú
 Unidad de Sismología

Mapa de distribución de puntos de registro de vibración ambiental en el Distrito de Sachaca

Datum: WGS 1984
 Proyección: UTM Zona 19 S
 Realizado por: J. Martínez, R. Navarro, L. Bejarano
 Responsable: Hernando Tavera
 Ejecución del Proyecto: I. Bernal, H. Tavera

0 0.25 0.5 1 Km 1: 30,500

Mapa 4.13: Mapa del Distrito de Sachaca y distribución de puntos de registro de vibración ambiental.

4.4.1.3 Consideraciones para la toma de datos

Las consideraciones que se tuvieron para la toma de datos en campo son:

- Se fijó el nivel de ganancia del máximo posible, verificando siempre que la señal no se sature.
- Se instaló el sensor directamente sobre suelo.
- Se evitó obtener registros cerca de estructuras, arboles (sobre todo si las condiciones son de mucho viento), ya que pueden perturbar el registro de señal.
- Se tuvo cuidado de no hacer mediciones sobre estructuras subterráneas, como tuberías de desagüe, canales de agua, etc.
- Se evitó mediciones cerca de maquinarias de construcción, generadores, etc.

Para la zona urbana de Sachaca, en cada uno de los 204 puntos de medición de vibración ambiental se ha tomado un tiempo de registro de 20 minutos, lo cual permite tener buena cantidad de información para su posterior análisis. El intervalo de muestreo fue de 200 Hz. En la Figura 4.14, 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 varios tipos de amplitud debidos a la presencia de ruidos de variada amplitud, que caracterizan el suelo.

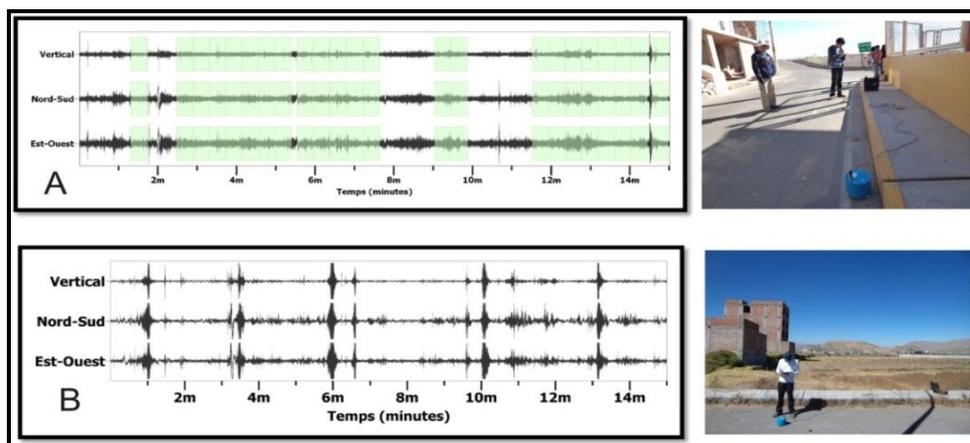


Figura 4.14: Imágenes de la disposición del equipo sísmico y ejemplos de registros de vibración ambiental obtenidos sobre una zona libre de ruido de fondo (registro A) y otro con ruido aleatorio de baja amplitud (registro B). Obsérvese las diferentes amplitudes registradas en cada punto.

4.4.1.4 Procesamiento de Datos

Para el procesamiento de los registros se utilizó el programa computacional GEOPSY desarrollado por Wethelet (2004) y para aplicar la técnica H/V, se consideran los siguientes pasos:

- Los registros de vibración ambiental fueron tratados por ventanas estables de 20 segundos de longitud de señal. Para tal efecto, se selecciona de, forma aleatoria, diversos tramos de señal.
- Se calcula la Transformada Rápida de Fourier para un número mayor a 10 ventanas de observación para cada punto.
- Los espectros horizontales de la señal se dividieron entre el espectro vertical para obtener la relación H/V y luego se promediaron estos, para cada punto de observación, considerando su respectiva desviación estándar. Luego se procedió a identificar la frecuencia predominante considerando, como condición, presentar una amplificación máxima relativa mayor a 2 veces.

En la Figura 4.15 se presenta un esquema del procesado de los registros de ruido ambiental para obtener los cocientes espectrales H/V, y así determinar la frecuencia predominante del sub-suelo.

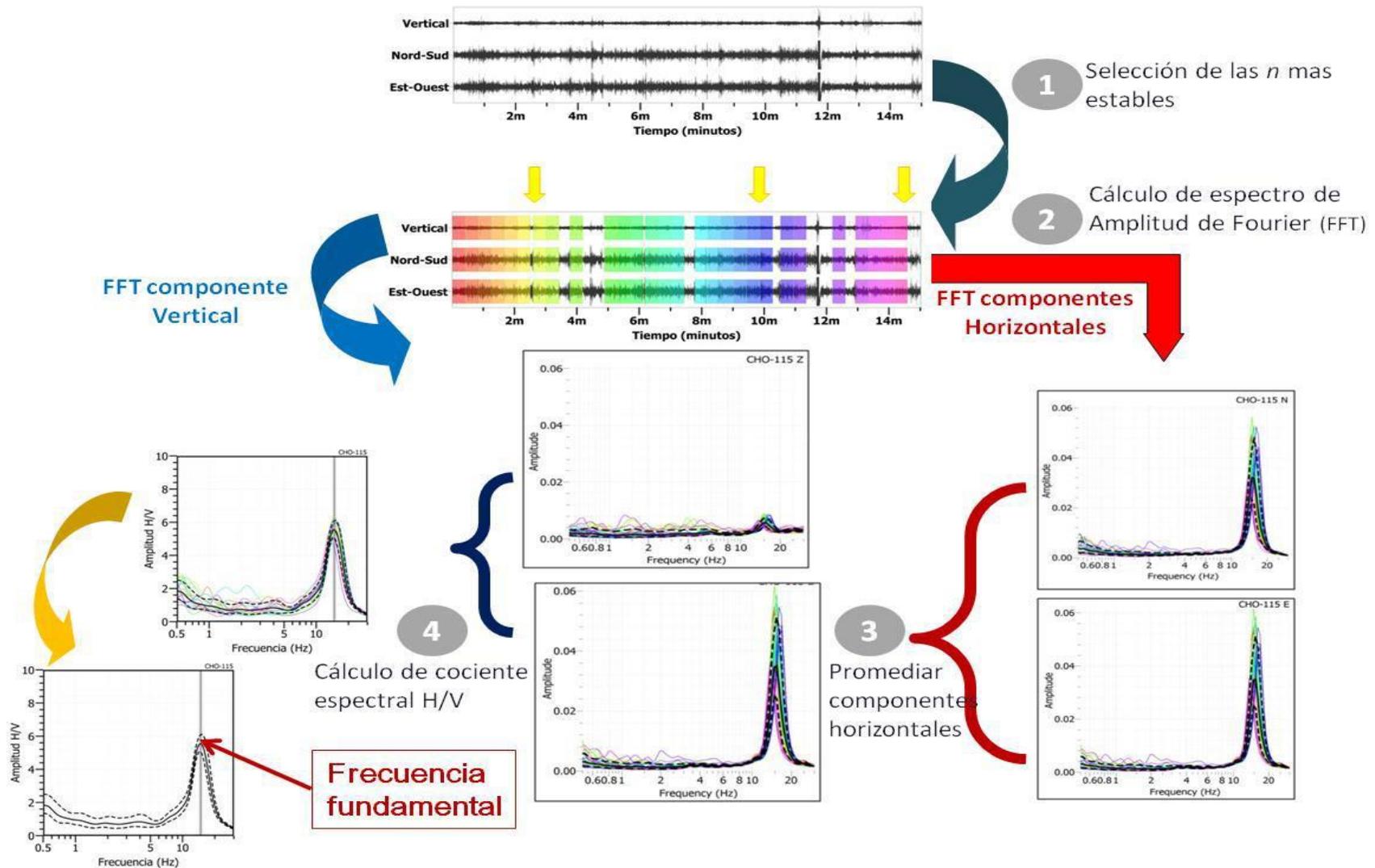


Figura 4.15: Esquema que muestra el procedimiento para el de los registros de vibraciones ambientales para obtener los cocientes espectrales H/V.

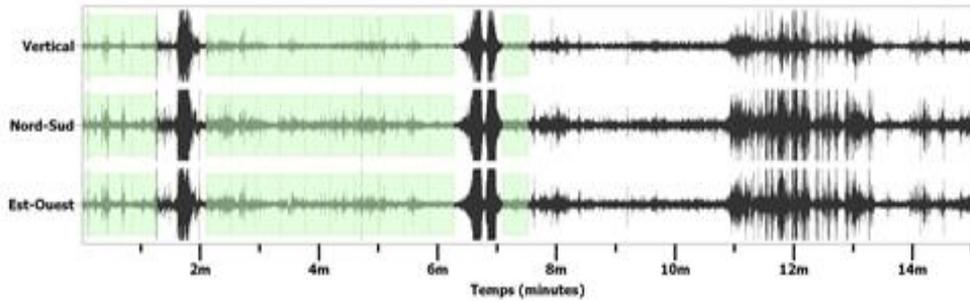
Con la información disponible, se procede de construir las razones espectrales H/V (registros de las componentes horizontales / registros en la componente vertical) a fin de identificar las frecuencias predominantes y amplificaciones relativas que caracterizan al tipo de suelo presente en el área de estudio, 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.

Hay que tomar en cuenta que toda información obtenida es organizada en una ficha de registro H/V (Figura 4.16) en la cual se recopila los gráficos de la señal registrada, razón espectral H/V, espectrograma de la razón espectral y valores de frecuencia fundamental. La presentación de los resultados, las frecuencias son expresadas en periodos dominantes.

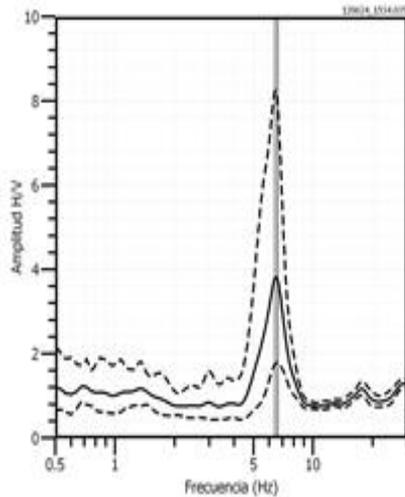
Zonificación Sísmica-Geotécnica del Distrito de Sachaca - Arequipa
Frecuencias Predominantes del Suelo
(H/V)

Punto SAC-035

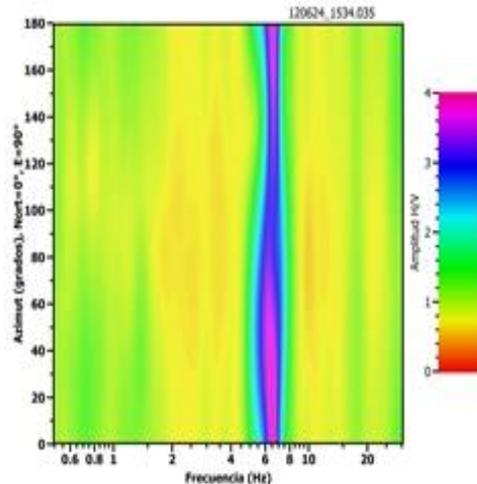
Señal registrada y ventanas seleccionadas para el análisis



Curva H/V



Variación Azimutal de la Amplitud



Interpretación de Resultados

Dudoso <input type="checkbox"/>	Pico(s) H/V <input checked="" type="checkbox"/>	f_0	f_1
Ningún pico <input type="checkbox"/>	(Hz)	6.5±0.3	-----

Figura 4.16: Ejemplo de selección de ventanas de registro de vibración ambiental (rectángulos de colores) punto SAC 035 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.

4.4.1.5 Frecuencias Predominantes

En el análisis de la información de H/V se debe considerar los siguientes aspectos:

- Las frecuencias predominantes menores a 1 Hz corresponden a vibraciones generadas por el oleaje del mar, y/o cambios meteorológicos (periodos muy largos).
- Las bajas frecuencias o periodos largos son debidas a la presencia de depósitos profundos.
- Las frecuencias altas o periodos cortos son debidos a depósitos superficiales blandos y de poco espesor (SESAME, 2006; Bernal, 2006).
- 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.

La determinación de la frecuencia fundamental se realiza mediante el análisis cuidadoso de los picos H/V representado en cada gráfico de cociente espectral. Para detectar y eliminar algún tipo de ruido de origen industrial, es importante analizar los espectros de Fourier de las tres componentes mediante la herramienta damping del programa Geopsy.

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 V).

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 a partir de 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.

A continuación, se describe y analiza la distribución espacial de los diferentes rangos de periodos dominantes identificados en el área urbana de Sachaca.

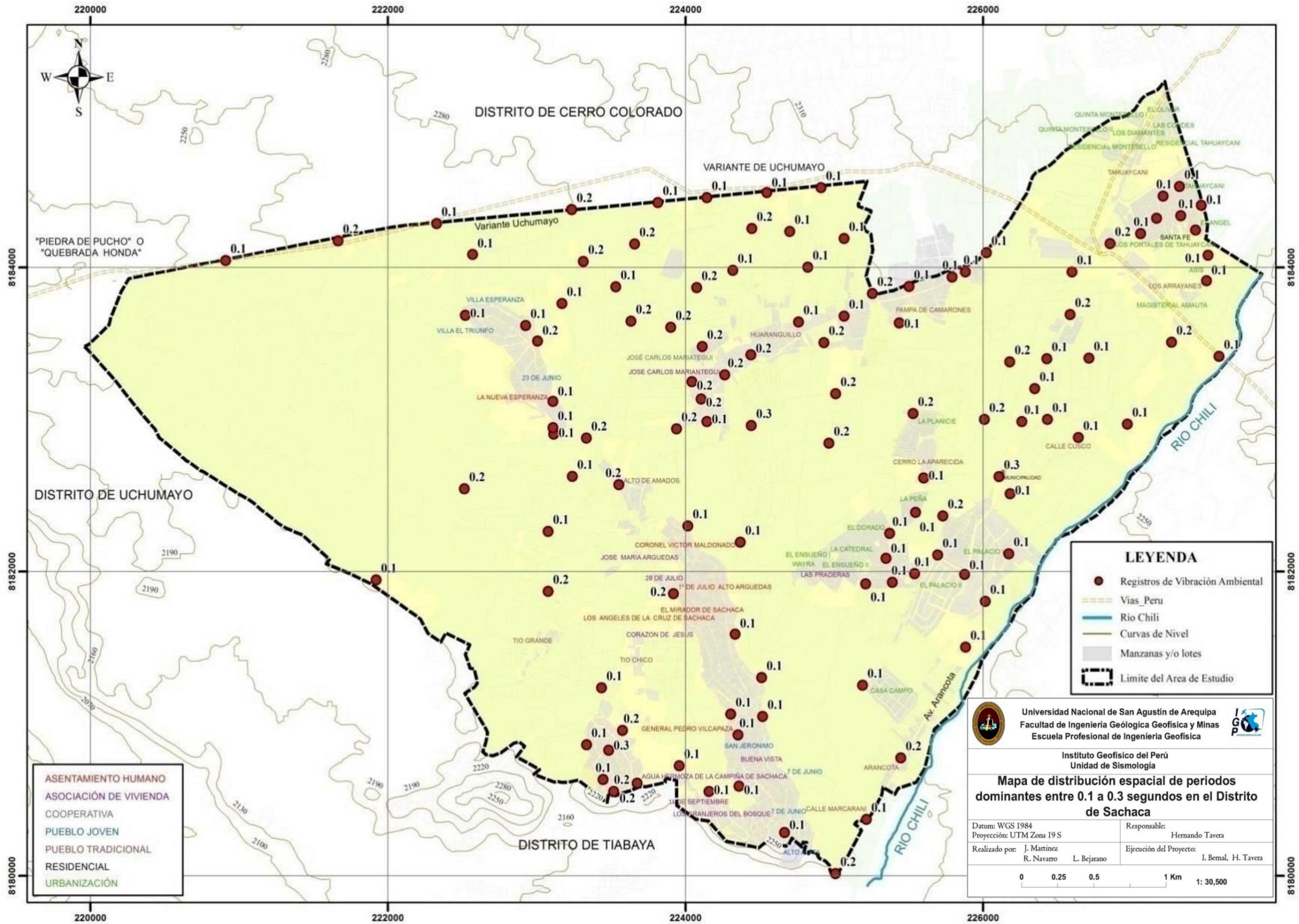
4.4.1.5.1 Rango de Periodos entre 0.1 – 0.3 s

En la Mapa 4.14, 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, lo cual define la existencia de una capa sedimentaria por encima del basamento rocoso.

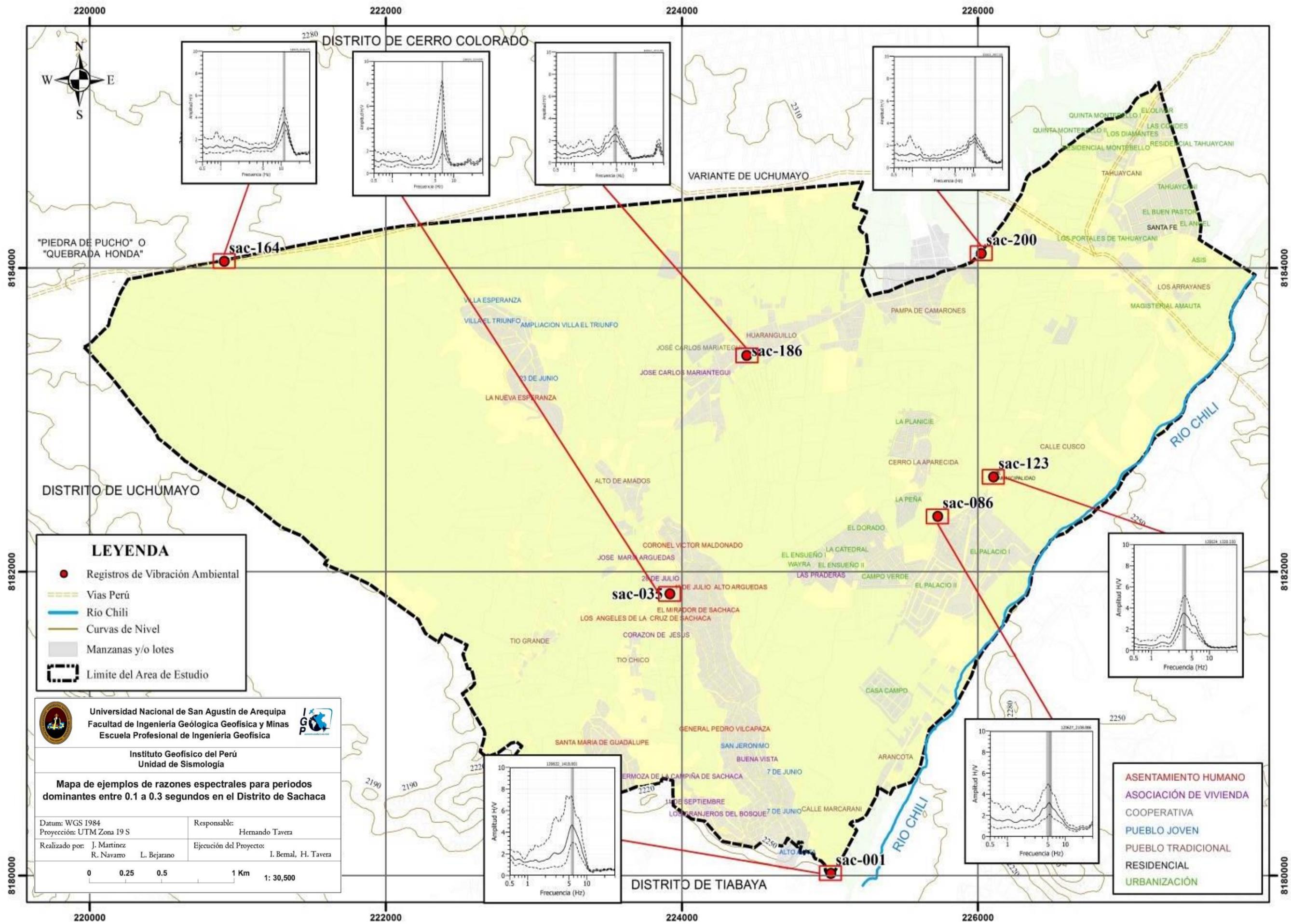
En la Mapa 4.15, se presenta la distribución espacial de 7 razones espectrales representativas para este rango de periodos 0.1-0.3s (3.0 – 10Hz) y en donde se observa que existe una ligera diferencia en la amplitud de las curvas H/V obtenidas cerca del rio Chili (4 veces) en comparación con las del extremo norte del distrito (menor 3 veces).

4.4.1.5.2 Rango de Periodos entre 0.31 – 0.5 s

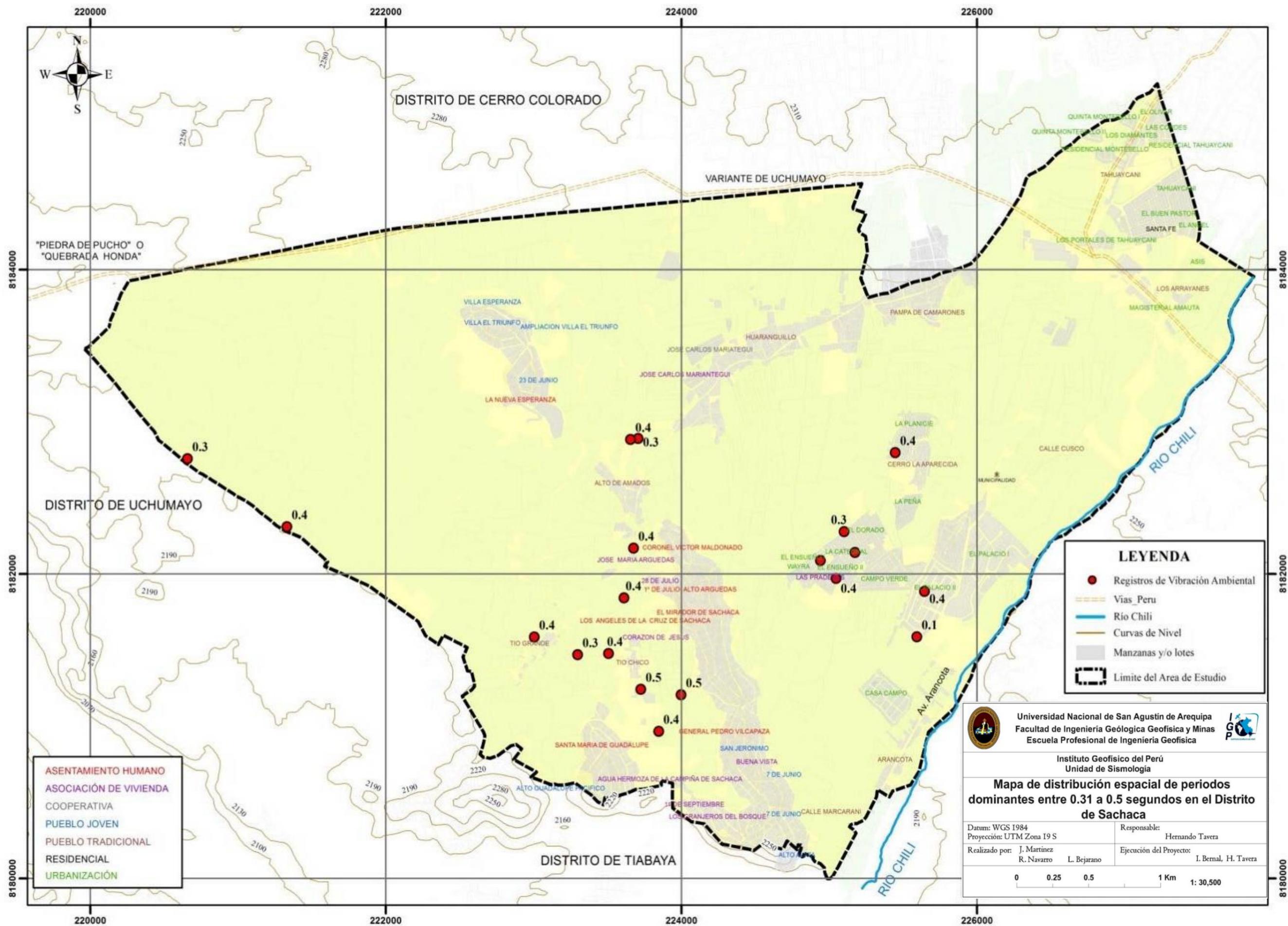
En la Mapa 4.16, se presenta el mapa del distrito de Sachaca y la distribución espacial de los periodos dominantes en el rango de 0.31 a 0.5 segundos, observándose que estos valores son menores en número y se encuentran en el extremo norte del P. T. Alto de Amados, entre los A. H. Coronel Victor Maldonado 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. En la Mapa 4.17 se presenta la distribución espacial de 5 razones espectrales representativas para este rango de periodos y en ellas se observa que los picos de frecuencias son más nítidos en el extremo sur del distrito con amplificaciones de hasta 4 veces y en el norte la forma de la curva H/V presenta amplitudes mayores 4 veces.



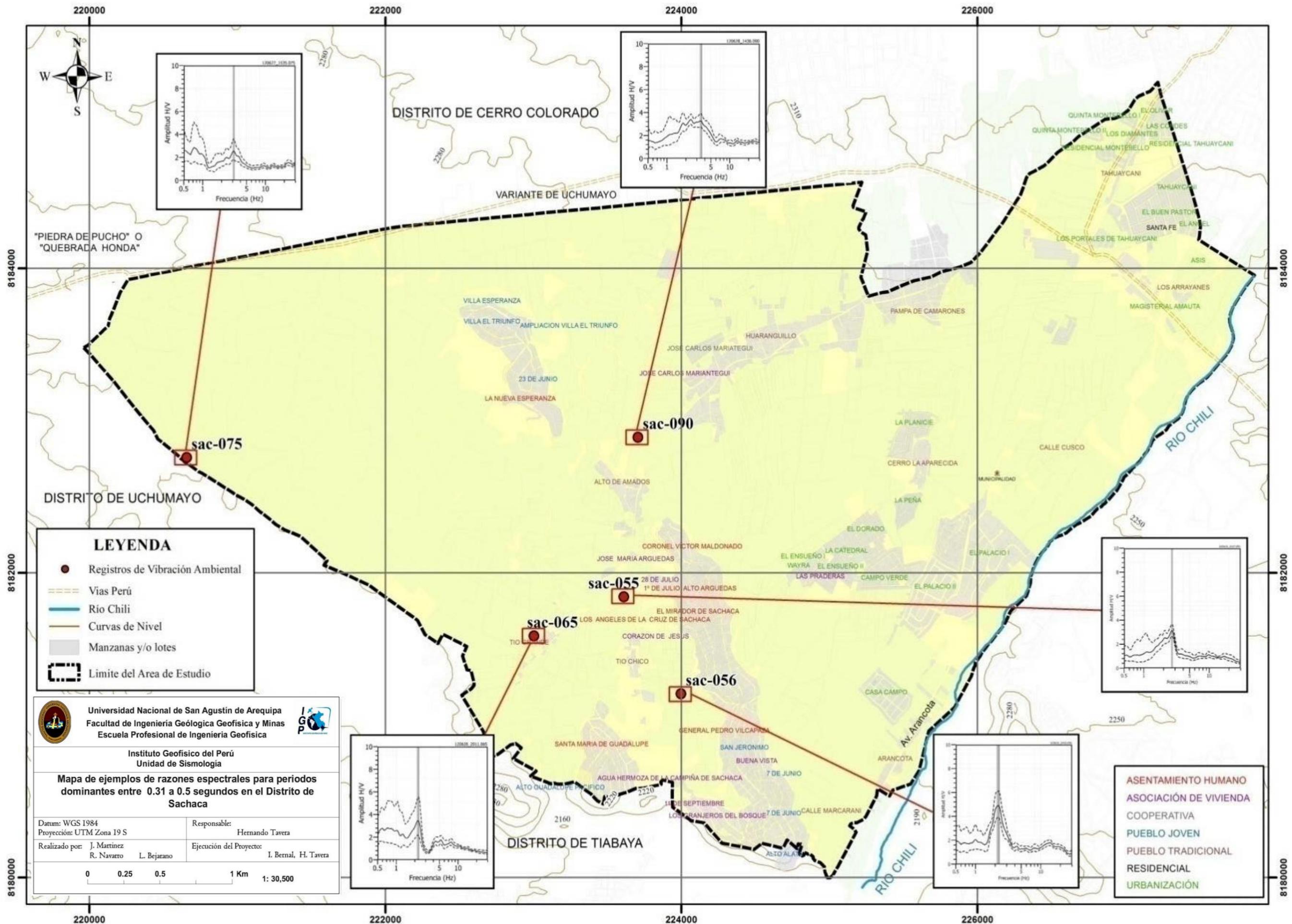
Mapa 4.14: Mapa del área de estudio y distribución espacial de periodos dominantes entre 0.1 a 0.3 segundos.



Mapa 4.15: Mapa del área de estudio y ejemplos de razones espectrales para periodos 0.1 a 0.3 seg. (3.0 a 10.0 Hz).

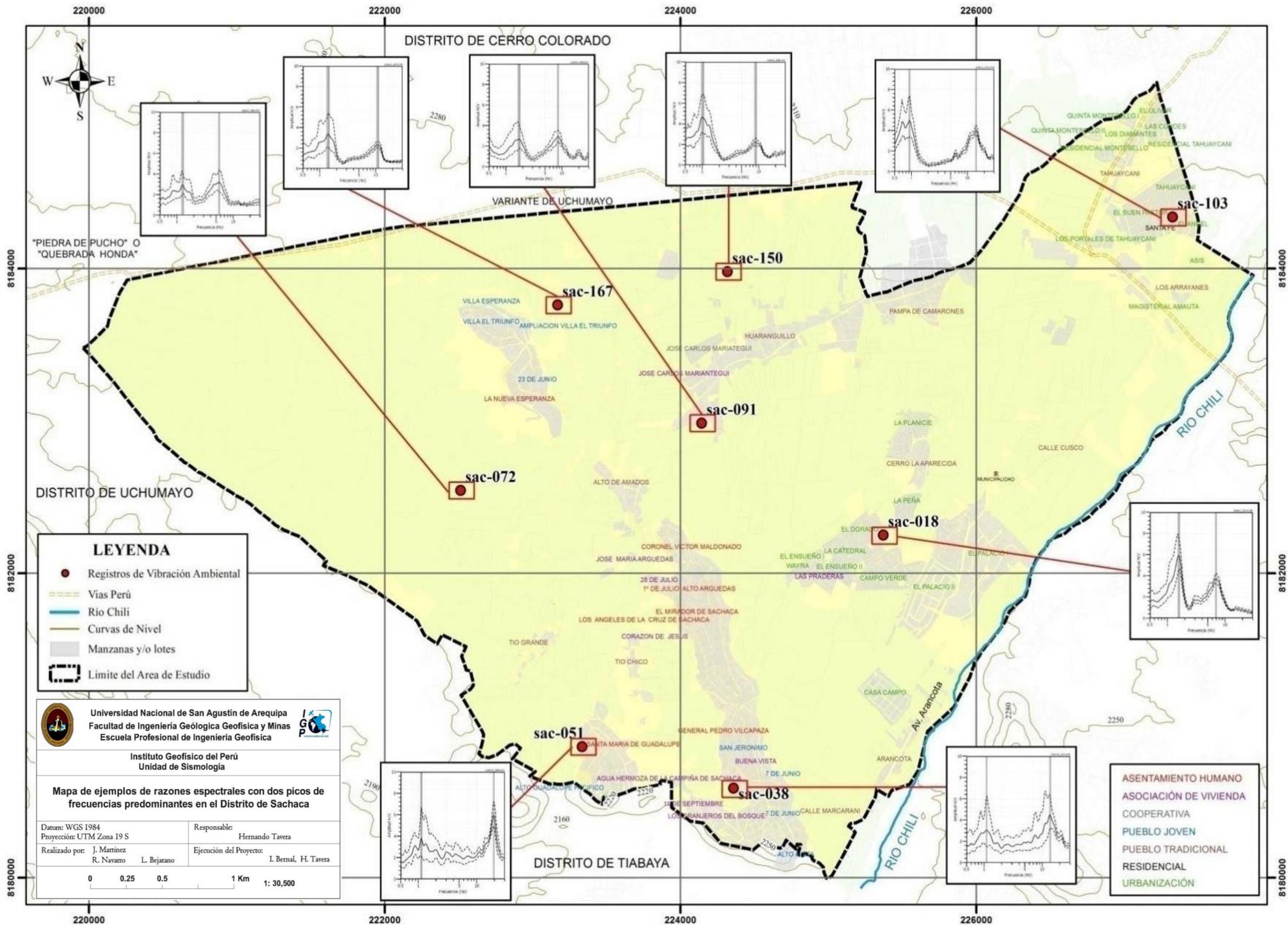


Mapa 4.16: Mapa del área de estudio y distribución espacial de periodos dominantes entre 0.31 a 0.5 segundos.

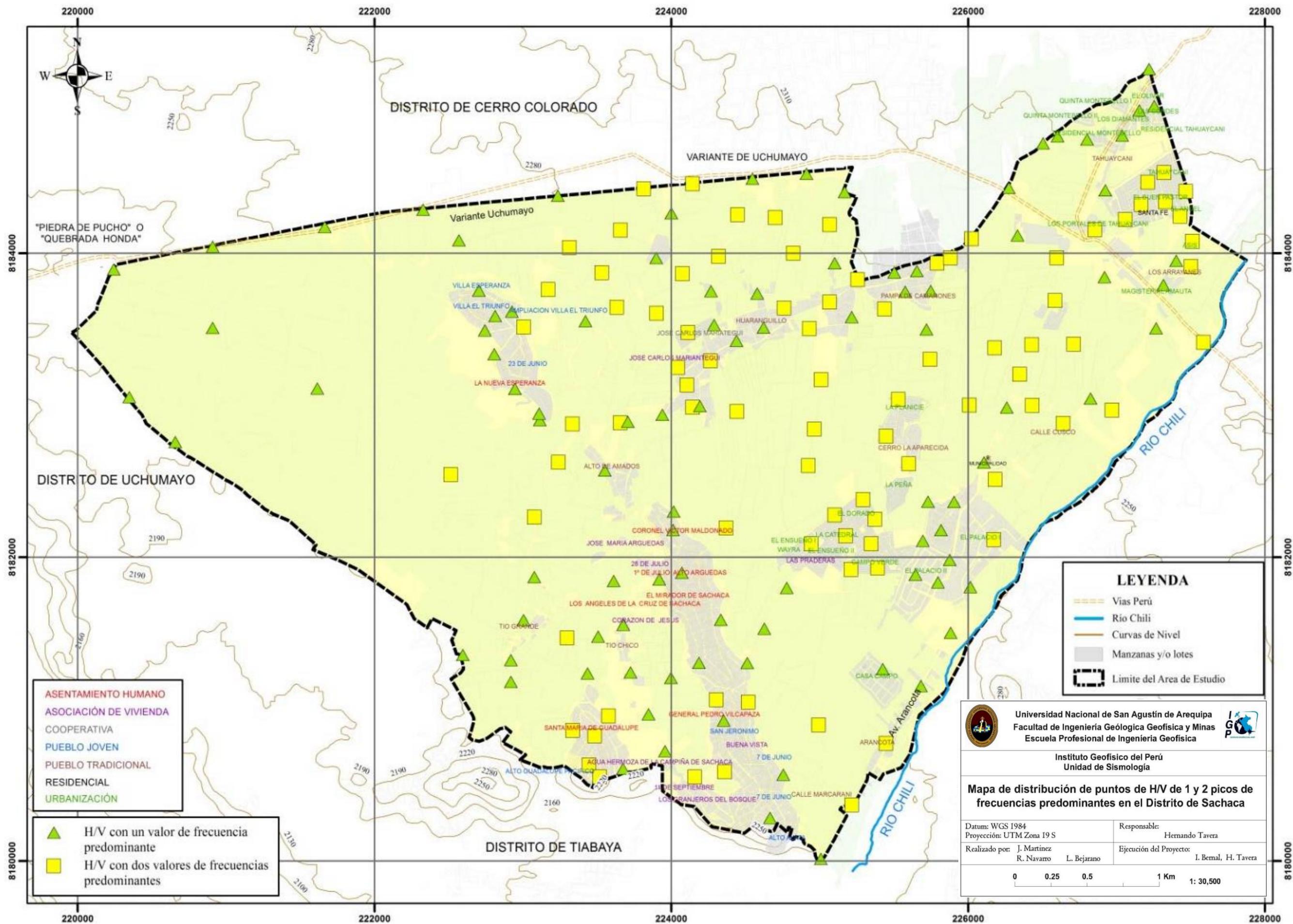


Mapa 4.17: Área de estudio y ejemplos de razones espectrales para periodos dominantes 0.31 a 0.5 seg. (2.0 y 3.0 Hz).

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 con diferente composición geológica. En el Mapa 4.18 se muestra 8 ejemplos representativos H/V correspondiente a estos suelos donde se puede observar que en el sur del distrito de Sachaca la amplitud H/V es de 4 veces y en el extremo norte, es 4 veces. En el Mapa 4.19, 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. Otras áreas pequeñas con este tipo de suelos se encuentran en dirección norte del P. T. Huaranguillo y P. J. Ampliación Villa el Triunfo, 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.



Mapa 4.18: Ejemplos de razones espectrales (H/V) en las cuales se ha identificado la existencia de dos (2) picos de frecuencias predominantes. Obsérvese las diferencias existentes entre las amplitudes de los picos de frecuencias.



Mapa 4.19: Distribución espacial de puntos de H/V en los cuales se ha identificado la existencia de uno y dos picos de frecuencias predominantes en el área del Distrito de Sachaca.

En general, en el distrito de Sachaca se ha identificado la existencia de dos rangos de periodos predominantes: el primero entre 0.1 – 0.3 s y el segundo entre 0.31 – 0.5s, y en casos se ha observado que la amplitud de las curvas H/V son mayores en el extremo sur del distrito de Sachaca, lo cual sugiere que los suelos en esa zona son menos compactos y de menor espesor (Mapa 4.19). Del mismo modo, se ha identificado, en algunos puntos de medición, la existencia de hasta dos picos de frecuencias, en rangos de periodos predominantes de 0.1 – 0.6s abarcando un 40 % del distrito, lo cual define la existencia de 2 capas de suelos heterogéneos o complejos. Finalmente, los resultados obtenidos sugieren que los suelos en el distrito de Sachaca están constituidos por una o dos capas sedimentarias de diferente espesor, pero posiblemente con similar composición geológica.

4.4.2 Aplicación MASW

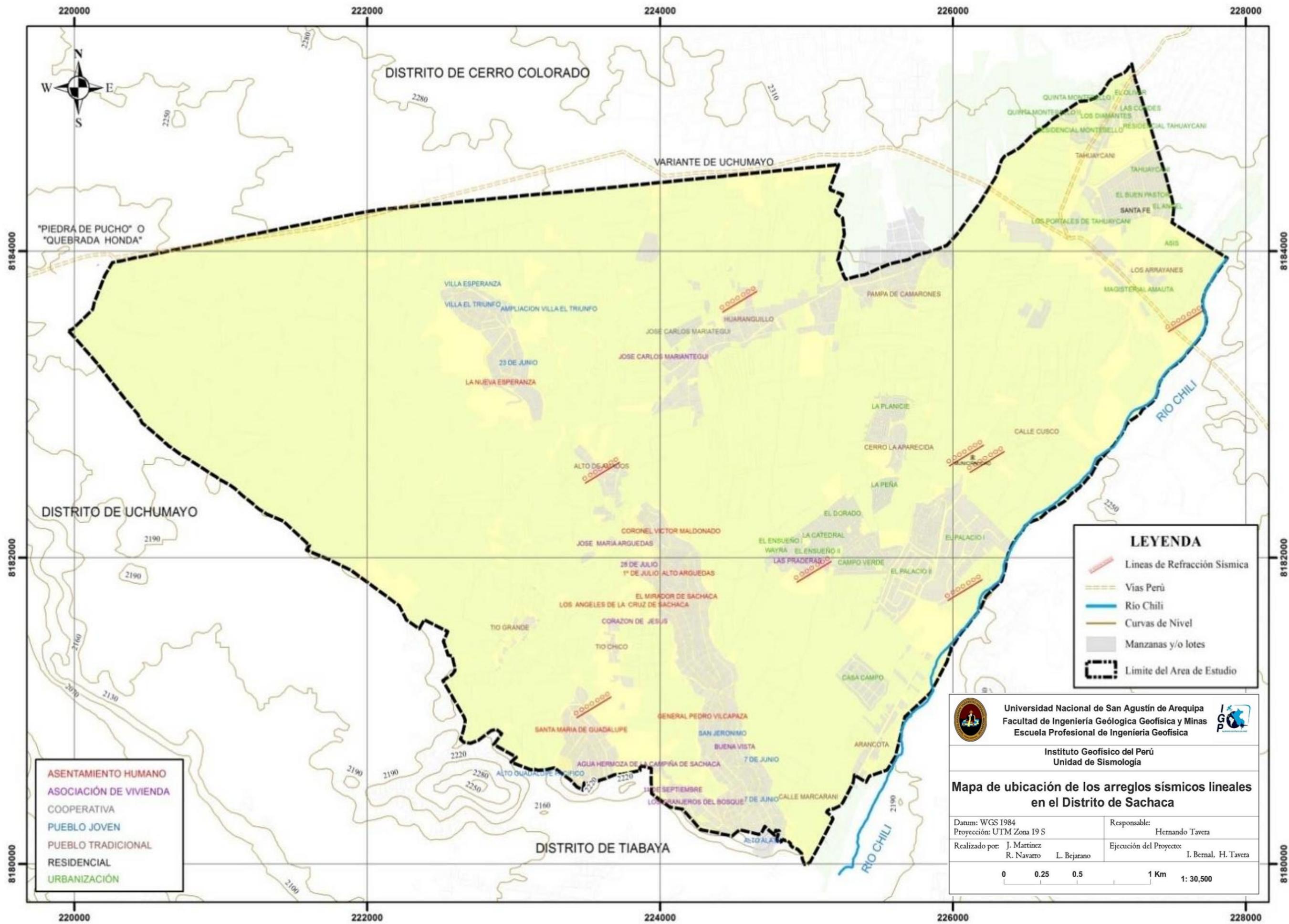
4.4.2.1 Adquisición de Datos

Para el registro de los datos sísmicos 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 110 dB. Como fuente de impacto y/o energía para generar las ondas sísmicas, se utilizó un martillo de 20 lbs (Figura 4.17). Adicionalmente, se utilizó una cinta métrica de 100 metros, para el posicionamiento de los receptores y un navegador GPS, para medir las coordenadas de la línea de tendido. 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.



Figura 4.17: Imagen de la disposición del equipo de refracción sísmica para la toma de data en el distrito de Sachaca.

En el Mapa 4.20, 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 4.18, imágenes del tendido de línea en el Estadio de Sachaca y el registro de las señales sísmicas correspondientes.




Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa
 Facultad de Ingeniería Geológica Geofísica y Minas
 Escuela Profesional de Ingeniería Geofísica


Instituto Geofísico del Perú
 Unidad de Sismología

Mapa de ubicación de los arreglos sísmicos lineales en el Distrito de Sachaca

Datum: WGS 1984	Responsable: Hernando Tavera
Proyección: UTM Zona 19 S	Ejecución del Proyecto: I. Bernal, H. Tavera
Realizado por: J. Martínez, R. Navarro, L. Bejarano	

0 0.25 0.5 1 Km 1: 30,500

Mapa 4.20: Ubicación de los tendidos de refracción sísmica en el distrito de Sachaca.

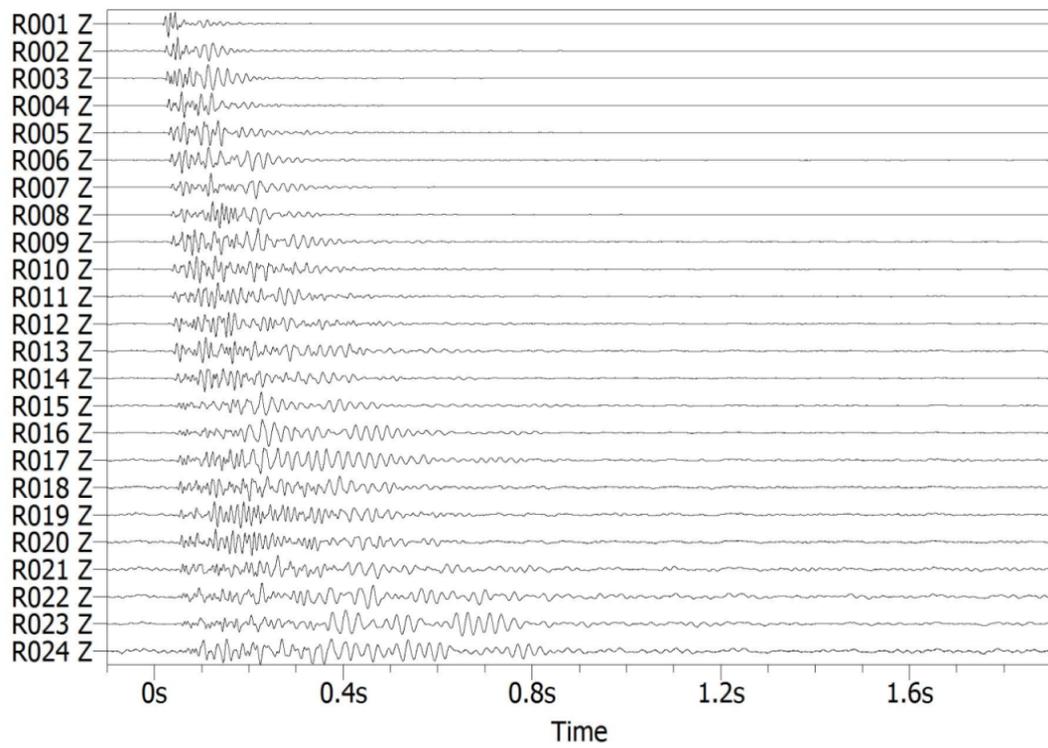


Figura 4.18: Imágenes de la disposición del equipo de refracción sísmica y registro de ondas sísmicas en el local del estadio de fútbol ubicado en el A.H. Santa María de Guadalupe.

4.4.2.2 Inversión de la curva de dispersión

La calidad del registro de las líneas 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, es decir, 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.

Las principales características de cada arreglo sísmico son:

Arreglo Lineal S001: El arreglo se realizó en los terrenos de la Universidad Católica Santa María y de acuerdo al perfil elaborado (Figura 4.19), 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 a 6 metros y velocidades V_s del orden 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.

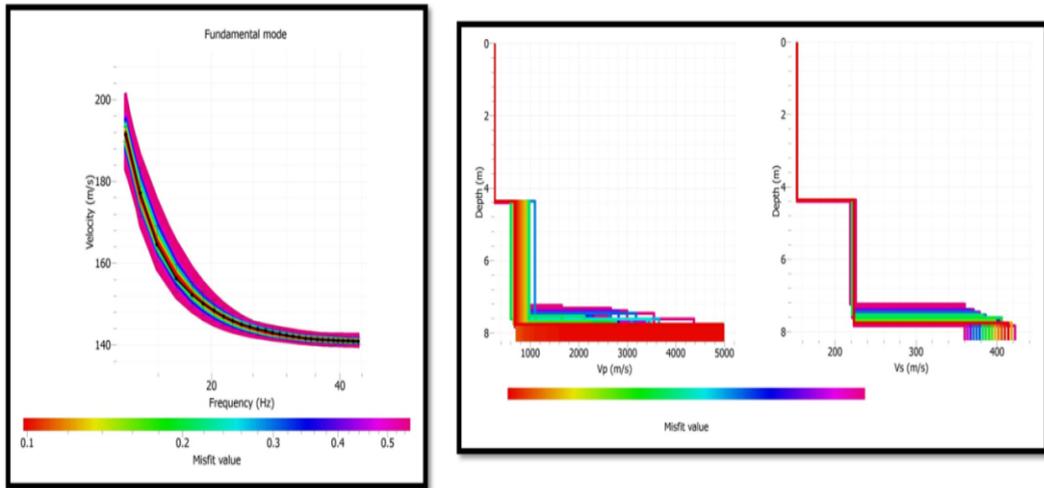


Figura 4.19: Análisis e interpretación geofísica obtenido con el método MASW para el arreglo S001.

Arreglos Lineal S002: El arreglo se realizó en el A. H. Santa María de Guadalupe y de acuerdo al perfil elaborado (Figura 4.20), se ha identificado la presencia de dos capas: La primera presenta espesores de hasta 3.5 metros con velocidades Vs de 200 m/s correspondiente a suelos duros, y 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.

S002: A. H. SANTA MARIA DE GUADALUPE

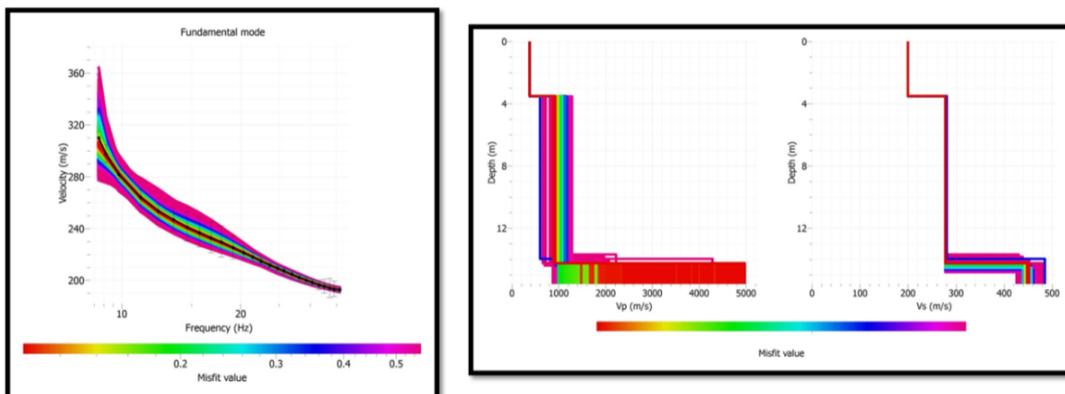


Figura 4.20: Análisis e interpretación geofísica obtenido con el método MASW para el arreglo S002.

Arreglos Lineal S003: El arreglo se realizó en el P.T. Alto de Amados y de acuerdo al perfil elaborado (Figura 4.21), se ha identificado la presencia de dos capas: La primera presenta espesores de hasta 13 metros con velocidades V_s de 300 m/s correspondiente a suelos duros y la segunda presenta espesores de 4 metros y velocidades V_s alrededor de 480 m/s, correspondientes a suelos muy duros o rocas blandas. 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 en esta zona, la primera capa sedimentaria presenta mayor espesor, además de importantes diferencias en sus valores de V_s .

S003: P. T. ALTO DE AMADOS

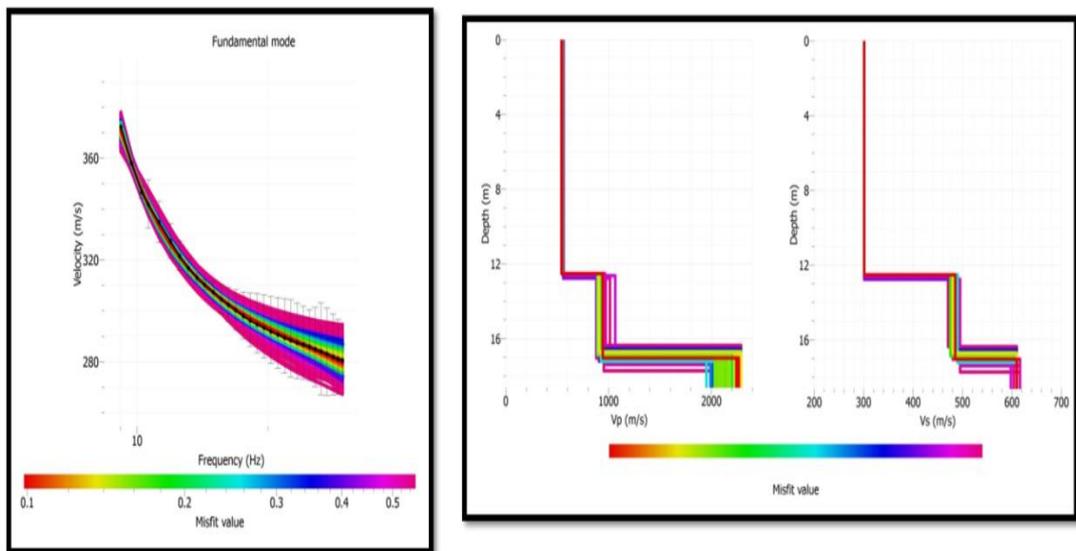


Figura 4.21: Análisis e interpretación geofísica obtenido con el método MASW para el arreglo S003.

Arreglos Lineal S004: El arreglo se realizó en el P.T. Huaranguillo y de acuerdo al perfil elaborado (Figura 4.22), se ha identificado la presencia de dos capas: La primera presenta espesores de hasta 4.6 metros con velocidades V_s de 180 m/s correspondiente a suelos blandos ya la segunda presenta espesores de 4.2 metros y velocidades V_s alrededor de 290 m/s, correspondientes a suelos duros. La superficie de contacto con la siguiente capa, alcanza velocidades V_s 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.

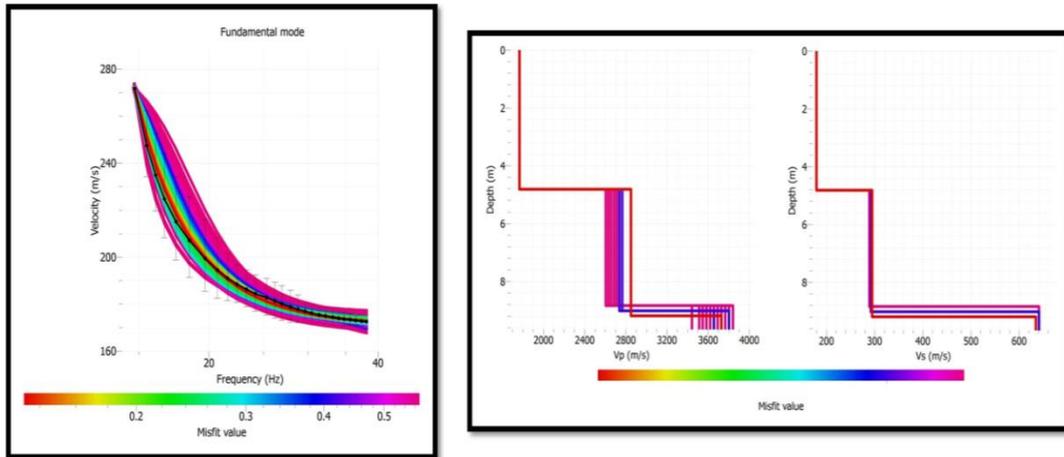


Figura 4.22: Análisis e interpretación geofísica obtenido con el método MASW para el arreglo S004.

Arreglos Lineal S005: El arreglo se realizó en la Urb. El Ensueño y de acuerdo al perfil elaborado (Figura 4.23), se ha identificado la presencia de dos capas: La primera presenta espesores de hasta 1.8 metros con velocidades V_s de 160 m/s correspondiente a suelos blandos y la segunda, presenta espesores de 4.2 metros 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.

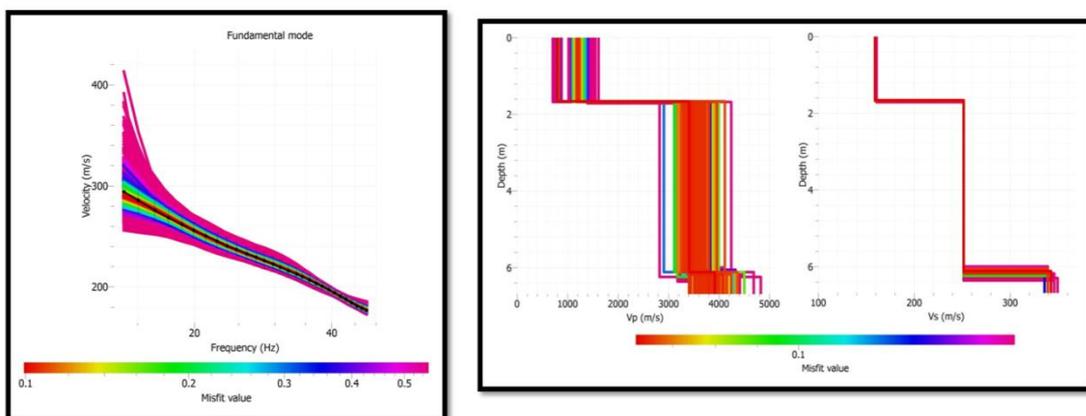


Figura 4.23: Análisis e interpretación geofísica obtenido con el método MASW para el arreglo S005.

Arreglos Lineal S006: El arreglo se realizó en la Urb. El Palacio I y de acuerdo al perfil elaborado (Figura 4.24), 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.

S006: URBANIZACIÓN EL PALACIO I

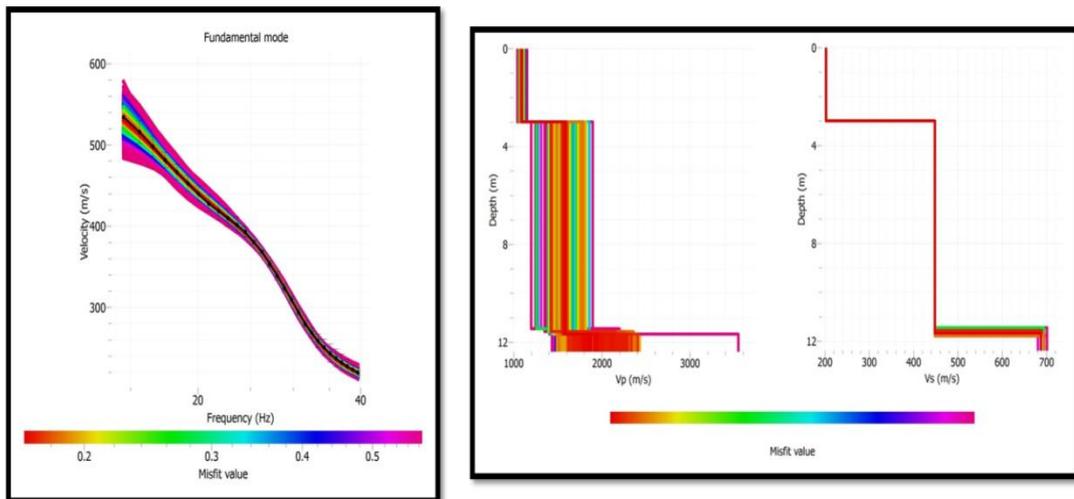


Figura 4.24: Análisis e interpretación geofísica obtenido con el método MASW para el arreglo S006.

Arreglos Lineal S007: El arreglo se realizó en el P.T. Arrayanes y de acuerdo al perfil elaborado (Figura 4.25), se ha identificado la presencia de dos capas: La primera presenta espesores de hasta 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.

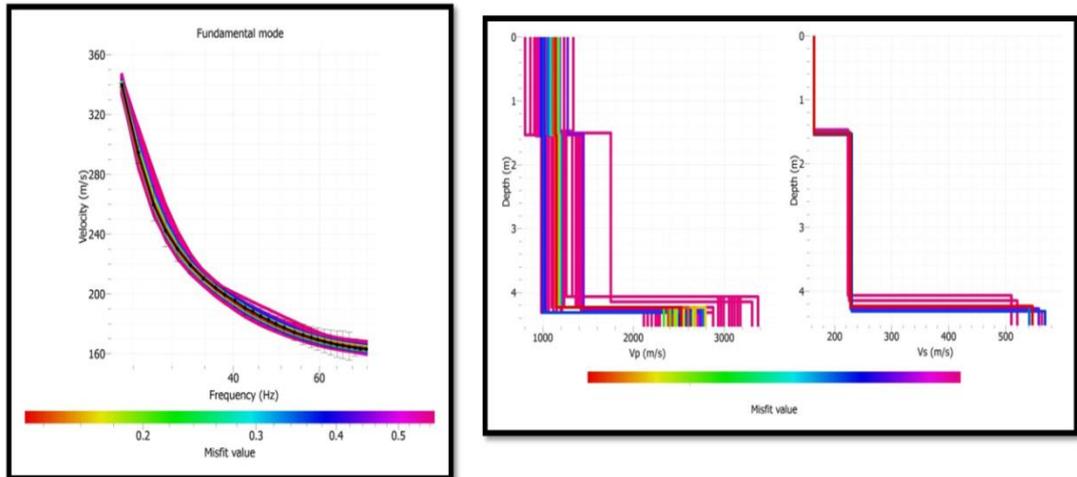


Figura 4.25: Análisis e interpretación geofísica obtenido con el método MASW para el arreglo S007.

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 4.26), 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

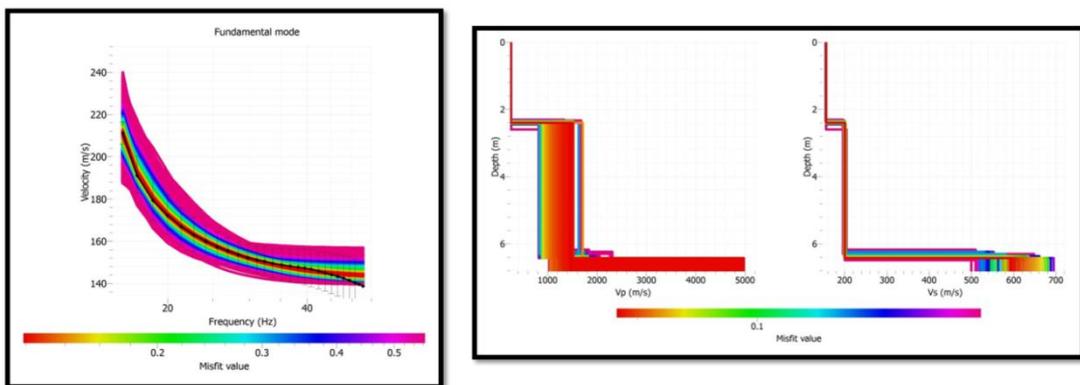


Figura 4.26: Análisis e interpretación geofísica obtenido con el método MASW para el arreglo S008.

Una manera de evaluar los valores de velocidad de ondas Vs 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 4.27 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.

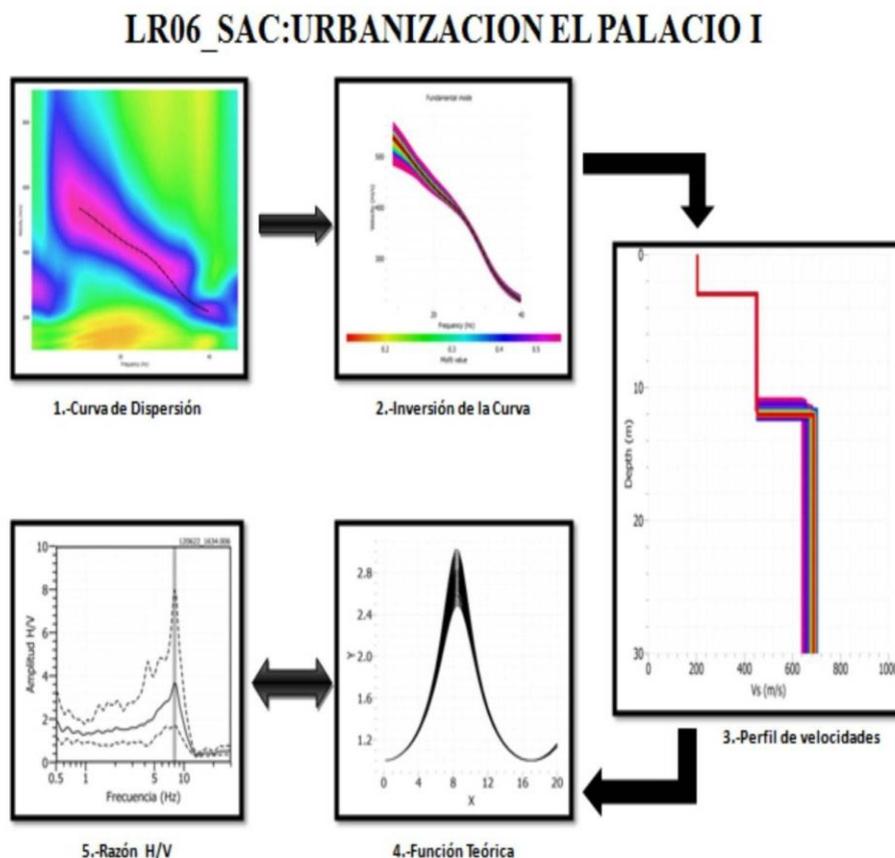


Figura 4.27: Análisis e interpretación geofísica obtenido para el Arreglo Lineal S006. Los números indican el orden de los pasos a seguir en el procesamiento y análisis de la información sísmica.

El resumen de los valores obtenidos en este estudio para las velocidades de ondas Vs en cada capa y línea de refracción son presentados en la Tabla 4.24. En las zonas de la Universidad Católica Santa María, P. T. Huaranguillo, Urb. Ensueño y el Estadio Municipal Sachaca, se ha identificado la presencia de suelos blandos en la primera capa y suelos duros en la segunda. En el A. H. Santa María de Guadalupe se ha identificado suelos duros en la primera y segunda capa, y las zonas de los P. T. Alto Amados y Arrayanes, además de la Urb. el Palacio las capas corresponden a suelos duros en la primera capa y suelos muy duros o rocas muy blandas en la segunda capa. Estos resultados son coherentes con los obtenidos a partir del método H/V y confirman que los suelos en el distrito de Sachaca son muy heterogéneos, tanto en su composición física como en los espesores de sus capas sedimentarias. Sin embargo, son pocas las áreas urbanas ubicadas en los suelos blandos y por tanto, se espera que a la sollicitación sísmica, los suelos del distrito de Sachaca sean dinámicamente estables.

Tabla 4.24: Valores de espesor y velocidad para las 8 líneas de refracción sísmica.

Línea	Lugar	Espesor capa 1 (m)	Espesor capa 2 (m)	Velocidad capa 1 (m/s)	Velocidad capa 2 (m/s)	Velocidad en la superficie de contacto (m/s)
S001	Universidad Católica Santa María.	4.5	2.6	150	220	380
S002	A.H. Santa María de Guadalupe.	3.5	11	200	280	450
S003	P.T. Alto de Amados.	13	4	300	480	600
S004	P.T. Huaranguillo.	4.6	4.2	180	290	640
S005	Urb. Ensueño.	1.8	4.2	160	250	340
S006	Urb. El Palacio.	3	8.5	200	440	690
S007	P.T. Arrayanes.	1.5	2.5	220	530	530
S008	Estadio Municipal de Sachaca.	2.4	3.5	160	220	600

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS Y ZONIFICACIÓN

Las precipitaciones son las causantes del aumento del caudal de los ríos que, al llegar a sobrepasar su nivel de almacenamiento, provocará el desborde ocasionando la inundación. Si junto al río se encuentran centros poblados o terrenos agrícolas, estos serán los más afectados.

Los terremotos destructivos recientes han demostrado la importancia de la amplificación del movimiento sísmico debido a efectos locales provocada por la calidad de los suelos. Esto es debido a que en los últimos años se ha visto el gran interés de proponer precedentes para clasificar los suelos considerando su comportamiento dinámico a escala local. La aplicación de métodos y técnicas geofísicas y geológicas han permitido, hoy en día, realizar la zonificación sísmica geotécnica de diversas ciudades a nivel internacional. Esta información es útil para la clasificación y uso apropiado del suelo, así como la adopción de medidas conducentes a la reducción de los daños y pérdidas ocasionadas por los terremotos en cualquier zona de estudio

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. Así mismo, en los últimos 20 años, el distrito de Sachaca ha presentado un fuerte crecimiento poblacional, permitiendo su expansión urbana no planificada ya que considera el asentamiento de viviendas al pie de algunos cerros y en la cercanía de la

cuenca del río Chili (Figura 5.1), incrementando de este modo su riesgo ante la posible ocurrencia de peligros naturales como los sismos, crecidas del río y efectos secundarios.

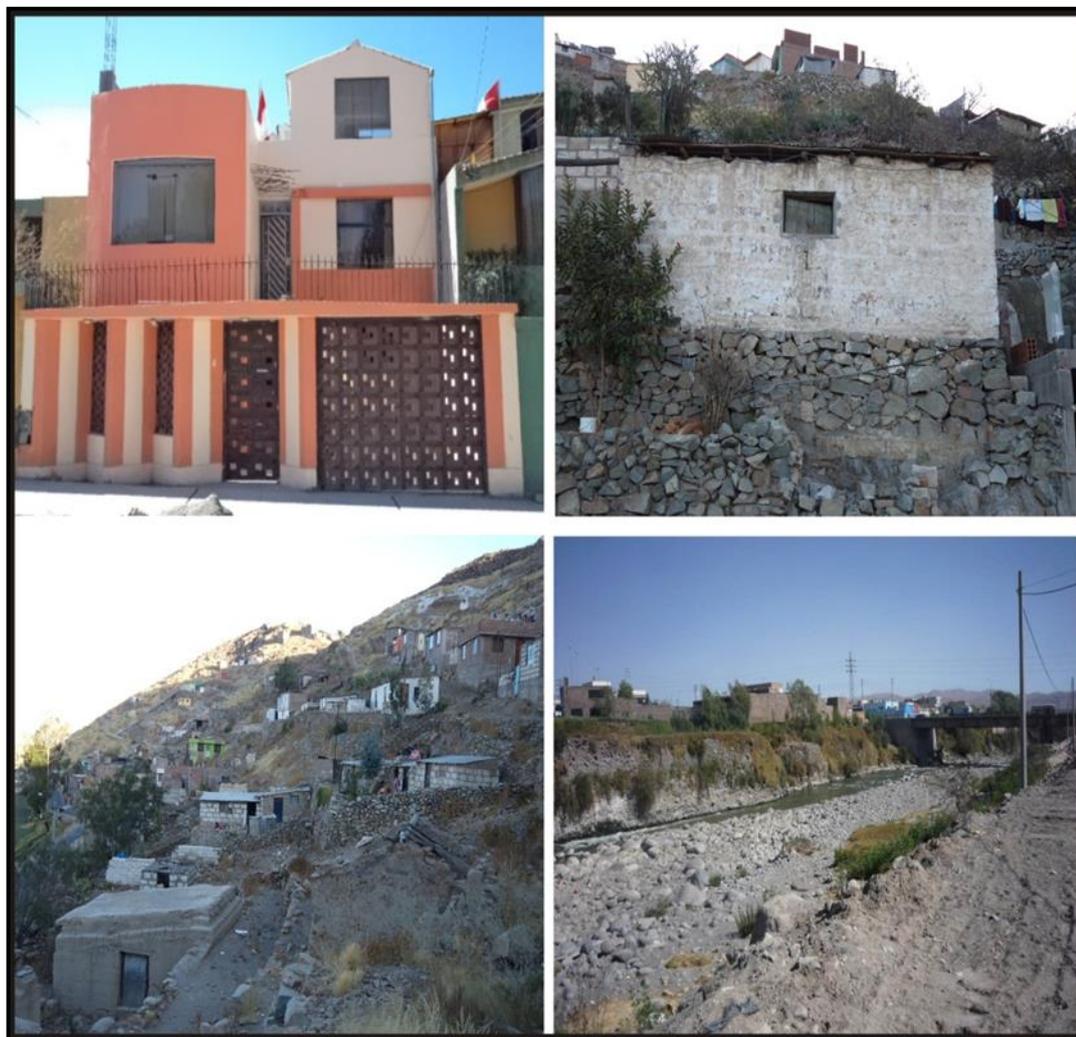


Figura 5.1: Diferentes tipos de viviendas presentes en la variada morfología del Distrito de Sachaca.

5.1 Zonificación por inundación

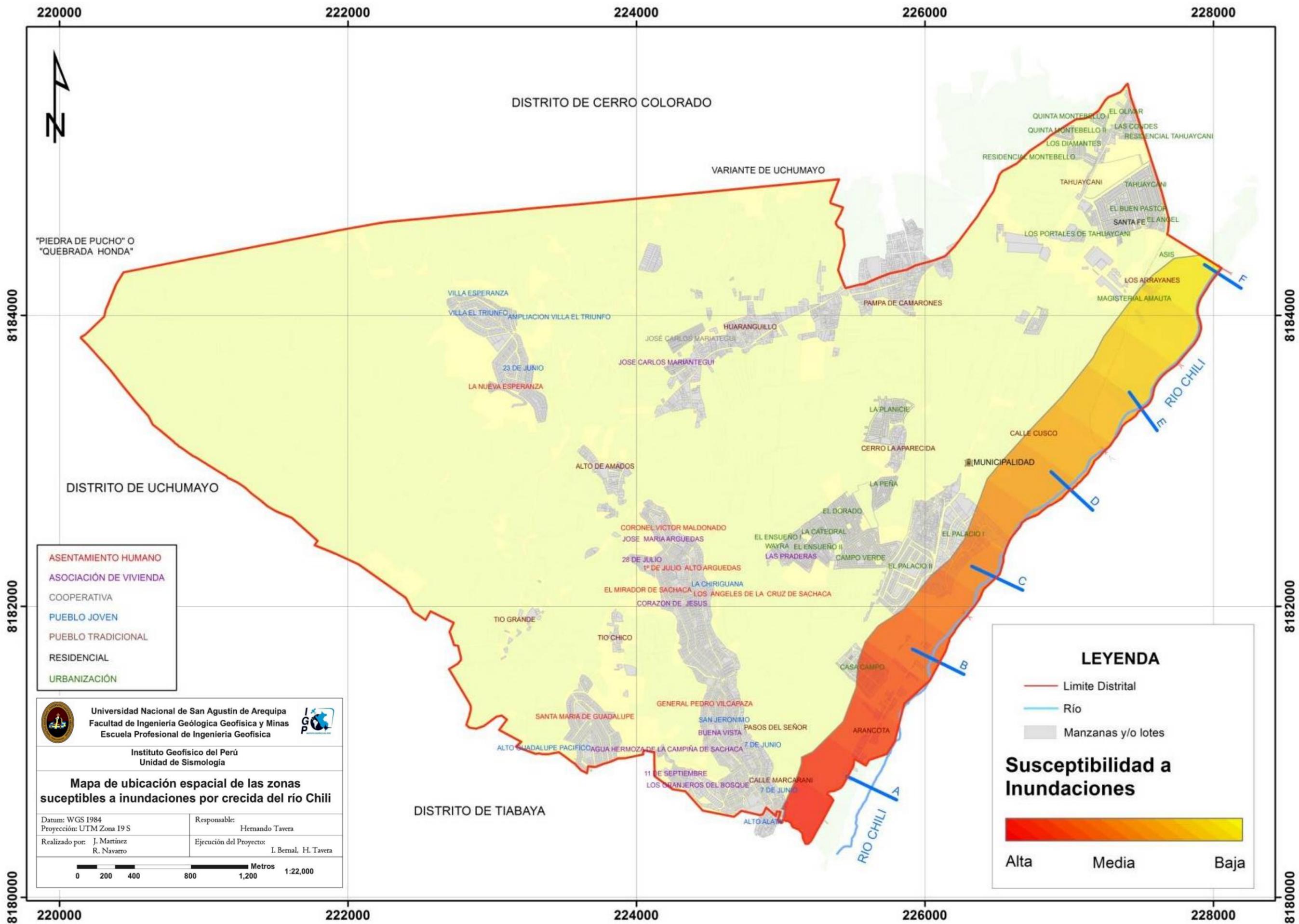
El distrito de Sachaca tiene como límite al río Chili en su extremo SE a lo largo de aproximadamente 5 km, abarcando los sectores del P.T. Arrayanes, terreno del ex-Mercado La Parada y la zona del P.T. Arancota. Históricamente todas estas áreas han sido afectadas por precipitaciones e inundaciones de manera recurrente; por lo tanto, es necesario realizar simulaciones teóricas sobre los escenarios de inundación a fin de elaborar documentos teóricos que facilitan la toma de decisiones de prevención por parte de la población y autoridades del distrito de Sachaca.

Para este objetivo se realizaron visitas in situ a fin de revalidar información histórica sobre las inundaciones y con apoyo de la municipalidad de Sachaca se tomaron datos de topografía local a fin de proceder con la simulación de inundación.

Actualmente, el software HEC-RAS es uno de los más utilizados para la modelización hidráulica de cauces; es decir, es indispensable para la resolución de problemas pluviales y para la delimitación de zonas de inundación. Para la simulación de escenarios de inundación en el distrito de Sachaca se consideró los índices de máxima precipitación anual y el levantamiento topográfico en detalle. Los resultados obtenidos muestran la existencia de 6 zonas críticas cuyas coordenadas se muestran en la tabla 5.1 y sus principales características son (Mapa 5.1).

Tabla 5.1: 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



Mapa 5.1: Mapa de ubicación espacial de las zonas susceptibles a inundaciones por crecida del río Chili, todas denotadas por letras de la A hasta la F.

Zona “A” (Figura 5.2), P.T. Arancota. En la zona el río presenta un ancho promedio de 38 m con una profundidad de 0.75 m (sección topográfica A-A´) y un caudal promedio de 15.4 m³/seg (SENAMHI, junio 2012). En la zona se observa la presencia de un enrocado que funciona como muro de contención en la margen derecha del río y 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 m³/seg afectando a viviendas y terrenos agrícolas más cercanos a este.

Zona susceptible a inundación “A”

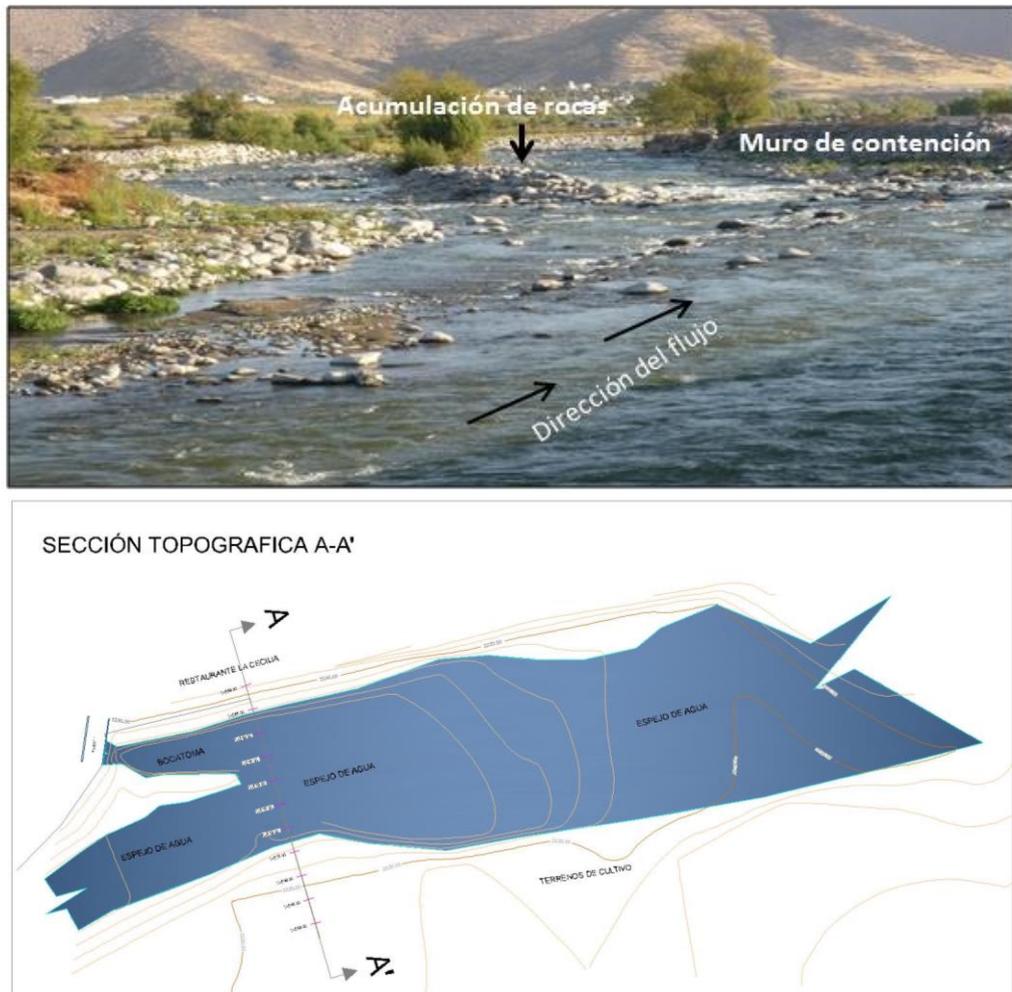


Figura 5.2: Principales características geomorfológicas en la Zona “A” susceptible a inundación.

Zona “B” (Figura 5.3), 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 topográfica B-B´) y en promedio, presenta un caudal de 15.4 m³/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 m³/seg afectando urbanizaciones y terrenos agrícolas más cercanos a este.

Zona susceptible a inundación “B”

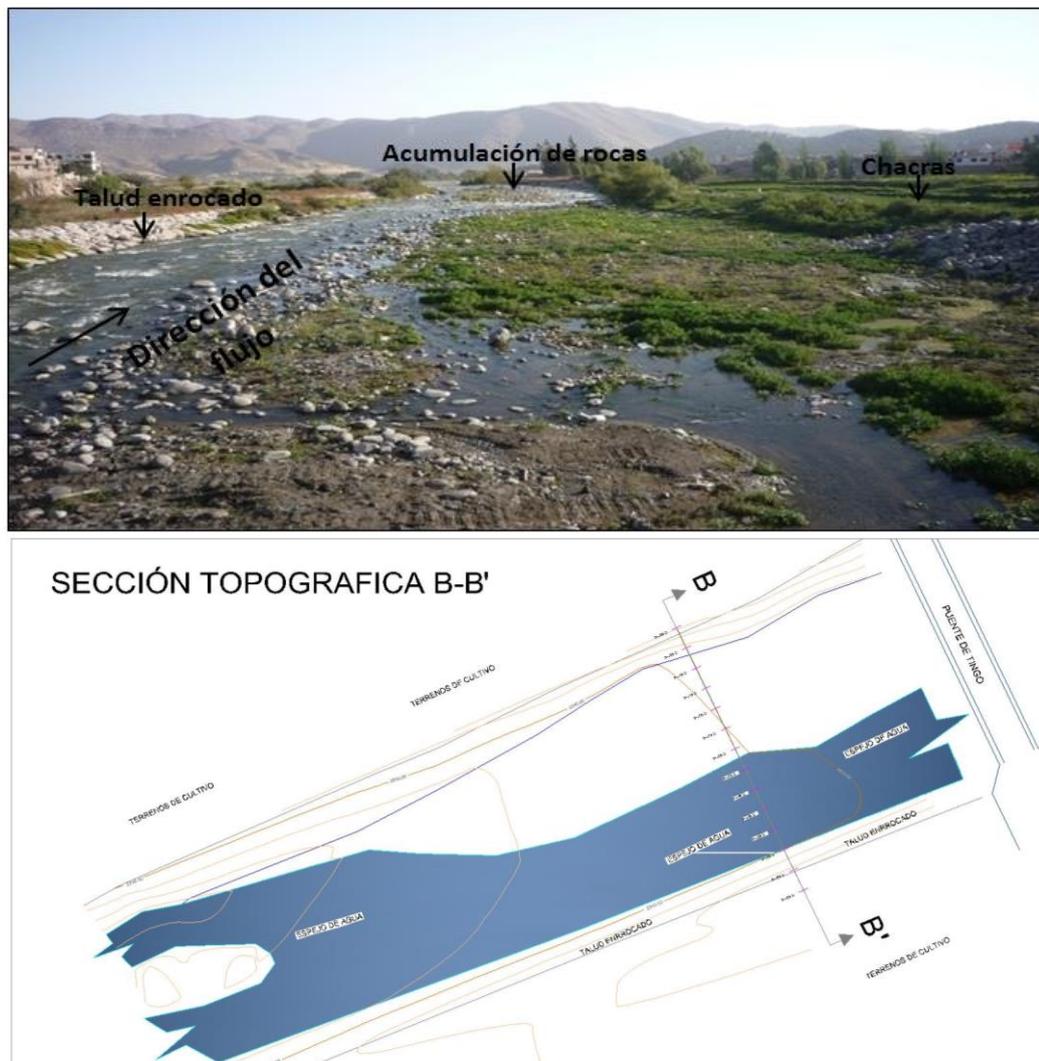


Figura 5.3: Principales características geomorfológicas en la Zona “B” susceptible a inundación.

Zona “C” (Figura 5.4), 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 del orden de $15.4\text{m}^3/\text{seg}$ (SENAMHI, junio 2012). En el margen izquierdo del río se observa la existencia de un muro de contención, un enrocado en su margen derecha; 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 susceptible a inundación “C”

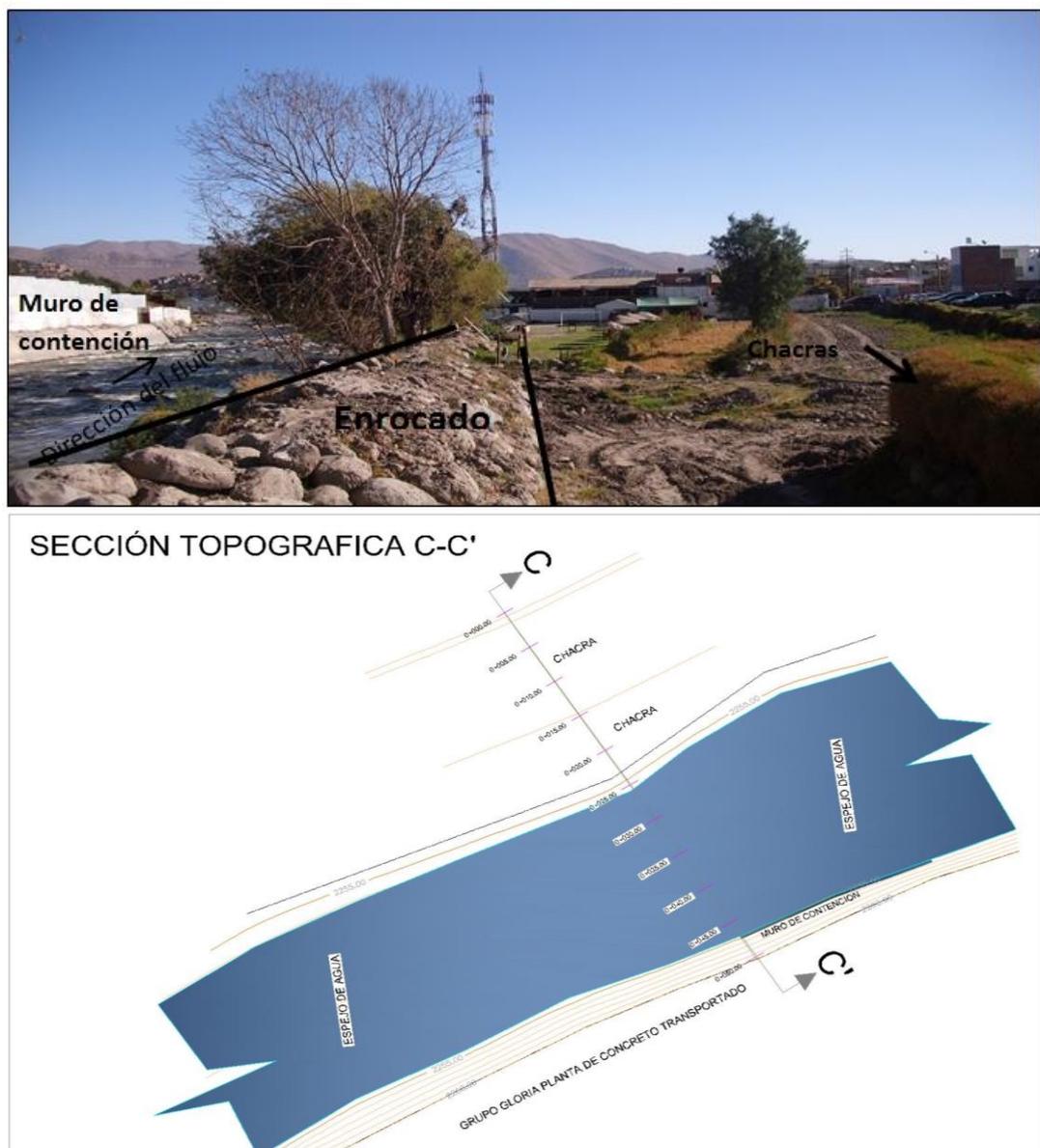


Figura 5.4: Principales características geomorfológicas en la Zona “C” susceptible a inundación.

Zona “D” (Figura 5.5), 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 m³/seg (SENAMHI, junio 2012). En la zona se observa la presencia de un muro de contención en la margen izquierda y un enrocado en su margen derecha, así como terrenos agrícolas y áreas deportivas perteneciente al Colegio de Contadores.

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 m³/seg afectando a urbanizaciones y terrenos agrícolas más cercanos a este.

Zona susceptible a inundación “D”

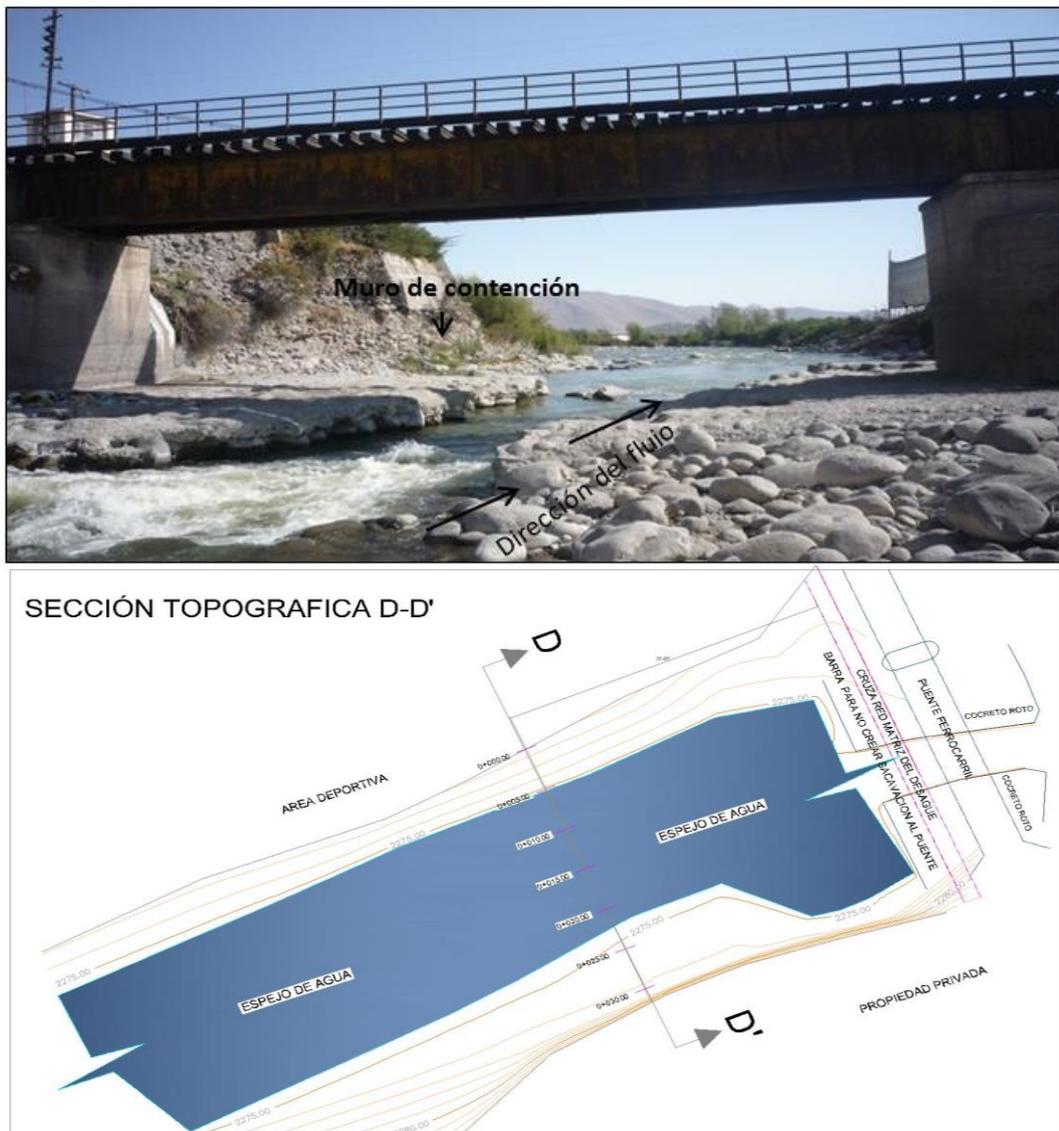


Figura 5.5: Principales características geomorfológicas en la Zona “D” susceptible a inundación.

Zona “E” (Figura 5.6), 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 $15.4 \text{ m}^3/\text{seg}$ (SENAMHI, Junio 2012). En la zona se tiene la presencia de terrazas agrícolas en la margen izquierda del río 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 inundaciones “E”

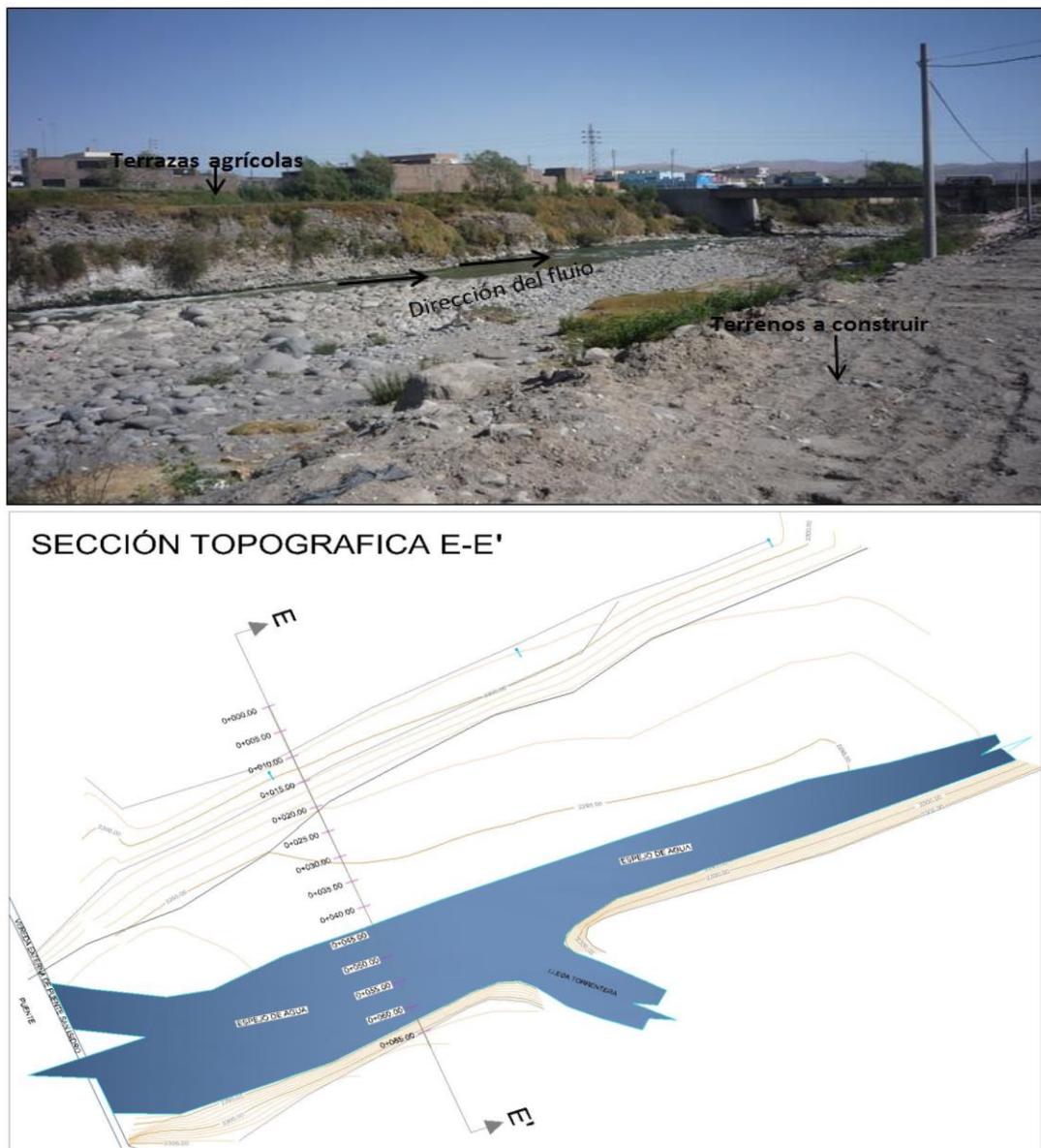


Figura 5.6: Principales características geomorfológicas en la Zona “E” susceptible a inundación.

Zona “F” (Figura 5.7), 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 15.4 m³/seg (SENAMHI, Junio 2012). En la zona se observa la presencia de terrenos agrícolas en ambas márgenes, además de un importante escenario de erosión fluvial causada por el aumento temporal del caudal del río

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.

Zona susceptible a inundación “F”

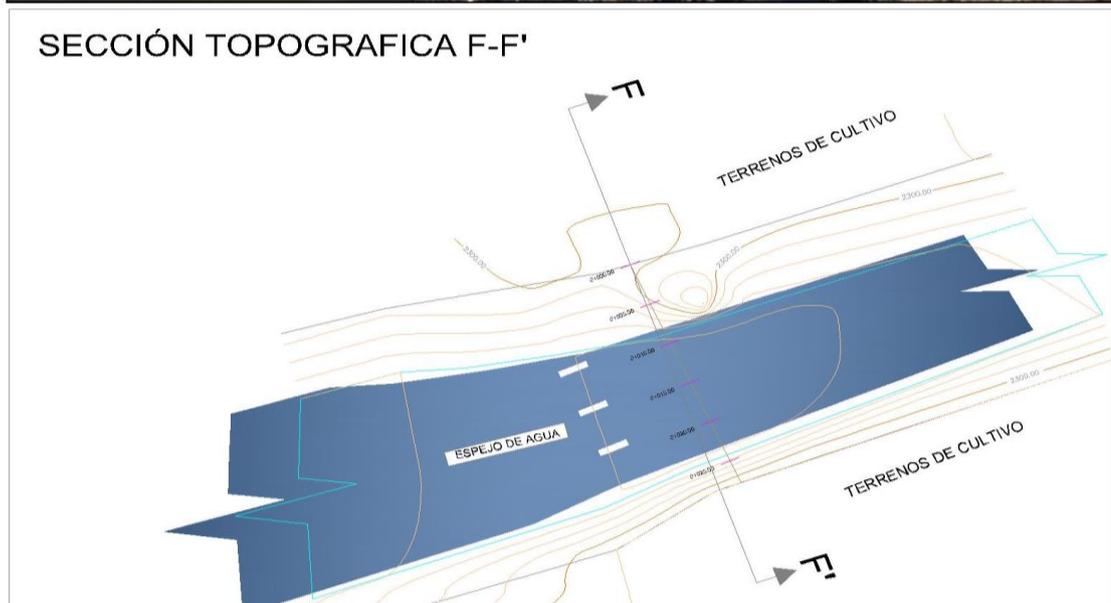
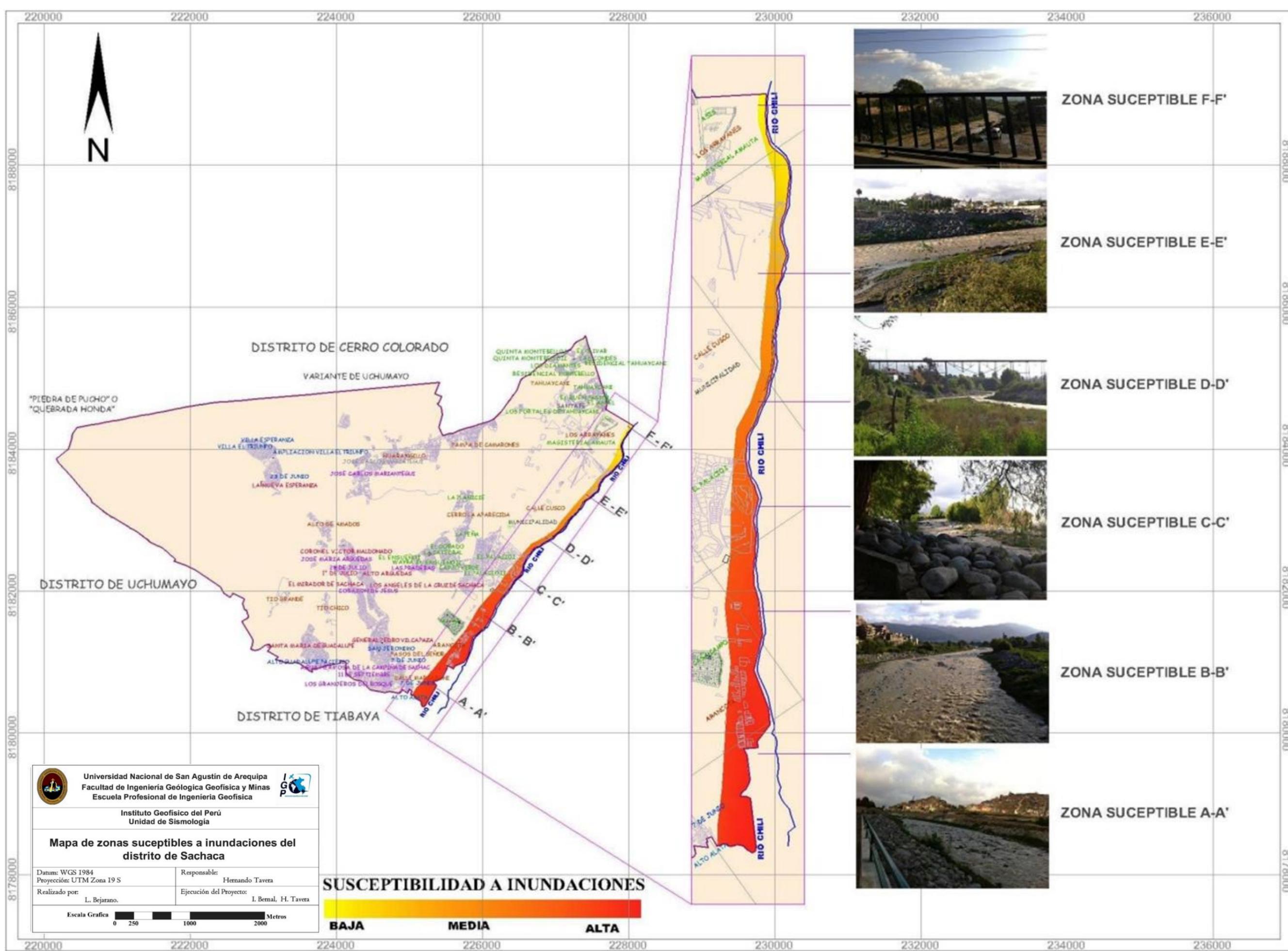


Figura 5.7: Principales características geomorfológicas en la Zona “F” susceptible a inundación.

De acuerdo a los resultados (Mapa 5.2) se concluye que las áreas que involucra a los perfiles A, B y C son los más susceptibles a inundaciones debido a que las márgenes del río presentan cotas más bajas, 2207 m.s.n.m (Sección Topográfica A-A´), 2227 m.s.n.m (Sección Topográfica B-B´) y ,2244 m.s.n.m (Sección Topográfica C-C´). En estas zonas el río se desbordaría con caudales superiores de 170 m³/seg. En los perfiles D, E y F el peligro es moderado, debido a que las áreas de los márgenes del río presentan cotas de 2263 m.s.n.m (Sección Topográfica D-D´), 2273 m.s.n.m (Sección Topográfica E-E´), 2275 m.s.n.m (Sección Topográfica F-F´), el río se desbordaría con caudales superiores de 200 m³/seg.

En conclusión, La aplicación de métodos numéricos de simulaciones realizadas en las mismas zonas confirma lo observado en campo. En el extremo Este del distrito de Sachaca y a lo largo del río Chili, la zona de alto riesgo para inundaciones se encuentra entre el pueblo tradicional Arancota y la Urb, El Palacio debido principalmente a su cota próxima al caudal del río Chili. Es necesario que la población y las autoridades desarrollen actividades de Gestión de Riesgo de Desastres a fin de reducir la vulnerabilidad de la población expuesta.



Mapa 5.2: Mapa zoom de zonas susceptibles a inundaciones.

5.2 Análisis de la Norma de Diseño Sismoresistente (E-030)

En la mayoría de los países del mundo donde los terremotos constituyen un peligro se han adoptado una serie de normativas de construcción con el objeto de prevenir daños en estructuras. Estas normativas constituyen un importante paso en la prevención y reducción de daños, y una solución parcial al problema del riesgo sísmico, ya que tienen en cuenta la peligrosidad sísmica para la construcción como estructuras de viviendas y edificios y obras de ingeniería.

En la actualidad, en Perú la construcción de obras civiles de cualquier envergadura se basa en la Norma de Diseño Sismoresistente E-030 (2003), la cual clasifica a los suelos en función de sus propiedades mecánicas, espesor del estrato, período fundamental de vibración y la velocidad de propagación de las ondas de corte. Según la norma antes indicada, los suelos son de cuatro tipos (Tabla 5.2):

5.2.1 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.

5.2.2 Suelos intermedios (Tipo S2)

Suelos con características intermedias entre las indicadas para los suelos S1 y S3.

5.2.3 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.

5.2.4 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.

Tabla 5.2: Parámetros del suelo según la Norma E-030 (2003).

Tipo	Descripción	T_p (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 y S para este caso serán establecidos por el especialista, pero en ningún caso serán menores que los especificados para el perfil tipo S₃.

Para la obtención del mapa de Zonificación Sísmica-Geotécnica se procede a delimitar zonas que clasifican el comportamiento del terreno conforme a la Norma de Diseño Sismoresistente E-030. Una extensión para esta clasificación de suelos, fue implementada por el Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres y el Instituto Geofísico del Perú para su aplicación en los estudios de zonificación sísmica – geotécnica de los distritos de Lima y Callao, ver Figura 5.8. 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, se procedió a realizar su identificación y zonificación.

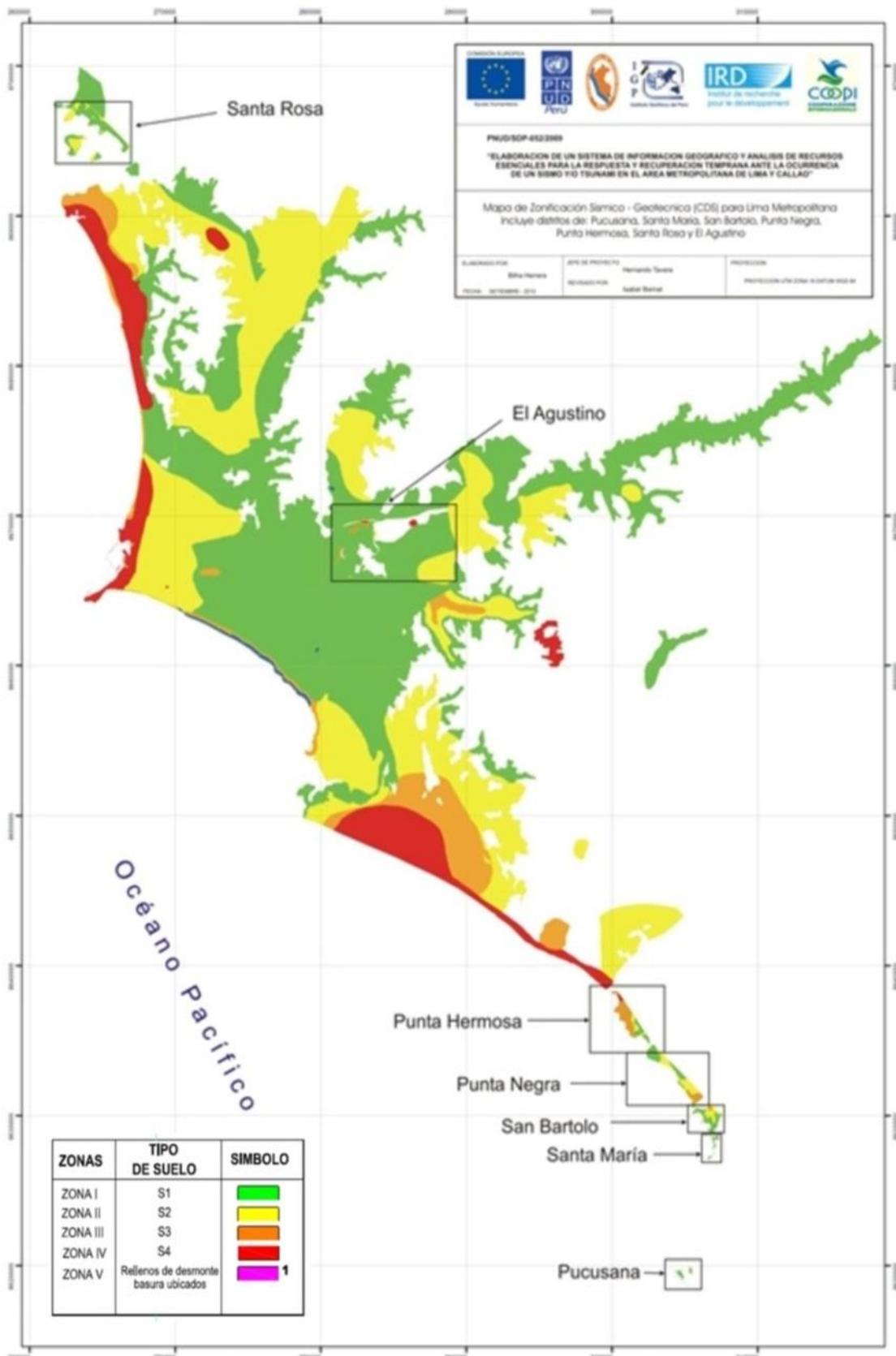


Figura 5.8: Mapa de Zonificación de suelos para Lima Metropolitana elaborado por el CISMID (APESEG, 2005) y el IGP (distritos en recuadro) dentro del proyecto PNUD (PNUD, 2010).

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 5.2. La zonificación de suelos propuesta por la Norma E030 es la siguiente:

- **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 Sismoresistente 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 Sismoresistente 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 Sismoresistente 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 Sismoresistente 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.

5.3 Resultados y discusión

De acuerdo a los resultados obtenidos en este estudio, aplicando diversos métodos y técnicas geofísicas y geológicas, para el área urbana del distrito de Sachaca se han obtenido los siguientes resultados.

5.3.1 Análisis geodinámico

Las laderas con alto riesgo en el distrito de Sachaca son la ladera L-24 sobre la cual se encuentra el P.J. Villa el Triunfo con un factor de seguridad inestable de 0.945, las laderas L-09 en el P.J. José María Arguedas; y L-12, L-14 en el P.J. Corazón de Jesús, presentan un factor de seguridad precario de 1.113, 1.162, 1.192 respectivamente. Las laderas L-01 ubicadas en el P.J. 7 de Junio y L-23 en el P.J. villa el Triunfo, presentan un factor de seguridad inestable - precario de 1.178 – 0.885 y 1.003 – 0.868. En todas las demás laderas, el factor de seguridad es estable. La diversidad de construcciones presentes en estas laderas se encuentra en riesgo y en caso que ocurra un sismo de gran magnitud, los suelos pueden desgranarse afectando a las construcciones emplazadas en estos cerros perjudicando directamente a la población (Ver figuras 5.9, 5.10, 5.11, 5.12,).



Figura 5.9: Se observa las viviendas que pueden ser afectadas por deslizamientos en el P.J. Villa el Triunfo.



Figura 5.10: Viviendas que pueden verse afectadas por deslizamientos en el P.J. José María Arguedas.



Figura 5.11: Viviendas que pueden verse afectadas por deslizamientos en el P.J. Corazón de Jesús.



Figura 5.12: Viviendas que pueden verse afectadas por deslizamientos en el P.J. 7 de Junio.

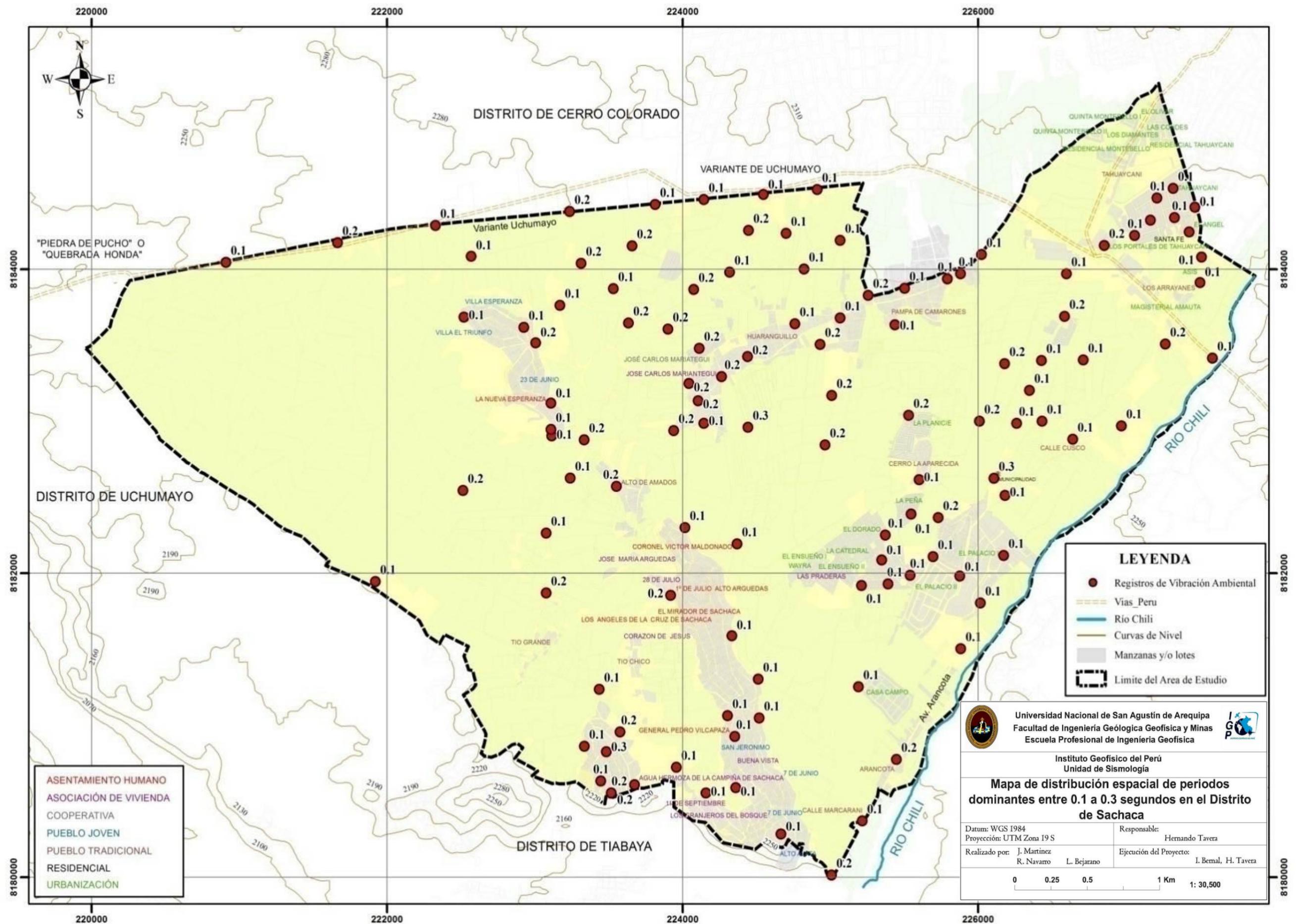
5.3.2 Análisis geotécnico

En el distrito de Sachaca se identificó la existencia de tres tipos de suelo: SM corresponden a arenas limosas, que tienen comportamiento mecánico aceptable a bueno, y se encuentran en el 74% del área del distrito. SP con grava, corresponden a una arena pobremente graduada, con tamaño de partículas uniformes, son suelos que tienen comportamiento mecánico aceptable a bueno, este suelo es característico en 13% del área del distrito. SP-SM, corresponden a arena pobremente graduada y arena limosa, son suelos que tienen comportamiento mecánico aceptable a bueno, pertenecen al 13 % restante del área de estudio. Estos resultados indican que la capacidad portante de suelos es alta para las Urbanizaciones Asis y Magisterial Amauta, además del P. T. Los Arrayanes. Los suelos presentan capacidad portante media 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.

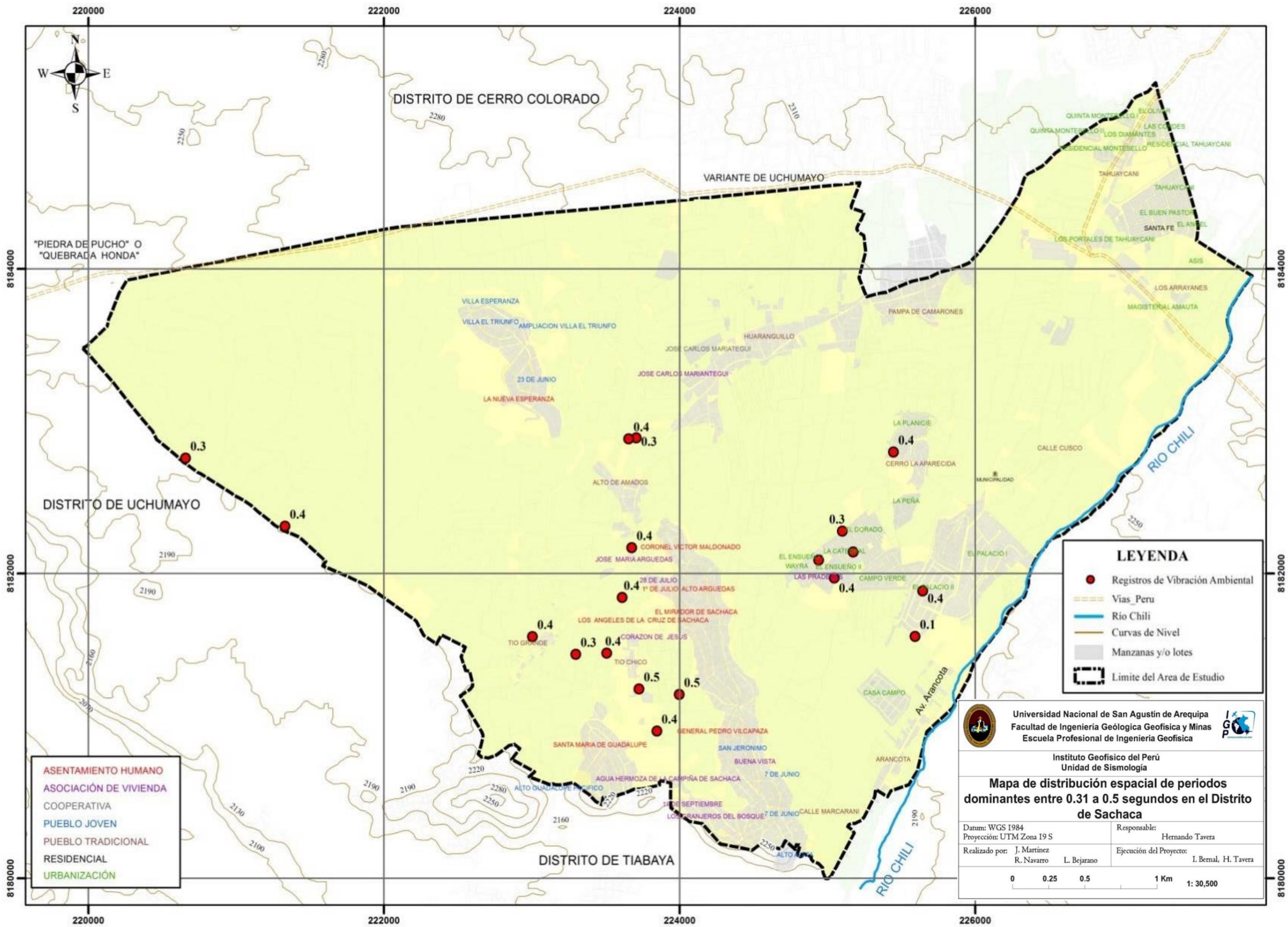
5.3.3 Análisis sísmico

Al aplicar la técnica H/V, en el distrito de Sachaca se ha identificado la existencia de dos rangos de periodos predominantes: el primero entre 0.1 – 0.3 s y el segundo entre 0.31 – 0.5s. En el Mapa 5.3 se observa que los periodos de 0.1s se agrupan más en la zona sur y sur este del distrito de Sachaca, abarcando las urbanizaciones Casa de Campo, La Catedral, El Ángel, La Peña, El Palacio, El Dorado, Las Praderas, El Ensueño, Magisterial Amauta, la Asoc. 11 de Setiembre, los P.T. Los Arrayanes, Sachaca, Tahuaycani, los P. J. 7 de Junio, Alto Alata, San Jerónimo y el A. H. General Pedro Vilcapaza, sugiriendo que los suelos en estas áreas urbanas son menos compactos y de menor espesor. En la zona norte, los suelos parecen más compactos y de mayor espesor debido a que el suelo responde a periodos de 0.2s. y abarca las Asoc. Alto Amados y José Carlos Mariategui, los P.T. Huaranguillo, Pampa de Camarones y los P.J. Villa el Triunfo y 23 de Junio. En el Mapa 5.4 se observa que los periodos de 0.3 a 0.5s se distribuyen en la zona nor - oeste y sur - oeste del distrito, abarcando a las Asoc. 28 de Julio, Corazón de Jesús, José María Arguedas, los P.T. Alto Amados, Tío chico y los A.H. General Pedro Vilcapaza, Coronel Victor Maldonado, lo cual sugiere que son suelos más compactos.

Asimismo, se ha identificado, en algunos puntos de medición, la existencia de hasta dos picos de frecuencias, con rangos de periodos dominantes entre 0.1 y 0.6 s sobre un 40 % del área del distrito, definiendo así la existencia de 2 capas de suelos heterogéneos o complejos. Finalmente, en el distrito de Sachaca existirán suelos constituidos por una o dos capas sedimentarias, de diferente espesor y posiblemente con similar composición geológica, puesto en evidencia con la geología y la geotecnia.



Mapa 5.3: Mapa del área de estudio y distribución espacial de periodos dominantes entre 0.1 a 0.3 segundos.



Mapa 5.4: Mapa del área de estudio y distribución espacial de periodos dominantes entre 0.31 a 0.5 segundos.

5.3.4 Método MASW

Con la aplicación del método MASW se concluyó que en el distrito de Sachaca el subsuelo presenta dos capas con espesores y velocidades de onda Vs que varían con rangos menores a 7 metros (Tabla 5.3). En zonas de la Universidad Católica Santa María, P. T. Huaranguillo, Urb. Ensueño y el Estadio Municipal Sachaca se identificaron suelos blandos en la primera capa y suelos duros en la segunda capa, con espesores entre 5.9 a 8.8 metros. En el A. H. A.H. Santa María de Guadalupe existen suelos duros en la primera y segunda capa con un espesor de 14.5 metros. En las zonas de los P. T. Alto Amados y Arrayanes, además de la Urb. el Palacio los suelos duros están presentes en la primera capa y suelos muy duros o rocas muy blandas en la segunda capa, con espesores entre 4.0 y 17 metros. Estos resultados se correlacionan con la geología, geomorfología de la zona y con los resultados obtenidos con la técnica H/V.

Tabla 5.3: Características de las para las 8 líneas de refracción sísmica.

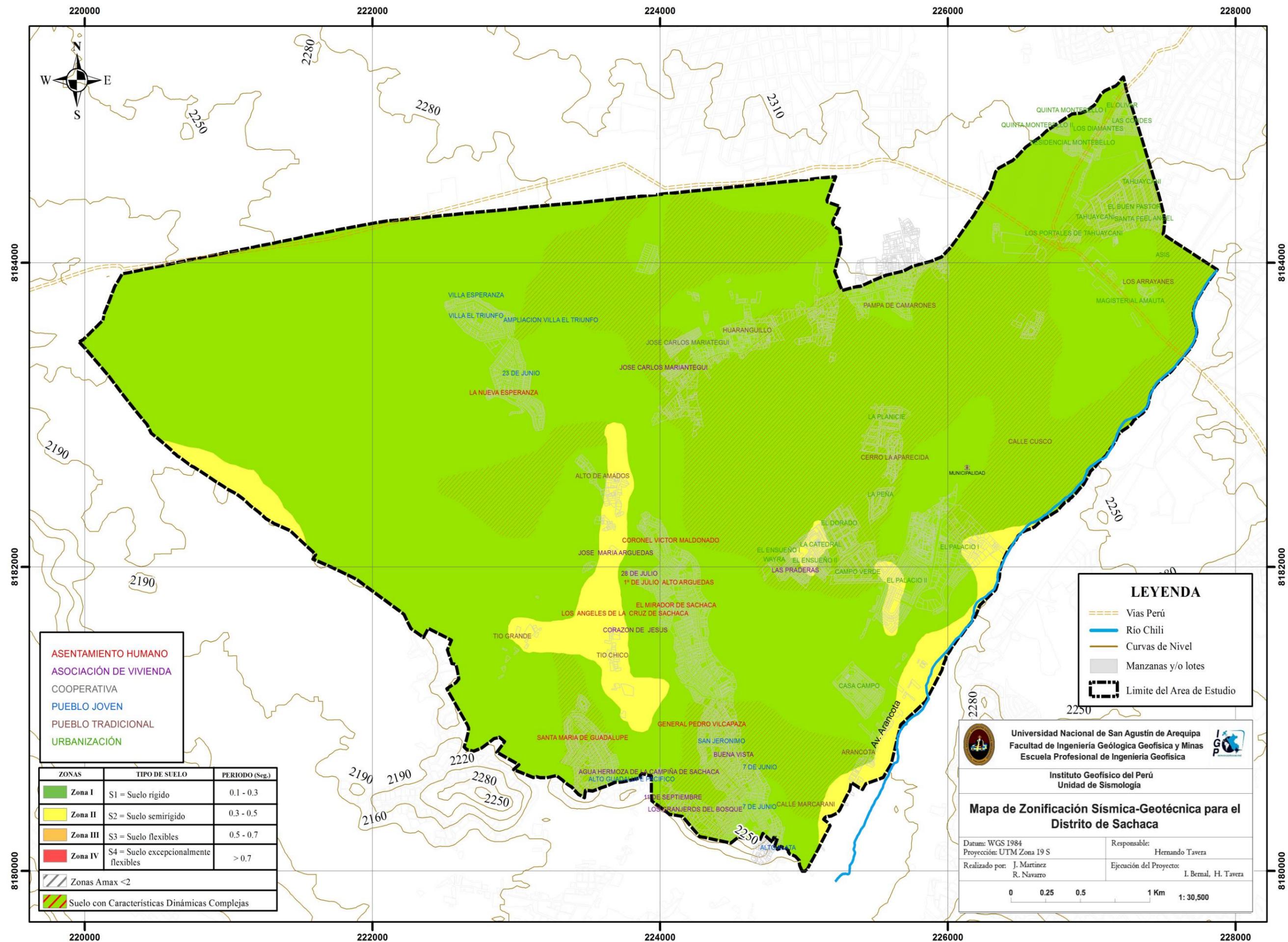
Línea	Lugar	Características capa 1	Características capa 2	Espesor total capa1 + capa 2
S001	Universidad Católica Santa María.	Suelos blandos.	Suelos duros.	7.1
S002	A.H. Santa María de Guadalupe.	Suelos duros.	Suelos duros.	14.5
S003	P.T. Alto de Amados.	Suelos duros.	Suelos muy duros o rocas muy blandas.	17
S004	P.T. Huaranguillo.	Suelos blandos.	Suelos duros.	8.8
S005	Urb. Ensueño.	Suelos blandos.	Suelos duros.	6.0
S006	Urb. El Palacio.	Suelos duros.	Suelos muy duros o rocas muy blandas.	11.5
S007	P.T. Arrayanes.	Suelos blandos.	Suelos muy duros o rocas muy blandas.	4.0
S008	Estadio Municipal de Sachaca.	Suelos blandos.	Suelos duros.	5.9

5.4 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 y geofísica. Las características dinámicas del suelo han permitido identificar en el área de estudio, de acuerdo a la Norma de Construcción Sismoresistente (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 (Mapa 5.5):

***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.*



ASENTAMIENTO HUMANO
ASOCIACIÓN DE VIVIENDA
 COOPERATIVA
PUEBLO JOVEN
 PUEBLO TRADICIONAL
 URBANIZACIÓN

ZONAS	TIPO DE SUELO	PERIODO (Seg.)
Zona I	S1 = Suelo rígido	0.1 - 0.3
Zona II	S2 = Suelo semirígido	0.3 - 0.5
Zona III	S3 = Suelo flexibles	0.5 - 0.7
Zona IV	S4 = Suelo excepcionalmente flexibles	> 0.7
Zonas Amax <2		
Suelo con Características Dinámicas Complejas		

LEYENDA

- Vías Perú
- Río Chili
- Curvas de Nivel
- Manzanas y/o lotes
- Limite del Area de Estudio

Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa
 Facultad de Ingeniería Geológica Geofísica y Minas
 Escuela Profesional de Ingeniería Geofísica

Instituto Geofísico del Perú
 Unidad de Sismología

Mapa de Zonificación Sísmica-Geotécnica para el Distrito de Sachaca

Datum: WGS 1984 Responsable: Hernando Tavera
 Proyección: UTM Zona 19 S
 Realizado por: J. Martínez Ejecución del Proyecto: I. Bernal, H. Tavera
 R. Navarro

0 0.25 0.5 1 Km 1: 30,500

Mapa 5.5: Mapa de Zonificación Sísmica – Geotécnica para el Distrito de Sachaca.

CONCLUSIONES

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:

1. En base a información histórica (1961-2013) en el distrito de Sachaca la zona mas afectada y de alto riesgo se concentra a partir del puente Tingo hasta la entrada del distrito de Tiabaya, siendo la margen derecha en donde se evaluaron recientemente daños económicos, materiales y humanos. Historicamente, los daños en mayor o menos porcentaje siempre se ha presentado y/o afectado a las mismas zonas y/o lugares.
2. 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. Sobre estos cerros se han desarrollado áreas urbanas como el P. J. Villa Esperanza, Villa El Triunfo, Ampliación Villa El Triunfo, 23 de Junio, La Chiriguana, Alto Guadalupe Pacifico, 7 de Junio, Alto Alata 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. La ladera L-24 (P.J. Villa el Triunfo) presenta un factor de seguridad inestable; las laderas L-09(P.J. José María Arguedas), L-12, L-14(P.J. Corazón de Jesús) el factor de seguridad es precario. Para las laderas L-01 (P.J. 7 de Junio), L-23 (P.J. villa el Triunfo) el factor de seguridad es inestable – precario. En todas las demás laderas el factor de seguridad es estable
3. Los análisis de muestras de suelos han permitido identificar para el Distrito de Sachaca, la presencia de hasta 3 tipos de suelos, caracterizados, de acuerdo a la clasificación SUCS: en 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 (13% del área de estudio) se encuentran en las urbanizaciones Asis y Magisterial Amauta; además, del P. T. Los Arrayanes. Suelos con capacidad portante media (13% del área de estudio) 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 (74%), los suelos presentan capacidad portante baja.

4. El análisis de las razones espectrales H/V obtenidos en 204 puntos de medición, ha permitido observar gran variedad de frecuencias que van desde 0.5 a 30 Hz, esta información ha permitido identificar dos rangos de periodos dominantes: el primero entre 0.1 – 0.3 s y el segundo entre 0.31 – 0.5s. Del mismo modo se ha observado que la amplitud de las curvas H/V son mayores en el extremo sur del distrito de Sachaca indicando que los suelos en esa zona son menos compactos y de menor espesor, mientras que los suelos de la zona norte son más compactos y de mayor espesor. Asimismo, se ha identificado, en algunos puntos de medición, la existencia de hasta dos picos de frecuencias, en rangos de periodos dominantes de 0.1 a 0.6s abarcando un 40 % del distrito, lo cual define así la existencia de 2 capas de suelos heterogéneos y complejos.
5. Los arreglos sísmicos lineales han permitido identificar valores de espesor y de velocidad V_s en cada capa de las 8 líneas de refracción. Las zonas de la Universidad Católica Santa María, P. T. Huaranguillo, Urb. Ensueño y el Estadio Municipal Sachaca presentan suelos blandos en la primera capa y suelos duros en la segunda capa con espesores entre los 5.9 y 7.1m., y velocidades entre los 150 y 290 m/s. En el A. H. Santa María de Guadalupe se presentan suelos duros en la primera y segunda capa con un espesor total de 14.5m, y velocidades entre 200 a 280m/s. En las zonas de los P. T. Alto Amados y Arrayanes, además de la Urb. el Palacio presentan suelos duros en la primera capa y suelos muy duros o rocas muy blandas la segunda capa con espesores entre 4 y 17.m, con velocidades de V_s entre los 200 y 530 m/s. Estos resultados son coherentes son los obtenidos con la técnica H/V.

6. En la zonificación por inundación, se considero la topografía en detalle para el cauce del río Chili, los valores de caudal máximo, donde se ha realizado una simulación numérica de escenarios de inundación. Los resultados obtenidos son coherentes con lo observado históricamente, por lo tanto, queda bien definida la zona de alto riesgo a la ocurrencia de este peligro.

7. Según la Norma de Construcción Sismoresistente (Norma E030), en el Distrito de Sachaca hay la existencia de 2 zonas sísmicas - geotécnicas, las mismas que corresponden a suelos de Tipo S1 (Suelos muy rígidos) y S2 (Suelos intermedios). Esta clasificación permite proponer, en este estudio, el Mapa de Zonificación Sísmica – Geotécnica (Comportamiento Dinámico del suelo) para el Distrito de Sachaca.

BIBLIOGRAFÍA

- Alfaro, A., Egozcue y A. Ugalde (1999).** Determinación de características dinámicas del suelo a partir de microtremores. Memorias del Primer Congreso de Ingeniería Sísmica, España.
- Álvarez S. (1999).** El efecto local sobre el movimiento sísmico del suelo: fenología y resultados recientes.
- APESSEG (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 microtremors. Bulletin of the Earthquake Research Institute, University of Tokyo 35, 415–457.
- Bernal, I. (2006).** Microzonificación Sísmica de la Ciudad de Tlaxcala – México. Tesis de Maestría, II-UNAM, México.
- Bernal, I. y H. Tavera (2007).** Pruebas de vibración ambiental realizadas en la localidad de Condormarca, 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.

- Cereceda, I., (2007).** Estratigrafía, sedimentología y peligro por emplazamiento de LAHARES, sector Chapi Chico- Uchumayo, Valle de río Chili- Arequipa., p. 20 – 30.
- Cuadra E. (2007).** Aplicación de Técnicas de Vibraciones Ambientales, Análisis de Microtremores y vibraciones Naturales, para la caracterización de sitio.
- Deza E. (1972).** El rol de la sismología y la ingeniería sismológica en el desarrollo socio económico del Perú.
- Diario El Correo (1961, 1967, 1972, 1973, 1986, 1989, 1994, 1997, 1999, 2001, 2008, 2011, 2012, 2013).** Precipitaciones e inundaciones en la ciudad de Arequipa.
- Diario El Pueblo (1961, 1967, 1972, 1973, 1986, 1989, 1994, 1997, 1999, 2001, 2008, 2011, 2012, 2013).** Precipitaciones e inundaciones en la ciudad de Arequipa.
- Dorbath, L., Cisternas, 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.
- Fuse, J. y A. Benites (2009).** Inundaciones en la Localidad de Arequipa ocasionadas por el Ingreso de las Torrenteras. Arequipa. Perú.
- Gascón R. (2009).** Caracterización geofísica mediante estudio de ruido sísmico ambiental, área metropolitana del estado Anzoátegui.
- Guartán J. (2010).** Zonificación sísmica de la cuenca de Loja (Ecuador) a partir de datos litológicos y medidas de ruido ambiental.

- Gutierrez, C. y S.K. Singh (1992).** A site effect study in Acapulco, Guerrero, Mexico: Comparison of results from strong motion and microtremor data, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 82, 642-659, 1992.
- Herrera B. (2013).** Caracterización de sitio para el área urbana de Chosica utilizando métodos Sísmicos (Distrito de Lurigancho – Chosica, Lima).
- Humire F. (2013).** Aplicación de métodos geofísicos basados en ondas superficiales, para la caracterización sísmica de suelos. Aplicación a la microzonificación sísmica del norte y poniente de Santiago.
- INGEMMET (1999).** 501 Cuadrángulos Geológicos Digitales de la Carta Nacional 1960-1999. Sector Energía y Minas.
- Jaramillo, A., Piñay, J., Aguilar, R. (2012).** Aplicación del método de cocientes espectrales para la reconfiguración detallada del mapa de Isoperiodos en la cuenca del valle de México.
- 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.
- Monca, G. (2006).** “Revisión de la teoría de ondas superficiales y sus propiedades de dispersión”.
- Moreno, F. (2004).** Relación entre el período fundamental de vibración del suelo y el espesor de sedimentos en la parte oeste de la ciudad de Caracas, municipio

Libertador, mediante la aplicación del método de Nakamura a datos obtenidos en una malla de mediciones de 250 metros.

Moreno, L., Alfaro A. (2000). De los sismos a los microtemblores (Instituto Geofísico Universidad Javeriana, Santa Fé de Bogota).

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-030 (2003). Technical Building Standard E.030 Earthquake Resistant Standards (E-030 Diseño Sismorresistente). Ministry of Housing, Construction and Sanitation.

Ordaz, M., Aguilar, A., Arboleda J. (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.

Paolini, C. (2006). Análisis de los periodos fundamentales del suelo, en la ciudad de Carora, Municipio Torres, Estado Lara.

Prato, C., Flores F. (2007). Acciones sísmicas para diseño estructural.

PREDES (1989). Chosica – Lima, huaycos del año 1987.

Ritta, R., Suarez, L., Pando M. (2012). Determinación del periodo fundamental del suelo usando vibración ambiental y el cociente horizontal y vertical.

Rosales C. (2001). Comportamiento Sísmico de los depósitos de suelos del área de Cañaravalejo, Cali, Colombia.

- 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.
- Sandoval, V. (2013).** Estudio de la robustez de la estimación espectral de la técnica H/V de nakamura para la caracterización dinámica de los suelos.
- Santacama, 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.
- Soto, Erick., (2014).** “Teoría y aplicaciones del método Nakamura” (Informe de Practicas Pre-Profesionales).
- Suarez, J., (1998).** Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales.
- Tavera H. (2013).** Zonificación Sísmica Geotécnica del Distrito de Sachaca – Arequipa (Comportamiento Dinámico del Suelo).
- Tavera, H., Buforn, E. (2001).** Source mechanism of earthquakes in Perú *Journal of Seismology* 5: 519–539, 2001.
- Tavera, H., Bernal, I., Gómez, J-C. (2010).** Zonificación Sísmico-Geotécnico para el Distrito del Callao (Comportamiento Dinámico del Suelo). Informe Técnico COOPI-IRD.
- Tavera, H., Bernal, I., Gómez, 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.
- Trigo, T. (2007).** Influencia y amplificación local de ondas sísmicas y la interacción suelo – fundación en el puente Marga – Marga.
- Vera, H. (1983).** Estudio geológico en la cuenca del valle del río Chili, entre los pueblos de Tingo a Congata.
- Villota, M. (2013).** Evaluación de existencia de capa de alta velocidad mediante inversión conjunta REMI – HV Aplicación a dos localidades de Barcelona.
- 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.

ANEXO I



El Peruano

190 AÑOS

1825-2015. LA HISTORIA PARA CONTAR | **DIARIO OFICIAL**



Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento

**DECRETO SUPREMO
N° 003-2016-VIVIENDA**

**DECRETO SUPREMO QUE MODIFICA
LA NORMA TÉCNICA E.030 “DISEÑO
SISMORRESISTENTE” DEL REGLAMENTO
NACIONAL DE EDIFICACIONES,
APROBADA POR DECRETO SUPREMO
N° 011-2006-VIVIENDA, MODIFICADA CON
DECRETO SUPREMO
N° 002-2014-VIVIENDA**

NORMAS LEGALES

SEPARATA ESPECIAL



DECRETO SUPREMO QUE MODIFICA LA NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE" DEL REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES, APROBADA POR DECRETO SUPREMO N° 011-2006-VIVIENDA, MODIFICADA CON DECRETO SUPREMO N° 002-2014-VIVIENDA

**DECRETO SUPREMO
N° 003-2016-VIVIENDA**

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

CONSIDERANDO:

Que, de acuerdo a la Ley N° 30156, Ley de Organización y Funciones del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, es competencia del Ministerio formular, normar, dirigir, coordinar, ejecutar, supervisar y evaluar las políticas nacionales y sectoriales en materia de vivienda, construcción, saneamiento, urbanismo y desarrollo urbano, bienes estatales y propiedad urbana, para lo cual dicta normas de alcance nacional y supervisa su cumplimiento;

Que, el Decreto Supremo N° 015-2004-VIVIENDA, aprobó el Índice y la Estructura del Reglamento Nacional de Edificaciones, en adelante RNE, aplicable a las Habilitaciones Urbanas y a las Edificaciones, como instrumento técnico normativo que rige a nivel nacional, el cual contempla sesenta y nueve (69) Normas Técnicas;

Que, mediante Decreto Supremo N° 011-2006-VIVIENDA, se aprobaron sesenta y seis (66) Normas Técnicas del RNE, comprendidas en el referido Índice, y se constituyó la Comisión Permanente de Actualización del RNE, encargada de analizar y formular las propuestas para la actualización de las Normas Técnicas; precisándose que a la fecha las referidas normas han sido modificadas por sendos Decretos Supremos;

Que, es preciso señalar que con los Decretos Supremos N° 001-2010-VIVIENDA y N° 017-2012-VIVIENDA, se aprobaron dos normas técnicas adicionales, de acuerdo al Índice y a la Estructura del RNE aprobado mediante Decreto Supremo N° 015-2004-VIVIENDA; y con los Decretos Supremos N° 011-2012-VIVIENDA, N° 005-2014-VIVIENDA y N° 006-2014-VIVIENDA, se incorporaron tres nuevas normas al citado cuerpo legal;

Que, con Informe N° 001-2015-CPARNE de fecha 17 de junio de 2015, el Presidente de la Comisión Permanente de Actualización del RNE, eleva la propuesta de modificación de la Norma Técnica E.030 "Diseño Sismorresistente" del RNE, aprobada con Decreto Supremo N° 011-2006-VIVIENDA, modificada con Decreto Supremo N° 002-2014-VIVIENDA; la misma que ha sido materia de evaluación y aprobación por la mencionada Comisión conforme al Acta de aprobación de la Quincuagésima Segunda Sesión de fecha 10 de junio de 2015, que forma parte del expediente correspondiente;

Que, la propuesta normativa tiene por objeto actualizar la Norma Técnica E.030 "Diseño Sismorresistente" de acuerdo con las nuevas tecnologías en sismorresistencia y los avances científicos en el campo de la sismología, a fin de disminuir la vulnerabilidad de las edificaciones nuevas, evitar las pérdidas de vidas humanas en caso de sismos y asegurar la continuidad de los servicios básicos;

Que, conforme a lo señalado por la Comisión Permanente de Actualización del RNE, corresponde disponer la modificación de la Norma Técnica a que se refiere el considerando anterior, a fin de actualizar y complementar su contenido; y,

De conformidad con lo dispuesto en el numeral 8) del artículo 118 de la Constitución Política del Perú; el numeral 3) del artículo 11 de la Ley N° 29158, Ley Orgánica del Poder Ejecutivo; la Ley N° 30156, Ley de Organización y Funciones del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento; y el Reglamento de Organización y Funciones del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, aprobado por Decreto Supremo N° 010-2014-VIVIENDA, modificado por el Decreto Supremo N° 006-2015-VIVIENDA;

DECRETA:

Artículo 1.- Modificación de la Norma Técnica E.030 "Diseño Sismorresistente" del Reglamento Nacional de Edificaciones - RNE

Modifícase la Norma Técnica E.030 "Diseño Sismorresistente" contenida en el Numeral III.2 Estructuras,

del Título III Edificaciones del Reglamento Nacional de Edificaciones - RNE, aprobada por Decreto Supremo N° 011-2006-VIVIENDA, modificada con Decreto Supremo N° 002-2014-VIVIENDA, la cual forma parte integrante del presente Decreto Supremo.

Artículo 2.- Publicación y Difusión

Publícase el presente Decreto Supremo y la Norma Técnica a que se refiere el artículo 1 de la presente norma, en el Portal Institucional del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (www.vivienda.gob.pe), el mismo día de su publicación en el Diario Oficial "El Peruano", de conformidad con lo dispuesto por el Decreto Supremo N° 001-2009-JUS.

Artículo 3.- Refrendo

El presente Decreto Supremo es refrendado por el Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA TRANSITORIA

Única.- Normativa aplicable a proyectos de inversión pública y procedimientos administrativos en trámite

Los proyectos de inversión pública que a la fecha de la entrada en vigencia del presente Decreto Supremo, cuentan con la declaratoria de viabilidad en el marco del Sistema Nacional de Inversión Pública - SNIP, y los procedimientos administrativos en los que se haya solicitado a las Municipalidades la licencia de edificación correspondiente, se rigen por la Norma Técnica E.030 "Diseño Sismorresistente" del Reglamento Nacional de Edificaciones, aprobada por Decreto Supremo N° 011-2006-VIVIENDA, modificada con Decreto Supremo N° 002-2014-VIVIENDA, hasta su conclusión.

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, a los veintidós días del mes de enero del año dos mil dieciséis.

OLLANTA HUMALA TASSO
Presidente de la República

FRANCISCO ADOLFO DUMLER CUYA
Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento

NORMA TÉCNICA E.030

"DISEÑO SISMORRESISTENTE"

ÍNDICE

CAPÍTULO 1. GENERALIDADES

- 1.1 Nomenclatura
- 1.2 Alcances
- 1.3 Filosofía y Principios del Diseño Sismorresistente
- 1.4 Concepción Estructural Sismorresistente
- 1.5 Consideraciones Generales
- 1.6 Presentación del Proyecto

CAPÍTULO 2. PELIGRO SÍSMICO

- 2.1 Zonificación
- 2.2 Microzonificación Sísmica y Estudios de Sitio
- 2.3 Condiciones Geotécnicas
- 2.4 Parámetros de Sitio (S , T_p y T_f)
- 2.5 Factor de Amplificación Sísmica (C)

CAPÍTULO 3 CATEGORÍA, SISTEMA ESTRUCTURAL Y REGULARIDAD DE LAS EDIFICACIONES

- 3.1 Categoría de las Edificaciones y Factor de Uso (U)
- 3.2 Sistemas Estructurales
- 3.3 Categoría y Sistemas Estructurales
- 3.4 Sistemas Estructurales y Coeficiente Básico de Reducción de las Fuerzas Sísmicas (R_o)
- 3.5 Regularidad Estructural
- 3.6 Factores de Irregularidad (I_a , I_b)
- 3.7 Restricciones a la Irregularidad
- 3.8 Coeficiente de Reducción de las Fuerzas Sísmicas,

R

3.9 Sistemas de Aislamiento Sísmico y Sistemas de Disipación de Energía

CAPÍTULO 4 ANÁLISIS ESTRUCTURAL

- 4.1 Consideraciones Generales para el Análisis
- 4.2 Modelos para el Análisis
- 4.3 Estimación del Peso (P)
- 4.4 Procedimientos de Análisis Sísmico
- 4.5 Análisis Estático o de Fuerzas Estáticas Equivalentes
- 4.6 Análisis Dinámico Modal Espectral
- 4.7 Análisis Dinámico Tiempo - Historia

CAPÍTULO 5 REQUISITOS DE RIGIDEZ, RESISTENCIA Y DUCTILIDAD

- 5.1 Determinación de Desplazamientos Laterales
- 5.2 Desplazamientos Laterales Relativos Admisibles
- 5.3 Separación entre Edificios (s)
- 5.4 Redundancia
- 5.5 Verificación de Resistencia Última

CAPÍTULO 6 ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES, APÉNDICES Y EQUIPOS

- 6.1 Generalidades
- 6.2 Responsabilidad Profesional
- 6.3 Fuerzas de Diseño
- 6.4 Fuerza Horizontal Mínima
- 6.5 Fuerzas Sísmicas Verticales
- 6.6 Elementos no Estructurales Localizados en la Base de la Estructura, por Debajo de la Base y Cercos
- 6.7 Otras Estructuras
- 6.8 Diseño Utilizando el Método de los Esfuerzos Admisibles

CAPÍTULO 7 CIMENTACIONES

- 7.1 Generalidades
- 7.2 Capacidad Portante
- 7.3 Momento de Volteo
- 7.4 Cimentaciones sobre suelos flexibles o de baja capacidad portante

CAPÍTULO 8 EVALUACIÓN, REPARACIÓN Y REFORZAMIENTO DE ESTRUCTURAS

- 8.1 Evaluación de estructuras después de un sismo
- 8.2 Reparación y reforzamiento

CAPÍTULO 9 INSTRUMENTACIÓN

- 9.1 Estaciones Acelerométricas
- 9.2 Requisitos para su Ubicación
- 9.3 Mantenimiento
- 9.4 Disponibilidad de Datos

ANEXOS

ANEXO N° 1 ZONIFICACIÓN SISMICA

ANEXO N° 2 PROCEDIMIENTO SUGERIDO PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS ACCIONES SÍSMICAS

CAPÍTULO 1. GENERALIDADES

1.1 Nomenclatura

Para efectos de la presente Norma Técnica, se consideran las siguientes nomenclaturas:

C Factor de amplificación sísmica.

C_T Coeficiente para estimar el período fundamental de un edificio.

d_i Desplazamientos laterales del centro de masa del nivel i en traslación pura (restringiendo los giros en planta) debido a las fuerzas f_i .

e_i Excentricidad accidental en el nivel " i ".

F_i Fuerza sísmica horizontal en el nivel " i ".

g Aceleración de la gravedad.

h_i Altura del nivel " i " con relación al nivel del terreno.

h_{ei} Altura del entrepiso " i ".

h_n Altura total de la edificación en metros.

M_{θ} Momento torsor accidental en el nivel " i ".

m Número de modos usados en la combinación modal.

n Número de pisos del edificio.

P Peso total de la edificación.

P_i Peso del nivel " i ".

R Coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas.

r Respuesta estructural máxima elástica esperada.

r_i Respuestas elásticas máximas correspondientes al modo " i ".

S Factor de amplificación del suelo.

S_a Espectro de pseudo aceleraciones.

T Período fundamental de la estructura para el análisis estático o período de un modo en el análisis dinámico.

T_p Período que define la plataforma del factor C .

T_i Período que define el inicio de la zona del factor C con desplazamiento constante.

U Factor de uso o importancia.

V Fuerza cortante en la base de la estructura.

Z Factor de zona.

R_0 Coeficiente básico de reducción de las fuerzas sísmicas.

I_a Factor de irregularidad en altura.

I_p Factor de irregularidad en planta.

f_i Fuerza lateral en el nivel i .

\bar{V}_S Velocidad promedio de propagación de las ondas de corte.

\bar{N}_{60} Promedio ponderado de los ensayos de penetración estándar.

\bar{S}_{u} Promedio ponderado de la resistencia al corte en condición no drenada.

1.2 Alcances

Esta Norma establece las condiciones mínimas para que las edificaciones diseñadas tengan un comportamiento sísmico acorde con los principios señalados en numeral 1.3.

Se aplica al diseño de todas las edificaciones nuevas, al reforzamiento de las existentes y a la reparación de las que resultaran dañadas por la acción de los sismos.

El empleo de sistemas estructurales diferentes a los indicados en el numeral 3.2, deberá ser aprobado por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, y demostrar que la alternativa propuesta produce adecuados resultados de rigidez, resistencia sísmica y ductilidad.

Para estructuras tales como reservorios, tanques, silos, puentes, torres de transmisión, muelles, estructuras hidráulicas y todas aquellas cuyo comportamiento sísmico difiera del de las edificaciones, se podrá usar esta Norma en lo que sea aplicable.

Además de lo indicado en esta Norma, se deberá tomar medidas de prevención contra los desastres que puedan producirse como consecuencia del movimiento sísmico: tsunamis, fuego, fuga de materiales peligrosos, deslizamiento masivo de tierras u otros.

1.3 Filosofía y Principios del Diseño Sismorresistente

La filosofía del Diseño Sismorresistente consiste en:

- a. Evitar pérdida de vidas humanas.
- b. Asegurar la continuidad de los servicios básicos.
- c. Minimizar los daños a la propiedad.

Se reconoce que dar protección completa frente a todos los sismos no es técnica ni económicamente factible para la mayoría de las estructuras. En concordancia con tal filosofía se establecen en la presente Norma los siguientes principios:

- a. La estructura no debería colapsar ni causar daños graves a las personas, aunque podría presentar daños importantes, debido a movimientos sísmicos calificados como severos para el lugar del proyecto.
- b. La estructura debería soportar movimientos del suelo calificados como moderados para el lugar del proyecto, pudiendo experimentar daños reparables dentro de límites aceptables.
- c. Para las edificaciones esenciales, definidas en la Tabla N° 5, se tendrán consideraciones especiales orientadas a lograr que permanezcan en condiciones operativas luego de un sismo severo.

1.4 Concepción Estructural Sismorresistente

Debe tomarse en cuenta la importancia de los siguientes aspectos:

- Simetría, tanto en la distribución de masas como de rigideces.
- Peso mínimo, especialmente en los pisos altos.
- Selección y uso adecuado de los materiales de construcción.
- Resistencia adecuada frente a las cargas laterales.
- Continuidad estructural, tanto en planta como en elevación.
- Ductilidad, entendida como la capacidad de deformación de la estructura más allá del rango elástico.
- Deformación lateral limitada.
- Inclusión de líneas sucesivas de resistencia (redundancia estructural).
- Consideración de las condiciones locales.
- Buena práctica constructiva y supervisión estructural rigurosa.

1.5 Consideraciones Generales

Toda edificación y cada una de sus partes serán diseñadas y construidas para resistir las solicitaciones sísmicas prescritas en esta Norma, siguiendo las especificaciones de las normas pertinentes a los materiales empleados.

No es necesario considerar simultáneamente los efectos de sismo y viento.

Deberá considerarse el posible efecto de los tabiques, parapetos y otros elementos adosados en el comportamiento sísmico de la estructura. El análisis, el detallado del refuerzo y anclaje deberá hacerse acorde con esta consideración.

En concordancia con los principios de diseño sismorresistente del numeral 1.3, se acepta que las edificaciones tengan incursiones inelásticas frente a solicitaciones sísmicas severas. Por tanto, las fuerzas sísmicas de diseño son una fracción de la solicitación sísmica máxima elástica.

1.6 Presentación del Proyecto

Los planos, memoria descriptiva y especificaciones técnicas del proyecto estructural, deberán estar firmados por el ingeniero civil colegiado responsable del diseño, quien será el único autorizado para aprobar cualquier modificación a los mismos.

Los planos del proyecto estructural deberán incluir la siguiente información:

- a. Sistema estructural sismorresistente.
- b. Período fundamental de vibración en ambas direcciones principales.
- c. Parámetros para definir la fuerza sísmica o el espectro de diseño.
- d. Fuerza cortante en la base empleada para el diseño, en ambas direcciones.

- e. Desplazamiento máximo del último nivel y el máximo desplazamiento relativo de entrepiso.
- f. La ubicación de las estaciones acelerométricas, si éstas se requieren conforme al Capítulo 9.

CAPÍTULO 2. PELIGRO SÍSMICO

2.1 Zonificación

El territorio nacional se considera dividido en cuatro zonas, como se muestra en la Figura N° 1. La zonificación propuesta se basa en la distribución espacial de la sismicidad observada, las características generales de los movimientos sísmicos y la atenuación de éstos con la distancia epicentral, así como en la información neotectónica. El Anexo N° 1 contiene el listado de las provincias y distritos que corresponden a cada zona.

ZONAS SÍSMICAS

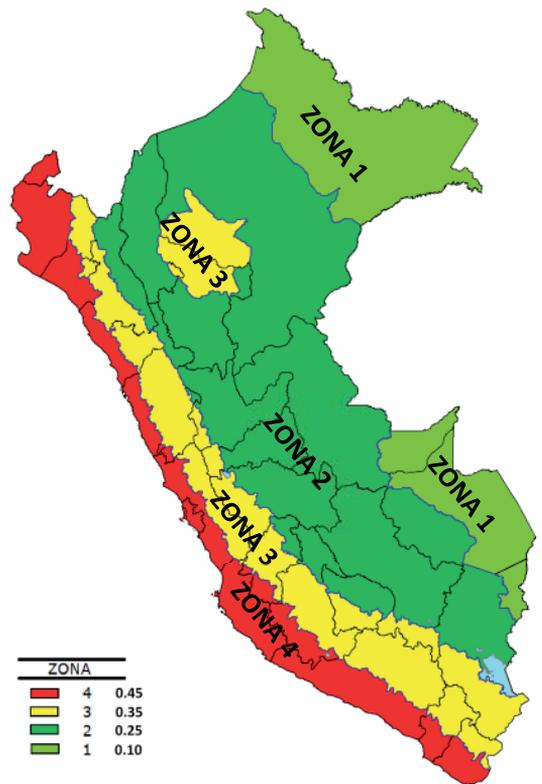


FIGURA N° 1

A cada zona se asigna un factor Z según se indica en la Tabla N° 1. Este factor se interpreta como la aceleración máxima horizontal en suelo rígido con una probabilidad de 10 % de ser excedida en 50 años. El factor Z se expresa como una fracción de la aceleración de la gravedad.

ZONA	Z
4	0,45
3	0,35
2	0,25
1	0,10

2.2 Microzonificación Sísmica y Estudios de Sitio

2.2.1 Microzonificación Sísmica

Son estudios multidisciplinarios que investigan los efectos de sismos y fenómenos asociados como licuación

de suelos, deslizamientos, tsunamis y otros, sobre el área de interés. Los estudios suministran información sobre la posible modificación de las acciones sísmicas por causa de las condiciones locales y otros fenómenos naturales, así como las limitaciones y exigencias que como consecuencia de los estudios se considere para el diseño, construcción de edificaciones y otras obras.

Para los siguientes casos podrán ser considerados los resultados de los estudios de microzonificación correspondientes:

- Áreas de expansión de ciudades.
- Reconstrucción de áreas urbanas destruidas por sismos y fenómenos asociados.

2.2.2 Estudios de Sitio

Son estudios similares a los de microzonificación, aunque no necesariamente en toda su extensión. Estos estudios están limitados al lugar del proyecto y suministran información sobre la posible modificación de las acciones sísmicas y otros fenómenos naturales por las condiciones locales. Su objetivo principal es determinar los parámetros de diseño.

Los estudios de sitio deberán realizarse, entre otros casos, en grandes complejos industriales, industria de explosivos, productos químicos inflamables y contaminantes.

No se considerarán parámetros de diseño inferiores a los indicados en esta Norma.

2.3 Condiciones Geotécnicas

2.3.1 Perfiles de Suelo

Para los efectos de esta Norma, los perfiles de suelo se clasifican tomando en cuenta la velocidad promedio de propagación de las ondas de corte (\bar{V}_s), o alternativamente, para suelos granulares, el promedio ponderado de los \bar{N}_{60} obtenidos mediante un ensayo de penetración estándar (SPT), o el promedio ponderado de la resistencia al corte en condición no drenada (\bar{S}_u) para suelos cohesivos. Estas propiedades deben determinarse para los 30 m superiores del perfil de suelo medidos desde el nivel del fondo de cimentación, como se indica en el numeral 2.3.2.

Para los suelos predominantemente granulares, se calcula \bar{N}_{60} considerando solamente los espesores de cada uno de los estratos granulares. Para los suelos predominantemente cohesivos, la resistencia al corte en condición no drenada \bar{S}_u se calcula como el promedio ponderado de los valores correspondientes a cada estrato cohesivo.

Este método también es aplicable si se encuentran suelos heterogéneos (cohesivos y granulares). En tal caso, si a partir de \bar{N}_{60} para los estratos con suelos granulares y de \bar{S}_u para los estratos con suelos cohesivos se obtienen clasificaciones de sitio distintas, se toma la que corresponde al tipo de perfil más flexible.

Los tipos de perfiles de suelos son cinco:

a. Perfil Tipo S_0 : Roca Dura

A este tipo corresponden las rocas sanas con velocidad de propagación de ondas de corte \bar{V}_s mayor que 1500 m/s. Las mediciones deberán corresponder al sitio del proyecto o a perfiles de la misma roca en la misma formación con igual o mayor intemperismo o fracturas. Cuando se conoce que la roca dura es continua hasta una profundidad de 30 m, las mediciones de la velocidad de las ondas de corte superficiales pueden ser usadas para estimar el valor de \bar{V}_s .

b. Perfil Tipo S_1 : Roca o Suelos Muy Rígidos

A este tipo corresponden las rocas con diferentes grados de fracturación, de macizos homogéneos y los suelos muy rígidos con velocidades de propagación de onda de corte \bar{V}_s , entre 500 m/s y 1500 m/s, incluyéndose los casos en los que se cimienta sobre:

- Roca fracturada, con una resistencia a la compresión no confinada qu mayor o igual que 500 kPa (5 kg/cm²).
- Arena muy densa o grava arenosa densa, con \bar{N}_{60} mayor que 50.

- Arcilla muy compacta (de espesor menor que 20 m), con una resistencia al corte en condición no drenada \bar{S}_u mayor que 100 kPa (1 kg/cm²) y con un incremento gradual de las propiedades mecánicas con la profundidad.

c. Perfil Tipo S_2 : Suelos Intermedios

A este tipo corresponden los suelos medianamente rígidos, con velocidades de propagación de onda de corte \bar{V}_s , entre 180 m/s y 500 m/s, incluyéndose los casos en los que se cimienta sobre:

- Arena densa, gruesa a media, o grava arenosa medianamente densa, con valores del SPT \bar{N}_{60} , entre 15 y 50.
- Suelo cohesivo compacto, con una resistencia al corte en condiciones no drenada \bar{S}_u , entre 50 kPa (0,5 kg/cm²) y 100 kPa (1 kg/cm²) y con un incremento gradual de las propiedades mecánicas con la profundidad.

d. Perfil Tipo S_3 : Suelos Blandos

Corresponden a este tipo los suelos flexibles con velocidades de propagación de onda de corte \bar{V}_s , menor o igual a 180 m/s, incluyéndose los casos en los que se cimienta sobre:

- Arena media a fina, o grava arenosa, con valores del SPT \bar{N}_{60} menor que 15.
- Suelo cohesivo blando, con una resistencia al corte en condición no drenada \bar{S}_u , entre 25 kPa (0,25 kg/cm²) y 50 kPa (0,5 kg/cm²) y con un incremento gradual de las propiedades mecánicas con la profundidad.
- Cualquier perfil que no correspondan al tipo S_4 y que tenga más de 3 m de suelo con las siguientes características: índice de plasticidad P_i mayor que 20, contenido de humedad ω mayor que 40%, resistencia al corte en condición no drenada \bar{S}_u menor que 25 kPa.

e. Perfil Tipo S_4 : Condiciones Excepcionales

A este tipo corresponden los suelos excepcionalmente flexibles y los sitios donde las condiciones geológicas y/o topográficas son particularmente desfavorables, en los cuales se requiere efectuar un estudio específico para el sitio. Sólo será necesario considerar un perfil tipo S_4 cuando el Estudio de Mecánica de Suelos (EMS) así lo determine.

La Tabla N° 2 resume valores típicos para los distintos tipos de perfiles de suelo:

Tabla N° 2 CLASIFICACIÓN DE LOS PERFILES DE SUELO			
Perfil	\bar{V}_s	\bar{N}_{60}	\bar{S}_u
S_0	> 1500 m/s	-	-
S_1	500 m/s a 1500 m/s	> 50	> 100 kPa
S_2	180 m/s a 500 m/s	15 a 50	50 kPa a 100 kPa
S_3	< 180 m/s	< 15	25 kPa a 50 kPa
S_4	Clasificación basada en el EMS		

2.3.2 Definición de los Perfiles de Suelo

Las expresiones de este numeral se aplicarán a los 30 m superiores del perfil de suelo, medidos desde el nivel del fondo de cimentación. El subíndice i se refiere a uno cualquiera de los n estratos con distintas características, m se refiere al número de estratos con suelos granulares y k al número de estratos con suelos cohesivos.

a. Velocidad Promedio de las Ondas de Corte, \bar{V}_s

La velocidad promedio de propagación de las ondas de corte se determinará con la siguiente fórmula:

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

donde d_i es el espesor de cada uno de los n estratos y V_{si} es la correspondiente velocidad de ondas de corte (m/s).

b. Promedio Ponderado del Ensayo Estándar de Penetración, \bar{N}_{60}

El valor \bar{N}_{60} se calculará considerando solamente los estratos con suelos granulares en los 30 m superiores del perfil:

$$\bar{N}_{60} = \frac{\sum_{i=1}^m d_i}{\sum_{i=1}^m \left(\frac{d_i}{N_{60i}} \right)}$$

Donde d_i es el espesor de cada uno de los m estratos con suelo granular y \bar{N}_{60} es el correspondiente valor corregido del SPT.

c. Promedio Ponderado de la Resistencia al Corte en Condición no Drenada, \bar{S}_u

El valor \bar{S}_u se calculará considerando solamente los estratos con suelos cohesivos en los 30 m superiores del perfil:

$$\bar{S}_u = \frac{\sum_{i=1}^k d_i}{\sum_{i=1}^k \left(\frac{d_i}{S_{ui}} \right)}$$

Donde d_i es el espesor de cada uno de los k estratos con suelo cohesivo y \bar{S}_u es la correspondiente resistencia al corte en condición no drenada (kPa).

Consideraciones Adicionales:

En los casos en los que no sea obligatorio realizar un Estudio de Mecánica de Suelos (EMS) o cuando no se disponga de las propiedades del suelo hasta la profundidad de 30 m, se permite que el profesional responsable estime valores adecuados sobre la base de las condiciones geotécnicas conocidas.

En el caso de estructuras con cimentaciones profundas a base de pilotes, el perfil de suelo será el que corresponda a los estratos en los 30 m por debajo del extremo superior de los pilotes.

2.4 Parámetros de Sitio (S , T_p y T_L)

Deberá considerarse el tipo de perfil que mejor describa las condiciones locales, utilizándose los correspondientes valores del factor de amplificación del suelo S y de los períodos T_p y T_L dados en las Tablas N° 3 y N° 4.

SUELO	S_0	S_1	S_2	S_3
Z ₄	0,80	1,00	1,05	1,10
Z ₃	0,80	1,00	1,15	1,20
Z ₂	0,80	1,00	1,20	1,40
Z ₁	0,80	1,00	1,60	2,00

	Perfil de suelo			
	S_0	S_1	S_2	S_3
T_p (s)	0,3	0,4	0,6	1,0
T_L (s)	3,0	2,5	2,0	1,6

2.5 Factor de Amplificación Sísmica (C)

De acuerdo a las características de sitio, se define el factor de amplificación sísmica (C) por las siguientes expresiones:

$T < T_p \quad C = 2,5$

$T_p < T < T_L \quad C = 2,5 \cdot \left(\frac{T_p}{T} \right)$

$T > T_L \quad C = 2,5 \cdot \left(\frac{T_p \cdot T_L}{T^2} \right)$

Tes el período de acuerdo al numeral 4.5.4, concordado con el numeral 4.6.1.

Este coeficiente se interpreta como el factor de amplificación de la aceleración estructural respecto de la aceleración en el suelo.

CAPÍTULO 3 CATEGORÍA, SISTEMA ESTRUCTURAL Y REGULARIDAD DE LAS EDIFICACIONES

3.1 Categoría de las Edificaciones y Factor de Uso (U)

Cada estructura debe ser clasificada de acuerdo con las categorías indicadas en la Tabla N° 5. El factor de uso o importancia (U), definido en la Tabla N° 5 se usará según la clasificación que se haga. Para edificios con aislamiento sísmico en la base se podrá considerar $U = 1$.

CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	FACTOR U
A	A1: Establecimientos de salud del Sector Salud (públicos y privados) del segundo y tercer nivel, según lo normado por el Ministerio de Salud .	Ver nota 1
	A2: Edificaciones esenciales cuya función no debería interrumpirse inmediatamente después de que ocurra un sismo severo tales como: <ul style="list-style-type: none"> - Establecimientos de salud no comprendidos en la categoría A1. - Puertos, aeropuertos, locales municipales, centrales de comunicaciones. Estaciones de bomberos, cuarteles de las fuerzas armadas y policía. - Instalaciones de generación y transformación de electricidad, reservorios y plantas de tratamiento de agua. Todas aquellas edificaciones que puedan servir de refugio después de un desastre, tales como instituciones educativas, institutos superiores tecnológicos y universidades. Se incluyen edificaciones cuyo colapso puede representar un riesgo adicional, tales como grandes hornos, fábricas y depósitos de materiales inflamables o tóxicos. Edificios que almacenen archivos e información esencial del Estado.	1,5

CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	FACTOR U
B Edificaciones Importantes	Edificaciones donde se reúnen gran cantidad de personas tales como cines, teatros, estadios, coliseos, centros comerciales, terminales de pasajeros, establecimientos penitenciarios, o que guardan patrimonios valiosos como museos y bibliotecas. También se considerarán depósitos de granos y otros almacenes importantes para el abastecimiento.	1,3
C Edificaciones Comunes	Edificaciones comunes tales como: viviendas, oficinas, hoteles, restaurantes, depósitos e instalaciones industriales cuya falla no acarree peligros adicionales de incendios o fugas de contaminantes.	1,0
D Edificaciones Temporales	Construcciones provisionales para depósitos, casetas y otras similares.	Ver nota 2

Nota 1: Las nuevas edificaciones de categoría A1 tendrán aislamiento sísmico en la base cuando se encuentren en las zonas sísmicas 4 y 3. En las zonas sísmicas 1 y 2, la entidad responsable podrá decidir si usa o no aislamiento sísmico. Si no se utiliza aislamiento sísmico en las zonas sísmicas 1 y 2, el valor de U será como mínimo 1,5.

Nota 2: En estas edificaciones deberá proveerse resistencia y rigidez adecuadas para acciones laterales, a criterio del proyectista.

3.2 Sistemas Estructurales

3.2.1 Estructuras de Concreto Armado

Todos los elementos de concreto armado que conforman el sistema estructural sismorresistente deberán cumplir con lo previsto en el Capítulo 21 "Disposiciones especiales para el diseño sísmico" de la Norma Técnica E.060 Concreto Armado del RNE.

Pórticos. Por lo menos el 80 % de la fuerza cortante en la base actúa sobre las columnas de los pórticos. En caso se tengan muros estructurales, éstos deberán diseñarse para resistir una fracción de la acción sísmica total de acuerdo con su rigidez.

Muros Estructurales. Sistema en el que la resistencia sísmica está dada predominantemente por muros estructurales sobre los que actúa por lo menos el 70 % de la fuerza cortante en la base.

Dual. Las acciones sísmicas son resistidas por una combinación de pórticos y muros estructurales. La fuerza cortante que toman los muros está entre 20 % y 70 % del cortante en la base del edificio. Los pórticos deberán ser diseñados para resistir por lo menos 30 % de la fuerza cortante en la base.

Edificaciones de Muros de Ductilidad Limitada (EMDL). Edificaciones que se caracterizan por tener un sistema estructural donde la resistencia sísmica y de cargas de gravedad está dada por muros de concreto armado de espesores reducidos, en los que se prescinde de extremos confinados y el refuerzo vertical se dispone en una sola capa.

Con este sistema se puede construir como máximo ocho pisos.

3.2.2 Estructuras de Acero

Los Sistemas que se indican a continuación forman parte del Sistema Estructural Resistente a Sismos.

Pórticos Especiales Resistentes a Momentos (SMF)
Estos pórticos deberán proveer una significativa capacidad de deformación inelástica a través de la fluencia por flexión de las vigas y limitada fluencia en las zonas de panel de las columnas. Las columnas deberán ser diseñadas para tener una resistencia mayor que las vigas cuando estas incursionan en la zona de endurecimiento por deformación.

Pórticos Intermedios Resistentes a Momentos (IMF)

Estos pórticos deberán proveer una limitada capacidad de deformación inelástica en sus elementos y conexiones.

Pórticos Ordinarios Resistentes a Momentos (OMF)

Estos pórticos deberán proveer una mínima capacidad de deformación inelástica en sus elementos y conexiones.

Pórticos Especiales Concéntricamente Arriostrados (SCBF)

Estos pórticos deberán proveer una significativa capacidad de deformación inelástica a través de la resistencia post-pandeo en los arriostres en compresión y fluencia en los arriostres en tracción.

Pórticos Ordinarios Concéntricamente Arriostrados (OCBF)

Estos pórticos deberán proveer una limitada capacidad de deformación inelástica en sus elementos y conexiones.

Pórticos Excéntricamente Arriostrados (EBF)

Estos pórticos deberán proveer una significativa capacidad de deformación inelástica principalmente por fluencia en flexión o corte en la zona entre arriostres.

3.2.3 Estructuras de Albañilería

Edificaciones cuyos elementos sismorresistentes son muros a base de unidades de albañilería de arcilla o concreto. Para efectos de esta Norma no se hace diferencia entre estructuras de albañilería confinada o armada.

3.2.4 Estructuras de Madera

Se consideran en este grupo las edificaciones cuyos elementos resistentes son principalmente a base de madera. Se incluyen sistemas entramados y estructuras arriostradas tipo poste y viga.

3.2.5 Estructuras de Tierra

Son edificaciones cuyos muros son hechos con unidades de albañilería de tierra o tierra apisonada in situ.

3.3 Categoría y Sistemas Estructurales

De acuerdo a la categoría de una edificación y la zona donde se ubique, ésta deberá proyectarse empleando el sistema estructural que se indica en la Tabla N° 6 y respetando las restricciones a la irregularidad de la Tabla N° 10.

Categoría de la Edificación	Zona	Sistema Estructural
A1	4 y 3	Aislamiento Sísmico con cualquier sistema estructural.
	2 y 1	Estructuras de acero tipo SCBF, OCBF y EBF. Estructuras de concreto: Sistema Dual, Muros de Concreto Armado. Albañilería Armada o Confinada.
A2 (*)	4, 3 y 2	Estructuras de acero tipo SCBF, OCBF y EBF. Estructuras de concreto: Sistema Dual, Muros de Concreto Armado. Albañilería Armada o Confinada.
	1	Cualquier sistema.

Categoría de la Edificación	Zona	Sistema Estructural
B	4, 3 y 2	Estructuras de acero tipo SMF, IMF, SCBF, OCBF y EBF. Estructuras de concreto: Pórticos, Sistema Dual, Muros de Concreto Armado. Albanilería Armada o Confinada. Estructuras de madera
	1	Cualquier sistema.
C	4, 3, 2 y 1	Cualquier sistema.

(*) Para pequeñas construcciones rurales, como escuelas y postas médicas, se podrá usar materiales tradicionales siguiendo las recomendaciones de las normas correspondientes a dichos materiales.

3.4 Sistemas Estructurales y Coeficiente Básico de Reducción de las Fuerzas Sísmicas (R_o)

Los sistemas estructurales se clasificarán según los materiales usados y el sistema de estructuración sismorresistente en cada dirección de análisis, tal como se indica en la Tabla N° 7.

Cuando en la dirección de análisis, la edificación presente más de un sistema estructural, se tomará el menor coeficiente R_o que corresponda.

Tabla N° 7 SISTEMAS ESTRUCTURALES	
Sistema Estructural	Coeficiente Básico de Reducción R_o (*)
Acero:	
Pórticos Especiales Resistentes a Momentos (SMF)	8
Pórticos Intermedios Resistentes a Momentos (IMF)	7
Pórticos Ordinarios Resistentes a Momentos (OMF)	6
Pórticos Especiales Concéntricamente Arriostrados (SCBF)	8
Pórticos Ordinarios Concéntricamente Arriostrados (OCBF)	6
Pórticos Excéntricamente Arriostrados (EBF)	8
Concreto Armado:	
Pórticos	8
Dual	7
De muros estructurales	6
Muros de ductilidad limitada	4
Albanilería Armada o Confinada.	3
Madera (Por esfuerzos admisibles)	7

(*) Estos coeficientes se aplicarán únicamente a estructuras en las que los elementos verticales y horizontales permitan la disipación de la energía manteniendo la estabilidad de la estructura. No se aplican a estructuras tipo péndulo invertido.

Para construcciones de tierra debe remitirse a la Norma E.080 "Adobe" del RNE. Este tipo de construcciones no se recomienda en suelos S_3 , ni se permite en suelos S_4 .

3.5 Regularidad Estructural

Las estructuras deben ser clasificadas como regulares o irregulares para los fines siguientes:

- Cumplir las restricciones de la Tabla N° 10.
- Establecer los procedimientos de análisis.
- Determinar el coeficiente R de reducción de fuerzas sísmicas.

Estructuras Regulares son las que en su configuración resistente a cargas laterales, no presentan las irregularidades indicadas en las Tablas N° 8 y N° 9.

En estos casos, el factor I_a o I_p será igual a 1,0.

Estructuras Irregulares son aquellas que presentan una o más de las irregularidades indicadas en las Tablas N° 8 y N° 9.

3.6 Factores de Irregularidad (I_a, I_p)

El factor I_a se determinará como el menor de los valores de la Tabla N° 8 correspondiente a las irregularidades estructurales existentes en altura en las dos direcciones de análisis. El factor I_p se determinará como el menor de los valores de la Tabla N° 9 correspondiente a las irregularidades estructurales existentes en planta en las dos direcciones de análisis.

Si al aplicar las Tablas N° 8 y 9 se obtuvieran valores distintos de los factores I_a o I_p para las dos direcciones de análisis, se deberá tomar para cada factor el menor valor entre los obtenidos para las dos direcciones.

Tabla N° 8 IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN ALTURA	Factor de Irregularidad I_a
Irregularidad de Rigidez – Piso Blando Existe irregularidad de rigidez cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, la distorsión de entrepiso (deriva) es mayor que 1,4 veces el correspondiente valor en el entrepiso inmediato superior, o es mayor que 1,25 veces el promedio de las distorsiones de entrepiso en los tres niveles superiores adyacentes. La distorsión de entrepiso se calculará como el promedio de las distorsiones en los extremos del entrepiso.	0,75
Irregularidades de Resistencia – Piso Débil Existe irregularidad de resistencia cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, la resistencia de un entrepiso frente a fuerzas cortantes es inferior a 80 % de la resistencia del entrepiso inmediato superior.	
Irregularidad Extrema de Rigidez (Ver Tabla N° 10) Se considera que existe irregularidad extrema en la rigidez cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, la distorsión de entrepiso (deriva) es mayor que 1,6 veces el correspondiente valor del entrepiso inmediato superior, o es mayor que 1,4 veces el promedio de las distorsiones de entrepiso en los tres niveles superiores adyacentes. La distorsión de entrepiso se calculará como el promedio de las distorsiones en los extremos del entrepiso.	0,50
Irregularidad Extrema de Resistencia (Ver Tabla N° 10) Existe irregularidad extrema de resistencia cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, la resistencia de un entrepiso frente a fuerzas cortantes es inferior a 65 % de la resistencia del entrepiso inmediato superior.	
Irregularidad de Masa o Peso Se tiene irregularidad de masa (o peso) cuando el peso de un piso, determinado según el numeral 4.3, es mayor que 1,5 veces el peso de un piso adyacente. Este criterio no se aplica en azoteas ni en sótanos.	0,90
Irregularidad Geométrica Vertical La configuración es irregular cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, la dimensión en planta de la estructura resistente a cargas laterales es mayor que 1,3 veces la correspondiente dimensión en un piso adyacente. Este criterio no se aplica en azoteas ni en sótanos.	0,90
Discontinuidad en los Sistemas Resistentes Se califica a la estructura como irregular cuando en cualquier elemento que resista más de 10 % de la fuerza cortante se tiene un desalineamiento vertical, tanto por un cambio de orientación, como por un desplazamiento del eje de magnitud mayor que 25 % de la correspondiente dimensión del elemento.	0,80

Tabla N° 8 IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN ALTURA	Factor de Irregularidad I_a
Discontinuidad extrema de los Sistemas Resistentes (Ver Tabla N° 10) Existe discontinuidad extrema cuando la fuerza cortante que resisten los elementos discontinuos según se describen en el ítem anterior, supere el 25 % de la fuerza cortante total.	0,60
Tabla N° 9 IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN PLANTA	Factor de Irregularidad I_p
Irregularidad Torsional Existe irregularidad torsional cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, el máximo desplazamiento relativo de entrepiso en un extremo del edificio, calculado incluyendo excentricidad accidental ($\Delta_{m\acute{a}x}$), es mayor que 1,2 veces el desplazamiento relativo del centro de masas del mismo entrepiso para la misma condición de carga (Δ_{CM}). Este criterio sólo se aplica en edificios con diafragmas rígidos y sólo si el máximo desplazamiento relativo de entrepiso es mayor que 50 % del desplazamiento permisible indicado en la Tabla N° 11.	0,75
Irregularidad Torsional Extrema (Ver Tabla N° 10) Existe irregularidad torsional extrema cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, el máximo desplazamiento relativo de entrepiso en un extremo del edificio, calculado incluyendo excentricidad accidental (Δ_{CM}), es mayor que 1,5 veces el desplazamiento relativo del centro de masas del mismo entrepiso para la misma condición de carga (Δ_{CM}). Este criterio sólo se aplica en edificios con diafragmas rígidos y sólo si el máximo desplazamiento relativo de entrepiso es mayor que 50 % del desplazamiento permisible indicado en la Tabla N° 11.	0,60
Esquinas Entrantes La estructura se califica como irregular cuando tiene esquinas entrantes cuyas dimensiones en ambas direcciones son mayores que 20 % de la correspondiente dimensión total en planta.	0,90
Discontinuidad del Diafragma La estructura se califica como irregular cuando los diafragmas tienen discontinuidades abruptas o variaciones importantes en rigidez, incluyendo aberturas mayores que 50 % del área bruta del diafragma. También existe irregularidad cuando, en cualquiera de los pisos y para cualquiera de las direcciones de análisis, se tiene alguna sección transversal del diafragma con un área neta resistente menor que 25 % del área de la sección transversal total de la misma dirección calculada con las dimensiones totales de la planta.	0,85
Sistemas no Paralelos Se considera que existe irregularidad cuando en cualquiera de las direcciones de análisis los elementos resistentes a fuerzas laterales no son paralelos. No se aplica si los ejes de los pórticos o muros forman ángulos menores que 30° ni cuando los elementos no paralelos resisten menos que 10 % de la fuerza cortante del piso.	0,90

3.7 Restricciones a la Irregularidad

3.7.1 Categoría de la Edificación e Irregularidad

De acuerdo a la categoría de una edificación y la zona donde se ubique, ésta deberá proyectarse respetando las restricciones a la irregularidad de la Tabla N° 10.

Tabla N° 10 CATEGORÍA Y REGULARIDAD DE LAS EDIFICACIONES		
Categoría de la Edificación	Zona	Restricciones
A1 y A2	4, 3 y 2	No se permiten irregularidades
	1	No se permiten irregularidades extremas
B	4, 3 y 2	No se permiten irregularidades extremas
	1	Sin restricciones
C	4 y 3	No se permiten irregularidades extremas
	2	No se permiten irregularidades extremas excepto en edificios de hasta 2 pisos u 8 m de altura total
	1	Sin restricciones

3.7.2 Sistemas de Transferencia

Los sistemas de transferencia son estructuras de losas y vigas que transmiten las fuerzas y momentos desde elementos verticales discontinuos hacia otros del piso inferior.

En las zonas sísmicas 4, 3 y 2 no se permiten estructuras con sistema de transferencia en los que más del 25 % de las cargas de gravedad o de las cargas sísmicas en cualquier nivel sean soportadas por elementos verticales que no son continuos hasta la cimentación. Esta disposición no se aplica para el último entrepiso de las edificaciones.

3.8 Coeficiente de Reducción de las Fuerzas Sísmicas, R

El coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas se determinará como el producto del coeficiente R_0 determinado a partir de la Tabla N° 7 y de los factores I_a , I_p obtenidos de las Tablas N° 8 y N° 9.

$$R = R_0 \cdot I_a \cdot I_p$$

3.9 Sistemas de Aislamiento Sísmico y Sistemas de Disipación de Energía

Se permite la utilización de sistemas de aislamiento sísmico o de sistemas de disipación de energía en la edificación, siempre y cuando se cumplan las disposiciones de esta Norma (mínima fuerza cortante en la base, distorsión de entrepiso máxima permisible), y en la medida que sean aplicables los requisitos del documento siguiente:

“Minimum Design Loads for Building and Other Structures”, ASCE/SEI 7-10, Structural Engineering Institute of the American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia, USA, 2010.

La instalación de sistemas de aislamiento sísmico o de sistemas de disipación de energía deberá someterse a una supervisión técnica especializada a cargo de un ingeniero civil.

CAPÍTULO 4 ANÁLISIS ESTRUCTURAL

4.1 Consideraciones Generales para el Análisis

Para estructuras regulares, el análisis podrá hacerse considerando que el total de la fuerza sísmica actúa independientemente en dos direcciones ortogonales predominantes. Para estructuras irregulares deberá suponerse que la acción sísmica ocurre en la dirección que resulte más desfavorable para el diseño.

Las solicitaciones sísmicas verticales se considerarán en el diseño de los elementos verticales, en elementos horizontales de gran luz, en elementos post o pre tensados y en los voladizos o salientes de un edificio. Se considera que la fuerza sísmica vertical actúa en los elementos simultáneamente con la fuerza sísmica horizontal y en el sentido más desfavorable para el análisis.

4.2 Modelos para el Análisis

El modelo para el análisis deberá considerar una distribución espacial de masas y rigideces que sean adecuadas para calcular los aspectos más significativos del comportamiento dinámico de la estructura.



Para propósito de esta Norma las estructuras de concreto armado y albañilería podrán ser analizadas considerando las inercias de las secciones brutas, ignorando la fisuración y el refuerzo.

Para edificios en los que se pueda razonablemente suponer que los sistemas de piso funcionan como diafragmas rígidos, se podrá usar un modelo con masas concentradas y tres grados de libertad por diafragma, asociados a dos componentes ortogonales de traslación horizontal y una rotación. En tal caso, las deformaciones de los elementos deberán compatibilizarse mediante la condición de diafragma rígido y la distribución en planta de las fuerzas horizontales deberá hacerse en función a las rigideces de los elementos resistentes.

Deberá verificarse que los diafragmas tengan la rigidez y resistencia, suficientes para asegurar la distribución antes mencionada, en caso contrario, deberá tomarse en cuenta su flexibilidad para la distribución de las fuerzas sísmicas.

El modelo estructural deberá incluir la tabiquería que no esté debidamente aislada.

Para los pisos que no constituyan diafragmas rígidos, los elementos resistentes serán diseñados para las fuerzas horizontales que directamente les corresponde.

En los edificios cuyos elementos estructurales predominantes sean muros, se deberá considerar un modelo que tome en cuenta la interacción entre muros en direcciones perpendiculares (muros en H, muros en T y muros en L).

4.3 Estimación del Peso (P)

El peso (P), se calculará adicionando a la carga permanente y total de la edificación un porcentaje de la carga viva o sobrecarga que se determinará de la siguiente manera:

- En edificaciones de las categorías A y B, se tomará el 50 % de la carga viva.
- En edificaciones de la categoría C, se tomará el 25 % de la carga viva.
- En depósitos, el 80 % del peso total que es posible almacenar.
- En azoteas y techos en general se tomará el 25 % de la carga viva.
- En estructuras de tanques, silos y estructuras similares se considerará el 100 % de la carga que puede contener.

4.4 Procedimientos de Análisis Sísmico

Deberá utilizarse uno de los procedimientos siguientes:

- Análisis estático o de fuerzas estáticas equivalentes (numeral 4.5).
- Análisis dinámico modal espectral (numeral 4.6).

El análisis se hará considerando un modelo de comportamiento lineal y elástico con las solicitaciones sísmicas reducidas.

El procedimiento de análisis dinámico tiempo - historia, descrito en el numeral 4.7, podrá usarse con fines de verificación, pero en ningún caso será exigido como sustituto de los procedimientos indicados en los numerales 4.5 y 4.6.

4.5 Análisis Estático o de Fuerzas Estáticas Equivalentes

4.5.1 Generalidades

Este método representa las solicitaciones sísmicas mediante un conjunto de fuerzas actuando en el centro de masas de cada nivel de la edificación.

Podrán analizarse mediante este procedimiento todas las estructuras regulares o irregulares ubicadas en la zona sísmica 1, las estructuras clasificadas como regulares según el numeral 3.5 de no más de 30 m de altura y las estructuras de muros portantes de concreto armado y albañilería armada o confinada de no más de 15 m de altura, aun cuando sean irregulares.

4.5.2 Fuerza Cortante en la Base

La fuerza cortante total en la base de la estructura, correspondiente a la dirección considerada, se determinará por la siguiente expresión:

$$V = \frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R} \cdot P$$

El valor de C/R no deberá considerarse menor que:

$$\frac{C}{R} \geq 0,125$$

4.5.3 Distribución de la Fuerza Sísmica en Altura

Las fuerzas sísmicas horizontales en cualquier nivel i , correspondientes a la dirección considerada, se calcularán mediante:

$$F_i = \alpha_i \cdot V$$

$$\alpha_i = \frac{P_i(h_i)^k}{\sum_{j=1}^n P_j(h_j)^k}$$

Donde n es el número de pisos del edificio, k es un exponente relacionado con el período fundamental de vibración de la estructura (T), en la dirección considerada, que se calcula de acuerdo a:

- Para T menor o igual a 0,5 segundos: $k = 1,0$.
- Para T mayor que 0,5 segundos: $k = (0,75 + 0,5 T) \leq 2,0$.

4.5.4 Período Fundamental de Vibración

El período fundamental de vibración para cada dirección se estimará con la siguiente expresión:

$$T = \frac{h_n}{C_T}$$

Donde:

$C_T = 35$ Para edificios cuyos elementos resistentes en la dirección considerada sean únicamente:

- Pórticos de concreto armado sin muros de corte.
- Pórticos dúctiles de acero con uniones resistentes a momentos, sin arriostramiento.

$C_T = 45$ Para edificios cuyos elementos resistentes en la dirección considerada sean:

- Pórticos de concreto armado con muros en las cajas de ascensores y escaleras.
- Pórticos de acero arriostrados.

$C_T = 60$ Para edificios de albañilería y para todos los edificios de concreto armado duales, de muros estructurales, y muros de ductilidad limitada.

Alternativamente podrá usarse la siguiente expresión:

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{\left(\sum_{i=1}^n P_i \cdot d_i^2\right)}{\left(g \cdot \sum_{i=1}^n f_i \cdot d_i\right)}}$$

Donde:

- f_i es la fuerza lateral en el nivel i correspondiente a una distribución en altura semejante a la del primer modo en la dirección de análisis.

- d_i es el desplazamiento lateral del centro de masa del nivel i en traslación pura (restringiendo los giros en planta) debido a las fuerzas f_i . Los desplazamientos se calcularán suponiendo comportamiento lineal elástico de la estructura y, para el caso de estructuras de concreto armado y de albañilería, considerando las secciones sin fisurar.

Cuando el análisis no considere la rigidez de los elementos no estructurales, el período fundamental T deberá tomarse como 0,85 del valor obtenido con la fórmula precedente.

4.5.5 Excentricidad Accidental

Para estructuras con diafragmas rígidos, se supondrá que la fuerza en cada nivel (F) actúa en el centro de masas del nivel respectivo y debe considerarse además de la excentricidad propia de la estructura el efecto de excentricidades accidentales (en cada dirección de análisis) como se indica a continuación:

a) En el centro de masas de cada nivel, además de la fuerza lateral estática actuante, se aplicará un momento torsor accidental (M_{ti}) que se calcula como:

$$M_{ti} = \pm F_i \cdot e_i$$

Para cada dirección de análisis, la excentricidad accidental en cada nivel (e_i), se considerará como 0,05 veces la dimensión del edificio en la dirección perpendicular a la dirección de análisis.

b) Se puede suponer que las condiciones más desfavorables se obtienen considerando las excentricidades accidentales con el mismo signo en todos los niveles. Se considerarán únicamente los incrementos de las fuerzas horizontales no así las disminuciones.

4.5.6 Fuerzas Sísmicas Verticales

La fuerza sísmica vertical se considerará como una fracción del peso igual a $2/3 Z \cdot U \cdot S$.

En elementos horizontales de grandes luces, incluyendo volados, se requerirá un análisis dinámico con los espectros definidos en el numeral 4.6.2.

4.6 Análisis Dinámico Modal Espectral

Cualquier estructura puede ser diseñada usando los resultados de los análisis dinámicos por combinación modal espectral según lo especificado en este numeral.

4.6.1 Modos de Vibración

Los modos de vibración podrán determinarse por un procedimiento de análisis que considere apropiadamente las características de rigidez y la distribución de las masas.

En cada dirección se considerarán aquellos modos de vibración cuya suma de masas efectivas sea por lo menos el 90 % de la masa total, pero deberá tomarse en cuenta por lo menos los tres primeros modos predominantes en la dirección de análisis.

4.6.2 Aceleración Espectral

Para cada una de las direcciones horizontales analizadas se utilizará un espectro inelástico de pseudo-aceleraciones definido por:

$$S_a = \frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R} \cdot g$$

Para el análisis en la dirección vertical podrá usarse un espectro con valores iguales a los $2/3$ del espectro empleado para las direcciones horizontales.

4.6.3 Criterios de Combinación

Mediante los criterios de combinación que se indican, se podrá obtener la respuesta máxima elástica esperada (r) tanto para las fuerzas internas en los elementos componentes de la estructura, como para los parámetros globales del edificio como fuerza cortante en la base, cortantes de entrepiso, momentos de volteo, desplazamientos totales y relativos de entrepiso.

La respuesta máxima elástica esperada (r) correspondiente al efecto conjunto de los diferentes modos de vibración empleados (r_i) podrá determinarse

usando la combinación cuadrática completa de los valores calculados para cada modo.

$$r = \sqrt{\sum \sum r_i \rho_{ij} r_j}$$

Donde r representa las respuestas modales, desplazamientos o fuerzas. Los coeficientes de correlación están dados por:

$$\rho_{ij} = \frac{8\beta^2(1+\lambda)\lambda^{3/2}}{(1-\lambda^2)^2 + 4\beta^2\lambda(1+\lambda)^2} \quad \lambda = \frac{\omega_j}{\omega_i}$$

β , fracción del amortiguamiento crítico, que se puede suponer constante para todos los modos igual a 0,05

ω_i, ω_j son las frecuencias angulares de los modos i, j

Alternativamente, la respuesta máxima podrá estimarse mediante la siguiente expresión.

$$r = 0,25 \cdot \sum_{i=1}^m |r_i| + 0,75 \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^m r_i^2}$$

4.6.4 Fuerza Cortante Mínima

Para cada una de las direcciones consideradas en el análisis, la fuerza cortante en el primer entrepiso del edificio no podrá ser menor que el 80 % del valor calculado según el numeral 4.5 para estructuras regulares, ni menor que el 90 % para estructuras irregulares.

Si fuera necesario incrementar el cortante para cumplir los mínimos señalados, se deberán escalar proporcionalmente todos los otros resultados obtenidos, excepto los desplazamientos.

4.6.5 Excentricidad Accidental (Efectos de Torsión)

La incertidumbre en la localización de los centros de masa en cada nivel, se considerará mediante una excentricidad accidental perpendicular a la dirección del sismo igual a 0,05 veces la dimensión del edificio en la dirección perpendicular a la dirección de análisis. En cada caso deberá considerarse el signo más desfavorable.

4.7 Análisis Dinámico Tiempo - Historia

El análisis dinámico tiempo - historia podrá emplearse como un procedimiento complementario a los especificados en los numerales 4.5 y 4.6.

En este tipo de análisis deberá utilizarse un modelo matemático de la estructura que considere directamente el comportamiento histerético de los elementos, determinándose la respuesta frente a un conjunto de aceleraciones del terreno mediante integración directa de las ecuaciones de equilibrio.

4.7.1 Registros de Aceleración

Para el análisis se usarán como mínimo tres conjuntos de registros de aceleraciones del terreno, cada uno de los cuales incluirá dos componentes en direcciones ortogonales.

Cada conjunto de registros de aceleraciones del terreno consistirá en un par de componentes de aceleración horizontal, elegidas y escaladas de eventos individuales. Las historias de aceleración serán obtenidas de eventos cuyas magnitudes, distancia a las fallas, y mecanismos de fuente sean consistentes con el máximo sismo considerado. Cuando no se cuente con el número requerido de registros apropiados, se podrán usar registros simulados para alcanzar el número total requerido.

Para cada par de componentes horizontales de movimiento del suelo, se construirá un espectro de pseudo aceleraciones tomando la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados (SRSS) de los valores espectrales calculados para cada componente por separado, con 5 % de amortiguamiento. Ambas componentes se escalarán por un mismo factor, de modo que en el rango de períodos entre $0,2 T$ y $1,5 T$ (siendo T el período fundamental),

el promedio de los valores espectrales SRSS obtenidos para los distintos juegos de registros no sea menor que la ordenada correspondiente del espectro de diseño, calculada según el numeral 4.6.2 con $R = 1$.

Para la generación de registros simulados deberán considerarse los valores de C , definidos en el numeral 2.5, excepto para la zona de períodos muy cortos ($T < 0,2 T_p$) en la que se considerará:

$$T < 0,2 T_p \quad C = 1 + 7,5 \cdot \left(\frac{T}{T_p}\right)$$

4.7.2 Modelo para el Análisis

El modelo matemático deberá representar correctamente la distribución espacial de masas en la estructura.

El comportamiento de los elementos será modelado de modo consistente con resultados de ensayos de laboratorio y tomará en cuenta la fluencia, la degradación de resistencia, la degradación de rigidez, el estrechamiento de los lazos histeréticos, y todos los aspectos relevantes del comportamiento estructural indicado por los ensayos.

La resistencia de los elementos será obtenida en base a los valores esperados sobre resistencia del material, endurecimiento por deformación y degradación de resistencia por la carga cíclica.

Se permite suponer propiedades lineales para aquellos elementos en los que el análisis demuestre que permanecen en el rango elástico de respuesta.

Se admite considerar un amortiguamiento viscoso equivalente con un valor máximo del 5 % del amortiguamiento crítico, además de la disipación resultante del comportamiento histerético de los elementos.

Se puede suponer que la estructura está empotrada en la base, o alternativamente considerar la flexibilidad del sistema de cimentación si fuera pertinente.

4.7.3 Tratamiento de Resultados

En caso se utilicen por lo menos siete juegos de registros del movimiento del suelo, las fuerzas de diseño, las deformaciones en los elementos y las distorsiones de entrepiso se evaluarán a partir de los promedios de los correspondientes resultados máximos obtenidos en los distintos análisis. Si se utilizaran menos de siete juegos de registros, las fuerzas de diseño, las deformaciones y las distorsiones de entrepiso serán evaluadas a partir de los máximos valores obtenidos de todos los análisis.

Las distorsiones máximas de entrepiso no deberán exceder de 1,25 veces de los valores indicados en la Tabla N° 11.

Las deformaciones en los elementos no excederán de 2/3 de aquellas para las que perderían la capacidad portante para cargas verticales o para las que se tendría una pérdida de resistencia en exceso a 30 %.

Para verificar la resistencia de los elementos se dividirán los resultados del análisis entre $R = 2$, empleándose las normas aplicables a cada material.

CAPÍTULO 5 REQUISITOS DE RIGIDEZ, RESISTENCIA Y DUCTILIDAD

5.1 Determinación de Desplazamientos Laterales

Para estructuras regulares, los desplazamientos laterales se calcularán multiplicando por 0,75 R los resultados obtenidos del análisis lineal y elástico con las solicitaciones sísmicas reducidas. Para estructuras irregulares, los desplazamientos laterales se calcularán multiplicando por R los resultados obtenidos del análisis lineal elástico.

Para el cálculo de los desplazamientos laterales no se considerarán los valores mínimos de C/R indicados en el numeral 4.5.2 ni el cortante mínimo en la base especificado en el numeral 4.6.4.

5.2 Desplazamientos Laterales Relativos Admisibles

El máximo desplazamiento relativo de entrepiso, calculado según el numeral 5.1, no deberá exceder la

fracción de la altura de entrepiso (distorsión) que se indica en la Tabla N° 11.

Tabla N° 11 LÍMITES PARA LA DISTORSIÓN DEL ENTREPISO	
Material Predominante	(Δ_i / h_{ei})
Concreto Armado	0,007
Acero	0,010
Albañilería	0,005
Madera	0,010
Edificios de concreto armado con muros de ductilidad limitada	0,005

Nota: Los límites de la distorsión (deriva) para estructuras de uso industrial serán establecidos por el proyectista, pero en ningún caso excederán el doble de los valores de esta Tabla.

5.3 Separación entre Edificios (s)

Toda estructura debe estar separada de las estructuras vecinas, desde el nivel del terreno natural, una distancia mínima s para evitar el contacto durante un movimiento sísmico.

Esta distancia no será menor que los 2/3 de la suma de los desplazamientos máximos de los edificios adyacentes ni menor que:

$$s = 0,006 h \geq 0,03 \text{ m}$$

Donde h es la altura medida desde el nivel del terreno natural hasta el nivel considerado para evaluar s .

El edificio se retirará de los límites de propiedad adyacentes a otros lotes edificables, o con edificaciones, distancias no menores de 2/3 del desplazamiento máximo calculado según el numeral 5.1 ni menores que $s/2$ si la edificación existente cuenta con una junta sísmica reglamentaria.

En caso de que no exista la junta sísmica reglamentaria, el edificio deberá separarse de la edificación existente el valor de $s/2$ que le corresponde más el valor $s/2$ de la estructura vecina.

5.4 Redundancia

Cuando sobre un solo elemento de la estructura, muro o pórtico, actúa una fuerza de 30 % o más del total de la fuerza cortante horizontal en cualquier entrepiso, dicho elemento deberá diseñarse para el 125 % de dicha fuerza.

5.5 Verificación de Resistencia Última

En caso se realice un análisis de la resistencia última se podrá utilizar las especificaciones del ASCE/SEI 41 SEISMIC REHABILITATION OF EXISTING BUILDINGS. Esta disposición no constituye una exigencia de la presente Norma.

CAPÍTULO 6 ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES, APÉNDICES Y EQUIPOS

6.1 Generalidades

Se consideran como elementos no estructurales aquellos que, estando conectados o no al sistema resistente a fuerzas horizontales, aportan masa al sistema pero su aporte a la rigidez no es significativo.

Para los elementos no estructurales que estén unidos al sistema estructural sismorresistente y deban acompañar la deformación de la estructura deberá asegurarse que en caso de falla no causen daños.

Dentro de los elementos no estructurales que deben tener adecuada resistencia y rigidez para acciones sísmicas se incluyen:

- Cercos, tabiques, parapetos, paneles prefabricados.
- Elementos arquitectónicos y decorativos entre ellos cielos rasos, enchapes.

- Vidrios y muro cortina.
- Instalaciones hidráulicas y sanitarias.
- Instalaciones eléctricas.
- Instalaciones de gas.
- Equipos mecánicos.
- Mobiliario cuya inestabilidad signifique un riesgo.

6.2 Responsabilidad Profesional

Los profesionales que elaboran los diferentes proyectos serán responsables de proveer a los elementos no estructurales la adecuada resistencia y rigidez para acciones sísmicas.

6.3 Fuerzas de Diseño

Los elementos no estructurales, sus anclajes, y sus conexiones deberán diseñarse para resistir una fuerza sísmica horizontal en cualquier dirección (F) asociada a su peso (P_e), cuya resultante podrá suponerse aplicada en el centro de masas del elemento, tal como se indica a continuación:

$$F = \frac{a_i}{g} \cdot C_1 \cdot P_e$$

Donde a_i es la aceleración horizontal en el nivel donde el elemento no estructural está soportado, o anclado, al sistema estructural de la edificación. Esta aceleración depende de las características dinámicas del sistema estructural de la edificación y debe evaluarse mediante un análisis dinámico de la estructura.

Alternativamente podrá utilizarse la siguiente ecuación:

$$F = \frac{F_i}{P_i} \cdot C_1 \cdot P_e$$

Donde F_i es la fuerza lateral en el nivel donde se apoya o se ancla el elemento no estructural calculada de acuerdo al numeral 4.5 y P_i el peso de dicho nivel.

Los valores de C_1 se tomarán de la Tabla N° 12.

Para calcular las solicitaciones de diseño en muros, tabiques, parapetos y en general elementos no estructurales con masa distribuida, la fuerza F se convertirá en una carga uniformemente distribuida por unidad de área. Para muros y tabiques soportados horizontalmente en dos niveles consecutivos, se tomará el promedio de las aceleraciones de los dos niveles.

Tabla N° 12 VALORES DE C_1	
- Elementos que al fallar puedan precipitarse fuera de la edificación y cuya falla entrañe peligro para personas u otras estructuras.	3,0
- Muros y tabiques dentro de una edificación.	2,0
- Tanques sobre la azotea, casa de máquinas, pérgolas, parapetos en la azotea.	3,0
- Equipos rígidos conectados rígidamente al piso.	1,5

6.4 Fuerza Horizontal Mínima

En ningún nivel del edificio la fuerza F calculada con el numeral 6.3 será menor que $0,5 \cdot Z \cdot U \cdot S \cdot P_e$.

6.5 Fuerzas Sísmicas Verticales

La fuerza sísmica vertical se considerará como 2/3 de la fuerza horizontal.

Para equipos soportados por elementos de grandes luces, incluyendo volados, se requerirá un análisis dinámico con los espectros definidos en el numeral 4.6.2.

6.6 Elementos no Estructurales Localizados en la Base de la Estructura, por Debajo de la Base y Cercos

Los elementos no estructurales localizados a nivel de la base de la estructura o por debajo de ella (sótanos) y los cercos deberán diseñarse con una fuerza horizontal calculada con:

$$F = 0,5 \cdot Z \cdot U \cdot S \cdot P_e$$

6.7 Otras Estructuras

Para letreros, chimeneas, torres y antenas de comunicación instaladas en cualquier nivel del edificio, la fuerza de diseño se establecerá considerando las propiedades dinámicas del edificio y de la estructura a instalar. La fuerza de diseño no deberá ser menor que la correspondiente a la calculada con la metodología propuesta en este capítulo con un valor de C_1 mínimo de 3,0.

6.8 Diseño Utilizando el Método de los Esfuerzos Admisibles

Cuando el elemento no estructural o sus anclajes se diseñen utilizando el Método de los Esfuerzos Admisibles, las fuerzas sísmicas definidas en este Capítulo se multiplicarán por 0,8.

CAPÍTULO 7 CIMENTACIONES

7.1 Generalidades

Las suposiciones que se hagan para los apoyos de la estructura deberán ser concordantes con las características propias del suelo de cimentación.

La determinación de las presiones actuantes en el suelo para la verificación por esfuerzos admisibles, se hará con las fuerzas obtenidas del análisis sísmico multiplicadas por 0,8.

7.2 Capacidad Portante

En todo estudio de mecánica de suelos deberán considerarse los efectos de los sismos para la determinación de la capacidad portante del suelo de cimentación. En los sitios en que pueda producirse licuación del suelo, debe efectuarse una investigación geotécnica que evalúe esta posibilidad y determine la solución más adecuada.

7.3 Momento de Volteo

Toda estructura y su cimentación deberán ser diseñadas para resistir el momento de volteo que produce un sismo, según los numerales 4.5 o 4.6. El factor de seguridad calculado con las fuerzas que se obtienen en aplicación de esta Norma deberá ser mayor o igual que 1,2.

7.4 Cimentaciones sobre suelos flexibles o de baja capacidad portante

Para zapatas aisladas con o sin pilotes en suelos tipo S_3 y S_4 y para las Zonas 4 y 3 se proveerá elementos de conexión, los que deben soportar en tracción o compresión, una fuerza horizontal mínima equivalente al 10 % de la carga vertical que soporta la zapata.

Para suelos de capacidad portante menor que 0,15 MPa se proveerá vigas de conexión en ambas direcciones.

Para el caso de pilotes y cajones deberá proveerse de vigas de conexión o deberá tenerse en cuenta los giros y deformaciones por efecto de la fuerza horizontal diseñando pilotes y zapatas para estas solicitaciones. Los pilotes tendrán una armadura en tracción equivalente por lo menos al 15 % de la carga vertical que soportan.

CAPÍTULO 8 EVALUACIÓN, REPARACIÓN Y REFORZAMIENTO DE ESTRUCTURAS

Las estructuras dañadas por sismos deben ser evaluadas, reparadas y/o reforzadas de tal manera que se corrijan los posibles defectos estructurales que provocaron los daños y recuperen la capacidad de resistir un nuevo evento sísmico, acorde con la filosofía del diseño sismorresistente señalada en el Capítulo 1.

8.1 Evaluación de estructuras después de un sismo

Ocurrido el evento sísmico la estructura deberá ser evaluada por un ingeniero civil, quien deberá determinar si la edificación se encuentra en buen estado o requiere de reforzamiento, reparación o demolición. El estudio deberá necesariamente considerar las características geotécnicas del sitio.

8.2 Reparación y reforzamiento

La reparación o reforzamiento deberá dotar a la estructura de una combinación adecuada de rigidez, resistencia y ductilidad que garantice su buen comportamiento en eventos futuros.

El proyecto de reparación o reforzamiento incluirá los detalles, procedimientos y sistemas constructivos a seguirse.

Para la reparación y el reforzamiento sísmico de edificaciones se seguirán los lineamientos del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE). Solo en casos excepcionales se podrá emplear otros criterios y procedimientos diferentes a los indicados en el RNE, con la debida justificación técnica y con aprobación del propietario y de la autoridad competente.

Las edificaciones esenciales se podrán intervenir empleando los criterios de reforzamiento sísmico progresivo y en la medida que sea aplicable, usando los criterios establecidos en el documento "Engineering Guideline for Incremental Seismic Rehabilitation", FEMA P-420, Risk Management Series, USA, 2009.

CAPÍTULO 9 INSTRUMENTACIÓN

9.1 Estaciones Acelerométricas

Las edificaciones que individualmente o en forma conjunta, tengan un área techada igual o mayor que 10 000 m², deberán contar con una estación acelerométrica, instalada a nivel del terreno natural o en la base del edificio. Dicha estación acelerométrica deberá ser provista por el propietario, siendo las especificaciones técnicas, sistemas de conexión y transmisión de datos debidamente aprobados por el Instituto Geofísico del Perú (IGP).

En edificaciones con más de 20 pisos o en aquellas con dispositivos de disipación sísmica o de aislamiento en la base, de cualquier altura, se requerirá además de una estación acelerométrica en la base, otra adicional, en la azotea o en el nivel inferior al techo.

9.2 Requisitos para su Ubicación

La estación acelerométrica deberá instalarse en un área adecuada, con acceso fácil para su mantenimiento y apropiada iluminación, ventilación, suministro de energía eléctrica estabilizada. El área deberá estar alejada de fuentes generadoras de cualquier tipo de ruido antrópico. El plan de instrumentación será preparado por los proyectistas de cada especialidad, debiendo indicarse claramente en los planos de arquitectura, estructuras e instalaciones del edificio.

9.3 Mantenimiento

El mantenimiento operativo de las partes, de los componentes, del material fungible, así como el servicio de los instrumentos, deberán ser provistos por los propietarios del edificio y/o departamentos, bajo control de la municipalidad y debe ser supervisado por el Instituto Geofísico del Perú. La responsabilidad del propietario se mantendrá por 10 años.

9.4 Disponibilidad de Datos

La información registrada por los instrumentos será integrada al Centro Nacional de Datos Geofísicos y se encontrará a disposición del público en general.

**ANEXO N° 01
ZONIFICACIÓN SÍSMICA**

Las zonas sísmicas en las que se divide el territorio peruano, para fines de esta Norma se muestran en la Figura 1.

A continuación se especifican las provincias y distritos de cada zona.

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SÍSMICA	ÁMBITO				
LORETO	MARISCAL RAMÓN CASTILLA	RAMÓN CASTILLA	1	TODOS LOS DISTRITOS				
		PEBAS						
		SAN PABLO						
		YAVARI						
	MAYNAS		ALTO NANAY	1	TODOS LOS DISTRITOS			
			BELÉN					
			FERNANDO LORES					
			INDIANA					
			IQUITOS					
			LAS AMAZONAS					
			MAZÁN					
			NAPO					
			PUNCHANA					
			PUTUMAYO					
REQUENA		SAQUENA	2	DIEZ DISTRITOS				
		REQUENA						
		CAPELO						
		SOPLIN						
		TAPICHE						
		JENARO HERRERA						
		YAQUERANA						
		ALTO TAPICHE						
		EMILIO SAN MARTÍN						
		MAQUÍA						
LORETO		NAUTA	2	TODOS LOS DISTRITOS				
		PARINARI						
		TIGRE						
		TROMPETEROS						
		URARINAS						
ALTO AMAZONAS		LAGUNAS	3	CINCO DISTRITOS				
		YURIMAGUAS						
		BALSAPUERTO						
		JEBEROS						
		SANTA CRUZ						
LORETO	UCAVALI	CONTAMANA	2	TODOS LOS DISTRITOS				
		INAHUAYA						
		PADRE MÁRQUEZ						
		PAMPA HERMOSA						
		SARAYACU						
		LORETO				TNTE. MANUEL CLAVERO	1	UN DISTRITO
						TORRES CAUSANA		
						SAQUENA		
						REQUENA		
						CAPELO		
SOPLIN								
TAPICHE								
JENARO HERRERA								
YAQUERANA								
ALTO TAPICHE								
EMILIO SAN MARTÍN								
MAQUÍA								
PUINAHUA								

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SÍSMICA	ÁMBITO
LORETO	UCAVALI	CONTAMANA	2	TODOS LOS DISTRITOS
		INAHUAYA		
		PADRE MÁRQUEZ		
		PAMPA HERMOSA		
		SARAYACU		

DATEM DEL MARAÑÓN	ALFREDO VARGAS GUERRA	2	CUATRO DISTRITOS
	YANAYACU		
	MANSERICHE		
	MORONA	3	DOS
	PASTAZA		
	ANDOAS		
	BARRANCA		
CAHUAPANAS			

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SISMICA	ÁMBITO
UCAVALI	PURÚS	PURÚS	1	ÚNICO DISTRITO
	ATALAYA	RAIMONDI	2	TODOS LOS DISTRITOS
		SEPAHUA		
		TAHUANIA		
	PADRE ABAD	YURÚA	2	TODOS LOS DISTRITOS
		CURIMANÁ		
		IRAZOLA		
	CORONEL PORTILLO	PADRE ABAD	2	TODOS LOS DISTRITOS
		CALLERÍA		
		CAMPOVERDE		
		IPARÍA		
		MANANTAY		
		MASISEA		
NUEVA REQUENA				
YARINACOCHA				

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SISMICA	ÁMBITO
MADRE DE DIOS	TAMBOPATA	INAMBARI	1	TODOS LOS DISTRITOS
		LABERINTO		
		LAS PIEDRAS		
		TAMBOPATA		
	TAHUAMANU	IBERIA	1	TODOS LOS DISTRITOS
		INÁPARI		
		TAHUAMANU		
	MANU	FITZCARRALD	2	TODOS LOS DISTRITOS
		HUEPETUHE		
		MADRE DE DIOS		
		MANU		

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SISMICA	ÁMBITO
PUNO	SANDIA	ALTO INAMBARI	1	TRES DISTRITOS
		SAN JUAN DEL ORO		
		YANAHUAYA		
		CUYOCUYO	2	SIETE DISTRITOS
		LIMBANI		
		PATAMBUCO		
		PHARA		
		QUIACA		
		SAN PEDRO DE PUTINA PUNCO		
	SANDIA			
	SAN ANTONIO DE PUTINA	ANANEA	2	TODOS LOS DISTRITOS
		QUILCAPUNCU		
		SINA		
		PEDRO VILCA APAZA		
		PUTINA		
	CARABAYA	AYAPATA	2	TODOS LOS DISTRITOS
		COASA		

HUANCANE	CRUCERO	2	TODOS LOS DISTRITOS
	ITUATA		
	SAN GABÁN		
	USICAYOS		
	AJOYANI		
	CORANI		
	MACUSANI		
MOHO	OLLACHEA	2	TODOS LOS DISTRITOS
	COJATA		
	HUANCANE		
	HUATASANI		
	INCHUPALLA		
	PUSI		
PUNO	ROSASPATA	2	TRES DISTRITOS
	TARACO		
	VILQUE CHICO		
	HUAYRAPATA		
	MOHO		
PUNO	CONIMA	3	DOCE DISTRITOS
	TILALI		
	COATA		
	CAPACHICA		
	AMANTANI		
	ACORA		
	ATUNCOLLA		
	CHUCUITO		
	HUATA		
	MAÑAZO		
	PAUCARCOLLA		
	PICHACANI		
	PLATERIA		
	PUNO		
SAN ANTONIO			
TIQUILLACA			
VILQUE			

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SISMICA	ÁMBITO
PUNO	AZÁNGARO	AZÁNGARO	2	TODOS LOS DISTRITOS
		ACHAYA		
		ARAPA		
		ASILLO		
		CAMINACA		
		CHUPA		
		JOSE DOMINGO CHOQUEHUANCA		
		MUÑANI		
		POTONI		
		SAMAN		
		SAN ANTON		
		SAN JOSÉ		
		SAN JUAN DE SALINAS		
		SANTIAGO DE PUPUJA		
	TIRAPATA			
	CHUCUITO	DESAGUADERO	3	TODOS LOS DISTRITOS
		HUACULLANI		
		JULI		
		KELLUYO		
		PISACOMA		
	EL COLLAO	POMATA	3	TODOS LOS DISTRITOS
		ZEPITA		
		CAPAZO		
		CONDURIRI		
	EL COLLAO	ILAVE	3	TODOS LOS DISTRITOS
		PILCUYO		

PUNO	LAMPA	SANTA ROSA	2	TRES DISTRITOS
		CALAPUJA		
		NICASIO		
		PUCARÁ	3	SIETE DISTRITOS
		CABANILLA		
		LAMPA		
		OCUVIRI		
	PALCA			
	PARATIA			
	SANTA LUCÍA	2	TODOS LOS DISTRITOS	
	VILAVILA			
	ANTAUTA			
	AYAVIRI			
	CUPI			
	LLALLI			
	MACARI			
	NUÑO A	3	TODOS LOS DISTRITOS	
	ORURILLO			
	SANTA ROSA			
	UMACHIRI			
JULIACA	3	TODOS LOS DISTRITOS		
CABANA				
CABANILLAS				
CARACOTO				
YUNGUYO	3	TODOS LOS DISTRITOS		
ANAPIA				
COPANI				
CUTURAPI				
OLLARAYA				
TINICACHI				
UNICACHI				

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SÍSMICA	ÁMBITO		
AMAZONAS	CAHACHAPOYAS	ASUNCIÓN	2	TODOS LOS DISTRITOS		
		BALSAS				
		CHACHAPOYAS				
		CHETO				
		CHILIQUIN				
		CHUQUIBAMBA				
		GRANADA				
		HUANCAS				
		LA JALCA				
		LEVANTO				
		LEYMEBAMBA				
		MAGDALENA				
		MARISCAL CASTILLA				
		MOLINOPAMPA				
		MONTEVIDEO				
		OLLEROS				
		QUINJALCA				
		SAN FRANCISCO DE DAGUAS				
		SAN ISIDRO DE MAINO				
		SOLOCO				
		SONCHE				
		ARAMANGO			2	TODOS LOS DISTRITOS
		BAGUA				
	COPALLIN					
	EL PARCO					
	IMAZA	2	TODOS LOS DISTRITOS			
	LA PECA					
	CHISQUILLA					
	CHURUJA					
	COROSHA					
	CUISPES					

CONDORCANQUI	FLORIDA	2	TODOS LOS DISTRITOS
	JAZAN		
	JUMBILLA		
	RECTA		
	SAN CARLOS		
	SHIPASBAMBA		
	VALERA		
	YAMBRASBAMBA		
	EL CENEPA		
	NIEVA		
RÍO SANTIAGO			

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SÍSMICA	ÁMBITO
AMAZONAS	LUYA	CAMPORREDONDO	2	TODOS LOS DISTRITOS
		COCABAMBA		
		COLCAMAR		
		CONILA		
		INGUILPATA		
		LAMUD		
		LONGUITA		
		LONYA CHICO		
		LUYA		
		LUYA VIEJO		
		MARÍA		
		OCALLI		
		OCUMAL		
		PISUQUÍA		
		PROVIDENCIA		
		SAN CRISTÓBAL		
		SAN FRANCISCO DEL YESO		
		SAN JERÓNIMO		
		SAN JUAN DE LOPECANCHA		
		SANTA CATALINA		
		SANTO TOMÁS		
		TINGO		
		TRITA		
	BAGUA GRANDE	2	TODOS LOS DISTRITOS	
	CAJARURO			
	CUMBA			
	EL MILAGRO			
	JAMALCA			
	LONYA GRANDE	2	ONCE DISTRITOS	
	YAMON			
	CHIRIMOTO			
	COCHAMAL			
	HUAMBO			
LIMABAMBA				
LONGAR				
MARISCAL BENAVIDES				
MILPUC				
OMIA				
SAN NICOLÁS				
SANTA ROSA				
TOTORA	3	UN DISTRITO		
VISTA ALEGRE				

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SÍSMICA	ÁMBITO
BELLAVISTA		BELLAVISTA	2	TODOS LOS DISTRITOS
		ALTO BIAVO		
		BAJO BIAVO		
		HUALLAGA		
		SAN PABLO		
SAN RAFAEL				

SAN MARTÍN	HUALLAGA	SAPOSOA	2	TODOS LOS DISTRITOS
		EL ESLABÓN		
		PISCOYACU		
		SACANCHE		
		TINGO DE SAPOSOA		
		ALTO SAPOSOA		
	LAMAS	LAMAS	3	TODOS LOS DISTRITOS
		ALONSO DE ALVARADO		
		BARRANQUILLA		
		CAYNARACHI		
		CUÑUMBUQUI		
		PINTO RECODO		
		RUMISAPA		
		SAN ROQUE DE CUMBAZA		
		SHANAO		
		TABALOSOS		
	ZAPATEROS			
	MARISCAL CÁCERES	JUANJUÍ	2	TODOS LOS DISTRITOS
		CAMPANILLA		
		HUICUNGO		
PACHIZA				
PAJARILLO				
JUANJUICILLO				
PICOTA	PICOTA	2	TODOS LOS DISTRITOS	
	BUENOS AIRES			
	CASPISAPA			
	PILLUANA			
	PUCACACA			
	SAN CRISTÓBAL			
	SAN HILARIÓN			
	SHAMBOYACU			
	TINGO DE PONAZA			
	TRES UNIDOS			
MOYOBAMBA	MOYOBAMBA	3	TODOS LOS DISTRITOS	
	CALZADA			
	HABANA			
	JEPELACIO			
	SORITOR			
	YANTALO			
RIOJA	RIOJA	3	TODOS LOS DISTRITOS	
	AWAJÚN			
	ELÍAS SOPLÍN VARGAS			
	NUEVA CAJAMARCA			
	PARDO MIGUEL			
	POSIC			
	SAN FERNANDO			
	YORONGOS			
	YURACYACU			

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SÍSMICA	ÁMBITO
SAN MARTÍN	SAN MARTÍN	CHIPURANA	2	CUATRO DISTRITOS
		EL PORVENIR		
		HUIMBAYOC		
		PAPAPLAYA		
		TARAPOTO		
		ALBERTO LEVEU		
		CACATACHI	3	DIEZ DISTRITOS
		CHAZUTA		
		JUAN GUERRA		
		LA BANDA DE SHILCAYO		
		MORALES		
		SAN ANTONIO		

TOCACHE	SAUCE	2	TODOS LOS DISTRITOS
	SHAPAJA		
	TOCACHE		
	NUEVO PROGRESO		
	PÓLVORA		
	SHUNTE		
EL DORADO	UCHIZA	3	TODOS LOS DISTRITOS
	SAN JOSÉ DE SISA		
	AGUA BLANCA		
	SAN MARTÍN		
	SANTA ROSA		
SHANTOJA			

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SÍSMICA	ÁMBITO
HUÁNUCO	HUÁNUCO	HUÁNUCO	2	TODOS LOS DISTRITOS
		AMARILIS		
		CHINCHAO		
		CHURUMBAMBA		
		MARGOS		
		PILLCO MARCA		
		QUISQUI		
		SAN FRANCISCO DE CAYRÁN		
		SAN PEDRO DE CHAULÁN		
		SANTA MARÍA DEL VALLE		
		YARUMAYO		
		YACUS		
	HUACAYBAMBA	HUACAYBAMBA	2	TODOS LOS DISTRITOS
		CANCHABAMBA		
		COCHABAMBA		
		PINRA		

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SÍSMICA	ÁMBITO			
HUÁNUCO	LEONCIO PRADO	RUPA-RUPA	2	TODOS LOS DISTRITOS			
		JOSÉ CRESPO Y CASTILLO					
		MARIANO DÁMASO BERAÚN					
		DANIEL ALOMIA ROBLES					
		FELIPE LUYANDO					
		HERMILIO VALDIZÁN					
		MARAÑÓN			HUACACHUCRO	2	TODOS LOS DISTRITOS
					CHOLÓN		
					SAN BUENAVENTURA		
		PUERTO INCA			PUERTO INCA	2	TODOS LOS DISTRITOS
	CODO DEL POZUZO						
	HONORIA						
	TOURNAVISTA						
	YUYAPICHIS						
	YAROWILCA	CHAVINILLO	2	TODOS LOS DISTRITOS			
		CAHUAC					
		CHACABAMBA					
		CHUPAN					
		JACAS CHICO					
		OBAS					
PAMPAMARCA							
CHORAS							

PACHITEA	PANAO	2	TODOS LOS DISTRITOS
	CHAGLLA		
	MOLINO		
	UMARI		
AMBO	AMBO	2	TODOS LOS DISTRITOS
	CAYNA		
	COLPAS		
	CONCHAMARCA		
	HUÁCAR		
	SAN FRANCISCO		
	SAN RAFAEL		
	TOMAY KICHWA		

DANIEL A. CARRION	SIMÓN BOLIVAR	3	TODOS LOS DISTRITOS
	TINYAHUARCO		
	VICCO		
	YANAHUANCA		
	CHACAYAN		
	GOYLLARISQUIZGA		
	PAUCAR		
	SAN PEDRO DE PILLAO		
	SANTA ANA DE TUSI		
	TAPUC		
VILCABAMBA			

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SISMICA	ÁMBITO
HUÁNUCO	HUAMALIES	ARANCAY	2	OCHO DISTRITOS
		CHAVIN DE PARIARCA		
		JACAS GRANDE		
		JIRCAN		
		MONZÓN		
		PUNCHAO		
		SINGA		
		TANTAMAYO		
		LLATA		
		MIRAFLORES		
	DOS DE MAYO	CHUQUIS	2	TRES DISTRITOS
		MARIAS		
		QUIVILLA		
		LA UNIÓN		
		PACHAS		
		RIPÁN		
		SHUNQUI		
		SILLAPATA		
	LAURICOCHA	YANAS	3	SEIS DISTRITOS
		BAÑOS		
		JESÚS		
		JIVIA		
		QUEROPALCA		
		RONDOS		
		SAN FRANCISCO DE ASÍS		
		SAN MIGUEL DE CAURI		

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SISMICA	ÁMBITO
JUNIN	CHANCHAMAYO	CHANCHAMAYO	2	TODOS LOS DISTRITOS
		PERENÉ		
		PICHANAQUI		
		SAN LUIS DE SHUARO		
		SAN RAMON		
		VITOC		
		SATIOPO		
	LLAYLLA			
	MAZAMARI			
	PAMPA HERMOSA			
	PANGOA			
	RÍO NEGRO			
	TARMA	RÍO TAMBO	2	SEIS DISTRITOS
		SATIOPO		
		ACOBAMBA		
		HUASAHUASI		
		PALCA		
		PALCAMAYO		
		SAN PEDRO DE CAJAS		
	TAPO			
TARMA	HUARICOLCA	3	TRES DISTRITOS	
	LA UNIÓN			
	TARMA			

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SISMICA	ÁMBITO			
PASCO	OXAPAMPA	OXAPAMPA	2	TODOS LOS DISTRITOS			
		CHONTABAMBA					
		HUANCABAMBA					
		PALCAZU					
		POZUZO					
		PUERTO BERMÚDEZ					
		VILLA RICA					
		PASCO			HUACHÓN	2	OCHO DISTRITOS
	HUARIACA						
	NINACACA						
	PALLANCHACRA						
	PAUCARTAMBO						
	SAN FRANCISCO DE ASÍS DE YARUSYACÁN						
	TICLACAYÁN						
	YANACANCHA						
	CHAUPIMARCA (c. de Pasco)		CHAUPIMARCA (c. de Pasco)	3	CINCO DISTRITOS		
			HUAYLLAY				

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SISMICA	ÁMBITO
JUNIN	CONCEPCIÓN	ANDAMARCA	2	CUATRO DISTRITOS
		COCHAS		
		COMAS		
		MARISCAL CASTILLA		
		ACO		
		CHAMBARA		
		CONCEPCIÓN		
		HEROÍNAS DE TOLEDO		
		MANZANARES		
		MATAHUASI		
	CHUPACA	MITO	3	ONCE DISTRITOS
		NUEVE DE JULIO		
		ORCOTUNA		
		SAN JOSÉ DE QUERO		
		SANTA ROSA DE OCOPA		
		AHUAC		
		CHONGOS BAJO		
		CHUPACA		
		HUACHAC		
		HUAMANCACA		
		CHICO		

JUNÍN	HUANCAYO	SAN JUAN DE JARPA	2	DOS DISTRITOS
		SAN JUAN DE YSCOS		
		TRES DE DICIEMBRE		
		YANACANCHA		
		PARIAHUANCA		
	SANTO DOMINGO DE ACOBAMBA	3	VEINTISEIS DISTRITOS	
	CARHUACALLANGA			
	CHACAPAMPA			
	CHICCHE			
	CHILCA			
	CHONGOS ALTO			
	CHUPURO			
	COLCA			
	CULLHUAS			
	EL TAMBO			
	HUACRAPUQUIO			
	HUALHUAS			
	HUANCAN			
	HUANCAYO			
	HUASICANCHA			
	HUAYUCACHI			
	INGENIO			
	PILCOMAYO			
	PUCARA			
	QUICHUAY			
	QUILCAS			
	SAN AGUSTÍN			
	SAN JERÓNIMO DE TUNÁN			
	SAÑO			
	SAPALLANGA			
	SICAYA			
	VIQUES			

JUNÍN	HUANCAYO	SAN PEDRO DE CHUNAN	2	DOS DISTRITOS
		SAUSA		
		SINCOS		
		TUNANMARCA		
		YAUJI		
	YAUYOS			
	YAULI	CARHUAMAYO	2	DOS DISTRITOS
		ULCUMAYO		
		JUNIN	3	DOS DISTRITOS
		ONDORES		
CHACAPALPA				
YAULI	HUAY-HUAY	3	TODOS LOS DISTRITOS	
	LA OROYA			
	MARCAPOMACOCHA			
	MOROCOCHA			
	PACCHA			
	SANTA BÁRBARA DE CARHUACAYÁN			
	SANTA ROSA DE SACCO			
	SUITUCANCHA			
	YAUJI			

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SÍSMICA	ÁMBITO	
JUNÍN	JAUJA	APATA	2	CUATRO DISTRITOS	
		MOLINOS			
		MONOBAMBA			
		RICRAN			
		ACOLLA			
		ATAURA			
		CANCHAYLLO			
		CURICACA			
		EL MANTARO			
		HUAMALI			
		HUARIPAMPA			
		HUERTAS			
		JANJAILLO			
		JAUJA			
		JULCAN			
		LEONOR ORDÓÑEZ			
		LLOCLLAPAMPA			
		MARCO			
		MASMA			
		MASMA CHICCHE			
		MUQUI			
		MUQUIYAYUYO			
		PACA			
		PACCHA			
		PANCÁN			
		PARCO			
	POMACANCHA				
	SAN LORENZO				
	JUNÍN	HUANCAYO	SAN JUAN DE JARPA	3	VEINTISEIS DISTRITOS
			SAN JUAN DE YSCOS		
			TRES DE DICIEMBRE		
			YANACANCHA		
PARIAHUANCA					
SANTO DOMINGO DE ACOBAMBA					

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SÍSMICA	ÁMBITO			
CUSCO	CALCA	CALCA	2	TODOS LOS DISTRITOS			
		COYA					
		LAMAY					
		LARES					
		PISAC					
		SAN SALVADOR					
		TARAY					
		YANATILE					
		URUBAMBA			CHINCHERO	2	TODOS LOS DISTRITOS
					HUAYLLABAMBA		
	MACHU PICCHU						
	MARAS						
	OLLANTAYTAMBO						
	URUBAMBA						
	PAUCARTAMBO	YUCAY	2	TODOS LOS DISTRITOS			
		CAICAY					
		CHALLABAMBA					
		COLQUEPATA					
		HUANCARANI					
	ANTA	KOSÑIPATA	2	TODOS LOS DISTRITOS			
		PAUCARTAMBO					
		ANCAHUASI					
		ANTA					
		CACHIMAYO					
		CHINCHAYPUJIO					
		HUAROCONDO					
		LIMATAMBO					
		MOLLEPATA					
		PUCYURA					
		ZURITE					
	QUISPICANCHIS	ANDAHUAYLILLAS	2	TODOS LOS DISTRITOS			
		CAMANTI					
		CCARHUAYO					
		CCATCA					
		CUSIPATA					
		HUARO					
		LUCRE					
		MARCAPATA					
		OCONGATE					
		OROPESA					
		QUIQUIJANA					
	URCOS						

PARURO	ACCHA	2	TODOS LOS DISTRITOS
	CCAPI		
	COLCHA		
	HUANOQUITE		
	OMACHA		
	PACCARITAMBO		
	PILLPINTO		

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SISMICA	ÁMBITO
CUSCO	CANCHIS	ALTO PICHIGUA	2	TODOS LOS DISTRITOS
		COMBAPATA		
		MARANGANI		
		PITUMARCA		
		SAN PABLO		
		SAN PEDRO		
		SUYCKUTAMBO		
		TINTA		
	CANAS	CHECCA	2	TODOS LOS DISTRITOS
		KUNTURKANKI		
		LANGUI		
		LAYO		
		PAMPAMARCA		
		QUEHUE		
		TÚPAC AMARU		
	YANAOCA			
	ACOMAYO	ACOMAYO	2	TODOS LOS DISTRITOS
		ACOPIA		
		ACOS		
		MOSOC LLACTA		
		POMACANCHI		
		RONDOCAN		
		SANGARARÁ		
	CUSCO	CCORCA	2	TODOS LOS DISTRITOS
		CUSCO		
		POROY		
		SAN JERÓNIMO		
		SAN SEBASTIÁN		
SANTIAGO				
SAYLLA				
WANCHAQ				
LA CONVENCION	ECHERATE	2	TODOS LOS DISTRITOS	
	HUAYOPATA			
	MARANURA			
	OCOBAMBA			
	PICHARI			
	QUELLOUNO			
	QUIMBIRI			
	SANTA ANA			
	SANTA TERESA			
VILCABAMBA				
CHUMBIVILCAS	CAPACMARCA	2	CUATRO DISTRITOS	
	CHAMACA			
	COLOQUEMARCA			
	LIVITACA	3	CUATRO DISTRITOS	
	LLUSCO			
	QUIÑOTA			
ESPINAR	SANTO TOMÁS	3	TODOS LOS DISTRITOS	
	VELILLE			
	CONDOROMA			
	COPORAQUE			
	ESPINAR			
	OCORURO			
	PALLPATA			
PICHIGUA				

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SISMICA	ÁMBITO			
HUANCAVELICA	CHURCAMP	ANCO	2	TODOS LOS DISTRITOS			
		CHINCHUASI					
		CHURCAMP					
		COSME					
		EL CARMEN					
		LA MERCED					
		LOCROJA					
		PACHAMARCA					
		PAUCARBAMBA					
		SAN MIGUEL DE MAYOC					
		SAN PEDRO DE CORIS					
		ACOBAMBA			ACOBAMBA	2	TODOS LOS DISTRITOS
					ANDABAMBA		
	ANTA						
	CAJA						
	MARCAS						
	PAUCARÁ						
	TAYACAJA	POMACOCOCHA	2	DIEZ DISTRITOS			
		ROSARIO					
		COLCABAMBA					
		DANIEL HERNANDEZ					
		HUACHOCOLPA					
		HUARIBAMBA					
		QUISHUAR					
		SALCABAMBA					
		SAN MARCOS DE ROCCHAC					
		SARCAHUASI					
		SURCUBAMBA					
		TINTAY PUNCU					
		ANGARAES			ACOSTAMBO	3	SIETE DISTRITOS
	ACRAQUIA						
	AHUAYCHA						
	HUANDO						
	ÑAHUIMPUQUIO						
	PAMPAS						
	PAZOS						
	CHINCHO		2	UN DISTRITO			
	ANCHONGA		3	ONCE DISTRITOS			
	CALLANMARCA						
	CCOCHACCASA						
	CONGALLA						
	HUANCA HUANCA						
HUAYLLAY GRANDE							
JULCAMARCA							
LIRCAY							
SAN ANTONIO DE ANTAPARCO							
SECCLLA							
STO TOMÁS DE PATA							

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SISMICA	ÁMBITO
HUANCAVELICA		ACOBAMBILLA	3	TODOS LOS DISTRITOS
		ACORIA		
		ASCENSIÓN		
		CONAYCA		
		CUENCA		
		HUACHOCOLPA		
		HUANCAVELICA		
		HUAYLLAHUARA		
IZCUCHACA				

HUANCAVELICA		LARIA	3	ONCE DISTRITOS				
		MANTA						
		MARISCAL CÁCERES						
		MOYA						
		NUEVO OCCORO						
		PALCA						
		PILCHACA						
		VILCA						
		YAULI						
		CASTROVIRREYNA						3
	ARMA							
	AURAHUA							
	CASTROVIRREYNA							
	CHUPAMARCA							
	COCAS							
	HUACHOS							
	HUAMATAMBO							
	MOLLEPAMPA							
	SANTA ANA							
	TANTARÁ							
	TICRAPO							
	CAPILLAS	4	DOS DISTRITOS					
	SAN JUAN							
	HUAYTARÁ	3	TRES DISTRITOS					
								SAN ANTONIO DE CUSCANCHA
								PILPICHACA
		QUERCO	4	TRECE DISTRITOS				
		AYAVÍ						
		CÓRDOVA						
		HUAYACUNDO						
		ARMA						
		HUAYTARÁ						
		LARAMARCA						
OCOYO								
QUITO ARMA								
SAN FRANCISCO DE SANGAYAICO								
SAN ISIDRO								
SANTIAGO DE CHOCORVOS								
SANTIAGO DE QUIRAHUARA								
SANTO DOMINGO DE CAPILLAS								
TAMBO								
VILCASHUAMÁN	3	CINCO DISTRITOS						
							PACAYCASA	
							QUINUA	
							SAN JOSÉ DE TICLLAS	
							SANTIAGO DE PISCHA	
							TAMBILLO	
	CONCEPCIÓN	2	UN DISTRITO					
	ACOMARCA							
	CARHUANCA	3	SIETE DISTRITOS					
	HUAMBALPA							
	INDEPENDENCIA							
	SAURAMA							
	VILCASHUAMÁN							
	VISCHONGO							
	HUANCASANCOS	3	TODOS LOS DISTRITOS					
								CARAPO
SÁCSAMARCA								
CANGALLO	3	TODOS LOS DISTRITOS						
							SANCOS	
							SANTIAGO DE LUCANAMARCA	
							CANGALLO	
							CHUSCHI	
							LOS MOROCHUCOS	
							MARÍA PARADO DE BELLIDO	
PARAS								
TOTOS								

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SÍSMICA	ÁMBITO
AYACUCHO	HUANTA	AYAHUANCO	2	TODOS LOS DISTRITOS
		HIGUAIN		
		HUAMANGUILLA		
		HUANTA		
		LLOCHEGUA		
		LURICOCHA		
		SANTILLANA		
	SIVIA			
	LA MAR	ANCO	2	TODOS LOS DISTRITOS
		AYNA		
		CHILCAS		
		CHUNGUI		
		LUIS CARRANZA		
		SAN MIGUEL		
	HUAMANGA	ACOCRO	2	DIEZ DISTRITOS
		ACOSVINCHOS		
		AYACUCHO		
		JESÚS NAZARENO		
		OCROS		

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SÍSMICA	ÁMBITO
AYACUCHO	PÁUCAR DEL SARA SARA	COLTA	3	TODOS LOS DISTRITOS
		CORCULLA		
		LAMPA		
		MARCABAMBA		
		OYOLO		
		PARARCA		
		PAUSA		
		SAN JAVIER DE ALPABAMBA		
		SAN JOSÉ DE USHUA		
	SARA SARA			
	SUCRE	BELÉN	3	TODOS LOS DISTRITOS
		CHALCOS		
		CHILCAYOC		
		HUACAÑA		
		MORCOLLA		
		PAICO		
		QUEROBAMBA		
		SAN PEDRO DE LARCAY		
		SAN SALVADOR DE QUIJE		
		SANTIAGO DE PAUCARAY		
	SORAS			
	VÍCTOR FAJARDO	ALCAMENCA	3	TODOS LOS DISTRITOS
		APONGO		
		ASQUIPATA		
		CANARIA		
		CAYARA		
		COLCA		
HUAMANQUIQUIA				

PARINACOCNAS	HUANCAPI	3	SEIS DISTRITOS		
	HUANCARAYLLA				
	HUAYA				
	SARHUA				
	VILCANCHOS				
	CHUMPI				
	CORACORA				
	CORONEL CASTAÑEDA				
	PACAPAUZA				
	SAN FRANCISCO DE RAVACAYCU				
	UPAHUACHO				
	PULLO				
	PUYUSCA			4	DOS DISTRITOS

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SISMICA	ÁMBITO
AYACUCHO	LUCANAS	AUCARA	3	DIEZ DISTRITOS
		CABANA		
		CARMEN SALCEDO		
		CHAVIÑA		
		CHIPAO		
		LUCANAS		
		PUQUIO		
		SAN JUAN		
		SAN PEDRO DE PALCO		
		SANTA ANA DE HUAYCAHUACHO		
		HUAC HUAS	4	ONCE DISTRITOS
		LARAMATE		
		LEONCIO PRADO		
		LLAUTA		
		OCAÑA		
		OTOCA		
		SAISA		
		SAN CRISTOBAL		
		SAN PEDRO		
		SANCOS		
		SANTA LUCÍA		

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SISMICA	ÁMBITO
APURÍMAC	COTABAMBAS	CALLHUAHUACHO	2	TODOS LOS DISTRITOS
		COTABAMBAS		
		COYLLURQUI		
		HAQUIRA		
		MARA		
		TAMBOBAMBA		
		CHUQUIBAMBILLA		
	CURASCO			
	CURPAHUASI			
	GAMARRA			
	HUAYLLATI			
	MAMARA			
	MICAELA BASTIDAS			
	PATAYPAMPA			
	PROGRESO			
	SAN ANTONIO			
	SANTA ROSA			
	TURPAY			
	VILCABAMBA			
	VIRUNDO	2	TODOS LOS DISTRITOS	
	ABANCAY			
	CHACOCHÉ			
	CIRCA			
	CURAHUASI			

HUANIPACA
LAMBRAMA
PICHIRHUA
SAN PEDRO DE CACHORA
TAMBURCO

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SISMICA	ÁMBITO		
APURÍMAC	CHINCHEROS	ANCO-HUALLO	2	TODOS LOS DISTRITOS		
		CHINCHEROS				
		COCHARCAS				
		HUACCANA				
		OCOBAMBA				
		ONGOY				
		RANRACANCHA				
		URANMARCA				
		ANDAHUAYLAS			2	TRECE DISTRITOS
		ANDARAPA				
	HUANCARAMA					
	HUANCARAY					
	KAQUIABAMBA					
	KISHUARA					
	PACOBAMBA					
	PACUCHA					
	SAN ANTONIO DE CACHI					
	SAN JERONIMO					
	SANTA MARIA DE CHICMO	3	SEIS DISTRITOS			
	TALAVERA					
	TURPO					
	CHIARA					
	HUAYANA					
	PAMPACHIRI					
	POMACOCCHA					
	SAN MIGUEL DE CHACCRAMPA					
	TUMAY HUARACA					
	CHAPIMARCA			2	CINCO DISTRITOS	
	COLCABAMBA					
	LUCRE					
	SAN JUAN DE CHACÑA					
TINTAY						
CAPAYA						
CARAYBAMBA						
CHALHUANCA						
COTARUSE						
HUAYLLO						
JUSTO APU SAHUARAURA	3	DOCE DISTRITOS				
POCOHUANCA						
SAÑAYCA						
SORAYA						
TAPAIRIHUA						
TORAYA						
YANACA						
ANTABAMBA			3	TODOS LOS DISTRITOS		
EL ORO						
HIAQUIRCA						
JUAN ESPINOZA MEDRANO						
OROPESA						
PACHACONAS						
SABAINO						

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SISMICA	ÁMBITO
TUMBES	CONTRALMIRANTE VILLAR	CASITAS	4	TODOS LOS DISTRITOS
		ZORRITOS		
	TUMBES	CORRALES	4	TODOS LOS DISTRITOS
		LA CRUZ		
		PAMPAS DE HOSPITAL		
		SAN JACINTO		
		SAN JUAN DE LA VIRGEN		
		TUMBES		
	ZARUMILLA	AGUAS VERDES	4	TODOS LOS DISTRITOS
		MATAPALO		
		PAPAYAL		
		ZARUMILLA		

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SISMICA	ÁMBITO	
PIURA	HUANCABAMBA	CANCHAQUE	3	TODOS LOS DISTRITOS	
		EL CARMEN DE LA FRONTERA			
		HUANCABAMBA			
		HUARMACA			
		LALAQUIZ			
		SAN MIGUEL DE EL FAIQUE			
		SONDOR			
		SONDORILLO			
	AYABACA	AYABACA	3	SEIS DISTRITOS	
		JILILI			
		LAGUNAS			
		MONTERO			
		PACAIPAMPA			
		SICCHEZ			
		FRIAS			
		SUYO			
	MORROPÓN	PAIMAS	4	CUATRO DISTRITOS	
		SAPILICA			
		SANTO DOMINGO			
		TAMBO GRANDE			
	PIURA	BUENOS AIRES	3	SEIS DISTRITOS	
		CHALACO			
		SALITRAL			
		SAN JUAN DE BIGOTE			
		SANTA CATALINA DE MOSSA			
		YAMANGO			
		CHULUCANAS			
		LA MATANZA			
		4	MORROPÓN	4	CUATRO DISTRITOS
			SANTO DOMINGO		
			CASTILLA		
			CATACAOS		
			CURA MORI		
			EL TALLÁN		
			LA ARENA		
			LA UNIÓN		
LAS LOMAS					
PIURA					
TAMBO GRANDE					

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SISMICA	ÁMBITO
	PAITA	AMOTAPE	4	TODOS LOS DISTRITOS
		ARENAL		
		COLÁN		
		LA HUACA		
		PAITA		
		TAMARINDO		

PIURA	SECHURA	VICHAYAL	4	TODOS LOS DISTRITOS
		BELLAVISTA LA UNION		
		BERNAL		
		CRISTO NOS VALGA		
		RINCONADA LLICUAR		
		SECHURA		
	SULLANA	VICE	4	TODOS LOS DISTRITOS
		BELLAVISTA		
		IGNACIO ESCUDERO		
		LANCONES		
		MARCAVELICA		
		MIGUEL CHECA QUERECOTILLO		
	TALARA	SALITRAL	4	TODOS LOS DISTRITOS
		SULLANA		
		EL ALTO		
		LA BREA		
		LOBITOS		
		LOS ÓRGANOS		
MÁNCORA				
PARIÑAS				

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SISMICA	ÁMBITO	
LAMBAYEQUE	FERREÑAFE	CAÑARIS	3	DOS DISTRITOS	
		INCAHUASI	4	CUATRO DISTRITOS	
		FERREÑAFE			
		MANUEL A. MESONES MURO			
		PITTIPO			
		PUEBLO NUEVO	3	UN DISTRITO	
	SALAS				
	LAMBAYEQUE	LAMBAYEQUE	CHOCHOPE	4	SIETE DISTRITOS
			ILLIMO		
			JAYANCA		
			LAMBAYEQUE		
			MOCHUMI		
			MÓRROPE		
			MOTUPE		
			OLMOS		
			PACORA		
			SAN JOSÉ		
	TÚCUME				
	CHICLAYO	CHICLAYO	CAYALTÍ	4	TODOS LOS DISTRITOS
			CHICLAYO		
			CHONGOYAPE		
			ETEN		
			ETEN PUERTO		
			JOSÉ LEONARDO ORTIZ		
			LA VICTORIA		
			LAGUNAS		
MONSEFÚ					
NUEVAARICA					
OYOTUN					
PATAPO					
PICSI					
PIMENTEL					
POMALCA					
PUCALÁ					
REQUE					
SANTA ROSA					
SAÑA					
TUMÁN					

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SISMICA	ÁMBITO	
CAJAMARCA	HUALGAYOC	BAMBAMARCA	2	TODOS LOS DISTRITOS	
		CHUGUR			
		HUALGAYOC			
	SAN IGNACIO	CHIRINOS	2	CINCO DISTRITOS	
		HUARANGO			
		LA COIPA			
		NAMBALLE			
		SAN IGNACIO	2	DOS DISTRITOS	
		SAN JOSE DE LOURDES			
		TABACONAS			
	CELENDÍN	CELENDÍN	2	TODOS LOS DISTRITOS	
		CHUMUCH			
		CORTEGANA			
		HUASMIN			
		JORGE CHÁVEZ			
		JOSÉ GÁLVEZ			
		LA LIBERTAD DE PALLAN			
		MIGUEL IGLESIAS			
		OXAMARCA			
		SOROCHUCO			
		SUCRE			
		UTCO			
	CUTERVO	CALLAYUC	2	CATORCE DISTRITOS	
		CHOROS			
		CUJILLO			
		CUTERVO			
		LA RAMADA			
		PIMPINGOS			
		SAN ANDRÉS DE CUTERVO			
		SAN JUAN DE CUTERVO			
		SAN LUIS DE LUCMA			
		SANTA CRUZ			
		SANTO DOMINGO DE LA CAPILLA			
SANTO TOMÁS					
SOCOTA					
TORBIO					
CASANOVA					
QUEROCOTILLO		3			UN DISTRITO
JAÉN		BELLAVISTA			2
	CHONTALI				
	COLASAY				
	HUABAL				
	JAÉN				
	LAS PIRIAS				
	SAN JOSÉ DEL ALTO	3	CUATRO DISTRITOS		
	SANTA ROSA				
	POMAHUACA				
	PUCARÁ				
	SALLIQUE				
SAN FELIPE					

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SISMICA	ÁMBITO
	SAN MARCOS	GREGORIO PITA	2	CUATRO DISTRITOS
		ICHOCÁN		
		JOSÉ MANUEL QUIROZ		
		JOSÉ SABOGAL		

CAJAMARCA	CHOTA	CHANCA Y	3	TRES DISTRITOS
		EDUARDO VILLANUEVA		
		PEDRO GÁLVEZ		
	CHOTA	ANGUIA	2	DOCE DISTRITOS
		CHADIN		
		CHALAMARCA		
		CHIGUIRIP		
		CHIMBAN		
		CHOROPAMPA		
		CHOTA		
		CONCHAN		
		LAJAS		
		PACCHA		
		PIÓN		
		TACABAMBA		
	COCHABAMBA	3	SIETE DISTRITOS	
	HUAMBOS			
	LLAMA			
	MIRACOSTA			
	QUEROCOTO			
	SAN JUAN DE LICUPIS			
	TOCMOCHE			
	CAJABAMBA	SITACOCHA	2	UN DISTRITO
		CACHACHI	3	TRES DISTRITOS
		CAJABAMBA		
		CONDEBAMBA		
	CAJAMARCA	ENCAÑADA	2	UN DISTRITO
		ASUNCIÓN	3	ONCE DISTRITOS
		CAJAMARCA		
		CHETILLA		
		COSPÁN		
		JESÚS		
		LLACANORA		
LOS BAÑOS DEL INCA				
MAGDALENA				
MATARA				
NAMORA				
SAN JUAN				

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SISMICA	ÁMBITO
CAJAMARCA	CONTUMAZÁ	CHILETE	3	TODOS LOS DISTRITOS
		CONTUMAZÁ		
		CUPISNIQUE		
		GUZMANGO		
		SAN BENITO		
		SANTA CRUZ DE TOLEDO		
		TANTARICA		
	YONÁN			
	SAN MIGUEL	BOLÍVAR	3	TODOS LOS DISTRITOS
		CALQUIS		
		CATILLUC		
		EL PRADO		
		LA FLORIDA		
		LLAPA		
		NANCHOC		
		NIEPOS		
		SAN GREGORIO		
		SAN MIGUEL		
		SAN SILVESTRE DE COCHAN		
		TONGOD		
		UNIÓN AGUA BLANCA		

SAN PABLO	SAN BERNARDINO	2	TODOS LOS DISTRITOS
	SAN LUIS		
	SAN PABLO		
	TUMBADEN		
SANTA CRUZ	ANDABAMBA	2	TODOS LOS DISTRITOS
	CATACHE		
	CHANCAYBAÑOS		
	LA ESPERANZA		
	NINABAMBA		
	PULÁN		
	SANTA CRUZ		
	SAUCEPAMPA		
	SEXI		
	UTICYACU		
	YAYUCAN		

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SÍSMICA	ÁMBITO	
LA LIBERTAD	BOLÍVAR	BAMBAMARCA	2	TODOS LOS DISTRITOS	
		BOLÍVAR			
		CONDORMARCA			
		LONGOTEA			
		UCHUMARCA			
		UCUNCHA			
	PATAZ	BULDIBUYO	2	TODOS LOS DISTRITOS	
		CHILLIA			
		HUANCASPATA			
		HUAYLILLAS			
		HUAYO			
		ONGÓN			
		PARCOY			
		PATAZ			
		PIAS			
		SANTIAGO DE CHALLAS			
		TAURJA			
		TAYABAMBA			
	URPAY				
	SANCHEZ CARRIÓN	COCHORCO	2	DOS DISTRITOS	
		SARTIMBAMBA			
		CHUGAY			
		SANTIAGO DE CHUCO	CURGOS	3	SEIS DISTRITOS
			HUAMACHUCO		
			MARCABAL		
			SANAGORAN		
	SARÍN				
	SANTIAGO DE CHUCO	ANGASMARCA	3	TODOS LOS DISTRITOS	
		CACHICADÁN			
		MOLLEBAMBA			
		MOLLEPATA			
		QUIRUVILCA			
		SANTA CRUZ DE CHUCA			
SANTIAGO DE CHUCO					
SITABAMBA					
GRAN CHIMÚ	CASCAS	3	TODOS LOS DISTRITOS		
	LUCMA				
	MARMOT				
	SAYAPULLO				
JULCÁN	CALAMARCA	3	TODOS LOS DISTRITOS		
	CARABAMBA				
	HUASO				
	JULCÁN				

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SÍSMICA	ÁMBITO
LA LIBERTAD	OTUZCO	AGALLPAMPA	3	TODOS LOS DISTRITOS
		CHARAT		
		HUARANCHAL		
		LA CUESTA		
		MACHE		
		OTUZCO		
		PARANDAY		
		SALPO		
		SINSICAP		
		USQUIL		
		CHEPÉN		
	PACANGA			
	PUEBLO NUEVO			
	ASCOPE	ASCOPE	4	TODOS LOS DISTRITOS
		CASA GRANDE		
		CHICAMA		
		CHOCOPE		
		MAGDALENA DE CAO		
		PAIJÁN		
		RÁZURI		
	SANTIAGO DE CAO			
	PACASMAYO	GUADALUPE	4	TODOS LOS DISTRITOS
		JEQUETEPEQUE		
		PACASMAYO		
		SAN JOSÉ		
	TRUJILLO	SAN PEDRO DE LLOC	4	TODOS LOS DISTRITOS
		EL PORVENIR		
		FLORENCIA DE MORA		
		HUANCHACO		
		LA ESPERANZA		
		LAREDO		
		MOCHE		
		POROTO		
SALAVERRY				
SIMBAL				
TRUJILLO				
VÍCTOR LARCO HERRERA				
VIRÚ	CHAO	4	TODOS LOS DISTRITOS	
	GUADALUPITO			
	VIRÚ			

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SÍSMICA	ÁMBITO	
ÁNCASH	ANTONIO RAYMONDI	CHACCHO	2	TRES DISTRITOS	
		CHINGA			
		LLAMELLIN			
		HUARI	ACZO	3	TRES DISTRITOS
			MIRGAS		
			SAN JUAN DE RONTROY		
	HUARI	ANRA	2	SEIS DISTRITOS	
		HUACACHI			
		HUACCHIS			
		PAUCAS			
		RAPAYÁN			
	HUARI	UCO	3	DIEZ DISTRITOS	
		CAJAY			
		CHAVÍN DE HUANTAR			
		HUACHIS			
HUARI	HUANTAR	3	DIEZ DISTRITOS		
	HUANTAR				

		HUARI		
		MASIN		
		PONTO		
		RAHUAPAMPA		
		SAN MARCOS		
		SAN PEDRO DE CHANA		
	ASUNCIÓN	ACOCHACA	3	TODOS LOS DISTRITOS
		CHACAS		
	CARHUAZ	ACOPAMPA	3	TODOS LOS DISTRITOS
		AMASHCA		
		ANTA		
		ATAQUERO		
		CARHUAZ		
		MARCARÁ		
		PARIAHUANCA		
		SAN MIGUEL DE ACO		
		SHILLA		
		TINCO		
		YUNGAR		
	CARLOS F. FITZCARRALD	SAN LUIS	3	TODOS LOS DISTRITOS
		SAN NICOLÁS		
		YAUYA		
	CORONGO	ACO	3	TODOS LOS DISTRITOS
		BAMBAS		
		CORONGO		
		CUSCA		
		LA PAMPA		
		YANAC		
		YUPÁN		
	MARISCAL LUZURIAGA	CASCA	3	TODOS LOS DISTRITOS
		ELEAZAR GUZMÁN BARRÓN		
		FIDEL OLIVAS ESCUDERO		
		LLAMA		
		LLUMPA		
		LUCMA		
		MUSGA		
		PISCOBAMBA		

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SISMICA	ÁMBITO
ÁNCASH	PALLASCA	BOLOGNESI	3	TODOS LOS DISTRITOS
		CABANA		
		CONCHUCOS		
		HUACASCHUQUE		
		HUANDOVAL		
		LACABAMBA		
		LLAPO		
		PALLASCA		
		PAMPAS		
		SANTA ROSA		
	TAUCA			
	POMABAMBA	HUAYLLÁN	3	TODOS LOS DISTRITOS
		PAROBAMBA		
		POMABAMBA		
		QUINUABAMBA		
	SIHUAS	ACOBAMBA	3	TODOS LOS DISTRITOS
		ALFONSO UGARTE		
		CASHAPAMPA		
		CHINGALPO		
		HUAYLLABAMBA		
		QUICHES		
		RAGASH		
		SAN JUAN		
	SICSIBAMBA			

ÁNCASH	HUAYLAS	SIHUAS	3	TODOS LOS DISTRITOS
		CARAZ		
		HUALLANCA		
		HUATA		
		HUAYLAS		
		MATO		
		PAMPAROMAS		
		PUEBLO LIBRE		
		SANTA CRUZ		
		SANTO TORIBIO		
	YURACMARCA			
	YUNGAY	CASCAPARA	3	TODOS LOS DISTRITOS
		MANCOS		
		MATACOTO		
		QUILLO		
		RANRAHIRCA		
		SHUPLUY		
		YANAMA		
		YUNGAY		
	HUARAZ	COCHABAMBA	3	TODOS LOS DISTRITOS
		COLCABAMBA		
		HUANCHAY		
		HUARAZ		
		INDEPENDENCIA		
		JANGAS		
		LA LIBERTAD		
		OLLEROS		
PAMPAS				
PARIACOTO				
PIRA				
TARICA				

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SISMICA	ÁMBITO
ÁNCASH	BOLOGNESI	ABELARDO PARDO	3	TODOS LOS DISTRITOS
		LEZAMETA		
		ANTONIO RAYMONDI		
		AQUIA		
		CAJACAY		
		CANIS		
		CHIQUIAN		
		COLQUIOC		
		HUALLANCA		
		HUASTA		
		HUAYLLACAYAN		
		LA PRIMAVERA		
		MANGAS		
		PACLLON		
	SAN MIGUEL DE CORPANQUI			
	TICLLOS			
	RECUAY	CATAC	3	TODOS LOS DISTRITOS
		COTAPARACO		
		HUAYLLAPAMPA		
		LLACLLIN		
		MARCA		
		PAMPAS CHICO		
		PARARIN		
	RECUAY			
	AJJA	TAPACCOCHA	3	DOS DISTRITOS
		TICAPAMPA		
		AJJA		
		CORIS		
	AJJA	LA MERCED	4	TRES DISTRITOS
		HUACLLÁN		
		SUCCHA		
	OCROS	ACAS	3	CINCO DISTRITOS

ÁNCASH		CAJAMARQUILLA	4	CINCO DISTRITOS
		CARHUAPAMPA		
		CONGAS		
		LLIPA		
		OCROS		
		S. CRISTÓBAL DE RAJÁN		
		SANTIAGO DE CHILCAS		
		COCHAS		
		SAN PEDRO		
		COCHAPETI		
	HUAYAN			
	MALVAS			
	CULEBRAS	4	DOS DISTRITOS	
	HUARMEY			
	SANTA	CÁCERES DEL PERÚ	3	TRES DISTRITOS
		MACATE		
		MORO		
		CHIMBOTE	4	SEIS DISTRITOS
		COISHCO		
		NEPEÑA		
NUEVO CHIMBOTE				
SAMANCO				
SANTA				
CASMA	BUENA VISTA ALTA	4	TODOS LOS DISTRITOS	
	CASMA			
	COMANDANTE NOEL			
	YAUTÁN			

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SÍSMICA	ÁMBITO
LIMA	CAJATAMBO	CAJATAMBO	3	CUATRO DISTRITOS
		COPA		
		GORGOR		
		HUACAPÓN		
		MANÁS		
	OYÓN	ANDAJES	3	TODOS LOS DISTRITOS
		CAUJUL		
		COCHAMARCA		
		NAVÁN		
		OYÓN		
	PACHANGARA			
	YAUYOS	ALIS	3	VEINTINUEVE DISTRITOS
		AYAUCA		
		AYAVIRÍ		
		AZÁNGARO		
		CACRA		
		CARANIA		
		CATAHUASI		
		CHOCOS		
		COCHAS		
		COLONIA		
		HONGOS		
		HUAMPARA		
		HUANCAYA		
		HUANGÁSCAR		
		HUANTÁN		
		HUAÑEC		
		LARAOS		
LINCHA				
MADEAN				
MIRAFLORES				
QUINCHES				
SAN JOAQUÍN				

		SAN LORENZO DE PUTINZA	4	TRES DISTRITOS
		SAN PEDRO DE PILAS TANTA		
		TOMAS		
		TUPE		
		VIÑAC		
		VITIS		
		YAUYOS		
		OMAS		
		QUINOCAY		
		TAURIPAMPA		

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SÍSMICA	ÁMBITO			
LIMA	HUAROCHIRÍ	CALLAHUANCA	3	VEINTICINCO DISTRITOS			
		CARAMPOMA					
		CHICLA					
		HUACHUPAMPA					
		HUANZA					
		HUAROCHIRÍ					
		LAHUAYTAMBO					
		LANGA					
		LARAOS					
		MATUCANA					
		SAN ANDRÉS DE TUPICOCHA					
		SAN BARTOLOMÉ					
		SAN DAMIÁN					
		S. JERÓNIMO DE SURCO					
		SAN JUAN DE IRIS					
		SAN JUAN DE TANTARANCHE					
		SAN LORENZO DE QUINTI					
		SAN MATEO					
		SAN MATEO DE OTAO					
		SAN PEDRO DE CASTA					
		SAN PEDRO DE HUANCAYRE					
		SANGALLAYA					
		SANTA CRUZ DE COCACHACRA					
		SANTIAGO DE ANCHUCAYA					
		SANTIAGO DE TUNA					
		ANTIOQUÍA			4	SIETE DISTRITOS	
		CUENCA					
		MARIATANA					
		RICARDO PALMA					
		SAN ANTONIO DE CHACLLA					
		SANTA EULALIA					
		SANTO DOMINGO DE OLLEROS					
		CANTA			CANTA	3	CUATRO DISTRITOS
					HUAROS		
					LACHAQUI		
SAN BUENAVENTURA							
ARAHUAY							
HUARAL	HUAMANTANGA	4	TRES DISTRITOS				
	SANTA ROSA DE QUIVES						
	ATAVILLOS ALTO	3	NUEVE DISTRITOS				
	ATAVILLOS BAJO						

		IHUARI		
		LAMPIAN		
		PACARAOS		
		SAN MIGUEL DE ACOS		
		SANTA CRUZ DE ANDAMARCA		
		SUMBILCA		
		VEINTISIETE DE NOVIEMBRE		
		AUCALLAMA	4	TRES DISTRITOS
		CHANCAY		
		HUARAL		

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SÍSMICA	ÁMBITO
LIMA	HUAURA	CHECRAS	3	CUATRO DISTRITOS
		LEONCIO PRADO		
		PACCHO		
		SANTA LEONOR		
		ÁMBAR	4	OCHO DISTRITOS
		CALETA DE CARQUIN		
		HUACHO		
		HUALMAY		
		HUAURA		
		SANTA MARÍA		
	SAYÁN			
	VEGUETA			
	CAÑETE	ZUÑIGA	3	UN DISTRITO
		ASIA	4	QUINCE DISTRITOS
		CALANGO		
		CERRO AZUL		
		CHILCA		
		COAYLLO		
		IMPERIAL		
		LUNAHUANÁ		
		MALA		
		NUEVO IMPERIAL		
		PACARÁN		
		QUILMANÁ		
		SAN ANTONIO		
		SAN LUIS		
		SAN VICENTE DE CAÑETE		
SANTA CRUZ DE FLORES				
BARRANCA		BARRANCA		
	PARAMONGA			
	PATIVILCA			
	SUPE			
	SUPE PUERTO			

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SÍSMICA	ÁMBITO
LIMA	LIMA	ANCÓN	4	TODOS LOS DISTRITOS
		ATE		
		BARRANCO		
		BREÑA		
		CARABAYLLO		
		CHACLACAYO		
		CHORRILLOS		
		CIENEGUILLA		
		COMAS		
		EL AGUSTINO		
		INDEPENDENCIA		
		JESUS MARÍA		
		LA MOLINA		
		LA VICTORIA		

LIMA	LIMA	LIMA	4	TODOS LOS DISTRITOS
		LINCE		
		LOS OLIVOS		
		LURIGANCHO-CHOSICA		
		LURIN		
		MAGDALENA DEL MAR		
		MIRAFLORES		
		PACHACAMAC		
		PUCUSANA		
		PUEBLO LIBRE		
		PUENTE PIEDRA		
		PUNTA HERMOSA		
		PUNTA NEGRA		
		RIMAC		
		SAN BARTOLO		
		SAN BORJA		
		SAN ISIDRO		
		SAN JUAN DE LURIGANCHO		
		SAN JUAN DE MIRAFLORES		
		SAN LUIS		
		SAN MARTIN DE PORRES		
		SAN MIGUEL		
		SANTA ANITA		
		SANTA MARÍA DEL MAR		
		SANTA ROSA		
		SANTIAGO DE SURCO		
		SURQUILLO		
VILLA EL SALVADOR				
VILLA MARIA DEL TRIUNFO				

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SÍSMICA	ÁMBITO
CALLAO	CALLAO	BELLAVISTA	4	TODOS LOS DISTRITOS
		CALLAO		
		CARMEN DE LA LEGUA-REYNOSO		
		LA PERLA		
		LA PUNTA		
		VENTANILLA		

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SÍSMICA	ÁMBITO
ICA	CHINCHA	SAN PEDRO DE HUACARPANA	3	UN DISTRITO
		ALTO LARÁN	4	DIEZ DISTRITOS
		CHAVIN		
		CHINCHA ALTA		
		CHINCHA BAJA		
		EL CARMEN		
		GROCIO PRADO		
		PUEBLO NUEVO		
		SAN JUAN DE YANAC		
		SUNAMPE		
	TAMBO DE MORA			
	PALPA	LLIPATA	4	TODOS LOS DISTRITOS
		PALPA		
		RÍO GRANDE		
		SANTA CRUZ		
		TIBILLO		

ICA	ICA	ICA	4	TODOS LOS DISTRITOS
		LA TINGUIÑA		
		LOS AQUIJES		
		OCUCAJE		
		PACHACÚTEC		
		PARCONA		
		PUEBLO NUEVO		
		SALAS		
		SAN JOSÉ DE LOS MOLINOS		
		SAN JUAN BAUTISTA		
		SANTIAGO		
		SUBTANJALLA		
		TATE		
		YAUCA DEL ROSARIO		
		CHANGUILLO		
		NAZCA		
MARCONA				
NAZCA				
VISTA ALEGRE				
PISCO	PISCO	HUANCANO	4	TODOS LOS DISTRITOS
		HUMAY		
		INDEPENDENCIA		
		PARACAS		
		PISCO		
		SAN ANDRÉS		
		SAN CLEMENTE		
		TÚPAC AMARU INCA		

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SÍSMICA	ÁMBITO				
AREQUIPA	LA UNIÓN	ALCA	3	TODOS LOS DISTRITOS				
		CHARCANA						
		COTAHUASI						
		HUAYNACOTAS						
		PAMPAMARCA						
		PUYCA						
		QUECHUALLA						
		SAYLA						
		TAURIA						
		TOME PAMPA						
		TORO						
		CAYLLOMA			CAYLLOMA	ACHOMA	3	DIECINUEVE DISTRITOS
						CABANA CONDE		
						CALLALLI		
	CAYLLOMA							
	CHIVAY							
	COPORAQUE							
	HUAMBO							
	HUANCA							
	ICHUPAMPA							
	LARI							
	LLUTA							
	MACA							
	MADRIGAL							
	SAN ANTONIO DE CHUCA							
	SIBAYO							
	TAPAY							
TISCO								
TUTI								
YANQUE								
		MAJES	4	UN DISTRITO				

CASTILLA	CASTILLA	ANDAGUA	3	ONCE DISTRITOS
		AYO		
		CHACHAS		
		CHILCAYMARCA		
		CHOCO		
		MACHAGUAY		
		ORCOPAMPA		
		PAMPACOLCA		
		TIPÁN		
		UÑÓN		
		VIRACO		
		APLAO		
		HUANCARQUI		
URACA				
			4	TRES DISTRITOS

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SÍSMICA	ÁMBITO	
AREQUIPA	AREQUIPA	ALTO SELVA ALEGRE	3	VEINTIUN DISTRITOS	
		AREQUIPA			
		CAYMA			
		CERRO COLORADO			
		CHARACATO			
		CHIGUATA			
		JACOBO HUNTER			
		JOSÉ LUIS BUSTAMANTE Y RIVERO			
		MARIANO MELGAR			
		MIRAFLORES			
		MOLLEBAYA			
		PAUCARPATA			
		POCSI			
		QUEQUEÑA			
		SABANDIA			
		SACHACA			
		SAN JUAN DE TARUCANI			
		SOCABAYA			
		TIABAYA			
		YANA HUARA			
	YURA				
	CONDESUYOS	CONDESUYOS	LA JOYA	4	OCHO DISTRITOS
			POLOBAYA		
			SAN JUAN DE SIGUAS		
			SANTA ISABEL DE SIGUAS		
			SANTA RITA DE SIGUAS		
			UCHUMAYO		
			VÍTOR		
			YARABAMBA		
			CAYARANI		
			CHICHAS		
			SALAMANCA		
			ANDARAY		
CHUQUIBAMBA					
IRAY					
RÍO GRANDE					
YANAQUIHUA					
ISLAY	ISLAY	COCACHACRA	4	TODOS LOS DISTRITOS	
		DEAN VALDIVIA			
		ISLAY			
		MEJÍA			
		MOLLENDO			
PUNTA DE BOMBÓN					

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SISMICA	ÁMBITO
AREQUIPA	CAMANÁ	CAMANÁ	4	TODOS LOS DISTRITOS
		JOSÉ MARÍA QUIMPER		
		MARIANO NICOLÁS VALCÁRCEL		
		MARISCAL CÁCERES		
		NICOLÁS DE PIÉROLA		
		OCOÑA		
		QUILCA		
		SAMUEL PASTOR		
		CARAVELÍ		
	ÁTICO			
	ATIQUIPA			
	BELLA UNIÓN			
	CAHUACHO			
	CARAVELÍ			
	CHALA			
	CHAPARRA			
	HUANUHUANU			
	JAQUI			
	LOMAS			
QUICACHA				
YAUCA				

REGION (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SISMICA	ÁMBITO
MOQUEGUA	GENERAL SÁNCHEZ CERRO	CHOJATA	3	DIEZ DISTRITOS
		COALAQUE		
		ICHUÑA		
		LLOQUE		
		MATALAQUE		
		OMATE		
		PUQUINA		
		QUINISTAQUILLAS		
		UBINAS		
		YUNGA		
	LA CAPILLA	4	UN DISTRITO	
	MARISCAL NIETO	CARUMAS	3	CINCO DISTRITOS
		CUCHUMBAYA		
		SAMEGUA		
		SAN CRISTÓBAL DE CALACOA		
		TORATA		
	MOQUEGUA	4	UN DISTRITO	
	ILO	EL AGARROBAL	4	TODOS LOS DISTRITOS
		PACOCCHA		
ILO				

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SISMICA	ÁMBITO
TACNA	TARATA	CHUCATAMANI	3	TODOS LOS DISTRITOS
		ESTIQUE		
		ESTIQUE-PAMPA		
		SITAJARA		
		SUSAPAYA		
		TARATA		
		TARUCACHI		
	TICACO			
	CANDARAVE	CAIRANI	3	TODOS LOS DISTRITOS
		CAMILACA		
		CANDARAVE		
		CURIBAYA		
		HUANUARA		
		QUILAHUANI		

JORGE BASADRE	ILABAYA	4	TODOS LOS DISTRITOS
	ITE		
	LOCUMBA		
TACNA	PALCA	3	UN DISTRITO
	ALTO DE LA ALIANZA	4	OCHO DISTRITOS
	CALANA		
	CIUDAD NUEVA		
	INCLÁN		
	PACHIA		
	POCOLLAY		
	SAMA		
TACNA			

ANEXO N° 02

PROCEDIMIENTO SUGERIDO PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS ACCIONES SÍSMICAS

Las acciones sísmicas para el diseño estructural dependen de la zona sísmica (Z), del perfil de suelo (S, T_p , T_L), del uso de la edificación (U), del sistema sismorresistente (R) y las características dinámicas de la edificación (T, C) y de su peso (P).

ETAPA 1: PELIGRO SÍSMICO (Capítulo 2)

Los pasos de esta etapa dependen solamente del lugar y las características del terreno de fundación del proyecto. No dependen de las características del edificio.

Paso 1 Factor de Zona Z (Numeral 2.1)

Determinar la zona sísmica donde se encuentra el proyecto en base al mapa de zonificación sísmica (Figura N° 1) o a la Tabla de provincias y distritos del Anexo N° 1. Determinar el factor de zona (Z) de acuerdo a la Tabla N° 1.

Paso 2 Perfil de Suelo (Numeral 2.3)

De acuerdo a los resultados del Estudio de Mecánica de Suelos (EMS) se determina el tipo de perfil de suelo según el numeral 2.3.1 donde se definen 5 perfiles de suelo. La clasificación se debe hacer en base a los parámetros indicados en la Tabla N° 2 considerando promedios para los estratos de los primeros 30 m bajo el nivel de cimentación.

Cuando no se conozcan las propiedades del suelo hasta la profundidad de 30 m, el profesional responsable del EMS determinará el tipo de perfil de suelo sobre la base de las condiciones geotécnicas conocidas.

Paso 3 Parámetros de Sitio S, T_p y T_L (Numeral 2.4)

El factor de amplificación del suelo se obtiene de la Tabla N° 3 y depende de la zona sísmica y el tipo de perfil de suelo. Los períodos T_p y T_L se obtienen de la Tabla N° 4 y solo dependen del tipo de perfil de suelo.

Paso 4 Construir la función Factor de Amplificación Sísmica C versus Período T (Numeral 2.5)

Depende de los parámetros de sitio T_p y T_L . Se definen tres tramos, períodos cortos, intermedios y largos, y se aplica para cada tramo las expresiones de este numeral.

ETAPA 2: CARACTERIZACIÓN DEL EDIFICIO (Capítulo 3)

Los pasos de esta etapa dependen de las características de la edificación, como son su categoría, sistema estructural y configuración regular o irregular.

Paso 5 Categoría de la Edificación y el Factor de Uso U (Numeral 3.1)

La categoría de la edificación y el factor de uso (U) se obtienen de la Tabla N° 5.

Paso 6 Sistema Estructural (Numeral 3.2 y 3.3)

Se determina el sistema estructural de acuerdo a las definiciones que aparecen en el numeral 3.2.

En la Tabla N° 6 (numeral 3.3) se definen los sistemas estructurales permitidos de acuerdo a la categoría de la edificación y a la zona sísmica en la que se encuentra.

Paso 7 Coeficiente Básico de Reducción de Fuerzas Sísmicas, R_0 (Numeral 3.4)

De la Tabla N° 7 se obtiene el valor del coeficiente R_0 , que depende únicamente del sistema estructural.

Paso 8 Factores de Irregularidad I_a , I_p (Numeral 3.6)

El factor I_a se determinará como el menor de los valores de la Tabla N° 8 correspondiente a las irregularidades existentes en altura. El factor I_p se determinará como el menor de los valores de la Tabla N° 9 correspondiente a las irregularidades existentes en planta.

En la mayoría de los casos se puede determinar si una estructura es regular o irregular a partir de su configuración estructural, pero en los casos de Irregularidad de Rigidez e Irregularidad Torsional se debe comprobar con los resultados del análisis sísmico según se indica en la descripción de dichas irregularidades.

Paso 9 Restricciones a la Irregularidad (Numeral 3.7)

Verificar las restricciones a la irregularidad de acuerdo a la categoría y zona de la edificación en la Tabla N° 10. Modificar la estructuración en caso que no se cumplan las restricciones de esta Tabla.

Paso 10 Coeficiente de Reducción de la Fuerza Sísmica R (Numeral 3.8)

Se determina $R = R_0 \cdot I_a \cdot I_p$.

ETAPA 3: ANÁLISIS ESTRUCTURAL (Capítulo 4)

En esta etapa se desarrolla el análisis estructural. Se sugieren criterios para la elaboración del modelo matemático de la estructura, se indica cómo se debe calcular el peso de la edificación y se definen los procedimientos de análisis.

Paso 11 Modelos de Análisis (Numeral 4.2)

Desarrollar el modelo matemático de la estructura. Para estructuras de concreto armado y albañilería considerar las propiedades de las secciones brutas ignorando la fisuración y el refuerzo.

Paso 12 Estimación del Peso P (Numeral 4.3)

Se determina el peso (P) para el cálculo de la fuerza sísmica adicionando a la carga permanente total un porcentaje de la carga viva que depende del uso y la categoría de la edificación, definido de acuerdo a lo indicado en este numeral.

Paso 13 Procedimientos de Análisis Sísmico (Números 4.4 a 4.7)

Se definen los procedimientos de análisis considerados en esta Norma, que son análisis estático (numeral 4.5) y análisis dinámico modal espectral (numeral 4.6).

Paso 13 A Análisis Estático (Numeral 4.5)

Este procedimiento solo es aplicable a las estructuras que cumplen lo indicado en el numeral 4.5.1.

El análisis estático tiene los siguientes pasos:

- Calcular la fuerza cortante en la base $V = \frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R} \cdot P$ para cada dirección de análisis (numeral 4.5.2).
- Para determinar el valor de C (Paso 4 o numeral 2.5) se debe estimar el periodo fundamental de vibración de la estructura (T) en cada dirección (numeral 4.5.4).
- Determinar la distribución en la altura de la fuerza sísmica de cada dirección (numeral 4.5.3).
- Aplicar las fuerzas obtenidas en el centro de masas

de cada piso. Además se deberá considerar el momento torsor accidental (numeral 4.5.5).

- Considerar fuerzas sísmicas verticales (numeral 4.5.6) para los elementos en los que sea necesario.

Paso 13 B Análisis Dinámico (Numeral 4.6)

Si se elige o es un requerimiento desarrollar un análisis dinámico modal espectral se debe:

- Determinar los modos de vibración y sus correspondientes periodos naturales y masas participantes mediante análisis dinámico del modelo matemático (numeral 4.6.1).

- Calcular el espectro inelástico de pseudo aceleraciones $S_a = \frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R} \cdot g$ para cada dirección de análisis (numeral 4.6.2).

- Considerar excentricidad accidental (numeral 4.6.5).

- Determinar todos los resultados de fuerzas y desplazamientos para cada modo de vibración.

- Determinar la respuesta máxima esperada correspondiente al efecto conjunto de los modos considerados (numeral 4.6.3).

- Se deben escalar todos los resultados obtenidos para fuerzas (numeral 4.6.4) considerando un cortante mínimo en el primer entrepiso que será un porcentaje del cortante calculado para el método estático (numeral 4.5.3). No se escalan los resultados para desplazamientos.

- Considerar fuerzas sísmicas verticales (numeral 4.6.2) usando un espectro con valores iguales a 2/3 del espectro más crítico para las direcciones horizontales, para los elementos que sea necesario.

ETAPA 4: VALIDACIÓN DE LA ESTRUCTURA

De acuerdo a los resultados del análisis se determinará si la estructura planteada es válida, para lo cual debe cumplir con los requisitos de regularidad y rigidez indicados en este capítulo.

Paso 14 Revisión de las Hipótesis del Análisis

Con los resultados de los análisis se revisarán los factores de irregularidad aplicados en el paso 8. En base a éstos se verificará si los valores de R se mantienen o deben ser modificados. En caso de haberse empleado el procedimiento de análisis estático deberá verificarse lo señalado en el numeral 4.5.1.

Paso 15 Restricciones a la Irregularidad (Numeral 3.7)

Verificar las restricciones a la irregularidad de acuerdo a la categoría y zona de la edificación en la Tabla N° 10. De existir irregularidades o irregularidades extremas en edificaciones en las que no están permitidas según esa Tabla, se debe modificar la estructuración y repetir el análisis hasta lograr un resultado satisfactorio.

Paso 16 Determinación de Desplazamientos Laterales (Numeral 5.1)

Se calculan los desplazamientos laterales de acuerdo a las indicaciones de este numeral.

Paso 17 Distorsión Admisible (Numeral 5.2)

Verificar que la distorsión máxima de entrepiso que se obtiene en la estructura con los desplazamientos calculados en el paso anterior sea menor que lo indicado en la Tabla N° 11. De no cumplir se debe revisar la estructuración y repetir el análisis hasta cumplir con el requerimiento.

Paso 18 Separación entre Edificios (Numeral 5.3)

Determinar la separación mínima a otras edificaciones o al límite de propiedad de acuerdo a las indicaciones de este numeral.