

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, GEOFÍSICA Y MINAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOFÍSICA**



**APLICACIÓN DE LA NORMA TÉCNICA E-030 “DISEÑO
SISMORRESISTENTE” EN LA CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS EN EL ÁREA
URBANA DEL DISTRITO DE SANTA ROSA - LIMA**

*Tesis presentada por la Bachiller en
Ciencias Geofísicas*

LUZ MERCEDES ARREDONDO GARCÍA

*Para optar el título profesional de
INGENIERO GEOFÍSICO*

Asesor Interno: Dr. Armando Minaya Lizárraga

Asesor Externo: Dr. Hernando Tavera H.

AREQUIPA – PERÚ

2016

RESUMEN

La zonificación sísmica es considerada como una metodología de trabajo adecuada para utilizarse en la reducción del riesgo sísmico en ciudades. El objetivo es evaluar la respuesta de los suelos ante la amenaza sísmica, para ello se analiza con un enfoque multidisciplinario la información sísmica, geofísica, geológica, geodinámica, geomorfológica y geotécnica a fin de obtener el mapa de zonificación sísmico-geotécnico.

El objetivo de la presente investigación es aportar información necesaria para la identificación de zonas vulnerables ante amenazas sísmicas en base a las propiedades dinámicas de los suelos, para lo cual se realiza el análisis de la información de vibración ambiental registrada en el área urbana del distrito de Santa Rosa con la técnica de Nakamura (H/V) y la técnica de Análisis Multicanal de las Ondas Superficiales (MASW), tomando en cuenta las condiciones geológicas y geotécnicas propias de la zona.

La información de vibración ambiental corresponde a 141 puntos de registro, los cuales fueron seleccionados considerando el mapa catastral del área urbana del distrito de Santa Rosa, distribuida en cuatro (4) áreas en función de la densidad poblacional. Se pretende identificar los períodos dominantes del suelo y su amplificación relativa. Asimismo, se realizaron 7 líneas de MASW a fin de conocer los espesores de las capas superficiales, así como la velocidad de las ondas de corte (V_s).

El estudio es complementado con datos geotécnicos obtenidos de 7 calicatas de exploración a cielo abierto con dimensiones de 1.5 m x 1.5 m de lado y 3.0 m de profundidad máxima a fin de conocer la capacidad de carga admisible del suelo y realizar la clasificación SUCS de los suelos.

Los resultados obtenidos permiten identificar para el área urbana del distrito de Santa Rosa la presencia de tres (3) zonas sísmica-geotécnicas, las mismas que corresponden a los suelos de Tipo I, Tipo II y Tipo III, de acuerdo a la Norma Técnica E-030.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	
RESUMEN	
ÍNDICE	
Lista de figuras	
Lista de tablas	

CAPÍTULO I, INTRODUCCIÓN

1.1. Generalidades.....	1
1.2. Ubicación y accesibilidad.....	5
1.3. Justificación.....	9
1.4. Formulación del problema.....	9
1.5. Alcances y Limitaciones.....	10
1.6. Variables e Indicadores.....	10
1.7. Objetivos.....	11
1.7.1. Objetivo General.....	11
1.7.2. Objetivos Específicos.....	11
1.8. Metodología.....	11
1.9. Antecedentes.....	12

CAPÍTULO II, MARCO TEÓRICO

2.1. Ondas Sísmicas.....	13
2.1.1. Ondas Corpóreas.....	13
2.1.2. Ondas Superficiales.....	14
2.1.2.1. Dispersión de las ondas superficiales.....	15
2.2. Ruido sísmico o Vibración Ambiental.....	19
2.2.1. Fuentes de Vibración Ambiental.....	21
2.2.2. Aplicaciones de estudio de Vibración Ambiental.....	22
2.3. Periodo dominante o fundamental.....	23
2.4. Técnicas para la caracterización de suelos.....	23
2.4.1. Técnicas Geofísicas.....	23

2.4.1.1. Técnica de Nakamura (H/V).....	23
2.4.1.2. Técnica de Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW)	28
2.4.2. Técnica Geotécnica	29
2.4.2.1. Técnica de Calicatas.....	30
2.5. Definición de Suelos	32
2.5.1. Propiedades de los Suelos.....	33
2.5.2. Tipos de Suelos	38
2.5.3. Clasificación de los Suelos	38
2.6. Sistema Unificado de Suelos (SUCS)	39
2.6.1. Suelos Granulares.....	40
2.6.2. Suelos Finos	40
2.7. Zonificación de Suelos	43
2.7.1. Tipos de Zonificación de Suelos	43
2.8. Condiciones mecánicas - dinámicas de los suelos	45
2.8.1. Norma Técnica E-030.....	47
2.9. Importancia de la Zonificación de Suelos	51

CAPÍTULO III, CONTEXTO GEOGRÁFICO, GEOLÓGICO Y SISMOTECTÓNICO

3.1. Marco Geográfico	53
3.1.1. Historia	53
3.1.2. Aspectos demográficos.....	53
3.1.3. Aspectos sociales.....	55
3.1.4. Aspectos económicos	55
3.1.5. Aspectos políticos.....	56
3.1.6. Aspectos turísticos.....	57
3.2. Marco Geomorfológico local.....	61
3.2.1. Islas.....	62
3.2.2. Borde Litoral	62
3.2.3. Lomas y Testigos.....	62
3.3. Marco Geológico local	64

3.3.1. Unidades Litoestratigráficas.....	65
3.3.1.1. Volcánico Ancón	65
3.3.1.2. Formación Puente Inga	65
3.3.1.3. Formación Ventanilla.....	67
3.3.1.4. Depósito Aluvial.....	67
3.3.1.5. Depósito Eólico	68
3.3.1.6. Depósito Marino	68
3.4. Marco Sismotectónico.....	70
3.4.1. Sismicidad Histórica.....	72
3.4.2. Sismicidad Instrumental	72
3.4.3. Grandes sismos.....	75

CAPÍTULO IV, METODOLOGÍA Y PROCESAMIENTO DE DATOS

4.1. Instrumentación y adquisición de datos	79
4.1.1. Instrumentación y registros de Vibración Ambiental	79
4.1.2. Arreglos Sísmicos.....	84
4.1.3. Ensayo Geotécnico	88
4.2. Procesamiento de datos	90
4.2.1. Técnica de Nakamura (H/V)	90
4.2.2. Técnica de Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW)	93
4.2.3. Técnica de Calicatas	94
4.3. Integración de la información de H/V y MASW	94

CAPÍTULO V, ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1. Caracterización Geofísica.....	95
5.1.1. Análisis de frecuencias predominantes.....	95
5.1.2. Análisis de las velocidades de las ondas de corte (Vs).....	104
5.2. Caracterización Geotécnica	114
5.2.1. Clasificación de suelos	114
5.2.2. Capacidad portante	115

5.3. Estimación del basamento rocoso	117
5.4. Zonificación sísmica geotécnica	121
5.4.1. Geología y Geomorfología.....	121
5.4.2. Geotécnia	121
5.4.3. Geofísica	121
5.4.4. Mapa de Zonificación Sísmica-Geotécnica	122

CONCLUSIONES

RECOMENDACIÓN

BIBLIOGRAFÍA

ANEXO

Anexo 1. Norma Técnica E-030 "Diseño Sismorresistente"

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Ubicación de la zona de estudio, área urbana del distrito de Santa Rosa	6
Figura 1.2. Mapa de ubicación de los Asentamientos Humanos, Asociaciones de Vivienda y Urbanizaciones presentes en el área urbana del distrito de Santa Rosa.....	8
Figura 1.3. Ruta de ingreso al área urbana del distrito de Santa Rosa	9
Figura 2.1. Propagación de las ondas de cuerpo.....	14
Figura 2.2. Propagación de las ondas superficiales.....	15
Figura 2.3. Dispersión de las ondas superficiales	16
Figura 2.4. Identificación de parámetros sobre la base de la dispersión geométrica de ondas superficiales (Foti, 2011)	17
Figura 2.5. Diagrama de flujo del análisis de ondas superficiales.....	18
Figura 2.6. Registros representativos de vibración ambiental en varios tipos de suelo. Curvas de distribución de períodos representativas (Kanai y Tanaka, 1961).....	20
Figura 2.7. Fuentes de vibración ambiental y características principales (Bard, 2004).....	22
Figura 2.8. Identificación de los componentes del movimiento planteada para la explicación de la técnica de Nakamura.....	26
Figura 2.9. Descripción paso a paso de la metodología a seguir para la determinación de la relación espectral H/V (Sesame)	27
Figura 2.10. Esquema típico de adquisición para la técnica MASW (Park Seismic)	28
Figura 2.11. Ejemplo de la ficha de la Calicata SR-1 en el área urbana del distrito de Santa Rosa	31
Figura 2.12. Composición de los suelos.....	33
Figura 2.13. Curvas granulométricas (grupo Geotecnia-Universidad de Cantabria)	35
Figura 2.14. Límites de Atterberg (ASTM).....	36
Figura 2.15. Carta de plasticidad de Casagrande.....	37
Figura 2.16. Clasificación de los suelos de acuerdo al porcentaje retenido. Según el Sistema SUCS	40
Figura 2.17. Parámetros y descripciones consideradas en la Clasificación SUCS (Casagrande 1942).....	42
Figura 2.18. Registros sísmicos en emplazamientos próximos pero con características del Subsuelo distintas	46
Figura 3.1. Población del área urbana del distrito de Santa Rosa según los censos de 1981, 1993 y 2007 (Fuente INEI); 2013 (Fuente SAMUSOCIAL).....	53

Figura 3.2. Vistas de viviendas ubicadas en los cerros del Balneario de Santa Rosa. (Asociación de Vivienda ADESESEP, PROFAM y La Productiva	54
Figura 3.3. Sectores económicos en el área urbana de Santa Rosa según el censo de, 1993 (INEI).....	56
Figura 3.4. Botella escultórica femenina (silbadora) y la taza de estilo Playa Grande. Encontrada por Stumer en Playa Grande (1952)	57
Figura 3.5. Humedales del distrito de Santa Rosa	58
Figura 3.6. Islas Gemelas y Playas del balneario del distrito de Santa Rosa.....	59
Figura 3.7. Figuras petrificadas en el distrito de Santa Rosa: La cueva del Pirata, esculturas labradas en rocas y gorilas petrificada y lagartos gigantes prehistóricos.....	60
Figura 3.8. Acantilados e Islotes en el Balneario de Santa Rosa.....	61
Figura 3.9. Mapa geomorfológico local para el área urbana del distrito de Santa Rosa	63
Figura 3.10. Sector La Bajada, extremo SO del área urbana del distrito de Santa Rosa, Asentamiento Humano sobre arenas eólicas	64
Figura 3.11. Mapa geológico del área urbana del distrito de Santa Rosa (INGEMMET, Carta Geológica 24i)	66
Figura 3.12. Columna estratigráfica del área urbana del distrito de Santa Rosa	67
Figura 3.13. Mapa geológico local para el área urbana del distrito de Santa Rosa.....	69
Figura 3.14. Vista del Balneario de Santa Rosa, presencia de terrazas, albufera y afloramiento Volcánico	70
Figura 3.15. Distribución espacial de los sismos con foco superficial (círculos rojos), intermedio (círculos verdes) y profundos (círculos azules) ocurridos en el Perú entre 1960 -2016 ($ML \geq 4.0$). El mapa sísmico fue elaborado por el Instituto Geofísico del Perú, (Tavera 2016)	74
Figura 3.16. Mapas de intensidades para los sismos de 1966 y 1974. En: Tavera et al (2016), Catálogo General de Isosistas para Sismos Peruanos	77
Figura 3.17. Daños ocasionados por los sismos de 1966 (Casona de San Marcos) y 1974 (distrito de Chorrillos)	78
Figura 4.1. Equipo Sísmico utilizado en este estudio para la toma de datos en campo	80
Figura 4.2 a) Imagen donde se observa la disposición del equipo City Shark II a la hora de tomar los datos en campo. b) Ejemplo de un registro de vibración ambiental perturbado por el paso de peatones cerca del sensor y c) Ejemplo de un registro de vibración ambiental obtenido durante un periodo estable. En la imagen superior se observa al autor durante la toma de datos en campo	81

Figura 4.3. Distribución de los puntos de medida de vibración ambiental en el área urbana del distrito de Santa Rosa	83
Figura 4.4. Instrumental utilizado en la toma de datos en la técnica de Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW): Línea LR03-SR	84
Figura 4.5. Condiciones típicas del terreno favorable y desfavorable para la aplicación de la técnica de Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW).....	86
Figura 4.6. Mapa de distribución de las líneas de Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW) en el área urbana de Santa Rosa.....	87
Figura 4.7. Distribución espacial de las siete (7) calicatas ejecutadas en el área urbana de Santa Rosa	89
Figura 4.8. Registros y razones H/V de mediciones de vibración ambiental. a) Registro donde se identifican frecuencias predominantes, b) Registro en el cual no resalta ninguna frecuencia predominante.....	91
Figura 4.9. Ejemplo de la ficha H/V para el punto SR-085 en la cual se recopila la información registrada y analizada. Arriba, señal registrada; Medio; razón espectral (H/V) en línea gruesa y su desviación estándar en línea discontinua. Espectrograma y Abajo: resultados	92
Figura 4.10. Metodología aplicada para el tratamiento de la información de ondas superficiales (MASW)	93
Figura 5.1. Mapa del área urbana del distrito de Santa Rosa y la distribución espacial de las frecuencias predominantes F_0	96
Figura 5.2a. Ejemplo de gráficas de razones espectrales obtenidas en el extremo NE del área urbana de Santa Rosa (Área-1). Las líneas delgadas continuas corresponden a las razones espectrales obtenidas para cada ventana de observación, la línea gruesa el promedio de estas curvas y las líneas discontinuas, su desviación estándar.....	98
Figura 5.2b. Ejemplo de gráficas de razones espectrales obtenidas en el extremo Oeste y Centro del área urbana de Santa Rosa (Área-2).....	99
Figura 5.2c. Ejemplo de gráficas de razones espectrales obtenidas en el extremo Sur del área urbana del distrito de Santa Rosa (Área-3)	100
Figura 5.2d. Ejemplo de gráficas de razones espectrales obtenidas en el extremo SO del área urbana del distrito de Santa Rosa (Área-4)	101
Figura 5.3. Mapa del área urbana del distrito de Santa Rosa y distribución espacial de los valores de amplitudes relativas.....	103

Figura 5.4a. Análisis e interpretación geofísica obtenida con la técnica MASW para el arreglo LR01-SR (En la Figura 4.6, se muestra la ubicación del arreglo sísmico).	107
Figura 5.4b. Análisis e interpretación geofísica obtenida con la técnica MASW para el arreglo LR02-SR (En la Figura 4.6, se muestra la ubicación del arreglo sísmico.....)	108
Figura 5.4c. Análisis e interpretación geofísica obtenida con la técnica MASW para el arreglo LR03-SR (En la Figura 4.6, se muestra la ubicación del arreglo sísmico.....)	109
Figura 5.4d. Análisis e interpretación geofísica obtenida con la técnica MASW para el arreglo LR04-SR (En la Figura 4.6, se muestra la ubicación del arreglo sísmico.....)	110
Figura 5.4e. Análisis e interpretación geofísica obtenida con la técnica MASW para el arreglo LR05-SR (En la Figura 4.6, se muestra la ubicación del arreglo sísmico.....)	111
Figura 5.4f. Análisis e interpretación geofísica obtenida con la técnica MASW para el arreglo LR06-SR (En la Figura 4.6, se muestra la ubicación del arreglo sísmico.....)	112
Figura 5.4g. Análisis e interpretación geofísica obtenida con la técnica MASW para el arreglo LR07-SR (En la Figura 4.6, se muestra la ubicación del arreglo sísmico.....)	113
Figura 5.5. Mapa de clasificación de suelos (SUCS) del área urbana del distrito de Santa Rosa y valores de capacidad portante.....	116
Figura 5.6. Mapa con la identificación de los puntos de H/V asociados a las líneas de Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW). Los números en los círculos y polígonos corresponden al número de línea de MASW asumido para cada punto de H/V	118
Figura 5.7. Esquema del basamento rocoso 3D del área urbana del distrito de Santa Rosa.....	120
Figura 5.8. Mapa de zonificación sísmica-geotécnica para el área urbana del distrito de Santa Rosa	124

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1. Escala de tamaños de partículas de suelos	34
Tabla 2.2. Uso de los datos para los tres niveles de zonificación (Manual del TC4 del ISSMGE, The International Society of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering-1999). 44	
Tabla 4.1. Coordenadas de ubicación de las Calicatas.....	88
Tabla 5.1. Características de las áreas presentes en la zona de estudio.....	102
Tabla 5.2. Características de las líneas de Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW) en el área urbana del distrito de Santa Rosa.....	114
Tabla 5.3. Valores de capacidad portante (CP) de las muestras de suelos	115
Tabla 5.4 Valores de velocidades promedios propuestos para cada línea de Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW)	117

A mis padres

AGRADECIMIENTOS

De forma especial a Dios por darme la fuerza, paciencia y sabiduría, para hacer este sueño realidad; por estar presente en cada momento de mi vida, y me ayuda a ser una mejor profesional y permitirme seguir avanzando.

A mis padres, por el apoyo y amor que siempre me brindaron y sobretodo por el esfuerzo que realizaron para brindarme una buena educación; las personas que me inculcaron los sentimientos más puros y verdaderos, a ellos que con su amor iluminan mis días desde allá arriba. Los extraño mucho!!!

A mis hermanos por el apoyo y cariño que siempre me brindan y su persistencia para concluir esta investigación. A mi esposito y mi pequeña lucesita, ya que sin su apoyo “FAMILIA”, esto no sería una realidad.

Al Instituto Geofísico del Perú (IGP) por brindarme la oportunidad de realizar esta investigación en sus instalaciones.

Al Dr. Hernando Tavera Huarache, Director de la Sub-Dirección de Ciencias de la Tierra Sólida del Instituto Geofísico del Perú, por su constante apoyo y tiempo valioso para desarrollar la presente tesis.

Al Dr. Armando Minaya Lizárraga, por el apoyo, comprensión y colaboración brindada para la revisión de este trabajo de graduación.

A los profesores de la Universidad por su enseñanza, dedicación y esfuerzo; a mis compañeros de estudio y a todas las personas que de una u otra forma me acompañaron durante mi formación profesional.

A mis amigos y amigas con las que he compartido momentos alegres como difíciles en los que ellos me han brindado su amistad incondicional, respeto y cariño.

Gracias a todos!!!!!!!!!!

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Generalidades

El territorio peruano se encuentra sujeto a un alto riesgo sísmico debido a su ubicación en el borde occidental de América del Sur, forma parte del denominado Cinturón de Fuego del Pacífico, una de las zonas más activas del planeta, donde se libera aproximadamente el 85% de la energía sísmica, afectando a todo el borde de la placa del Océano Pacífico.

En el Perú, los mayores sismos se originan en la superficie de fricción de las placas de Nazca (Oceánica) y Sudamericana (Continental), como parte del proceso conocido como Subducción, donde la primera de las placas se introduce bajo la segunda con una velocidad relativa de 7 a 8 cm/año (DeMets et al, 1980. Norabuena et al, 1999). Estos grandes sismos cumplen un rol repetitivo a lo largo de la historia sísmica; es decir que, cada cierto tiempo existe la probabilidad de ocurrencia de un sismo con similares características del ocurrido en el pasado. Esta zona es la principal fuente sismogénica del Perú.

Por otro lado, la relativa proximidad de la fuente sismogénica a la zona costanera del Perú, hace que la intensidad del movimiento sísmico sea bastante considerable, ocasionando daños que se ven incrementados por las diferentes condiciones de sitio como: la calidad del suelo, antigüedad de las construcciones y mala calidad del material, entre otros. En la zona costera del departamento de Lima ocurrieron los sismos del 17

de octubre de 1966 y 3 de octubre de 1974, los que ocasionaron graves daños personales y materiales. Los edificios de concreto armado colapsaron y otros resultaron muy dañados; además, de la infraestructura de gran parte de la Lima antigua y distritos colindantes. Los daños fueron mayores en los distritos de Chorrillos, Barranco, La Molina, La Punta y El Callao (Silgado, 1978), así como el distrito de Santa Rosa.

En general, la ciudad de Lima Metropolitana desde los años 80 soporta procesos continuos de migración de la población proveniente de las provincias del interior del país y, debido a la falta de planificación urbanística y de acertadas políticas de planeamiento, la población inmigrante ha venido ocupando áreas de alto riesgo ante la ocurrencia de peligros como los sismos y tsunamis, además de sus efectos secundarios. A estas condiciones se suma el hecho de que las viviendas fueron construidas de manera inadecuada, sin seguir ningún criterio de ordenamiento territorial y, mucho menos, respetando la Norma de construcción vigente (Norma E-030). Asimismo, en algunos distritos las viviendas se asientan en laderas de cerros y ríos, cauces de quebradas secas y zonas de terrazas inundables sin medir su vulnerabilidad e incrementando, de este modo, el riesgo en dichas áreas.

En el año 2005, la Asociación Peruana de Empresas de Seguros (APESEG) y el Centro de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID) realizaron un importante aporte para la mejora en la Gestión de Riesgos de Lima Metropolitana con el estudio de Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico en 42 Distritos de Lima y Callao, el mismo que se constituye como información primaria y de base para cualquier otra investigación o proyectos en Gestión de Riesgo en Lima Metropolitana. Algunos distritos como el de Santa Rosa no fue considerado en estos estudios, de ahí la importancia de realizar este tipo de estudio a fin de completar esta información para Lima Metropolitana.

De acuerdo a los resultados obtenidos por APESEG y en este estudio, para Lima Metropolitana es importante contar con un plan de planificación urbana y una rigurosa política de planeamiento en base a los mapas de Zonificación Sísmico-Geotécnica obtenido a partir de la evaluación del comportamiento dinámico del suelo (CDS). Los estudios de zonificación sísmica tienen como objetivo conocer de manera detallada el comportamiento del suelo frente a un sismo en base al conocimiento de las condiciones particulares del área local llamadas “condiciones locales de sitio”. En la actualidad se

reconoce a las condiciones locales de sitio como uno de los principales factores responsables de los daños sufridos por las edificaciones ante la ocurrencia de sismos, en consecuencia esta información permite proyectar los posibles daños que pueden ocurrir a las edificaciones y a la población. Los estudios de zonificación sísmica, básicamente, analiza los aspectos geológicos, geomorfológicos, geotécnicos, sísmicos y geofísicos de los suelos.

El análisis dinámico de los suelos es una herramienta fundamental en los estudios de caracterización de sitio y zonificación. A través de este tipo de estudios es posible conocer el comportamiento de los suelos frente a las ondas sísmicas y la frecuencia natural de vibración de los mismos (García, 2010), y para ello se hace uso de la información obtenida del registro de mediciones microtremores (Cuadra, 2007). El análisis de los microtremores se realiza mediante diversas técnicas entre las que se encuentran la interpretación directa de la transformada de Fourier; el cálculo de los espectros relativos de amplificación de las estaciones en suelo blando versus una estación en suelo firme o Técnica de Kagami y el cálculo de las razones espectrales entre la componente horizontal y vertical (relación H/V) del movimiento de un mismo sitio, denominada Técnica de Nakamura (Vásquez, 2008).

Nakamura (1989) supone que la componente vertical de la superficie como sustituta de la señal horizontal del basamento rocoso y su técnica consiste en determinar la relación espectral de la componente horizontal y vertical (H/V) de la vibración ambiental para estimar las características dinámicas de las capas superficiales del suelo. Esta metodología permite la elaboración de perfiles o mapas de isoperiodos preliminares para la zonificación sísmica, y así conocer parcialmente el comportamiento dinámico. El uso de registros de vibración ambiental para la caracterización del subsuelo, ha sido considerado en los últimos años una excelente herramienta de incesante interés. Este método y el de ondas superficiales se caracterizan por ser efectivos y no invasivos, a diferencia de otros métodos geofísicos y geotécnicos que podrían prever incertidumbre, y en algunos casos provocar cierto impacto ambiental.

La técnica geofísica complementaria a los estudios del comportamiento dinámico de suelo es el estudio de dispersión de las ondas superficiales, implica generar curvas de dispersión e invertirlas con el fin de determinar los modelos de velocidad de onda S, parámetro complementario e importante en la caracterización de los suelos. El método

que brinda mejores resultados es conocido como Análisis Multicanal de Ondas Superficiales, MASW (Park y Miller, 2001)

En la presente investigación, se realiza la aplicación de los métodos geofísicos (H/V y MASW) y geotécnico (Calicatas) para realizar la Zonificación de Suelos en el área urbana del distrito de Santa Rosa (Lima). La técnica de H/V hace uso de datos de vibración ambiental y aplica la técnica de Nakamura para obtener mapas de isoperiodos y amplificaciones relativas. La técnica de MASW hace uso de la información de las ondas superficiales a fin de conocer la velocidad de las ondas de corte en el subsuelo (ondas S) y el método geotécnico a través de la técnica de calicatas permite realizar la clasificación de los suelos y conocer su capacidad portante a partir de la obtención directa de muestras de suelos. Estos métodos son aplicados después de conocer las condiciones geológicas, geodinámicas y geomorfológicas propias de la zona de estudio. El objetivo es aportar información necesaria para la identificación de zonas vulnerables por suelos ante amenazas sísmicas.

Para el desarrollo de la presente investigación se ha considerado la siguiente estructura:

- En el *Capítulo 1*, se realiza la introducción del tema de investigación, se incluye la descripción de la metodología empleada; asimismo, los objetivos y el área de estudio.
- En el *Capítulo 2*, se definen conceptos relacionados al tema de investigación como, ondas sísmicas, técnicas geofísicas y geotécnicas, la definición de suelos y zonificación de suelos.
- En el *Capítulo 3*, se describe el contexto geológico y sismotectónico que caracteriza a la zona de estudio, definiendo sus características geográficas, geomorfológicas, geológicas y sismotectónicas, y los sismos más importantes que afectaron al área urbana del distrito de Santa Rosa.
- En el *Capítulo 4*, se describe la adquisición y metodología geofísica y geotécnica seguida para caracterizar los suelos en la zona de estudio y la integración de la información de H/V y MASW.
- En el *Capítulo 5*, se muestran los resultados obtenidos de la aplicación de la metodología geofísica y geotécnica, así como la estimación del basamento rocoso. Asimismo, se determina la zonificación sísmica-geotécnica para el área urbana de Santa Rosa.

Finalmente, se detalla las principales conclusiones a las que se llega en la presente investigación.

1.2. Ubicación y accesibilidad

El área urbana del distrito de Santa Rosa se encuentra ubicado en el distrito de Santa Rosa, en la provincia de Lima a 32 km al NO de la ciudad de Lima, en la ruta de salida a la región Norte, ocupa un área de 9 km² aproximadamente de una superficie total de 21.5 km² (Figura 1.1).

Este Balneario se caracteriza por presentar, en su territorio, al cerro Monigote el cual separa a las playas Grande y Chica, formando el denominado "Paseo de la Muerte". En el mar de estas playas, se observan dos islas conocidas con los nombres de islas Gemelas, las cuales forman parte de las riquezas guaneras del país. Los límites del área urbana de Santa Rosa son:

Por el Norte: Con el distrito de Ancón.

Por el Sur: Con el distrito de Ventanilla (Callao).

Por el Este: Con el distrito de Ancón.

Por el Oeste: Con el Océano Pacífico.

La accesibilidad al área urbana de Santa Rosa es mediante la carretera Panamericana Norte a la altura del kilómetro 43, desde donde se toma un desvío de 3 kilómetros con dirección al litoral.

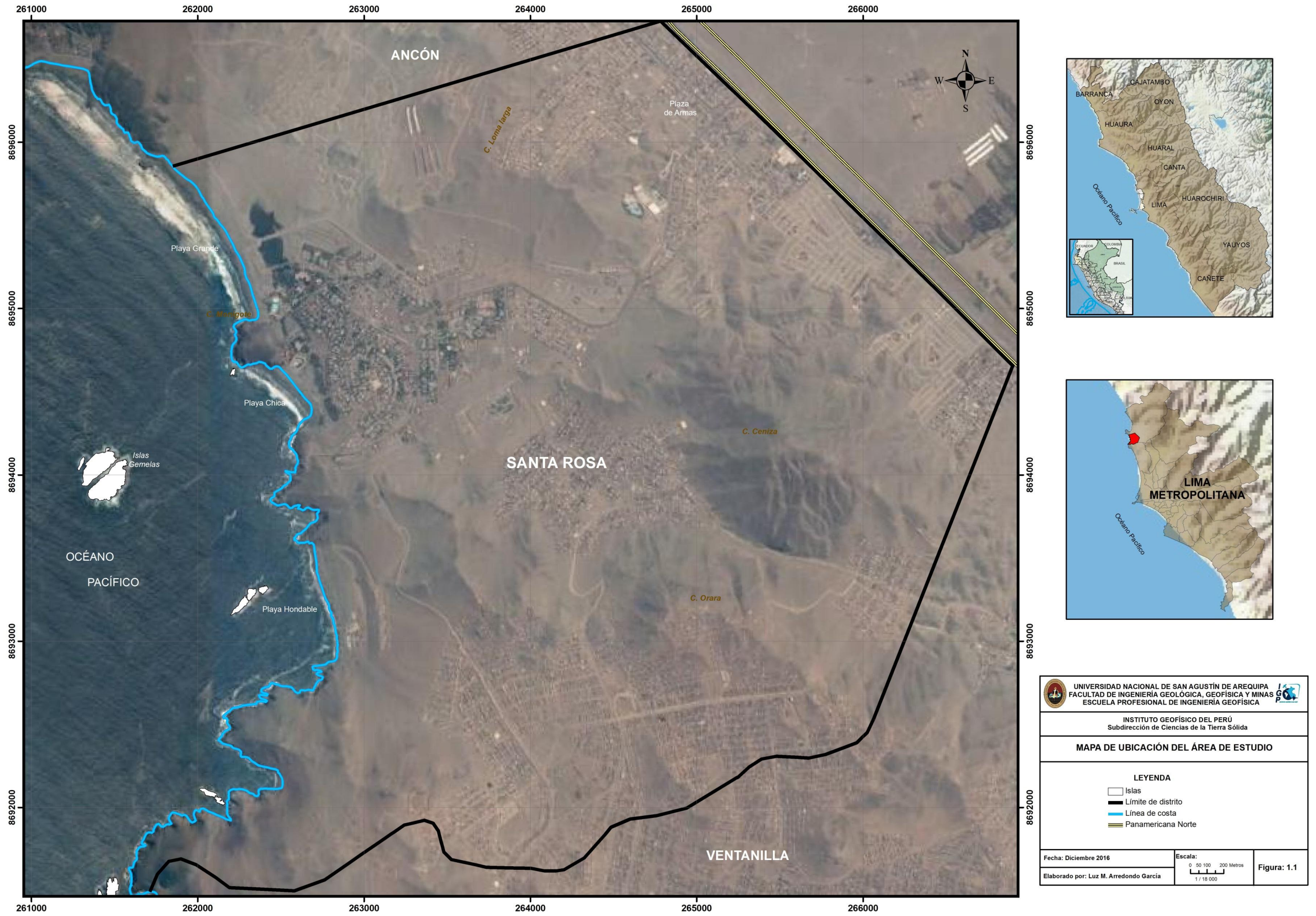


Figura 1.1. Ubicación de la zona de estudio, área urbana del distrito de Santa Rosa.

Desde la creación del distrito de Santa Rosa se han formado Asentamientos Humanos, Asociaciones de Viviendas y Urbanizaciones (Ver Figura 1.2), mencionándose entre otros los siguientes:

- Asociación de Vivienda Las Brisas de Santa Rosa.
- Asociación de Vivienda Santa Rosa de Lima.
- Asociación de Vivienda Mariscal Castilla.
- Asociación de Vivienda Profam-Perú.
- Asociación de Vivienda Trabajadores del Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC).
- Asociación de Vivienda Los Educadores.
- Asociación de Vivienda La Productiva.
- Asociación de Vivienda Asociación para el Desarrollo de los Servidores y ex Servidores del Ejército (ADESESEP).
- Asociación de Vivienda Residencial Señor de los Milagros
- Asociación de Vivienda Los Girasoles de Santa Rosa.
- Asociación de Vivienda las Palmeras del 42.
- Asociación de Vivienda Villa Dislandia.
- Asentamiento Humano El Golf de Santa Rosa.
- Asentamiento Humano La Arboleda.
- Asentamiento Humano Las Brisas de los Ángeles.
- Asentamiento Humano Los Girasoles de Santa Rosa.
- Asentamiento Humano Los Jardines de la Parcela C.
- Asentamiento Humano San Francisco de Asís.
- Asentamiento Humano Nueva Estrella.
- Urbanización Popular Cooperativa De Vivienda Del Personal De Técnicos Y Oficiales De Mar De La Marina De Guerra Del Perú (COOVITIOMAR).
- Urbanización Country Club.
- Urbanización La Alameda del Norte Los Portales.

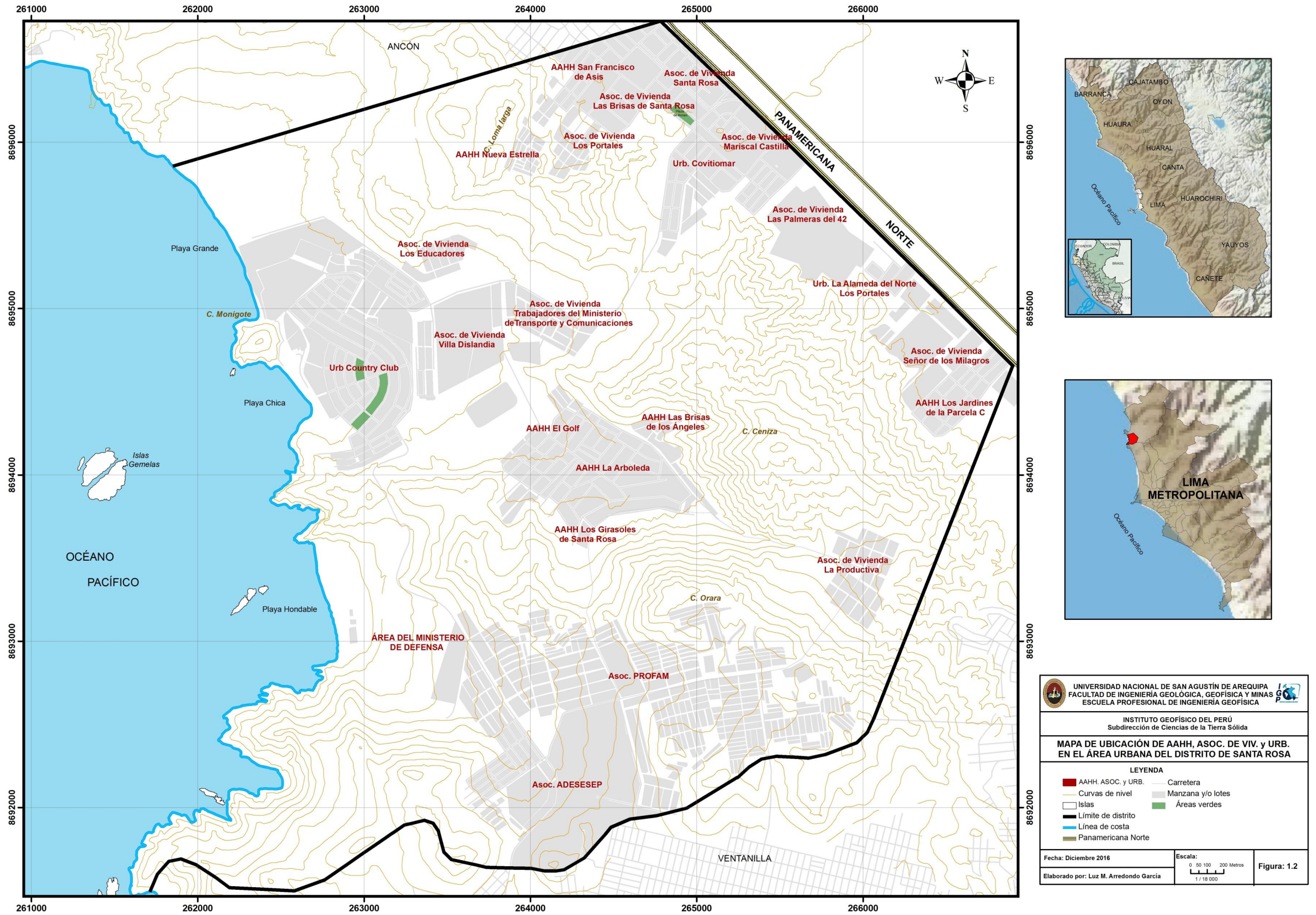


Figura 1.2. Mapa de ubicación de los Asentamientos Humanos, Asociaciones de Vivienda y Urbanizaciones presentes en el área urbana del distrito de Santa Rosa.



Figura 1.3. Ruta de ingreso al área urbana del distrito de Santa Rosa.

1.3. Justificación

El Perú es altamente sísmico y ellos cuando alcanzan magnitudes elevadas producen daños y destrucción en ciudades, siendo estos asociados al tipo de construcción y calidad de los suelos.

El análisis dinámico de los suelos es una herramienta fundamental en los estudios para la caracterización de sitio y zonificación de las áreas urbanas. A través de este tipo de estudios es posible conocer el comportamiento de los suelos frente a las solicitaciones sísmicas que permitirá reducir el riesgo y la vulnerabilidad de las ciudades y localidades expuestas al peligro. El estudio del comportamiento dinámico de los suelos proporciona información de base para la toma de decisiones por parte de las autoridades y población en general.

1.4. Formulación del problema

Las ciudades, debido a la calidad de sus suelos y viviendas son vulnerables a la ocurrencia de sismos y tsunamis; por lo tanto, es necesario realizar estudios sobre la zonificación de suelos usando información obtenida con métodos geotécnicos y

geofísicos, con el conocimiento hoy obtenido, es necesario recopilar estudios de este tipo para reducir el riesgo de desastres.

En este escenario, la pregunta es:

- ¿Qué tipo de suelos presenta el área urbana del distrito de Santa Rosa?

1.5. Alcances y limitaciones

1.5.1. Alcances

Realizar la zonificación sísmica-geotécnica para el área urbana del distrito de Santa Rosa, utilizando información geotécnica y geofísica a fin de proponer información a ser utilizada para reducir el riesgo del distrito.

1.5.2. Limitaciones

Los estudios de zonificación sísmica-geotécnica es base para conocer los suelos, pero considerando que las ciudades ya están construidas es necesario realizar estudios de vulnerabilidad por exposición a fin de poder tener estudios multidisciplinarios sobre la Gestión de Riesgos.

1.6. Variables e indicadores

1.6.1. Independientes

La importante actividad sísmica que ocurre en el país y que afecta a las ciudades costeras como Santa Rosa.

1.6.2. Dependientes

El desastre en la ciudad depende de la calidad de los suelos y de tipos de viviendas construidas en cada localidad.

1.6.3. Indicadores

El comportamiento dinámico de los suelos y la calidad de los suelos puede ser evaluado conociendo la frecuencia predominante (F_0), amplificación (A) y periodo dominante (T_0).

1.7. Objetivos

1.7.1. Objetivo General

- Proponer la Zonificación Sísmica-Geotécnica para el área urbana del distrito de Santa Rosa-Lima, según la Norma Técnica E-030 “Diseño Sismorresistente”.

1.7.2. Objetivos Específicos

- Conocer las características geológicas y geomorfológicas presentes en el área urbana del distrito de Santa Rosa.
- Aplicar métodos geofísicos y geotécnicos para caracterizar las propiedades físicas de los suelos.
- Realizar la clasificación SUCS y determinar la capacidad portante de los suelos.
- Estimar las velocidades de las ondas de corte a partir del Análisis Multicanal de las Ondas Superficiales (MASW).
- Determinar el comportamiento dinámico de los suelos del área urbana del distrito de Santa Rosa.
- Realizar la zonificación según la Norma Técnica E-030 “Diseño Sismorresistente”.

1.8. Metodología

El presente estudio ha sido realizado en las siguientes etapas:

1. Recopilación de la información bibliográfica de la zona estudio y adquisición de los datos de Vibración Ambiental y Ondas Superficiales.
2. Procesamiento de la información geofísica.
 - Procesamiento y análisis de los datos de Vibración Ambiental en el Software Geopsy.
 - Procesamiento y análisis de los datos de Ondas Superficiales en el Software SeisImager.
3. Interpretación de resultados.
 - Obtenidos los resultados de Vibración Ambiental y Ondas Superficiales, se complementará con la información geológica, geomorfológica y geotécnica del área urbana del distrito de Santa Rosa y se procederá a la generación de mapas de frecuencias predominantes y periodos dominantes a fin de obtener el mapa de zonificación sísmica-geotécnica.

1.9. Antecedentes

Los estudios que se han realizado en el área de estudio corresponde a:

- Tavera, H., Bernal, I., Gomez, J-C. (2010): La zonificación sísmico-geotécnica para siete distritos de Lima Metropolitana (Comportamiento Dinámico del Suelo): a partir de información de vibración ambiental y calicatas proponen el mapa de zonificación sísmica-geotécnica para cada distrito estudiado, así como para el distrito de Santa Rosa.
- En el presente estudio, se utiliza las técnicas de H/V y MASW, teniendo en cuenta la información, geológica, geomorfológica y geotécnica de la zona de estudio a fin de caracterizar los suelos, a partir de la clasificación regulada en la Norma Técnica E-030 “Diseño Sismorresistente” y así determinar un mapa de zonificación sísmica-geotécnica para el área urbana del distrito de Santa Rosa.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Ondas Sísmicas

Las ondas sísmicas son ondas que se propagan a través de la tierra como ondas elásticas. Existen dos tipos de ondas sísmicas: ondas corpóreas y ondas superficiales.

2.1.1. Ondas Corpóreas

Las ondas sísmicas son perturbaciones elásticas que se propagan a través del interior de la Tierra. A medida que estas ondas se propagan por el subsuelo, se van reflejando y/o refractando dependiendo de los cambios en las propiedades elásticas de las rocas.

En un espacio elástico e infinitamente homogéneo e isotrópico pueden existir dos tipos principales de ondas. Las ondas P o compresionales, que se desplazan paralelamente a la dirección de propagación y las ondas S u ondas de cizalla que presentan desplazamientos en direcciones perpendiculares a la dirección de propagación (Figura 2.1). Esta última, a su vez, se divide en dos tipos: las ondas SH con desplazamiento en el plano horizontal, y las ondas SV con desplazamientos en el plano vertical (Regueiro 1997).

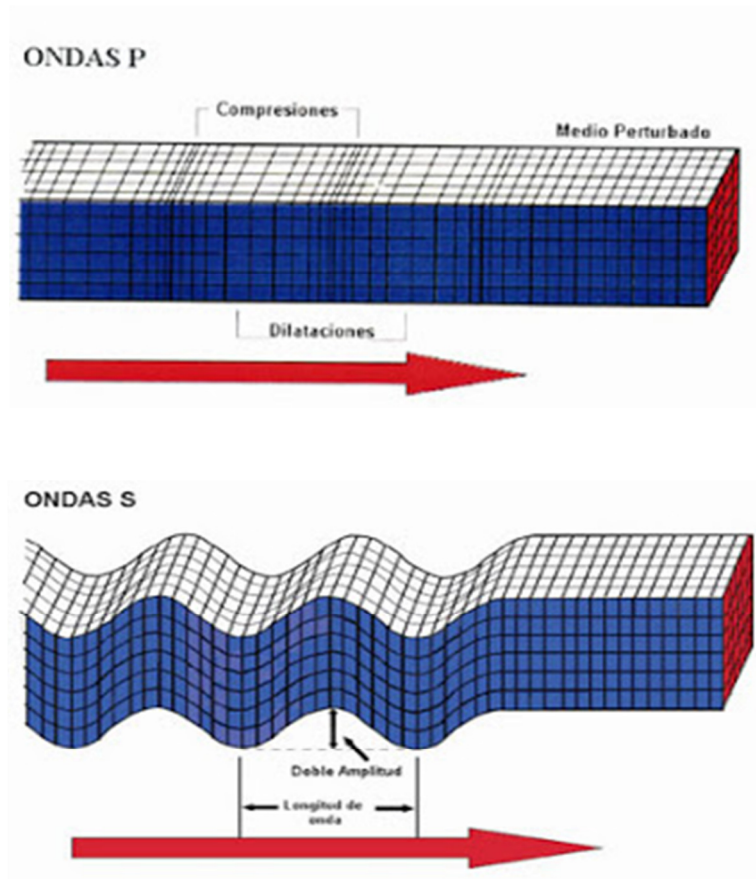


Figura 2.1. Propagación de las ondas de cuerpo.

2.1.2. Ondas Superficiales

Cuando se está en presencia de discontinuidades en el subsuelo, se generan ondas superficiales, las cuales están confinadas a la interfase. La velocidad de propagación de estas ondas es menor a las de las ondas de cuerpo, y se caracterizan por presentar su máxima amplitud de onda en la superficie libre y una amplitud que disminuye a medida que aumenta la profundidad. Las ondas superficiales (Figura 2.2) más significativas son las ondas Rayleigh (R) y las ondas Love (L).

Las ondas Rayleigh son generadas en una “superficie libre” (tal y como lo son las interfaces tierra-aire o tierra-agua) (Xia et al., 1999) por la interferencia de ondas P y SV viajando en paralelo a esta superficie. Poseen un movimiento de partícula elíptico retrógrado que se asemeja a las partículas de agua al paso de las olas del mar (Regueiro 1997). Este tipo de movimiento hacen de estas ondas las responsables de la mayoría de los daños causados durante el desarrollo de un evento sísmico.

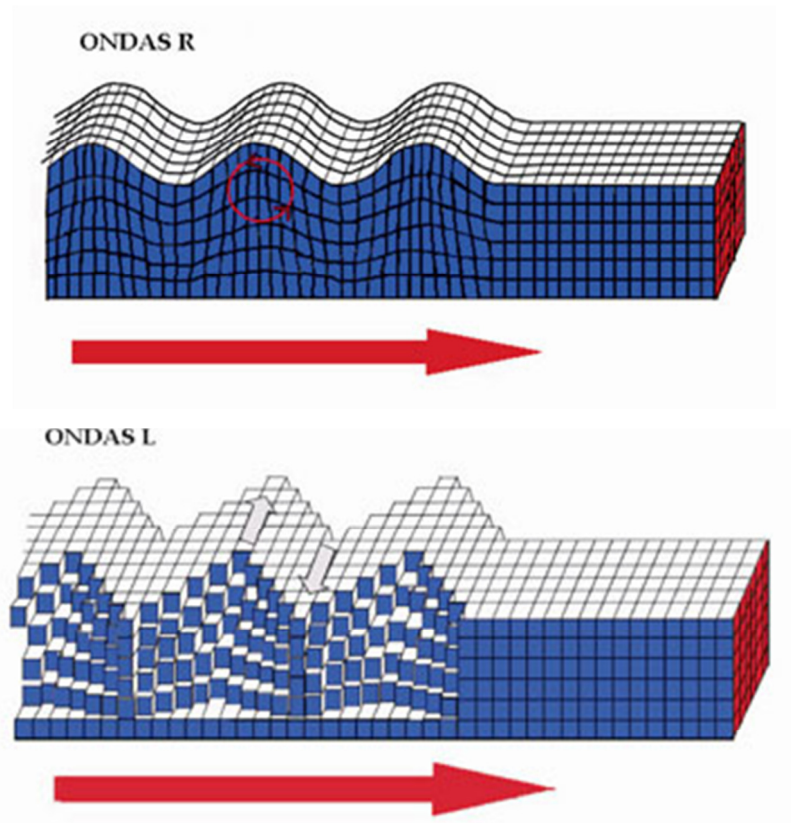


Figura 2.2. Propagación de las ondas superficiales.

Por su parte, las ondas Love son las ondas superficiales que se propagan con mayor velocidad, formándose por la interferencia constructiva de múltiples reflexiones de las ondas SH en la interfase de dos medios con propiedades mecánicas diferentes. El movimiento de partículas característico de este tipo de ondas es perpendicular a la dirección de propagación.

2.1.2.1. Dispersión de las ondas superficiales

Una fuente activa generará varios tipos de ondas, entre estas las ondas superficiales, las cuales al penetrar una superficie con distintas capas a diferentes velocidades se dispersarán dando lugar a una velocidad de propagación particular para cada longitud de onda. En la Figura 2.3, se observa que la velocidad del subsuelo aumenta con la profundidad, obteniendo para las longitudes de onda corta menor velocidad debido a una menor penetración, que para las longitudes de onda larga que podrán penetrar con mayor profundidad y a una mayor velocidad de fase.

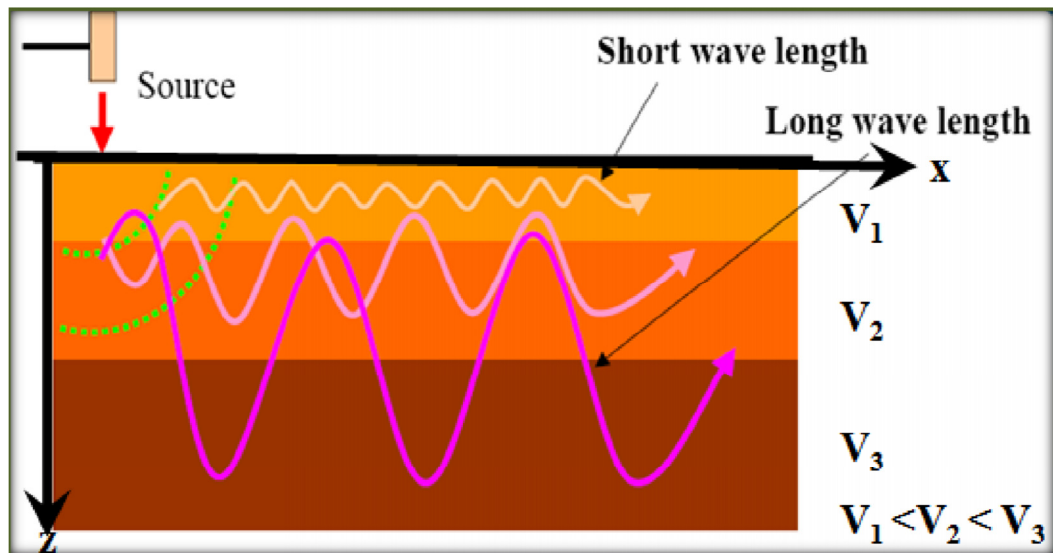


Figura 2.3.- Dispersión de las ondas superficiales.

Para resumir el concepto del uso de dispersión geométrica para la caracterización del suelo, se va a suponer que el medio estratificado de la Figura 2.4a presenta un incremento de rigidez; por lo tanto, la velocidad de ondas de corte aumenta con la profundidad. En tal situación, las ondas superficiales de alta frecuencia (longitud de onda corta, la Figura 2.4b), que viajan en la capa superior tendrán una velocidad de propagación ligeramente inferior a la velocidad de una onda de corte en la primera capa. Por otro lado, una onda de baja frecuencia (una longitud de onda larga, la Figura 2.4c) viajará a una velocidad más alta ya que está influenciado por los materiales subyacentes más rígidos. Este concepto puede extenderse a varios componentes de frecuencia. El gráfico de la velocidad de fase en función de longitud de onda (Figura 2.4d), muestra una tendencia cada vez mayor para las longitudes de onda larga. Teniendo en cuenta la relación entre la longitud de onda y frecuencia, esta información puede ser representada como gráfico de velocidad de fase en función de la frecuencia (Figura 2.4e). Este gráfico se denomina usualmente como curva de dispersión.

Entonces, para un medio verticalmente heterogéneo las curvas de dispersión estarán asociadas a la variación de los parámetros del medio con la profundidad. Este es el llamado problema directo. Sin embargo, es importante, reconocer la naturaleza multimodal de las ondas superficiales en medios verticalmente heterogéneos, es decir, existen varios modos de propagación y modos superiores que pueden jugar un papel

relevante en varias situaciones. Sólo la curva de dispersión de modo fundamental se presenta en la Figura 2.4.

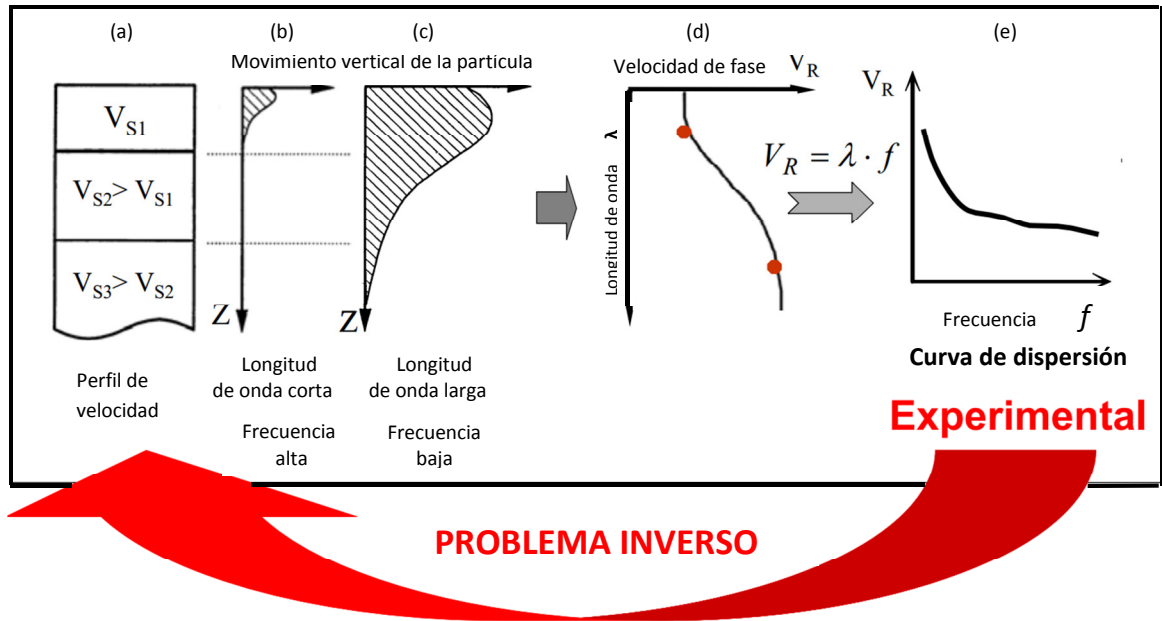


Figura 2.4. Identificación de parámetros sobre la base de la dispersión geométrica de ondas superficiales (Foti, 2011).

Si la curva de dispersión se estima sobre la base de los datos experimentales, entonces es posible resolver el problema inverso; es decir, los parámetros del modelo son identificados sobre la base de los datos experimentales recogidos en el límite del medio. Esta es una particularidad de los métodos de las ondas superficiales.

La Figura 2.5 describe el procedimiento estándar para el análisis de las ondas superficiales, el que puede dividirse en tres pasos:

1. Adquisición de datos experimentales.
2. Procesamiento de la señal para obtener la curva experimental de dispersión.
3. Proceso de inversión para estimar el perfil de velocidad de las ondas en profundidad.

Es muy importante reconocer que los pasos anteriores están fuertemente interconectados y su interacción debe ser tomada en cuenta durante todo el proceso de interpretación.

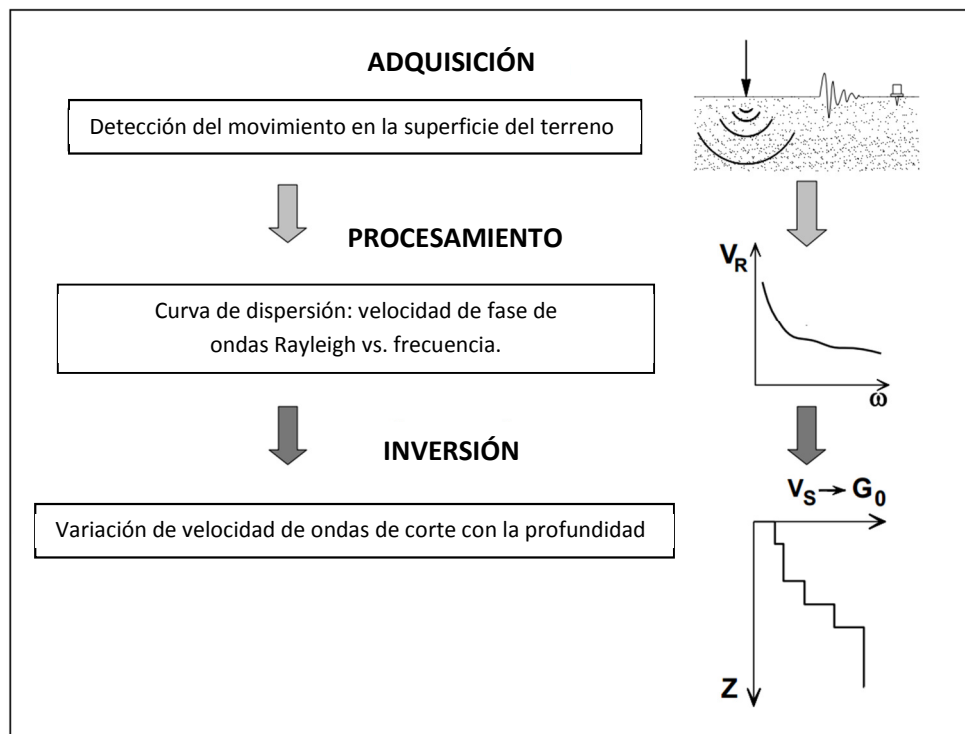


Figura 2.5. Diagrama de flujo del análisis de ondas superficiales.

Alternativas atractivas para la interpretación de datos de ondas superficiales son la inversión de los datos de campo basados en simulaciones de las formas de onda y la inversión de los espectros de frecuencia de Fourier del movimiento del suelo observado (Szelwis y Behle, 1987), pero estas estrategias se usan muy poco debido a su complejidad. Por otra parte, la curva experimental de dispersión es informativa acerca de las tendencias que se espera en la solución final, de modo que su inspección visual es importante para la validación cualitativa de los resultados. De hecho, los criterios de ingeniería juegan un rol importante en la interpretación del análisis.

Dada la complejidad de los datos, los resultados de los procedimientos de interpretación, totalmente automatizados, también deben ser cuidadosamente examinados, con especial atención a los resultados intermedios durante cada paso del proceso de interpretación. El conocimiento profundo de los aspectos teóricos y la experiencia son por lo tanto esenciales.

Los datos de las ondas superficiales también pueden ser utilizados para caracterizar el comportamiento disipativo de los suelos. En efecto, la atenuación espacial de las ondas superficiales está asociada a la disipación interna de energía. Usando un procedimiento análogo al descrito en la Figura 2.5, es posible extraer de los datos de campo la curva de atenuación experimental; es decir, el coeficiente de atenuación de las ondas de superficie como una función de frecuencia y, a continuación, utilizar esta información en un proceso de inversión que tiene como objetivo estimar la amortiguación perfil ratio para el sitio (Lai et al., 2002; Foti, 2004).

2.2. Ruido sísmico o Vibración Ambiental

Tradicionalmente el ruido sísmico ha sido considerado como algo negativo, molesto y que hay que cancelar o evitar. En la actualidad, lo que hasta hace pocas décadas era un estorbo 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, el ruido es la señal o las ondas que lo integran se suelen llamar en inglés “*microtremors*”; en castellano no hay uniformidad en el nombre aplicado y se usan con el mismo significado las palabras microtemblores, microtembroles, microvibraciones, vibración ambiental, ruido cultural. En este estudio, se emplea la palabra vibración ambiental para hacer referencia a los microtremors. Fundamentalmente, son vibraciones de muy pequeña amplitud y periodo comprendidos entre 0.1 y 10s (Architectural Institute of Japan, 1993).

La vibración ambiental se genera principalmente por la actividad humana y se debe al funcionamiento de maquinaria industrial y al tráfico de vehículos (Kanai y Tanaka, 1961). Además también contiene vibraciones producidas por el viento, que son introducidas en el subsuelo por árboles edificaciones o por su impacto con el relieve (Seo, 1995 a). Su fuente no está asociada a sismos y algunos investigadores consideran que el ruido de origen natural está formado por ondas superficiales generadas en zonas de interacción océano-continente, modos fundamentales de vibración del planeta, cambios en la presión atmosférica y actividad volcánica interna, además de las fuentes artificiales ya citadas.

Kanai y Tanaka (1950) fueron los pioneros en el uso del ruido natural como fuente de energía; utilizaron la vibración ambiental para la caracterización de los efectos de sitio, llevaron a cabo observaciones simultáneas de vibración ambiental a diferentes profundidades en varios tipos de suelo y concluyeron que la distribución de periodos varia con la profundidad, que la curva de distribución de periodos muestra una forma definida que depende del tipo de suelo y que la variación de la distribución de amplitudes con la profundidad no es simple ni formulable (Kanai y Tanaka, 1961).

Asimismo, los autores identificaron que la curva de distribución de periodos de vibración ambiental muestra una forma definida y que depende del tipo de suelo (Figura 2.6). En el caso de una capa de suelo yacente sobre basamento rocoso, aparece un pico relativamente agudo alrededor de los 0.1-0.6 s; cuando la formación de suelo es compleja, aparecen más de dos picos, uno pequeño en 0.2 s. y uno grande en 1.0 s. En una montaña, el pico agudo aparece en períodos entre 0.1-0.2 s, mientras que en un suelo firme diluvial, el pico está entre 0.2 y 0.4 s. En suelos aluviales blandos, la curva es irregular y aparecen picos entre 0.4 y 0.8 s y en suelos blandos de bajo espesor, la curva es relativamente plana, variando el período entre 0.05 y 0.1 a 1.0 y 2.0 s.

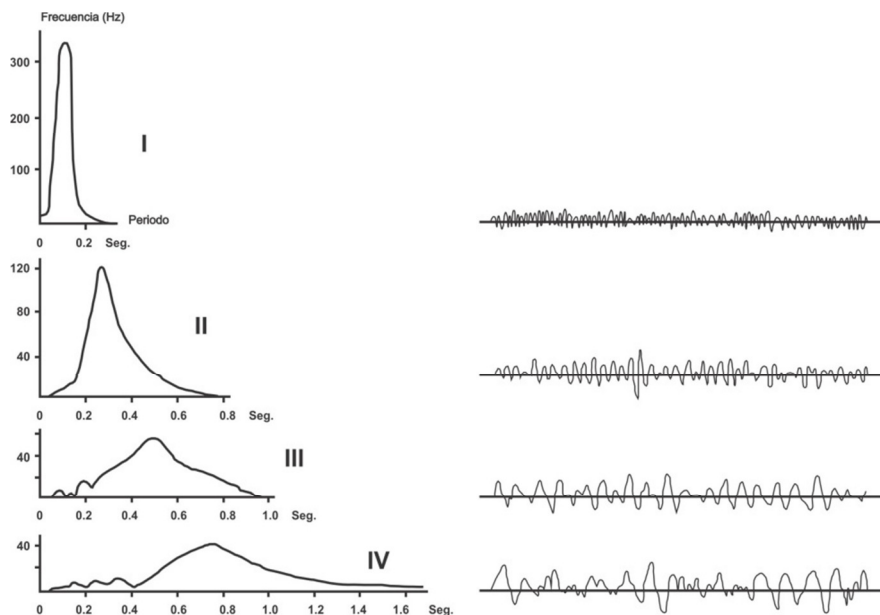


Figura 2.6. Registros representativos de vibración ambiental en varios tipos de suelo. Curvas de distribución de periodos representativas (Kanai y Tanaka, 1961).

2.2.1. Fuentes de Vibración Ambiental

En general, la vibración ambiental ocurre en el intervalo de frecuencias de 0.001 a 30 Hz, sin embargo, en la exploración geofísica superficial sólo interesa la banda de 0.1 a 10 Hz, ya que en esta banda parte de la energía se transmite como ondas Rayleigh, cuyos modos y velocidades de propagación se pueden estimar y medir con arreglos instrumentales para obtener información sobre las características de los parámetros elásticos de la corteza terrestre hasta profundidades de 20 km (Flores et al., 2004).

Por lo general, la vibración ambiental de origen natural se conoce como microsismos y el originado por la actividad humana se conoce como microtremores o vibración ambiental. En Figura 2.7 se presentan algunos ejemplos de diferentes tipos de fuentes generadoras de vibración ambiental, tanto natural como artificial.

- Las vibraciones de origen natural o microsismos: son oscilaciones inducidas por fuentes naturales internas y externas como las olas oceánicas, tormentas, vientos, presión atmosférica, lluvias, geysers, actividad volcánica, etc. Los microsismos se caracterizan principalmente por su inestabilidad debido al tipo de fuente que los genera y son afectadas principalmente por las condiciones climáticas, llegando a presentar algunas amplitudes y periodos que varían entre 2 a 3 o más segundos (microtremores de periodo largo). Este tipo de vibraciones está compuesto principalmente por ondas Rayleigh.

- Las vibraciones de origen artificial o microtremores: Este tipo de vibraciones son generadas principalmente por fuentes artificiales internas y externas, como producto de la actividad humana, como el tráfico vehicular, el paso de peatones, maquinaria industrial, explosiones, etc. La característica principal de los microtremores es su estabilidad, debido a que presenta periodos entre 0.1 y 1.0 segundos (microtremores de periodo corto) y están compuestos principalmente por ondas superficiales, tipo Rayleigh.



FUENTE	NATURAL	ARTIFICIAL
FRECUENCIA (Hz)	0,1 - 1,0	0,5 - 10
ORIGEN	Oceánico, principalmente	Tráfico / Industrias / Actividad Humana
TIPO DE ONDAS CARACTERÍSTICO	Superficiales	Superficiales + Corporales
VARIACIÓN EN AMPLITUD	Relativo a tormentas oceánicas	Día/Noche, Semana/Fin de Semana
INCIDENCIA DE ONDAS RAYLEIGH / LOVE	Predominantemente Rayleigh	Ambas de amplitud comparable

Figura 2.7. Fuentes de vibración ambiental y características principales (Bard, 2004)

2.2.2. Aplicaciones de estudio de Vibración Ambiental

Un objetivo fundamental de la ingeniería relacionada a sismos es la minimización de desastres. La aplicabilidad de la medición y del análisis de vibración ambiental para inferir las propiedades del suelo, la han hecho una herramienta bastante adecuada para evaluar los efectos de sitio y predecir las características de movimientos fuertes.

La aplicación de vibración ambiental en el estudio de amenazas naturales, vulnerabilidad y evaluación de escenarios de daños, se basa en que las áreas con picos predominantes muy claros en el rango de períodos cortos, corresponde al área de daño fuente (Moreno L. et al 2000). Los objetivos de la medición y análisis de vibración ambiental puede resumirse en:

- Obtención del período dominante del suelo.
- Evaluación de los efectos de sitio.
- Detección de la estructura subterránea (la variación del período es consistente con el perfil geológico).
- Obtención de perfiles de velocidad de ondas sísmicas.

2.3. Periodo dominante o fundamental

El periodo dominante es el recíproco de la frecuencia fundamental, la frecuencia a la cual el sitio vibra con mayor amplitud cuando es excitado por un impulso. Este factor depende de los contrastes de impedancia entre las unidades estratigráficas y la profundidad donde estos ocurren (Bard, 1999). Esta medida sirve para evaluar la interacción del suelo con la estructura que se va a construir y evitar problemas de resonancia (Cataldi et al., 2009).

El periodo dominante del sitio, se determina a través de las mediciones de las vibraciones naturales en el sitio, utilizando específicamente la técnica de vibraciones ambientales y/o ruido natural (Nakamura, 1989).

2.4. Técnicas para la caracterización de suelos

2.4.1. Técnicas Geofísicas

2.4.1.1. Técnica de Nakamura (H/V)

Nakamura (1989), introdujo el método de cocientes espectrales de las componentes horizontales con la componente vertical del registro de vibración ambiental, como una estimación confiable de la frecuencia preferencial de vibración del suelo, y con esta poder hacer inferencia de la respuesta de sitio o comportamiento dinámico del suelo. Su argumento es que dividiendo el espectro de la componente horizontal (H) con el espectro de la componente vertical (V, también conocida como componente de referencia), se remueve el efecto de fuentes sísmicas y de las ondas superficiales contenidas en el ruido ambiental, quedándose solo con ondas de cuerpo. La hipótesis indica que el cociente espectral H/V es la función de respuesta de sitio, argumento que considera que la componente vertical del movimiento observado no queda afectada significativamente por los materiales blandos del suelo. Dicho de otra forma, la componente vertical de la vibración ambiental en la superficie, remueve el efecto de las

fuentes y enfatiza las características de las componentes horizontales en la roca competente (sitio de referencia).

La metodología H/V ha ganado popularidad en los últimos años por ser un procedimiento confiable, ya que permite conocer la frecuencia y período fundamental de un sitio, parámetros claves a la hora de realizar su caracterización del suelo. Este procedimiento emplea mediciones de vibración ambiental (compuesto por ondas superficiales tipo Rayleigh) producida por la interacción viento-estructuras tráfico y varias formas de actividad humana (Lermo y Chavez-García, 1994). Se ha demostrado que el cociente espectral entre componentes horizontales y verticales ofrece un buen estimado de la frecuencia fundamental que caracteriza a depósitos sedimentarios sueltos y, en cierta forma, el factor de amplificación. El uso extensivo del método permitió el mapeo rápido y detallado de estas frecuencias en áreas urbanas. Por otro lado, combinando informaciones sobre respuesta de suelo y vulnerabilidad, se puede anticipar los efectos potenciales de un sismo a edificios y estructuras civiles.

Diversos estudios han mostrado que la función obtenida por medio del método de cocientes espectrales H/V coincide apropiadamente con la respuesta de la estructura del subsuelo ante la incidencia de ondas de corte (Gitterman *et al.*, 1996; Konno y Ohmachi, 1998; Mucciarelli, 1998; Chávez-García y Cuenca, 1998; Shapira *et al.*, 2001; Zaslavsky *et al.*, 2003 y 2004). Diversos resultados obtenidos por Lachet y Bard (1994), Theodulidis *et al.* (1996), Raptakis *et al.* (1998), entre otros, encuentran resultados confiables en suelos blandos, que se encuentran bien correlacionados con la frecuencia fundamental y revela la dependencia de la respuesta de sitio en un rango de frecuencias.

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

1. La vibración ambiental se propaga principalmente como ondas superficiales con las mismas características de las ondas Rayleigh, es una capa que está encima de un espacio finito.
2. Las ondas superficiales sufren múltiples reflexiones al atravesar las distintas capas del suelo, por lo que sus componentes horizontales se ven amplificadas.

- Las fuentes locales o superficiales de ruido, tales como el tráfico o el paso de peatones, no afecta la vibración ambiental de las fuentes sedimentarias profundas, siempre y cuando no se produzcan muy cerca del receptor.

Para aplicar este método, se halla la transformada rápida de Fourier a cada componente de registro del movimiento del suelo, a fin de definir el efecto de sitio (S_E) y el espectro de la fuente o efecto de la onda superficial tipo Rayleigh (A_S) en el dominio de Fourier:

$$S_E = \frac{H_S}{H_B} \quad A_S = \frac{V_S}{V_B}$$

Dónde:

- H_S y H_B son las amplitudes del espectro de Fourier de la componente horizontal de movimiento en la superficie y en la base de la capa sedimentaria respectivamente, resultantes del promedio cuadrado de las dos componentes horizontales NS (Norte – Sur) y EW (Este – Oeste).
- V_S y V_B son las amplitudes del espectro de Fourier de la componente vertical de movimiento en la superficie y en la base de la capa sedimentaria respectivamente.

Ahora, se busca un efecto de sitio que no considera la contribución del espectro de la fuente, con la relación de S_E y A_S ; éste es llamado S_M o modificación del efecto de sitio:

$$S_M = \frac{S_E}{A_S} \quad \leftrightarrow \quad S_M = \frac{H_S V_B}{V_S H_B}$$

Nakamura (1989) y Theodulidis et al. (1996) demostraron que el espectro de las componentes vertical es V_B y horizontal es H_B son equivalentes a la base de la estructura ($H_B \sim V_B$ en medios rocosos).

$$\text{Si } \frac{H_B}{V_B} \cong 1 \quad \text{entonces} \quad S_M = \frac{H_S}{V_S}$$

Por lo tanto, la respuesta sísmica del sitio S_M puede ser expresada como el cociente espectral de las componentes horizontal y vertical de la vibración ambiental en superficie. En la Figura 2.8 se representa las variables antes mencionadas como las componentes de movimiento en la superficie de los sedimentos, así como en la base de estos.

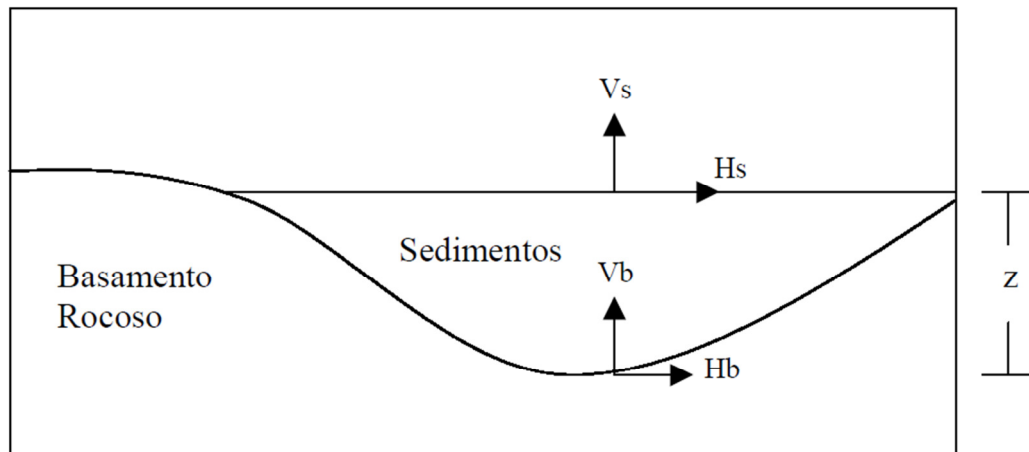


Figura 2.8. Identificación de los componentes del movimiento planteada para la explicación de la técnica de Nakamura.

Resumiendo, la descripción teórica implica que, un estimado práctico de la respuesta del sitio puede ser obtenido registrando la vibración ambiental con un sismógrafo sencillo de tres componentes (X-Y-Z).

En la Figura 2.9 se presenta un esquema que describe la técnica de relación espectral entre la componente horizontal y vertical del movimiento registrado en la superficie de una capa sedimentaria (relación espectral H/V).

Teniendo en consideración que los depósitos del suelo están generalmente expuestos a vibraciones inducidas por fuentes naturales (mareas, fuerzas antropogénicas, etc.), las cuales producen una excitación dinámica aleatoria, ello permite que el depósito vibre primordialmente en su frecuencia fundamental. El método considera que al realizar mediciones de ruido ambiental en afloramientos rocosos o en suelos muy rígidos, se presentan respuestas similares en las componentes vertical y horizontal, dando un cociente cercano a la unidad; con lo que se puede decir, que no existe en este caso, una dirección predominante en la propagación de las ondas, y que cualquier amplificación

del movimiento en la superficie, está dada por capas de depósitos de sedimentos blandos

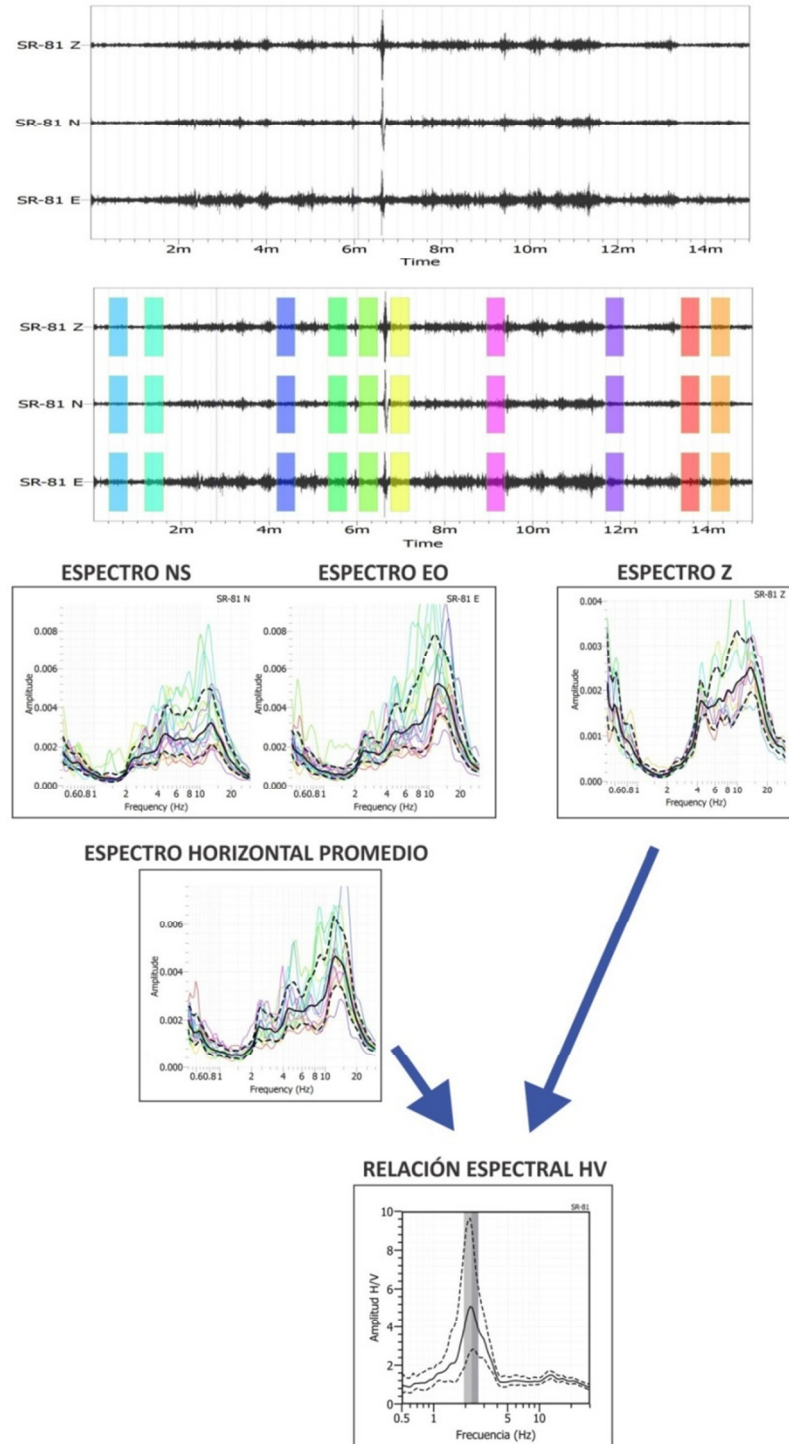


Figura 2.9. Descripción paso a paso de la metodología a seguir para la determinación de la relación espectral H/V (Sesame).

2.4.1.2. Técnica de Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW)

La técnica de Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW por sus siglas en Inglés), es un método no destructivo que ha sido desarrollada en respuesta a los defectos del método de Análisis Espectral de Ondas Superficiales (SASW) en la presencia de ruido. La llamada técnica de Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW), analiza las propiedades de dispersión de los tipos de ondas sísmicas superficiales (Modos fundamentales de ondas Rayleigh) provocadas por las vibraciones generadas en el suelo a través del golpe con un martillo, las cuales se propagan horizontalmente a lo largo de la superficie, desde el punto de impacto a los receptores (geófonos).

La Técnica Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW) utiliza diferentes cantidades de receptores extendidos en modelos lineales, espaciados a distancias iguales y conectadas a un canal individual de registro. La realización de una medición en campo consiste en la obtención de múltiples registros de ondas a diferentes distancias de la ubicación de la fuente que las genera. El método de Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW) permite reconstruir la curva de dispersión de un sitio, mediante una transformación frecuencia-número de onda.

En la Figura 2.10 se presenta la configuración utilizada para la técnica de Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW), donde x_1 es la distancia de la fuente de disparo (source offset) al primer geófono, dx representa la distancia entre geófonos, D es la dimensión del arreglo. La profundidad máxima de investigación ($Z_{máx}$) a la que se puede llegar depende de las propiedades del subsuelo y del tipo de fuente utilizada.

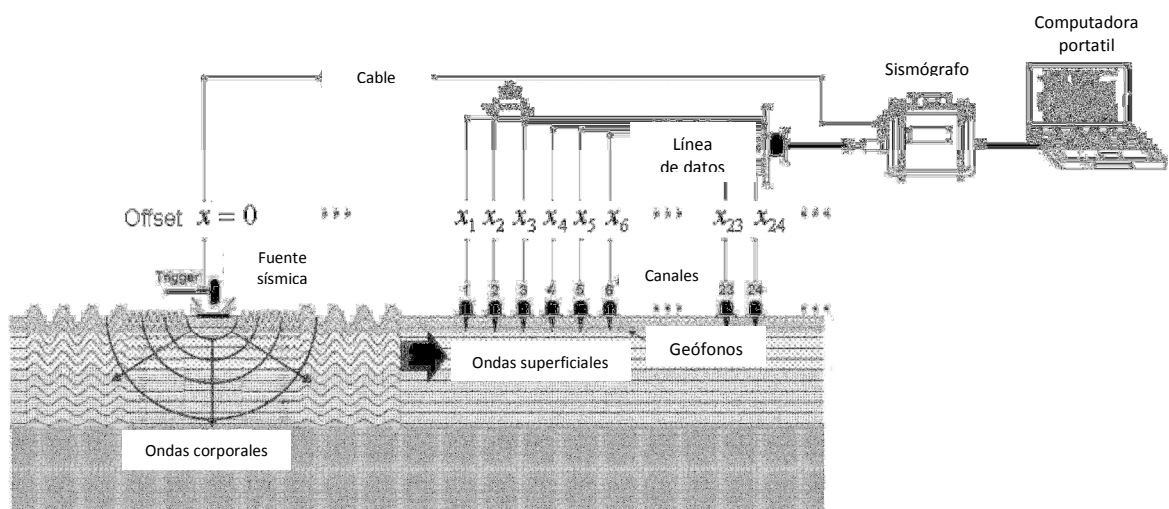


Figura 2.10. Esquema típico de adquisición para la técnica MASW (Park Seismic).

La técnica de Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW) puede ser aplicado a:

- Evaluación del riesgo sísmico de un área.
- Análisis de licuación.
- Control de compactación de suelos.
- Mapeo del subsuelo.
- Estimación de los parámetros dinámicos de los materiales.
- Espesor de pavimentos, entre otros.

2.4.2. Técnica Geotécnica

Es una técnica que tiene como objetivo el estudio del suelo, su composición, resistencia, capacidad de drenaje, etc. ya que actualmente y según la normativa vigente es necesario realizar estudios del subsuelo anteriores a la ejecución de las obras de construcción, ya sean estas, de viviendas, industriales y públicas.

Para el reconocimiento geotécnico del terreno pueden utilizarse desde la básica inspección visual hasta técnicas de campo o laboratorio y que se agrupan en dos grupos:

- **Métodos directos:** A este grupo pertenecen las técnicas que permiten el acceso y observación directa al subsuelo, permitiendo a su vez la obtención de muestras. Eventualmente, permiten la realización de ensayos “in situ” como son los sondeos geotécnicos, calicatas, zanjas y en algunos casos galerías.
- **Métodos indirectos:** Son aquellos que se llevan a cabo sin necesidad de acceder directamente al terreno, midiendo desde la superficie algunas propiedades físicas de los materiales que constituyen los diferentes niveles o estratos del terreno. En este grupo se incluyen la prospección geofísica (gravimétrica, eléctrica, sísmica, electromagnética) y ensayos in “in situ”.

Los métodos geotécnicos pueden utilizarse por separado o conjuntamente y siempre son complementarios unos de otros. La elección del método depende del tipo de investigación que se pretenda realizar.

2.4.2.1. Técnica de Calicatas

Las Calicatas consisten en excavaciones de formas diversas (pozos, zanjas, etc.) realizadas por medios mecánicos o convencionales, a fin de realizar la observación directa del suelo a cierta profundidad, así como la obtención de muestras y ensayos in situ. Este tipo de reconocimiento permite acceder directamente al terreno para obtener datos litológicos, así como obtener muestras de gran tamaño para la realización de ensayos y análisis en laboratorios.

Para este procedimiento es necesario registrar la ubicación y elevación de cada calicata, a fin de ser debidamente clasificadas. La profundidad está determinada por las exigencias de la investigación, pero es dada, generalmente, por el nivel freático.

La sección mínima debe tener dimensiones como de 0,80 m por 1,00 m, a fin de permitir una adecuada inspección de la estructura litológica. El material excavado deberá depositarse en la superficie en forma ordenada separado de acuerdo a la profundidad y horizonte correspondiente. En cada calicata se deberá realizar una descripción visual o registro de estratigrafía comprometida.

Las calicatas permiten realizar las siguientes tareas:


- Inspección visual del terreno "in situ".
- La toma de muestras.
- La realización de ensayos de campo.

Las calicatas son uno de las técnicas más empleados en el reconocimiento superficial del terreno, y dado su bajo costo y rapidez de realización, constituyen un elemento habitual en cualquier tipo de investigación en el terreno.

Los resultados de este tipo de reconocimientos se registran en estadillos en los que se indica la profundidad de las calicatas, la continuidad de los diferentes niveles, la descripción litológica, las discontinuidades, la presencia de filtraciones, la situación de las muestras tomadas y sobretodo las fotografías. En la Figura 2.11, se muestra el formato de la ficha de Calicata que se utilizará para la identificación de suelos en el área urbana de Santa Rosa, en ella se consigna lo indicado, además de la ubicación geográfica, características geológicas y geomorfológicas.

Las calicatas se volverán a rellenar inmediatamente, salvo que se solicite lo contrario para poder observar durante cierto tiempo la afluencia de agua, estabilidad de las paredes, etc. Esta técnica de investigación deteriora el sustrato base de cimentación, por lo que se recomienda evitar situarlas bajo puntos donde se proyecte apoyar zapatas o cerca de cimentaciones existentes, para prevenir problemas de estabilidad, descalces, etc.

Nombre: SR_1	Distrito: Santa Rosa	Sector Balneario Norte
Realizado por: E.G.T.	Fecha: Agosto 2010	



Ubicación:

Norte: 8695124
 Este : 262953
 Elevación: 31 m

Referencia.: Urb. Country Club

DESCRIPCIÓN:

0.0 – 0.9	Relleno de arena gruesa, con fragmentos de roca subangulosa predomina de 0.5- 1 cm. (<10%), baja compactación, material seco.
0.9 – 2.0	Deposito aluvial, con poca influencia eólica, arena fina, baja compactación, bajo contenido de sales, material seco.
2.0 – 3.0	Deposito aluvial, arena fina a media con ligero contenido de limo y arcilla, baja compactación, bajo contenido de sales, material seco, más actual influencia eólica.

Observaciones:

Se encuentra en la zona aluvial, donde se mezcla con material eólico.

Figura 2.11. Ejemplo de la ficha de la Calicata SR-1 en el área urbana del distrito de Santa Rosa.

2.5. Definición de Suelos

Tradicionalmente, el suelo ha sido definido como un “agregado de partículas minerales, a lo sumo parcialmente cementadas”. En el campo de la ciencia esta definición varía, adoptando una significación distinta y depende de la disciplina que lo estudie.

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 está sujeto a interpretaciones diferentes.

Así, para un ingeniero geotécnico, el suelo es un material natural que, a diferencia de la roca, presenta una marcada modificación de sus propiedades en presencia de agua; para el constructor, no es más que todo aquel material que puede ser excavado sin emplear explosivos. En cualquier caso, el suelo es el soporte último de todas las obras de infraestructura, por lo que es necesario estudiar su comportamiento ante cualquier perturbación a la que pueda ser sometida. En este estudio se considera el concepto de suelo desde el punto de vista de la ingeniería civil.

Composición de los Suelos

Los suelos en su estado natural están compuestos por tres partes: sólida, líquida y gaseosa. La parte sólida es la que está constituida por las partículas mineralógicas, la parte líquida comúnmente está constituida por agua que se filtra a través de los poros del material granular y en la parte gaseosa, se puede encontrar aire o gas en su interior.

La parte líquida y la parte gaseosa suelen conformar el volumen de vacíos en los suelos y determinar su número en un suelo permite conocerla compacidad que se le puede dar. En la Figura 2.12 se puede observar la forma idealizada de la composición de los suelos.

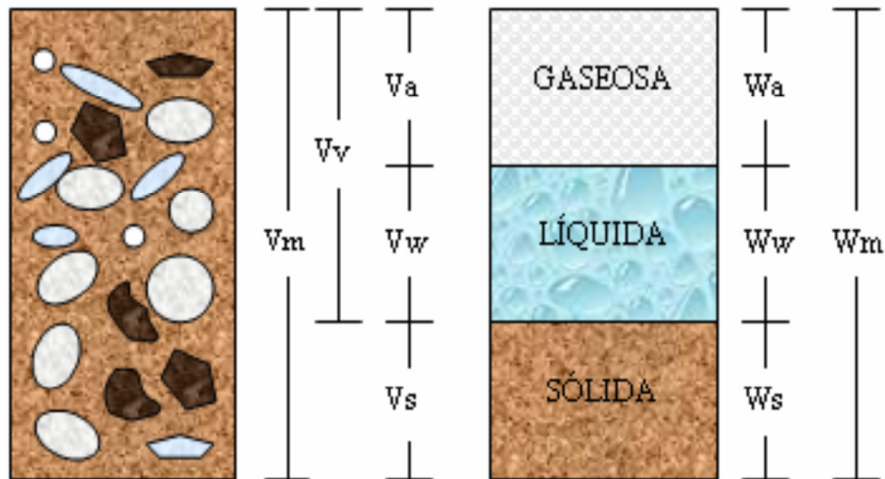


Figura 2.12. Composición de los suelos.

Dónde:

V_m = Volumen de la muestra del suelo

V_s = Volumen del sólido

V_a = Volumen de aire

V_w = Volumen de agua

W_a = Peso de aire

W_w = Peso de agua

W_s = Peso de sólido

W_m = Peso de la muestra

2.5.1. Propiedades de los Suelos

Todo suelo posee propiedades físicas o mecánicas que se ven afectadas por el contenido de humedad, la graduación que posean, la ubicación geográfica y el grado de inclinación en que se encuentren.

Entre las propiedades físicas que más interesan están: la variación volumétrica, la resistencia mecánica, la granulometría y los límites de consistencia, los cuales definen el comportamiento mecánico de los suelos cuando estos están sometidos a cargas gravitacionales.

- *Variaciones volumétricas*

Los suelos cuando se encuentran en presencia del agua, sin importar el grado de compactación, en que se encuentre esta se filtrará y generará expansión en la masa de suelo, a este fenómeno se le denomina hinchamiento. En esta nueva condición, con el tiempo el agua se evaporará por efecto del sol y la masa de suelo se contraerá, siendo este proceso los que puedan dañar las estructuras debido a las presiones que se generan con la expansión y la contracción de los suelos. De aquí la importancia de identificar y/o clasificar a los suelos expansivos para poder dar el mejor tratamiento para que estos fenómenos no se den y si se dan, sea de forma controlada.

- **Resistencia mecánica**

Un parámetro muy importante de determinar en los suelos es la humedad, ya que de esta depende en gran parte la resistencia a la carga que un suelo posee, así también la estabilidad. Un suelo que se encuentre saturado de agua tenderá a fallar por el fenómeno de licuefacción. Debe entenderse que la saturación se puede obtener en campo en épocas de invierno cuando llueve por periodos de hasta 5 días o más, el efecto de un suelo saturado se puede visualizar en hundimientos, grietas e hinchamientos.

- **Granulometría**

Cuando se habla de granulometría es hablar de la cantidad parcial de partículas que componen un suelo; es decir, es el porcentaje de partículas existentes de un tamaño con respecto a toda la masa de suelo. La granulometría de un suelo depende de sus propiedades físicas y mecánicas, que determinan la resistencia a las cargas a las que son sometidas.

Curva granulométrica

En un suelo cualquiera, se tiene partículas de todos los tamaños constituyendo las gravas, arenas, limos y arcillas (Tabla 2.1), entonces, la granulometría define la proporción relativa de cada fracción de partículas en los suelos.

Tabla 2.1. Escala de tamaños de partículas de suelos.

Denominación	Tamaño (mm)	
	60	
Grava (G)	Gruesa	20
	Media	6
	Fina	2
Arena (S)	Gruesa	0,6
	Media	0,2
	Fina	0,06
Limo (M)	Grueso	0,02
	Medio	0,006
	Fino	0,002
Arcilla (C)		

Para facilitar el análisis de los suelos se hace uso de la curva granulométrica que indica, para cada diámetro de partícula D , el porcentaje en peso de partículas menores que D . En la Figura 2.13 se muestran varias curvas granulométricas típicas. Una curva muy tendida indica una graduación continua de tamaños de partículas, mientras que una caída vertical brusca para un cierto diámetro quiere decir que existe una gran cantidad de partículas de dicho diámetro.

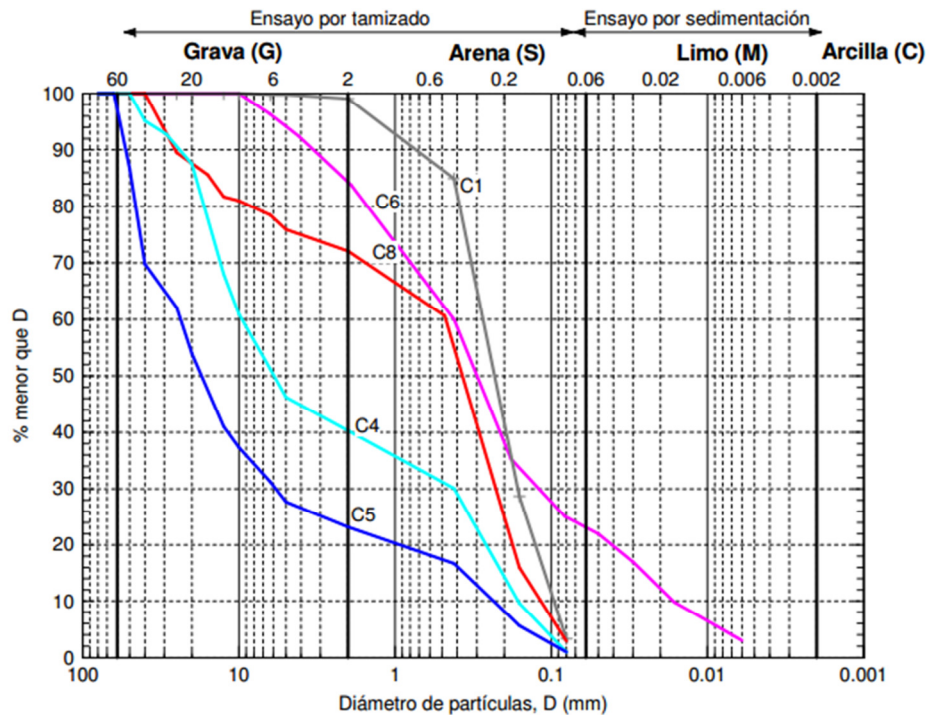


Figura 2.13. Curvas granulométricas (grupo Geotecnia-Universidad de Cantabria)

- **Límites de consistencia**

Los límites de consistencia o límites de Atterberg se utilizan para caracterizar el comportamiento de los suelos finos. El nombre de estos es atribuido al científico sueco Albert Mauritz Atterberg (1846-1916), quien se dedicó al estudio de las propiedades del suelo.

Los límites se basan en el concepto de que en un suelo de grano fino solo pueden existir cuatro estados de consistencia según su humedad. Así, un suelo se encuentra en estado sólido, cuando está seco. Al agregársele agua poco a poco va pasando sucesivamente a los estados de semisólido, plástico, y finalmente líquido. En la Figura 2.14, se muestran

los cuatro diferentes estados de los suelos finos tomando en cuenta el contenido de agua para pasar de un estado a otro.

Los contenidos de humedad en los puntos de transición de un estado al otro son los denominados límites de Atterberg, los cuales se clasifican en:

Límite Líquido (LL): Es el contenido de humedad expresado en porcentaje con respecto al peso seco de una muestra, con el cual el suelo cambia del estado líquido al plástico.

Límite Plástico (LP): Es el contenido de humedad expresado en porcentaje con respecto al peso seco de una muestra secada en horno y en el cual los suelos cohesivos pasan de un estado semisólido a un estado plástico.

Límite de Contracción o retracción (LC): Este límite determina el valor en el cual una disminución en el contenido de agua no ocasionará una disminución en su volumen. Este valor se define como el porcentaje de humedad con respecto al peso seco de la muestra.

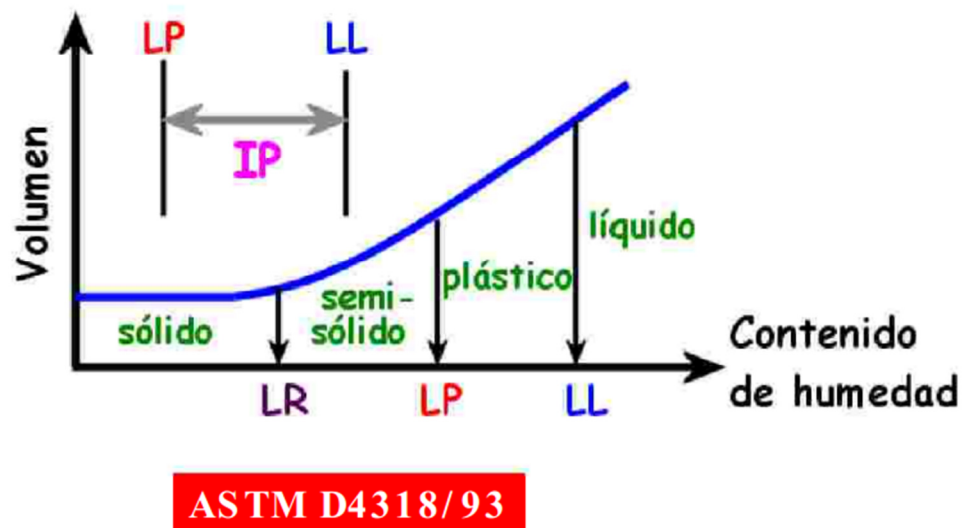


Figura 2.14. Límites de Atterberg (ASTM)

Relacionado con estos límites se define el índice de plasticidad.

Índice de Plasticidad ($IP = LL - LP$)

Es el resultado de la resta del Límite de Líquido y Límite de Plástico, este valor representa el margen de humedades dentro del cual se encuentra en estado plástico un suelo, tal como se determina en los ensayos de laboratorios.

Carta de Casagrande

La investigación de Arthur Casagrande es la representación de los suelos en una carta de coordenadas del límite líquido vs. índice de plasticidad (LL-IP). Donde los parámetros anteriores se emplean para identificar los suelos arcillosos y limosos mediante el gráfico denominado Carta de Plasticidad de Casagrande.

El diagrama LL-IP (Figura 2.15) es dividido en cuatro zonas separadas por dos líneas:

- La línea $LL=50\%$, que separa los suelos de alta plasticidad (símbolo H) de los de baja plasticidad (símbolo L).
- La línea A, de ecuación $IP = 0,73(LL-20)$, esta línea separa las arcillas (símbolo C), que caen por encima de ella, de los limos (símbolo M) y los suelos orgánicos (símbolo O) que caen por debajo.

Cuando se ensayan muestras de un determinado suelo, suele haber diferencias entre ellas, al variar el contenido de finos, los puntos correspondientes suelen quedar agrupados en zonas alargadas, sensiblemente paralelas a la línea A (Figura 2.15).

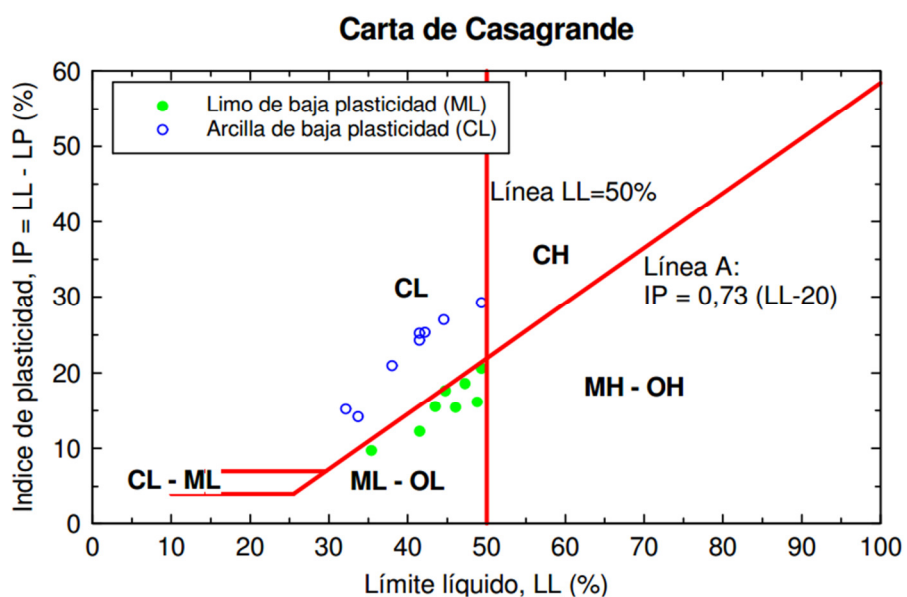


Figura 2.15. Carta de plasticidad de Casagrande.

2.5.2. Tipos de Suelos

De acuerdo con el origen de sus elementos, los suelos se dividen en dos amplios grupos: Suelos Residuales, cuando los productos de la descomposición de las rocas permanecen en el mismo lugar de origen aun afectadas por su degradación y Suelos Transportados, cuando los productos de la descomposición de las rocas son transportados hacia otro lugar generalmente lejos del origen. De la Tabla 2.1 es importante destacar lo siguiente:

- Las gravas, arenas, limos y arcillas se designan con los símbolos G, S, M y C, respectivamente.
- El límite entre gravas y arenas es de 2 mm.
- Para el límite entre arenas y limos hay ligeras variaciones: algunas normas lo sitúan en 0,06 mm, 0,08 mm, y otras en 0,074 mm (tamiz 200 de la serie ASTM).

A continuación, se describen los suelos más comunes con el nombre usado generalmente para su clasificación en el terreno.

Arenas y Gravas: Son suelos de fragmentos granulares, redondos o angulosos, poco o nada alterados. Estos suelos no poseen cohesión entre sus fragmentos.

Limos: Son suelos de grano fino (material que pasa malla No 200), pero con plasticidad menor a la que presenta una arcilla. Estos suelos generalmente cuentan con materia orgánica finamente dividida. Algunas veces contienen fragmentos visibles de materia vegetal parcialmente descompuesta o de otros elementos orgánicos.

Arcillas: Son suelos formados de partículas derivadas de la descomposición química y mineralógica que sufren los constituyentes de las rocas, generalmente por intemperismo. Son suelos plásticos cuando están húmedos y cuando están secos son muy duros, tienen además permeabilidad extremadamente baja.

2.5.3. Clasificación de los Suelos

Los sistemas de clasificación de los suelos son tan antiguos como la misma mecánica de suelos. En un principio esta se basaba, más que todo, en una descripción visual (olor, color, textura, etc.), posteriormente se introdujo el análisis por tamizado o granulométrico siendo este un medio más sencillo para clasificarlos.

Clasificar un suelo consiste en agruparlo de tal manera que sea posible conocer lo siguiente:

- Su descripción de modo que se pueda identificar y tener idea sobre sus futuros comportamientos en cualquier tipo de obra.
- Conocer su permeabilidad y resistencia al esfuerzo cortante.

De aquí surge el problema de agrupar los suelos en un reducido número de tipos y por otro lado, se tiene la ventaja que su clasificación, por su notación corta, resulta muy útil para tener una idea general y una información abstracta y fácil de identificar un suelo.

Los suelos con propiedades similares se clasifican en grupos o subgrupos basados en su comportamiento ingenieril. Los sistemas de clasificación proporcionan un lenguaje común para expresar en forma concisa las características generales de los suelos, que son infinitamente variadas sin una descripción detallada. Existen varios métodos para clasificar a los suelos y entre ellos, los más usados son:

- Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).
- Asociación Americana de Agencias Oficiales de Carretera y Transporte (AASTHO).
- Sistema del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA).
- Sistema de la Agencia Federal de Aviación (FFA).
- Sistema de clasificación de Massachusetts Institute of Technology (MIT).
- Sistema de clasificación de Kopecky (Alemania, 1936).
- Sistema de clasificación Internacional (Suecia).

Por otro lado, clasificar los suelos también es de interés primordial para el ingeniero geotécnico y es así como se utiliza los límites de Atterberg (por los métodos los límites líquidos y plásticos) para el análisis parcial o total de la granulometría. Actualmente, en los laboratorios se usa el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), para la distribución por tamaño del grano y plasticidad de los suelos.

2.6. Sistema Unificado de Suelos (SUCS)

La forma original de este sistema fue propuesta por el Dr. Arturo Casagrande en 1942 para usarse en la construcción de aeropuertos emprendida por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército durante la Segunda Guerra Mundial. En cooperación con la Oficina de Restauración de Los Estados Unidos de América, el sistema fue revisado en 1952. Hoy en día, es ampliamente usado por los ingenieros y laboratoristas.

Esta clasificación propone que si más del 50% de las partículas del suelo son retenidas por el tamiz N° 200 es considerado como Grueso, y Finos cuando más del 50% del suelo pasa este tamiz (Figura 2.16). Es decir, la clasificación SUCS se basa en una sola frontera para determinar los materiales Gruesos y Finos, siendo el parámetro de referencia el porcentaje que pasa o es retenido en la malla 200, lo que equivale a un tamaño de grano de 0,075 mm.

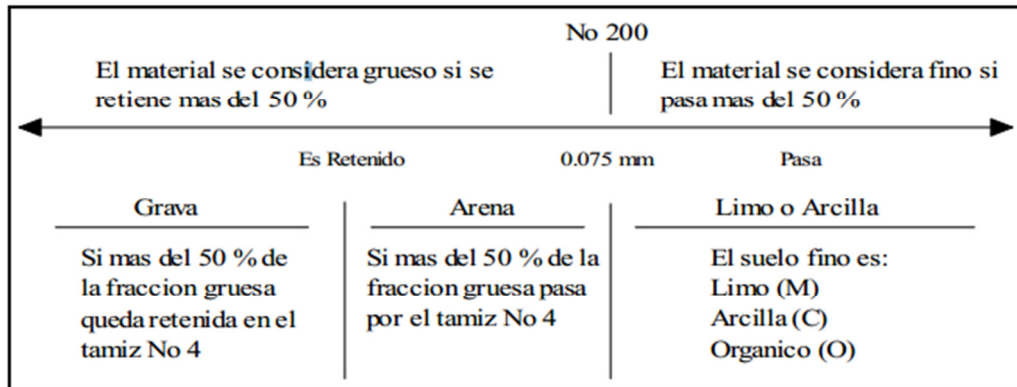


Figura 2.16. Clasificación de los suelos de acuerdo al porcentaje retenido. Según el Sistema SUCS.

2.6.1. Suelos Granulares

Los suelos granulares se dividen en gravas y arenas, y el tamiz de separación entre ambos tipos de suelos lo constituye el tamiz 4, lo que equivale a 4,76 mm. En el caso de los suelos granulares, la propiedad ingenieril que condiciona la clasificación es la granulometría, el mismo que permite definir las variaciones de las bandas granulométricas y la distribución de los tamaños de granos.

2.6.2. Suelos Finos

Los suelos finos se dividen en limos y arcillas, siendo el tamaño límite de diferenciación 0,03 mm los cuales se pueden separar por análisis hidrométricos. En los suelos finos, pasantes al tamiz 200, es muy importante la determinación del grado de plasticidad, el cual se obtiene haciendo ensayos de límites de consistencia o límites de Atterberg. Los límites de consistencia consisten en hacer ensayos para determinar el límite plástico y el límite líquido. Estos ensayos indican los valores de humedad en los cuales los suelos finos cambian de estado; es decir, si el límite líquido de una arcilla es 40, significa que para una humedad por encima de 40% la arcilla cambia de estado plástico a estado líquido.

Los suelos son identificados por los símbolos de grupos, los cuales constan de un prefijo y un sufijo en inglés. Los prefijos representan los principales grupos de suelos: Gravas (G), Arenas (S), Limos (M), Arcillas (C), Suelos Orgánicos de grano fino y turba (O); mientras que, los sufijos representan la subdivisión de dichos grupos. El símbolo “Pt” se usa para turbas, lodos y otros suelos altamente orgánicos.

Otros símbolos usados para la clasificación son:

- W: bien graduado
- P: mal graduado
- L: baja plasticidad (límite líquido menor que 50)
- H: alta plasticidad (límite líquido mayor que 50)

Para una clasificación apropiada con este sistema, se recomienda considerar la siguiente información (Figura 2.17):

- Los símbolos de grupo para suelos tipo grava de grano grueso son GW, GP, GM, GC, y para los suelos tipo arena grano grueso son SW, SP, SM, SC. y
- Los símbolos de grupo para suelos de grano fino son ML, CL, OL, MH, CH, OH, Pt.

El sistema que se utilizará para la clasificación de suelos del área urbana del distrito de Santa Rosa, es el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). Este sistema fue adoptado por la ASTM (American Society of Testing Materials) como parte de los métodos normalizados para la clasificación de todo tipo de obras de ingeniería.

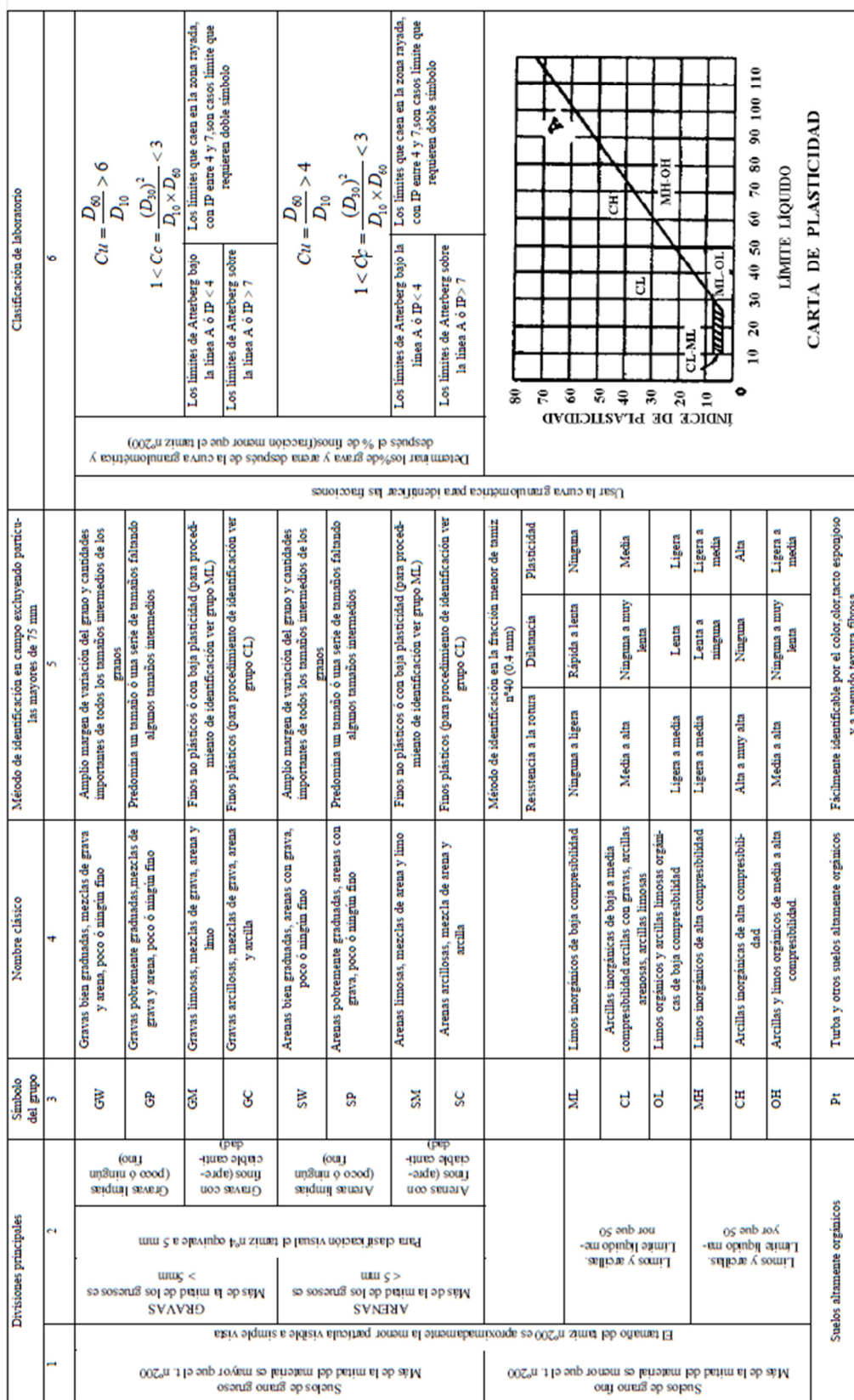


Figura 2.17. Parámetros y descripciones consideradas en la Clasificación SUCS (Casagrande 1942).

2.7. Zonificación de Suelos

La zonificación de suelos puede considerarse como la clasificación de las características geológicas, geomorfológicas, climáticas y topográficas de un territorio y tiene como propósito encauzar el crecimiento y desarrollo ordenado de un área. En este estudio, se utilizarán elementos como son la topografía, geología, geomorfología, geotecnia, geofísica y la sísmica a fin de determinar la zonificación sísmica-geotécnica del área urbana de Santa Rosa.

Muchas veces se utiliza el término de microzonificación con el mismo significado de zonificación. La diferencia entre ambos conceptos puede estar en la escala de trabajo, ya que el prefijo “micro” indica zonas de menor tamaño (mayor detalle) que la zonificación, que supuestamente define “macrozonas”. A este respecto es de señalar que el manual elaborado por el Comité Técnico TC4 del ISSMGE (1999) no aparece el término microzonificación cuando se refiere a trabajos de gran detalle (escala 1:5000), prefiriendo en su lugar establecer una diferenciación en tres grados o niveles de trabajo y denominando zonificación a todos, ya sean de gran escala (1:1,000.000) o gran detalle (1:5.000). En tal sentido, el único término a utilizar sería zonificación rigurosa a lo que podría entenderse como microzonificación. Otros autores, en cambio prefieren el término microzonificación para referirse a estudios minuciosos, es el caso de Bard et al. (1986, 1987, 1991, 1995), Nigg (1982), Roussopoulos (1984), etc.

2.7.1. Tipos de Zonificación de Suelos

Según el manual TC4 del ISSMGE (The International Society of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering-1999) para ingeniería sísmica y geotécnica, se debe tomar en cuenta tres tipos de fenómenos geotécnicos para realizar la zonificación de suelos (Tabla 2.2).

- El movimiento del Suelo.
- El potencial de inestabilidad de la pendiente. y
- El grado de licuefacción.

Tabla 2.2. *Uso de los datos para los tres niveles de zonificación (Manual del TC4 del ISSMGE, The International Society of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering-1999).*

	GRADO 1	GRADO 2	GRADO 3
Movimiento del suelo	- Sismos históricos y la información existente. - Mapas geológicos y geomorfológicos - Encuestas a los residentes locales.	- Microtremors - Estudio geotécnico simplificado	- Investigación geotécnica. - Análisis de la respuesta del suelo.
Potencial de inestabilidad de la pendiente.	- Sismos históricos y la información existente. - Mapas geológicos y geomorfológicos	- Fotografías aéreas y sensores remotos. - Estudios de campo. - Datos de vegetación y precipitación.	- Investigación geotécnica. - Análisis.
Grado de licuefacción	- Sismos históricos y la información existente. - Mapas geológicos y geomorfológicos	- Fotografías aéreas y sensores remotos. - Estudios de campo - Encuestas a los residentes locales.	- Investigación geotécnica. - Análisis.
Escala	1:1,000,000 – 1:50 000	1:100,000 – 1:10 000	1:25,000 – 1:5,000

En estas consideraciones el estudio realizado en el área urbana del distrito de Santa Rosa estará dirigido a la zonificación del movimiento del suelo, el mismo que puede tener tres grados de zonificación de acuerdo a sus objetivos:

- **Grado 1: Zonificación general**

El primer nivel de zonificación se basa en la compilación e interpretación de la información disponible en documentos históricos, reportes publicados u otros documentos. Este nivel de evaluación, es la parte más básica y de menor costo, y se usa en áreas grandes como ciudades, estados, provincias o áreas locales. Para la zonificación de áreas locales se pueden usar catálogos sísmicos monitoreados instrumentalmente. Estos catálogos están disponibles para la mayoría de las áreas y tienen información como la magnitud, mecanismo focal, ubicación, etc. Estos datos son importantes para poder tener una idea de la intensidad del movimiento en el momento del sismo, y también para hacer una delineación de la fuente sísmica y así poder estimar las magnitudes y frecuencias de futuros sismos.

Los mapas geológicos y geotécnicos existentes son fuente importante de información para la evaluación del potencial del terreno y condiciones del mismo. Entonces correlacionando la geología con diferentes niveles de amenaza se pueden generar mapas de inestabilidad de la pendiente y licuefacción. La calidad del mapa de zonificación va a

depender de la calidad de la base de datos. En este nivel de evaluación no se obtiene mucho detalle, generando mapas en el rango de 1:1,000,000 a 1:50,000.

- **Grado 2: Zonificación detallada**

En este nivel de evaluación lo que se quiere es poder mejorar los mapas de zonificación del Grado 1, utilizando información adicional de datos originales. Por otra parte se deberían de realizar estudios adicionales de campo para proyectar las unidades geológicas y geomorfológicas pertinentes a la amplificación de terreno, potencial de inestabilidad de la pendiente y susceptibilidad de licuefacción. También es probable que los reportes de las empresas que trabajan con ingeniería geotécnica, también puedan proveer datos adicionales de campo y datos de laboratorio. Es posible realizar medidas de microtemores para poder evaluar las características del movimiento del suelo a costos razonables y presentación de los resultados en mapas más detallados a escalas de 1:100,000 a 1:10,000.

Los métodos para esta zonificación requieren de mayor información acerca del suelo que los del Grado 1, y esto requiere de nuevas investigaciones para evaluar las propiedades geotécnicas y sitios específicos. Para minimizar el costo de estas investigaciones se recomienda utilizar los reportes e informes de otras empresas o del gobierno, que contengan la información necesaria para la evaluación.

- **Grado 3: Zonificación rigurosa**

Este grado de evaluación requiere una zonificación mucho más detallada, en un rango de escala de 1:25,000 a 1:5,000; adicionalmente se necesita de investigaciones del sitio, así como una caracterización específica del mismo. Los resultados de estas investigaciones pueden ser incorporados al análisis de la respuesta del suelo realizados digitalmente, así como al comportamiento de la inestabilidad de la pendiente o al potencial de licuefacción. Este nivel de zonificación, requiere de información y caracterización específica del sitio, por lo general es más costoso, pero en aquellos lugares donde la amenaza es muy alta, se recomienda este tipo nivel de evaluación.

2.8. Condiciones mecánicas - dinámicas de los suelos

El análisis dinámico de los suelos es una herramienta fundamental en los estudios de zonificación, ya que a través de él se conoce la respuesta o comportamiento de los suelos frente a las ondas sísmicas, la cual está íntimamente ligada a la frecuencia natural

de vibración del suelo. Para llegar a conocer las frecuencias naturales de vibración de los suelos se han utilizado ampliamente las mediciones de vibración ambiental o microtremores, debido que en poco tiempo y con un solo instrumento sismológico se puede tener mucha información.

El efecto de sitio está estrechamente ligado con la composición del suelo, ya que la respuesta dinámica depende en gran parte de los materiales que constituyen a suelos duros, en donde las ondas sísmicas presentan una menor amplitud que en los suelos blandos (Figura 2.18). Los efectos que produce cada tipo de suelo sobre la amplitud y naturaleza de las ondas sísmicas, ha sido reconocido y su estudio aceptado internacionalmente como una herramienta útil para la estimación del comportamiento dinámico del suelo, a fin de proponer mapas de zonificación del tipo de suelo para una localidad o área de interés y así llevar a cabo una buena planeación en cuanto al crecimiento de las áreas urbanas y al tipo de construcciones que se deseen realizar.

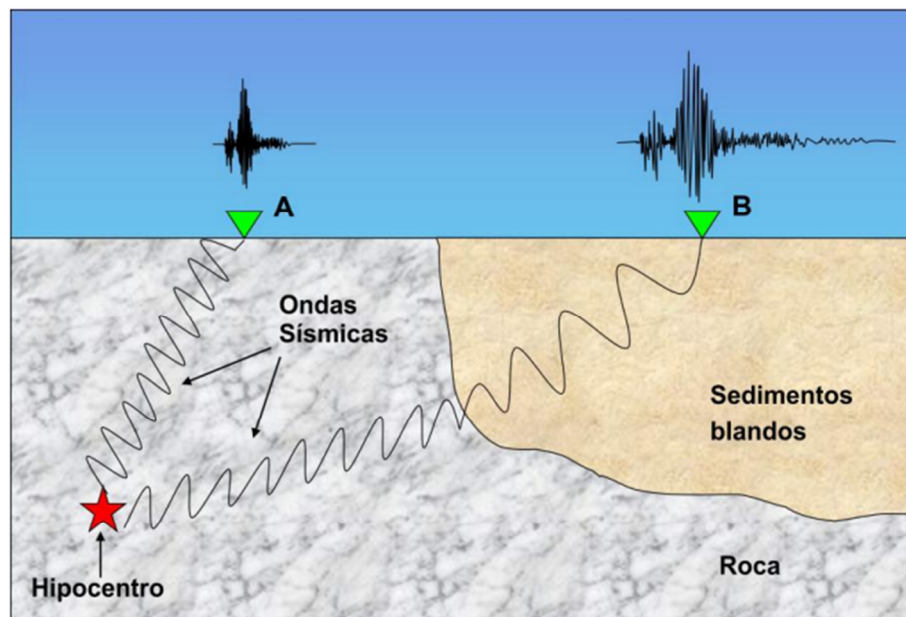


Figura 2.18. Registros sísmicos en emplazamientos próximos pero con características del Subsuelo distintas.

En la Figura 2.18, se observa el viaje de las ondas sísmicas por el interior de la tierra. Las propiedades físicas de las ondas sísmicas dependerán del tipo de suelo que atraviesa; en el caso del viaje de las ondas sísmicas por suelo duro o rocoso, el registro de la señal sísmica se atenúa; caso contrario al viaje de las ondas sísmicas en un suelo

blando, donde el registro de la señal se amplifica de forma relevante. Este fenómeno no solo produce un aumento de la amplitud de las ondas sísmicas sino también se prolonga en la duración de la sacudida sísmica.

2.8.1. Norma Técnica E-030

La Norma establece los criterios de diseño fundamentales para garantizar que las edificaciones tengan un comportamiento sísmico tal, que se evite la pérdida de vidas humanas, se asegure la continuidad de los servicios básicos y se minimicen los daños a la propiedad. La Norma Técnica de Edificación E-030 DISEÑO SISMORRESISTENTE, fue aprobada mediante el Decreto Supremo N° 079-2003-VIVIENDA, del 02 de abril del 2003 y recientemente dicha Norma fue modificada mediante el Decreto Supremo N° 003-2016-VIVIENDA, el 24 de enero del 2016.

Asimismo, la norma establece los siguientes principios para el diseño:

- 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.
- La estructura debería soportar movimientos del suelo calificados como moderados para el lugar del proyecto, pudiendo experimentar daños reparables dentro de límites aceptables.
- Para las edificaciones esenciales, se tendrán consideraciones especiales orientadas a lograr que permanezcan en condiciones operativas luego de un sismo severo.

Los planos, memoria descriptiva y especificaciones técnicas del proyecto estructural, deberán llevar la firma de un ingeniero civil colegiado, quien será el único autorizado para aprobar cualquier modificación de los mismos.

El empleo de materiales, sistemas estructurales y métodos constructivos diferentes a los indicados en esta Norma, deberá ser aprobado por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, y debe cumplir con lo establecido en el artículo 4 de la Norma Técnica de Edificación E-030 DISEÑO SISMORRESISTENTE y demostrar que la alternativa propuesta produce adecuados resultados de rigidez, resistencia sísmica y ductibilidad.

En la actualidad, la construcción de obras civiles de cualquier envergadura se basa en la Norma Técnica E-030 (2016), 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 tipos de suelos son:

a. Roca Dura (Tipo S0)

A este tipo corresponden las rocas sanas con velocidad de propagación de ondas de corte $V_s \geq$ 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 V_s .

b. Roca o Suelos muy rígidos (Tipo S1).

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 $V_s \geq$, 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 mayor o igual que 500 kPa (5 kg/cm²).
- Arena muy densa o grava arenosa densa con promedio ponderado de los ensayos de penetración estándar mayor que 50.
- Arcilla muy compacta (de espesor menor que 20 m), con una resistencia al corte en condición no drenada mayor que 100 kPa (1 kg/cm²) y con un incremento gradual de las propiedades mecánicas con la profundidad.

c. Suelos intermedios (Tipo S2). A este tipo corresponden los suelos medianamente rígidos, con velocidades de propagación de onda de corte 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 con promedio ponderado de los ensayos de penetración estándar, entre 15 y 50.

- Suelo cohesivo compacto, con una resistencia al corte en condiciones no drenada 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. Suelos Blandos (Tipo S3).

Corresponden a este tipo los suelos flexibles con velocidades de propagación de onda de corte V_s , menor o igual a 180 m/s, incluyéndose los casos en los que se cimenta sobre:

- Arena media a fina, o grava arenosa, con valores del SPT menor que 15.
- Suelo cohesivo blando, con una resistencia al corte en condición no drenada, 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 S4 y que tenga más de 3 m de suelo con las siguientes características: índice de plasticidad P_I mayor que 20, contenido de humedad mayor que 40%, resistencia al corte en condición no drenada menor que 25 kPa.

e. Condiciones excepcionales (Tipo S4)

A este tipo corresponden los suelos excepcionalmente flexibles y los sitios donde las condiciones geológicas y/o topográficas son particularmente desfavorables, en los cuales se requiere efectuar un estudio específico para el sitio. Sólo será necesario considerar un perfil tipo S4 cuando el Estudio de Mecánica de Suelos (EMS) así lo determinen.

En general, para cualquier estudio deberá considerarse 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 Técnica E-030. Esta clasificación de suelos fue implementada por el CISMID para su aplicación en el “Estudio de Vulnerabilidad y Riesgo de Sismo en 43 Distritos de Lima y Callao” por encargo de la Asociación Peruana de Empresas de Seguros (APESEG). De acuerdo a este estudio y según las características mecánicas y dinámicas de los suelos que conforman el terreno de cimentación en el área de estudio, así como las consideraciones dadas en Norma Técnica E-030 “Diseño Sismorresistente”, se ha definido 4 zonas sísmicas-geotécnicas:

ZONA I: Esta zona está conformada por afloramientos rocosos, estratos de grava coluvial-aluvial en 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 al suelo Tipo S1 de la norma sismorresistente

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 es de $S=1.2$ con periodo natural del suelo es $T_s=0.6$ s, correspondiendo al suelo Tipo S2 de la norma sismorresistente.

ZONA III: Esta zona está conformada, en su mayor parte, por depósitos de suelos finos y arenas de gran espesor en estado suelto. Los periodos predominantes encontrados en estos suelos varían entre 0.5 y 0.7 s; por lo que, su comportamiento dinámico ha sido tipificado como suelo Tipo S3 de la norma sismorresistente, 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 depósitos de arenas 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 suelo Tipo S4 de la norma sismorresistente, 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 constituidas por áreas puntuales conformadas por depósitos de rellenos sueltos y desmontes heterogéneos que han sido colocados en depresiones naturales o excavaciones realizadas en el pasado. Estos depósitos espesores entre 5 y 15 m. Esta zona considera 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.

2.9. Importancia de la Zonificación de Suelos

El análisis dinámico de los suelos es una herramienta fundamental en los estudios de zonificación, ya que a través de él es posible conocer la respuesta o comportamiento de los suelos frente a las ondas sísmicas. Esta respuesta dinámica está íntimamente ligada con la frecuencia natural de vibración del suelo. Existe gran variedad de técnicas para la caracterización sísmica de los suelos, lo que los hace más o menos accesibles a ser aplicados, es el costo y el tiempo que se emplea para la obtener los datos y resultados.

Los estudios de zonificación sísmica-geotécnica ayudan a los ingenieros y arquitectos, expertos en planeamiento territorial y autoridades locales, en las tareas de prevención y mitigación del riesgo sísmico, mediante la reducción de la vulnerabilidad de los elementos sometidos a riesgo: las personas, viviendas, instalaciones críticas y el medio natural. Estas acciones resultan de vital importancia para el desarrollo sostenible y sustentable de las grandes ciudades que constituyen complejos sistemas, donde todas las actividades vitales están interrelacionadas.

Entonces, la importancia de los estudios de zonificación sísmica no está asociado en el costo, sino en la utilidad de los mismos, como:

- Conocer la respuesta del suelo ante la ocurrencia de sismos.
- Conocer su grado de compactación y resistencia.
- Contribuir a la generación de mapas o proyección de Uso de Suelos.
- Contribuir al catastro y orientación de la expansión urbana.
- Mejorar el Uso de los recursos de suelos.

CAPÍTULO III

CONTEXTO GEOGRÁFICO, GEOLÓGICO Y SISMOTECTÓNICO

Los fenómenos geodinámicos como huaycos, deslizamientos, inundaciones, etc., ocurren, desde tiempos geológicos como parte de su evolución natural de la tierra. Asimismo, la superficie sobre la cual se habita, se encuentra sometida a procesos geomorfológicos que la desgastan y modelan bajo la acción directa e indirecta de agentes geodinámicos. Además, de los procesos indicados anteriormente, existen otros provenientes de la geodinámica interna como son los sismos, tsunamis, actividad volcánica, etc.

Los estudios geológicos son generadores de información básica necesaria para la solución de problemas de ingeniería y del medio ambiente producidos como consecuencia de la interacción entre la actividad humana y la evolución del planeta. El fin de la geología es asegurar que los factores geológicos condicionantes, de las obras de ingeniería, sean tomados en cuenta e interpretados adecuadamente a fin de evitar o mitigar las consecuencias de los riesgos geológicos.

Por ejemplo, el área urbana del distrito de Santa Rosa presenta una geografía accidentada y variada, con grandes diferencias de nivel y cotas que fluctúa próximas a los cero metros en las playas y los 200 m.s.n.m. en promedio en lomas y cerros, siendo los máximos en el Balneario Santa Rosa, en donde incluso pasan los 350 m.s.n.m

3.1. Marco Geográfico

3.1.1. Historia

El área urbana del distrito de Santa Rosa posee gran importancia histórica prehispánica, debido a que en su territorio, se dio lugar a la segunda etapa cultural de la ciudad de Lima. Esta etapa, llamada Playa Grande, nombre otorgado por el gran asentamiento Playa Grande ubicado en el balneario de Santa Rosa, descubierto por Louis M. Stumer en 1952, quien hizo excavaciones muy importantes que le permitió recolectar 123 piezas arqueológicas que forman parte de la colección STUMER. La colección es parte del Museo de la Nación, conjuntamente con el Ídolo sagrado “Playa Grande” descubierto por el trabajador de obras Sr. Porfirio Varillas, durante las primeras construcciones de casas en el balneario en 1956. Parte de la Cultura Lima se desarrolló y ubico en lo que hoy es la Urbanización Country Club.

Luego de 10 años del descubrimiento de la etapa de Playa Grande, se creó el distrito de Santa Rosa, el 6 de febrero de 1962 mediante Ley N° 13982. El primer alcalde fue el Sr. Andrés Carrión, quien solo mantuvo autoridad política por seis meses, siendo luego sustituido por el Sr. Jorge Llosa Ureta para completar el periodo regular de alcaldía hasta el año 1966. Posteriormente, la alcaldía continuó según las regulaciones y leyes del estado peruano.

3.1.2. Aspectos demográficos

El área urbana del distrito de Santa Rosa tiene una población aproximada de 10,903 habitantes; es decir, el 0.1 % del número total de habitantes de Lima para ese año. De acuerdo a la información de los censos nacionales realizados por el INEI en los años 1981, 1993 y 2007 (Figura 3.1). La población del área urbana del distrito de Santa Rosa ha ido en aumento en los últimos años.

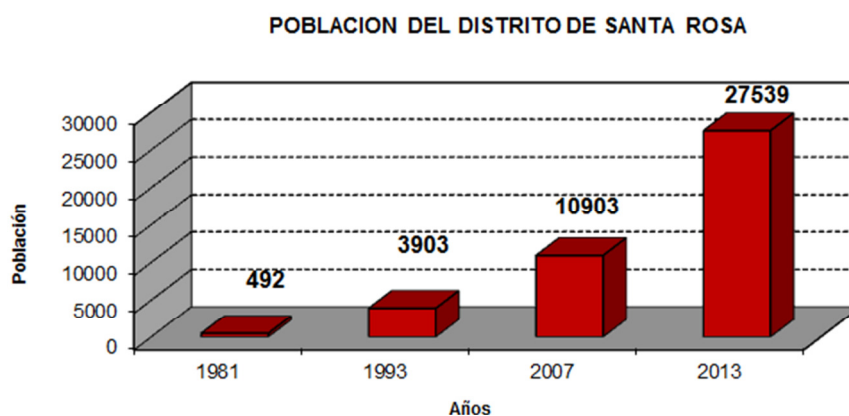


Figura 3.1. Población del área urbana del distrito de Santa Rosa según los censos de 1981, 1993 y 2007 (Fuente INEI); 2013 (Fuente SAMUSOCIAL).

Según estudios del Samusocial Perú (2013), el área urbana del distrito de Santa Rosa sufrió un crecimiento de población exponencial entre el año 2007 y el 2011, debido a la invasión de los cerros arenosos ubicados alrededor del balneario, pasando de 10,903 a 27,539 pobladores al año 2013 (Ver Figura 3.1 y 3.2).



Figura 3.2. *Vistas de viviendas ubicadas en los cerros del Balneario de Santa Rosa. (Asociación de Vivienda ADESESEP, PROFAM y La Productiva.*

3.1.3. Aspectos sociales

La Municipalidad del área urbana del distrito de Santa Rosa cuenta con diversos servicios sociales de educación, salud, saneamiento básico y luz eléctrica. Dentro de los servicios más destacados se encuentra el Centro Integral del Adulto Mayor –CIAM, Programa de Vaso de Leche y Comedores Populares, Limpieza Pública, Seguridad Ciudadana, entre otros.

En el área urbana del distrito de Santa Rosa, la Participación Ciudadana, concerniente al Departamento de Participación Vecinal de la Municipalidad Distrital es el eje fundamental para organizar y coordinar el desarrollo de los Asentamientos Humanos, Asociaciones de Vivienda y Urbanizaciones, todo ello realizado a través de las Juntas Directivas, elegidas democráticamente por los moradores de cada una de sus zonas, y posteriormente reconocidas por la Municipalidad Distrital de Santa Rosa. El principal objetivo del Departamento de Participación Vecinal es lograr que el ciudadano cada día se sienta más identificado con su distrito, de manera que se involucre en el desarrollo y bienestar mismo.

Además, de contar con múltiples organizaciones y juntas vecinales, el área urbana del distrito de Santa Rosa es la sede de uno de los principales clubes sociales peruanos, el Club de la Unión, Sede Playa Los Corales.

3.1.4. Aspectos económicos

En general, el área urbana de Santa Rosa, no cuenta con un acentuado desarrollo industrial y de comercio, por lo que no es previsible que los niveles de empleo y subempleo sean sostenidos, dando lugar a una economía informal cada vez más creciente. Santa Rosa, es un distrito de ingresos bajos por lo que su población mayoritaria pertenece a los sectores de pobreza y pobreza extrema.

En el Censo del año 1993, (INEI) el sector económico de mayor desarrollo en el área urbana del distrito de Santa Rosa, era el Terciario; es decir, corresponde al comercio y servicios, con casi 86% de su población económicamente activa trabajando en este sector. Luego, en segundo lugar con un porcentaje de 10%, se tiene el desarrollo económico secundario, el cual corresponde a la industria manufacturera y construcción. Por último, con un porcentaje de 4% está el sector económico primario, el cual consiste en la agricultura, ganadería, caza, pesca, silvicultura y minería (Figura 3.3). Sin

embargo, Santa Rosa resalta por ser una zona de balneario turístico con gran concurrencia de población en época de verano.

Según el INEI, en el Censo del año 2007, la Población Económicamente Activa en el área urbana del distrito de Santa Rosa representa el 40.23% de la población total, siendo la edad promedio en que empiezan a trabajar es a partir de los 16 años según reportes del INEI.

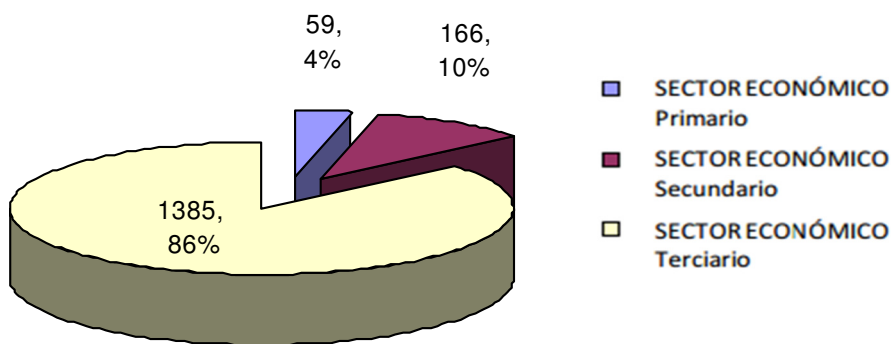


Figura 3.3. Sectores económicos en el área urbana de Santa Rosa según el censo de, 1993. (INEI).

3.1.5. Aspectos políticos

El área urbana del distrito de Santa Rosa, por ser un distrito relativamente nuevo, con casi 50 años de creación, no ha tenido historia política relevante; sin embargo, ha dado lugar al mandato de 18 alcaldías, con un total de 15 alcaldes de partidos independientes representantes del mismo distrito. Entre los partidos de mayor peso que han gobernado el área urbana, se encuentra el Partido Aprista Peruano (APRA) y el Partido Popular Cristiano (PPC).

A pesar de que el área urbana del distrito de Santa Rosa sea pequeña (21.5 km²), es un distrito con valiosos recursos históricos, ya que en este lugar se desarrolló parte de la Cultura Lima. Este patrimonio arqueológico viene siendo aprovechado al máximo para el desarrollo del sector turístico. Asimismo, Santa Rosa es un distrito en expansión debido a que cuenta con mayor densidad poblacional en toda Lima Metropolitana; por lo que, se deben concertar planes de desarrollo urbano que aseguren el crecimiento ordenado del distrito y el desarrollo económico sostenible.

El área urbana del distrito de Santa Rosa cuenta también con Talleres Productivos Descentralizados los cuales tienen el objetivo de capacitar a la población en el aprovechamiento de recursos y negocios de pequeña y mediana empresa, para garantizar el desarrollo económico local.

3.1.6. Aspectos turísticos

En el área urbana de Santa Rosa existen diversos atractivos que permitieran desarrollar la actividad turística y recreativa de manera permanente, es decir, durante todo el año, constituyéndose en uno de los ejes de desarrollo económico del distrito. Dentro de los recursos turísticos, recreativos y culturales con los que cuenta el área urbana del distrito de Santa Rosa, están:

- **Yacimiento Arqueológico o Zona Arqueológica**

La etapa de Playa Grande, presentó un estilo interlocking (Ver Figura 3.4), que se caracteriza por tener como motivo principal de decoración una serie de figuras en forma de pez o serpientes entrelazadas entre sí, a manera de figuras geométricas de líneas y puntos. Usa los colores blanco, rojo y negro (tricolor) sobre un fondo de engobe rojo. Las formas representativas son tazas, ollas y vasos.



Figura 3.4. Botella escultórica femenina (silbadora) y la taza de estilo Playa Grande. Encontrada por Stumer en Playa Grande (1952).

- **Los Humedales de Santa Rosa**

Es un ecosistema frágil con características especiales ya que se forma de un sistema hidrológico de las filtraciones y probables afluentes subterráneos existentes (Figura 3.5). Este ecosistema ha facilitado la flora y fauna local.



Figura 3.5. Humedales del distrito de Santa Rosa.

- **El Balneario y sus playas**

El área urbana de Santa Rosa cuenta con atractivos como las Islas Gemelas, playas (Playa Grande, Playa Hondable y Playa Chica) y su balneario, los que constituyen un importante espacio de relajamiento y esparcimiento (Figura 3.6). El acceso al balneario de Santa Rosa y sus Playas, es a través de la carretera Panamericana Norte hasta el Km. 43.5.



Figura 3.6. Islas Gemelas y Playas del balneario del distrito de Santa Rosa.

- **La cueva del Pirata y los Monumentos Naturales**

El territorio del distrito de Santa Rosa está conformado geológicamente por cadenas de cerros y colinas propias de la zona costera, las mismas que adoptan caprichosas formas y estructuras eólicas producto de los procesos y transformaciones geonaturales (Ver Figura 3.7).

Entre las cuevas se tiene a “La Cueva del Pirata”, y entre las esculturas labradas en rocas con formas caprichosas sobre animales, se tiene “La Isla de los Elefantes” y “Lagartos gigantes prehistóricos”.



Figura 3.7. Figuras petrificadas en el distrito de Santa Rosa: La cueva del Pirata, esculturas labradas en rocas y gorilas petrificada y lagartos gigantes prehistóricos.

- **Acantilados e Islotes**

Entre las playas del distrito de Santa Rosa, existen acantilados continuos e integrados a los cerros (Monigote) y colinas (El Mirador), en contacto con el mar y separados por playas cerradas tipo ensenadas y con alturas hasta de 50 metros (Figura 3.8).



Figura 3.8. Acantilados e Islotes en el Balneario de Santa Rosa

3.2. Marco Geomorfológico local

La geomorfología permite identificar las geoformas que presenta el relieve terrestre, el cual es el resultado de un balance dinámico que evoluciona en el tiempo, entre procesos constructivos y destructivos. Resulta ser una herramienta esencial en la interpretación de los diferentes rasgos geomorfológicos del área en estudio y radica fundamentalmente en definir los agentes que generan los procesos que modifican y alteran las condiciones naturales del terreno, los mismos que pueden afectar la seguridad de una determinada zona. En la Figura 3.9, se muestra el mapa geomorfológico del área de estudio a nivel local y las unidades geomorfológicas que están relacionadas a la zona de estudio son:

- Islas
- Borde Litoral.
- Lomas y Cerros Testigos.

3.2.1. Islas

En el distrito de Santa Rosa, es posible observar dos islas conocidas con el nombre de Islas Gemelas o San Pedro y que forman parte de las riquezas guaneras del país.

3.2.2. Borde Litoral

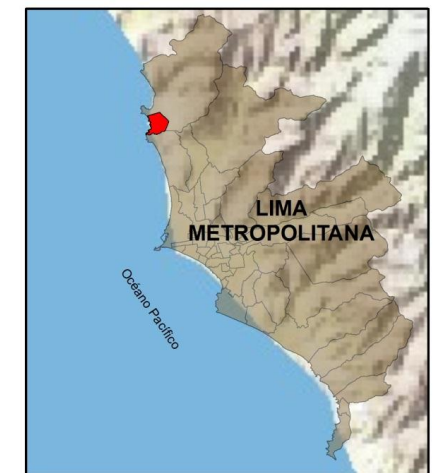
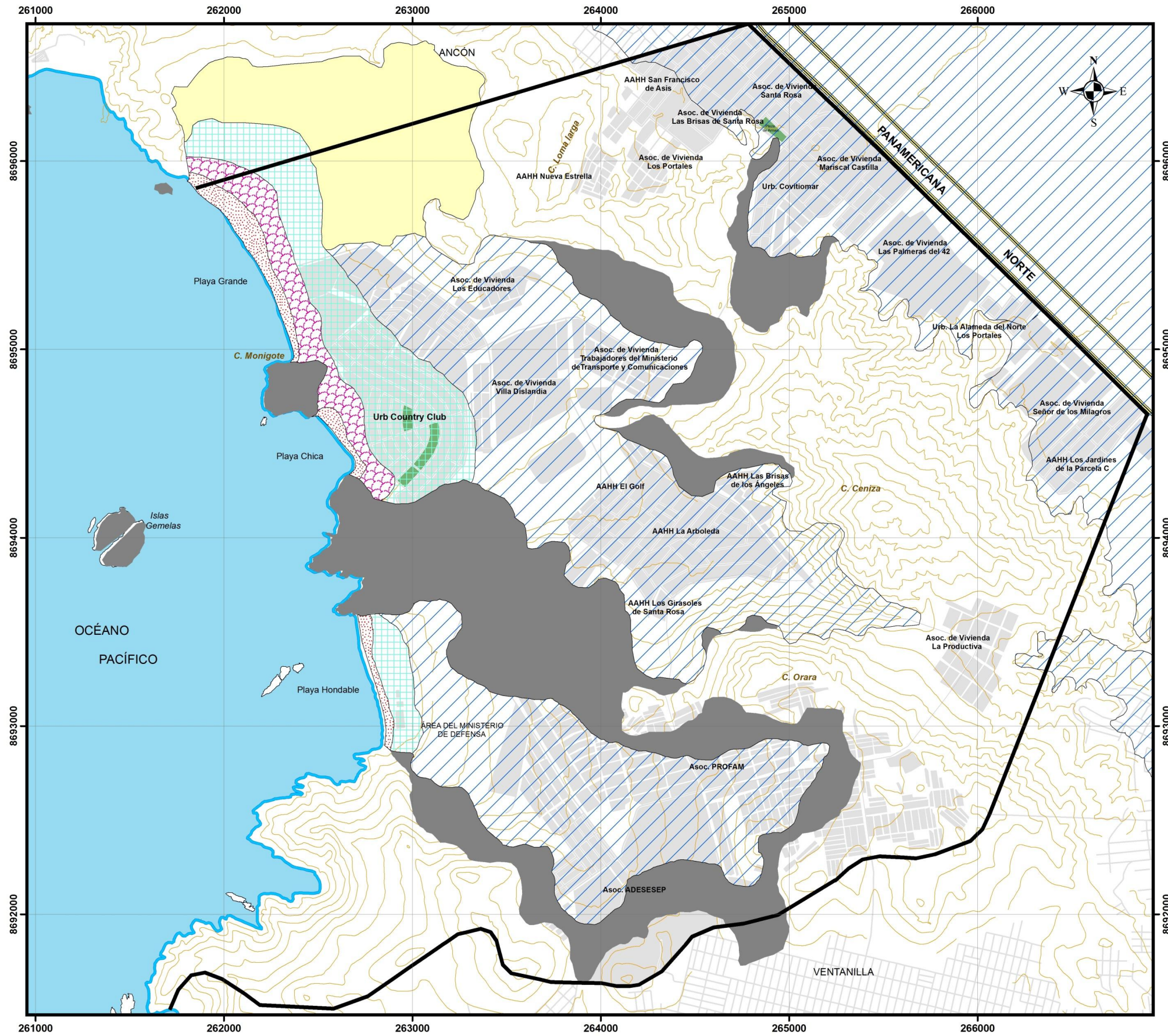
Comprende el área cercana al mar, paralelo a la línea de costa y expuesta a las olas marinas. Esta unidad incluye las bahías, ensenadas, puntas, etc., habiéndose formado playas por acumulación de arenas a través de corrientes litorales. Por ejemplo, el Balneario de Santa Rosa. Desde esta playa la arena ha sido elevada al continente por acción eólica formando una unidad continua con la planicie costanera.

3.2.3. Lomas y Testigos

Esta unidad geomorfológica considera las colinas que bordean las estribaciones de la Cordillera Occidental. La topografía de las Lomas está subordinada a la petrografía de las unidades geológicas y al manto eólico de arenas que cubren las lomas y colinas cercanas al mar, tal es el caso de Santa Rosa en donde aparecen los Cerros Testigos dentro de la llanura aluvial. Las rocas que constituyen las lomas y cerros son calizas y cuarcitas o rocas intrusivas, con relieve abrupto y cuando se trata de lutitas o limonitas, las formas son redondeadas con pendientes más suaves.

Los rasgos geomorfológicos (Figura 3.9) presentes en el área urbana del distrito de Santa Rosa son: las colinas onduladas constituidas por afloramientos volcánicos intensamente denudadas con una cobertura eólica importante. La unidad llanura aluvial-eólica cubre una gran extensión del distrito, así como los depósitos marinos de arena media a fina presentes junto al borde litoral y junto a la zona de albufera por filtración de agua marina.

En el extremo norte del área urbana del distrito de Santa Rosa aparece un depósito de arenas eólicas que cubre gran parte de la ladera occidental de los cerros aledaños a Ancón (Figura 3.10). En el sector La Bajada, extremo Sur-Oeste del distrito donde se emplazan las nuevas edificaciones informales, predominan las arenas eólicas.




















 UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, GEOFÍSICA Y MINAS ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOFÍSICA		
INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ Subdirección de Ciencias de la Tierra Sólida		
MAPA GEOMORFOLÓGICO LOCAL DEL ÁREA URBANA DEL DISTRITO DE SANTA ROSA		
LEYENDA		
<ul style="list-style-type: none">  Llanura aluvial  Dunas  Terraza marina actual  Terraza aluvio marino  Albuferas  Colinas  Curvas de nivel 	<ul style="list-style-type: none">  Islas  Límite de distrito  Línea de costa  Panamericana Norte  Carretera  Manzana y/o lotes  Áreas verdes 	
Fecha: Diciembre 2016 Elaborado por: Luz M. Arredondo García	Escala:  1 / 18 000	Figura: 3.9

Figura 3.9. Mapa geomorfológico para el área urbana del distrito de Santa Rosa.



Figura 3.10. Sector La Bajada, extremo SO del área urbana del distrito de Santa Rosa, Asentamiento Humano sobre arenas eólicas.

Las construcciones en estos lugares se hacen de manera inadecuada sin seguir ningún criterio de ordenamiento territorial, ni tener en cuenta los peligros naturales a los que pueden estar expuestos: sismos, tsunamis, movimientos en masa, inundaciones y huaycos.

Asimismo, se debe tener presente que un movimiento sísmico puede desencadenar caída de rocas y derrumbes en los sectores escarpados de las colinas, así como, la desestabilización de taludes, y el riesgo de destrucción de las áreas urbanas. Además, la ocurrencia de sismos puede provocar la amplificación de ondas que generan la inconsistencia de los suelos provocando procesos de licuefacción.

3.3. Marco Geológico local

Según la carta geológica nacional, el área urbana del distrito de Santa Rosa se encuentra ubicada al norte de la ciudad de Lima, en el distrito de Santa Rosa, cuadrángulo 24-i de “Chancay” (1/100,000 del boletín 43 de Ingemmet), ver Figura 3.11. En general, el área urbana del distrito de Santa Rosa está conformada por unidades estratigráficas cuyas

edades oscilan desde el Mesozoico hasta el Cenozoico. Dentro de la era Mesozoica se considera al grupo Puente Piedra conformado por el Volcánico Ancón y las formaciones Puente Inga y Ventanilla. La era Cenozoica, la constituye los depósitos cuaternarios recientes de origen marino, eólico, aluvial y coluvial. En la Figura 3.11 se muestra el perfil estratigráfico de la zona de estudio.

3.3.1. Unidades Litoestratigráficas

A continuación, se describe las características lito-estratigráficas de la zona de estudio (Figuras 3.11 y 3.12), siguiendo el orden del más antiguo al más reciente.

3.3.1.1 Volcánico Ancón (Ki – va)

Se le denomina como Volcánico Ancón por tratarse de la secuencia volcánica que tiene su afloramiento en los alrededores de los balnearios de Santa Rosa y Ancón. En el área urbana del distrito de Santa Rosa, esta unidad se expone en gran parte del distrito y se trataría del miembro inferior, que consiste de brechas piroclásticas con derrames andesíticos, aglomerados y esporádicas intercalaciones sedimentarias y la parte superior (miembro), consiste de derrames andesíticos porfiríticos. Estos afloramientos, al norte de Ventanilla, aumentan progresivamente de espesor hasta alcanzar dimensiones considerables en los alrededores de las playas de Santa Rosa y Ancón. Por el tipo de litología (piroclastos), la forma lenticular de este cuerpo y su forma de exposición, es muy probable que los volcánicos de esta formación formen parte de un aparato o centro volcánico, muy próximo a la zona del balneario de Santa Rosa.

En consecuencia, el Volcánico Ancón es de edad Berriasiana, y de acuerdo a su espesor y posición estratigráfica puede comprender desde el Berriasiano inferior hasta el Berriasiano superior, siendo el equivalente lateral de las Formaciones Puente Inga y Ventanilla.

3.3.1.2. Formación Puente Inga Inga (Ki-pi)

Sobreyace concordantemente a los volcánicos de Santa Rosa e infrayace a la Formación Ventanilla. La serie es predominantemente sedimentaria, caracterizada por presentar horizontes lenticulares de lutitas tobáceas, blandas, muy fosilíferas y fácilmente visibles en láminas delgadas, suaves al tacto y pigmentadas por oxidaciones limoníticas que se intercalan con derrames volcánicos. En el área urbana del distrito de Santa Rosa la unidad se expone próxima a los cerros Ceniza y Orara.

LEYENDA

CRONOESTRATIGRAFIA			LITOESTRATIGRAFIA																				
ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES ESTRATIGRAFICAS	ROCAS INTRUSIVAS																			
C E N O Z O I C O	CUATERNARIO	RECIENTE	Dep. eólicos	Qr-e	<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="text-align: center;">SUPER UNIDAD</td> <td style="text-align: center;">TIPO DE ROGA</td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="3" style="text-align: center; vertical-align: middle;">Santa Rosa</td> <td>Adamecita</td> <td style="text-align: center;">Ks-ad-sr</td> </tr> <tr> <td>Tonalita-Granodiorita</td> <td style="text-align: center;">Ks-tpd-sr</td> </tr> <tr> <td>Tonalita-Diorita</td> <td style="text-align: center;">Ks-tdi-sr</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Granodiorita</td> <td style="text-align: center;">Ks-gd-sr</td> </tr> <tr> <td rowspan="2" style="text-align: center; vertical-align: middle;">Paraseo</td> <td>Tonalita-Diorita</td> <td style="text-align: center;">Ks-tdi-par</td> </tr> <tr> <td>Babro-diorita</td> <td style="text-align: center;">Ks-gbd-pt</td> </tr> </table>	SUPER UNIDAD	TIPO DE ROGA		Santa Rosa	Adamecita	Ks-ad-sr	Tonalita-Granodiorita	Ks-tpd-sr	Tonalita-Diorita	Ks-tdi-sr		Granodiorita	Ks-gd-sr	Paraseo	Tonalita-Diorita	Ks-tdi-par	Babro-diorita	Ks-gbd-pt
		SUPER UNIDAD	TIPO DE ROGA																				
		Santa Rosa	Adamecita	Ks-ad-sr																			
			Tonalita-Granodiorita	Ks-tpd-sr																			
			Tonalita-Diorita	Ks-tdi-sr																			
			Granodiorita	Ks-gd-sr																			
		Paraseo	Tonalita-Diorita	Ks-tdi-par																			
			Babro-diorita	Ks-gbd-pt																			
		PLEIS-TOCENO	Dep. aluviales	Qr-al																			
			Dep. Marinos	Qr-m																			
			Dep. eólicos	Qp-e																			
			Dep. aluviales	Qp-al																			
	Dep. marinos		Qp-m																				
	MEDIO SUPERIOR		Grupo Casma	Volc. Qullmaná		Kms-q																	
		Volc. Huarangal		Kim-h																			
		Fm. Atocongo	Ki-at																				
		Fm. Pamploña	Ki-pa																				
		Grupo Morro Solar	Fm. Marcavica	Ki-m		Fm. Yangas	Ki-y																
Fm. Herradura			Ki-h																				
Fm. Salto del Fralito	Ki-sf																						
Grupo Puente Piedra	Fm. Cerro Blanco	Ki-cb																					
	Fm. Ventanilla	Ki-v																					
	Fm. Puente Inga	Ki-pi	Volc. Ancón	Ki-va																			
	Volc. Santa Rosa	JsKi-vs.r																					
JURASICO	SUPERIOR																						

Figura 3.12. Columna estratigráfica del área urbana del distrito de Santa Rosa.

3.3.1.3. Formación Ventanilla (Ki-v)

Litológicamente, está constituido por limonitas y arcillas abigarradas (illita), sobresaliendo los matices blanquecinos, parcialmente pigmentados por oxidaciones limolíticas. Son blandas al tacto y muy fosilíferas, se intercalan con limolitas y areniscas limosas de color gris beige finamente estratificados. Estos sedimentos intemperizan en terrenos de relieves, dando suelos de color blanco amarillento. En el área urbana del distrito de Santa Rosa esta unidad se expone próxima al Cerro Ceniza.

3.3.1.4. Depósito Aluvial (Qp-al)

La litología de estos depósitos aluviales pleistocénicos, vistos a través de terrazas, cortes y perforaciones, comprende conglomerados conteniendo cantos de diferentes tipos y rocas especialmente intrusivas y volcánicas, gravas subangulosas cuando se trata de depósitos de conos aluviales desérticos debido al poco transporte, arenas con diferentes granulometría y en menor proporción limos y arcillas. Todos estos materiales se encuentran intercalados formando paquetes de grosores considerables como se puede

apreciar en los acantilados de la costa. En el área urbana del distrito de Santa Rosa, estos depósitos se exponen paralelos a la carretera Panamericana Norte y a las Pampas de Piedras Gordas, constituyendo uno de los depósitos cuaternarios más antiguos de la zona.

3.3.1.5. Depósito Eólico (Qr-e)

Constituyen depósitos de arenas de grano fino que cubren gran parte de las áreas aluviales y formaciones rocosas más antiguas. Estas arenas proceden de las diversas playas del litoral y en su movimiento adoptan variadas formas como mantos, dunas y barcanes. En el distrito de Santa Rosa, los mantos son los más comunes, llegando a cubrir las laderas occidentales de los cerros Ceniza, Loma Larga, Orara y en algunas llanuras aluviales, alcanzando mayores espesores en las depresiones o desniveles topográficos, exhibiendo en superficie ondulaciones y crestas.

3.3.1.6. Depósito Marino (Qr-m)

Comprenden las acumulaciones de arenas, limos y cantos retrabajados y distribuidos por corrientes a lo largo del borde litoral como producto de la erosión y disgregación de las rocas de los acantilados, así como de los materiales acarreados por los ríos al océano. Estos depósitos están constituidos por arenas de grano medio a fino, de color gris amarillento conteniendo cuarzo, micas, ferromagnesianos, y en menor proporción, limos inconsolidados de color gris claro conteniendo restos de conchas marinas.

En general, las unidades geológicas que afloran en el área urbana de Santa Rosa están conformadas por afloramientos rocosos volcánicos andesíticos y secuencias piroclásticas con esporádicos niveles sedimentarios. El área del distrito en sí, está asentado sobre depósitos aluviales-eólicos y sobre el borde litoral predominan los depósitos marinos. En el extremo norte del distrito destaca la presencia de una importante cobertura eólica sobre los afloramientos volcánicos y un cordón de albufera entre los depósitos marinos y aluviales, muy cerca al borde litoral (Figura 3.13).

En la Figura 3.14 se muestra la vista del área urbana de Santa Rosa, en la cual se aprecia los depósitos aluviales, la zona de albufera en verde y edificaciones emplazadas en terrazas aluvio-eólicos, teniendo como fondo los afloramientos volcánicos.

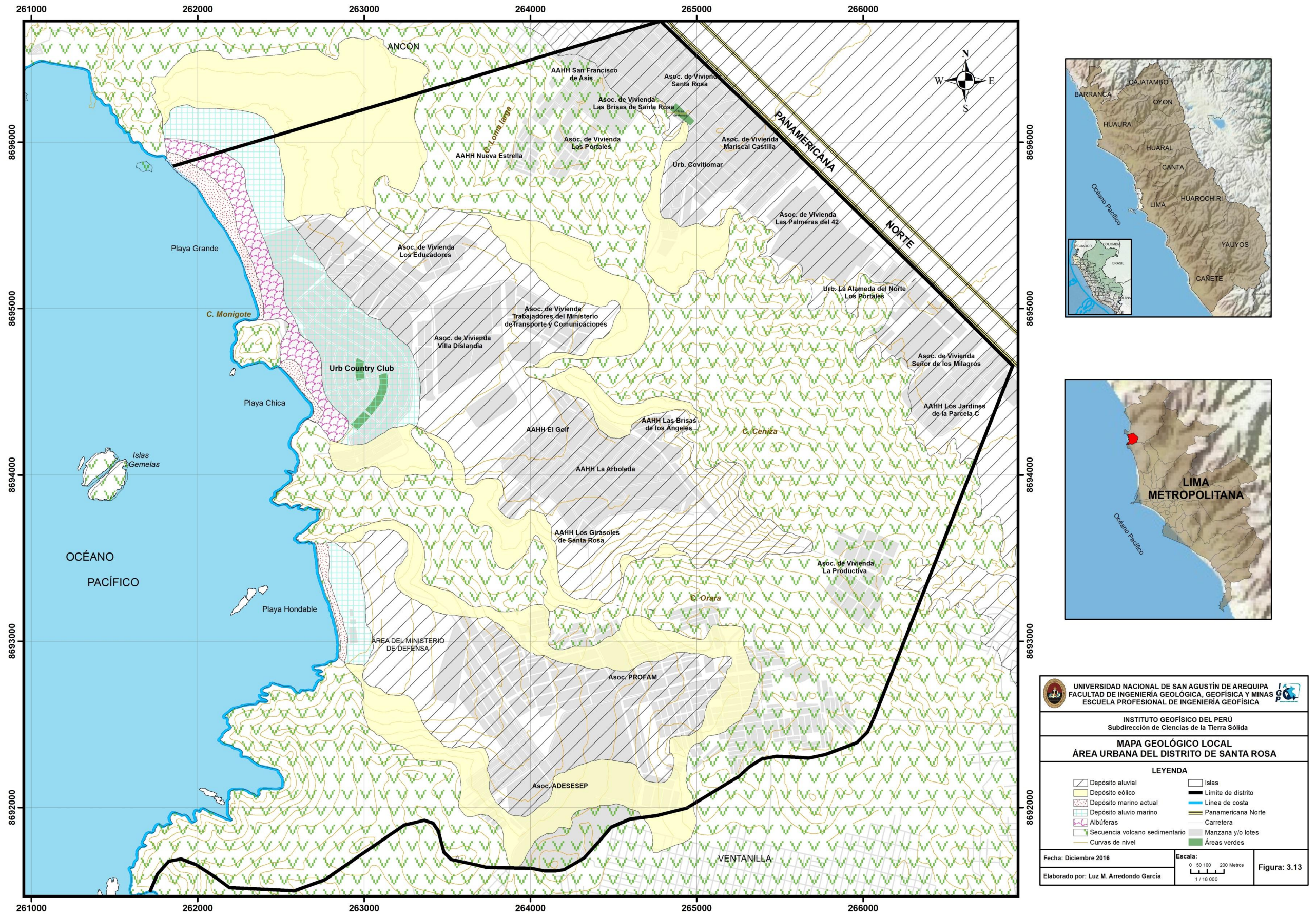


Figura 3.13. Mapa geológico local para el área urbana del distrito de Santa Rosa.



Figura 3.14. Vista del Balneario de Santa Rosa y presencia de terrazas, albuferas y afloramientos volcánicos.

En general, el crecimiento demográfico, conjuntamente con el entorno geodinámico, geológico y geomorfológico, ha propiciado desde hace tiempo, problemas que afectan a la población y a las obras civiles. Esta problemática aumentará en caso de que el crecimiento urbano continúe sin una planificación adecuada.

3.4. Marco Sismotectónico

La actividad sísmica en el Perú esta principalmente relacionada con la colisión de las placas de Nazca (Oceánica) y Sudamericana (Continental), donde la primera subduce bajo la segunda con una velocidad relativa de 7 a 8 cm/año (DeMets et al, 1980). A través del tiempo este proceso ha dado origen a todos los movimientos sísmicos que ocurren en el territorio peruano como producto de la acumulación de energía producida por el movimiento de las placas. Asimismo, este proceso es causante del plegamiento y levantamiento del borde Occidental de Sudamérica dando origen a la formación de diferentes rasgos tectónicos en la corteza oceánica y continental. En el continente, la

actividad sísmica está asociada a la formación de la Cordillera de los Andes y a las deformaciones corticales a lo largo de la corteza continental.

De acuerdo a la historia sísmica de Perú, la región central ha sido afectada en varias oportunidades por eventos sísmicos de variada magnitud que han generado altos niveles de intensidad, puesta en evidencia con los daños observados post-sismo en cada área urbana (Silgado, 1978). Al ser los sismos cíclicos, es de esperarse que en el futuro, las mismas áreas urbanas sean afectadas por nuevos eventos sísmicos con similar o mayor intensidad. Entonces, no es tan importante el tamaño del sismo, sino la intensidad del sacudimiento del suelo, la ubicación y la calidad de las construcciones presentes en cada área urbana.

La sismicidad en la región central se ha caracterizado por la ocurrencia continua de sismos y en general la zona costera de Lima es afectada cada año, por 3 a 4 sismos de magnitud $M \geq 5.0$ y con menor recurrencia por grandes sismos, siendo el de mayor magnitud el ocurrido en 1746 (8.5 Mw); mientras que, en el siglo XX el más destructor fue el de 1940 (8.2 Mw), lo cual indica que la región de Lima se encuentran permanentemente expuestas a sismos. Estudios sobre el peligro sísmico de la región Lima, permiten considerar severidades de sacudimiento del suelo proporcional a una intensidad mayor a VIII MM (Mercalli Modificada) para un periodo de exposición de 50 años y una probabilidad de excedencia del 10% (Ocola, 1982). Este valor parece ser alto; sin embargo, es coherente con lo observado en los niveles de daño después de ocurrido los sismos antes mencionados, tanto en Lima Metropolitana como en los distritos contiguos.

Las características sísmicas del Perú han sido ampliamente analizadas y discutida por diversos autores en diferentes trabajos de investigación (Barazangi e Isacks, 1976; Rodríguez y Tavera, 1991; Cachil y Isacks, 1992; Tavera y Buforn, 1998; Bernal, 1999; Heras, 1999; Bernal, 2002, Antayhua, 2002 y Heras, 2002). La actividad sísmica en el Perú, puede ser dividida en dos grupos: sismicidad histórica e instrumental, cuyas características se detallan a continuación:

3.4.1. Sismicidad Histórica

La ocurrencia de eventos sísmicos en el pasado fue conocido a través de catálogos, narraciones, crónicas, manuscritos; los que se encuentran en archivos técnicos, informes administrativos por parte de los clérigos y gobernantes de aquellos años. Gran parte de esta información ha sido recolectada y publicada por Polo (1904), Barriga (1939), Silgado (1978) y Dorbath et al (1990).

La sismicidad histórica en el Perú se remonta a los años 1513 - 1532, y la disponibilidad de la información va a depender de la distribución y densidad de las poblaciones en las regiones afectadas por los sismos. Es posible que en el período histórico hayan ocurrido más eventos sísmicos y estos no sean mencionados, debido a que en las poblaciones afectadas no estuvieron pobladas o la falta de comunicación con estos lugares.

3.4.2. Sismicidad Instrumental

En 1960 se considera el inicio del período instrumental en el Perú, fecha en la que empieza a operar la Red Sísmica Mundial WWSSN (World Wide Standard Seismograph Network). A partir de este período la determinación de los parámetros hipocentrales de un sismo fue más precisa

La distribución espacial de la sismicidad instrumental ocurrida en el Perú durante el período 1960 - 2016 con magnitudes $ML \geq 4$, se procedió a clasificarlos de acuerdo a la profundidad de sus focos en sismos superficiales, intermedios y profundos.

- Sismos con foco superficial

Se considera como sismos de foco superficial aquellos eventos que ocurrieron a profundidades menores a 60 km. En la Figura 3.15, se observa que estos sismos (círculos rojos) se distribuyen de norte a sur, entre la Fosa Perú-Chile y la línea de costa. Por lo tanto, están asociados principalmente al proceso de subducción de las placas de Nazca bajo la Sudamericana. En el interior del continente también existe presencia de sismos superficiales y estos se distribuyen de norte a sur a lo largo de la zona Subandina y en la Alta Cordillera todos asociados a las deformaciones superficiales que dieron origen a fallas geológicas.

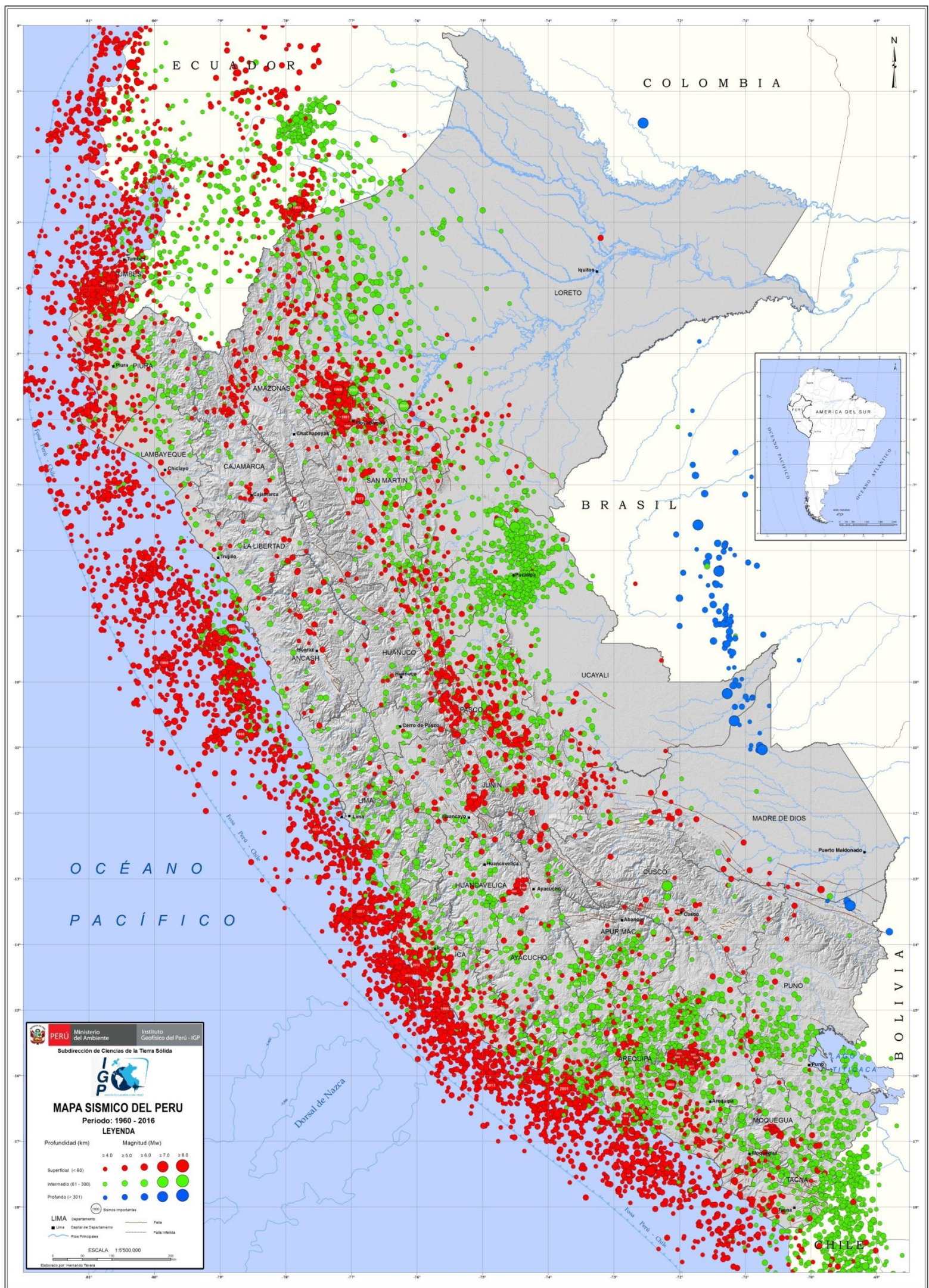
- **Sismos con foco intermedio**

Este tipo de sismicidad se produce a profundidades entre los 60 y 300 km. (círculos verdes en la Figura 3.15) y se distribuyen principalmente en el interior del continente formando ciertos agrupamientos cerca de la línea de costa, en la zona Subandina y en toda la región sur sobre el Altiplano peruano-boliviano.

- **Sismos con foco profundo**

Esta sismicidad se produce a profundidades entre 300 y 700 Km. (círculos azules en la Figura 3.15) estando el mayor número de sismos en la región central en el límite Perú-Brasil entre los 6° y 12° latitud sur siguiendo una orientación N-S y el otro agrupamiento se encuentra en el límite Perú-Bolivia entre las coordenadas 12° y 14° latitud Sur. Estos sismos, al ocurrir a grandes profundidades prácticamente no son sensibles en superficie y su naturaleza y origen aún vienen siendo tema de investigación (Stauder, 1975; Cachill y Isacks, 1992 Tavera y Buforn, 1998).

De estos sismos los de mayor peligro son los de foco superficial, siendo los más recurrentes y de mayor magnitud los que ocurren frente a la zona de la costa. Por lo tanto el distrito de Santa Rosa ha sido, es y será afectado por la ocurrencia de estos sismos.



MAPA SÍSMICO DEL PERÚ

El Mapa Sismico del Perú presenta la distribución espacial de los eventos con magnitudes igual o mayores a 4.0 en la escala "magnitud momento" (Mw) ocurridos durante el periodo 1960-2016. La información utilizada corresponde a los catálogos del Instituto Geofísico del Perú y de Engdahl & Villaseñor (2002). Los sismos fueron clasificados en función de la profundidad de sus focos en superficiales, intermedios y profundos. En el mapa, el tamaño de los símbolos indica la magnitud del sismo y representa la cantidad de energía liberada y que puede ser expresada en las escalas de Richter (ML), ondas de volumen (mb), ondas superficiales (Ms) y recientemente a partir del momento sísmico (Mw). Otra manera de cuantificar al sismo es por la fuerza del sacudimiento del suelo y por los daños que causan en las zonas urbanas, siendo medido con grados de intensidad en la escala de Mercalli Modificada (MM). Debe entenderse que el poder destructivo de un sismo y/o terremoto depende de factores como su magnitud, profundidad del foco, duración del movimiento, propiedades físicas de las rocas por donde viajan las ondas sísmicas, los materiales y características constructivas de las viviendas, edificios y obras de ingeniería.

En el Perú, los sismos tienen su origen en tres fuentes tectónicas: (1) la superficie de contacto entre las placas de Nazca y Sudamericana, (2) la deformación de la corteza continental y, (3) la deformación de la corteza oceánica con focos a profundidades superiores a 61 km. En la primera fuente tuvo su origen el terremoto de Pisco del 15 de Agosto de 2007 (8.0Mw) sentido en superficie con intensidades de VII-VIII (MM) produciendo la muerte de más de 500 personas y miles de damnificados; además de daños considerables en las viviendas. El sismo de Moyobamba del 5 de Abril de 1991 (6.0Mw) tuvo su origen en la segunda fuente y produjo en superficie intensidades de VII (MM) con daños severos en viviendas. Para la tercera fuente se cita como ejemplo el sismo del 24 de Agosto de 2011 (7.0Mw), sensible en superficies con intensidades de V (MM) y que produjo el desarrollo de procesos de licuación de suelos y deslizamientos de rocas en localidades cercanas al área epicentral.

El Mapa Sismico sugiere que la peligrosidad sísmica en el Perú es ALTA. Se observa mayor actividad sísmica en las regiones Centro y Sur, y moderada en la Norte. Esta información permite delimitar las zonas tectónicas presentes en el Perú, siendo información básica para los diversos estudios que conlleve a la prevención sísmica.

La ocurrencia de los terremotos no se puede predecir, pero se debe considerar que los terremotos ocurridos en el pasado, en un determinado lugar y tamaño, deben repetirse en el futuro con igual o mayor intensidad. Con esta aseveración es importante considerar un arduo trabajo en la educación de la población. Por otro lado, se debe comprender que los terremotos no producen la muerte de las personas, sino las estructuras (viviendas, edificios, obras de ingeniería, etc.) que colapsan debido a su mal diseño, al uso de material inadecuado o por estar situados en suelos geológicamente inestables.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA
 FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, GEOFÍSICA Y MINAS
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOFÍSICA

INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ
 Subdirección de Ciencias de la Tierra Sólida

MAPA SÍSMICO DEL PERÚ
 (1960-2016)

LEYENDA
 ● Sismos superficiales
 ● Sismos intermedios
 ● Sismos profundos

Escala: 1/5'500'000 Figura: 3.15

Engdahl, R. A. & Villaseñor (2002). Global Seismicity 1950-1999, in W. Lee, H. Kanamori, P. C. Jennings, and C. Kisslinger (editors), International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology, Part A, Chapter 41, pp. 163-190. Academic Press.
 Stein, S. & M. Wysession (2003). An Introduction to Seismology, Earthquake, and Earth Structure. Blackwell Publishing, 498 pp.
 Base Map: The Shuttle Radar Topography Mission, Rev. Geophys., 45, 1022004, doi:10.1029/2005RS003183

Figura 3.15. Distribución espacial de los sismos con foco superficial (círculos rojos), intermedio (círculos verdes) y profundos (círculos azules) ocurridos en el Perú entre 1960 -2016 ($M_L \geq 4.0$). El mapa sísmico fue elaborado por el Instituto Geofísico del Perú, (Tavera 2016).

3.4.3. Grandes sismos

Históricamente, grandes sismos han afectado a los departamentos ubicados en la zona costera de la región Central del Perú y al área urbana del distrito de Santa Rosa. Considerando que el distrito de Santa Rosa fue creado en el año de 1962, a continuación se considera describir los siguientes sismos:

- El **17 de octubre de 1966** a las 16:41 horas: Fue uno de los más destructores ocurridos en Lima después del sismo de 1940 de intensidades: VIII (MM) en Huacho, Huaura, Chancay, Puente Piedra, Santa Rosa y Supe VII (MM)
- El **31 de mayo de 1970** a las 15:23 horas: Fue uno de los sismos más catastróficos ocurridos en el Perú. A los tres minutos de ocurrido el sismo se produjo un aluvión en el Callejón de Huaylas al desprenderse la cornisa norte del nevado Huascarán, arrastrando 50 millones de metros cúbicos de nieve, barro y rocas. En el distrito de Santa Rosa el sismo fue sentido con intensidades del orden de V-VI (MM).
- El **3 de octubre de 1974** a las 19:01 horas: con epicentro localizado a 70 km al S-SO de Lima; en el distrito de La Molina, alcanzo intensidades de VIII-IX. El distrito de Santa Rosa también fue severamente afectado, sintiéndose el sismo con intensidades del orden de VII-VIII (MM).
- El **18 de abril de 1993**, a las 04:16 horas. Se produjo un fuerte sismo que sacudió la ciudad de Lima y alrededores, en un radio de aproximadamente de 140 km. En el distrito de Santa Rosa el sismo fue sentido con intensidades del orden de V-VI (MM).
- El **21 de junio de 1995** a las 11:33 horas, se registró un sismo de intensidad V en las ciudades de Chancay y Huacho. En el distrito de Santa Rosa el sismo fue sentido con intensidades del orden de IV-V (MM).
- El **15 de agosto de 2007** a las 23:40 horas: con epicentro localizado a 60 km de Pisco (Ica). Intensidades de VII-VIII en Pisco y VI en Lima.

En la Figura 3.16, se muestra el mapa de intensidades para los sismos de 1966, 1974, con epicentros en la ciudad de Lima, los cuales habrían ocasionado grandes daños en el distrito de Santa Rosa.

Para los sismos de 1966 y 1974 (Figura 3.16), se observan que las intensidades máximas para el distrito de Santa Rosa fueron del orden de VII-VIII en la escala

Mercalli Modificada (MM). Estos sismos generaron pérdidas humanas y materiales en las ciudades y localidades próximas al epicentro al igual que en el distrito de Santa Rosa (aunque este distrito contaba con una población pequeña). Asimismo, en la Figura 3.17 se observa alguno de los daños causados por los sismos de 1966 y 1974 en la Casona de San Marcos y en el distrito de Chorrillos, respectivamente.

Según Pulido et al. (2011) y Tavera (2014) existe una alta probabilidad de ocurrencia de un sismo de magnitud 8.5 Mw frente a la zona costera de la región central del Perú. Este sismo afectaría a la zona urbana del distrito de Santa Rosa pudiendo presentar daños estructurales importantes. Ante este escenario, es importante realizar estudios de la calidad de suelos a fin de preparar acciones para la Gestión de Riesgos de Desastres (GRD).

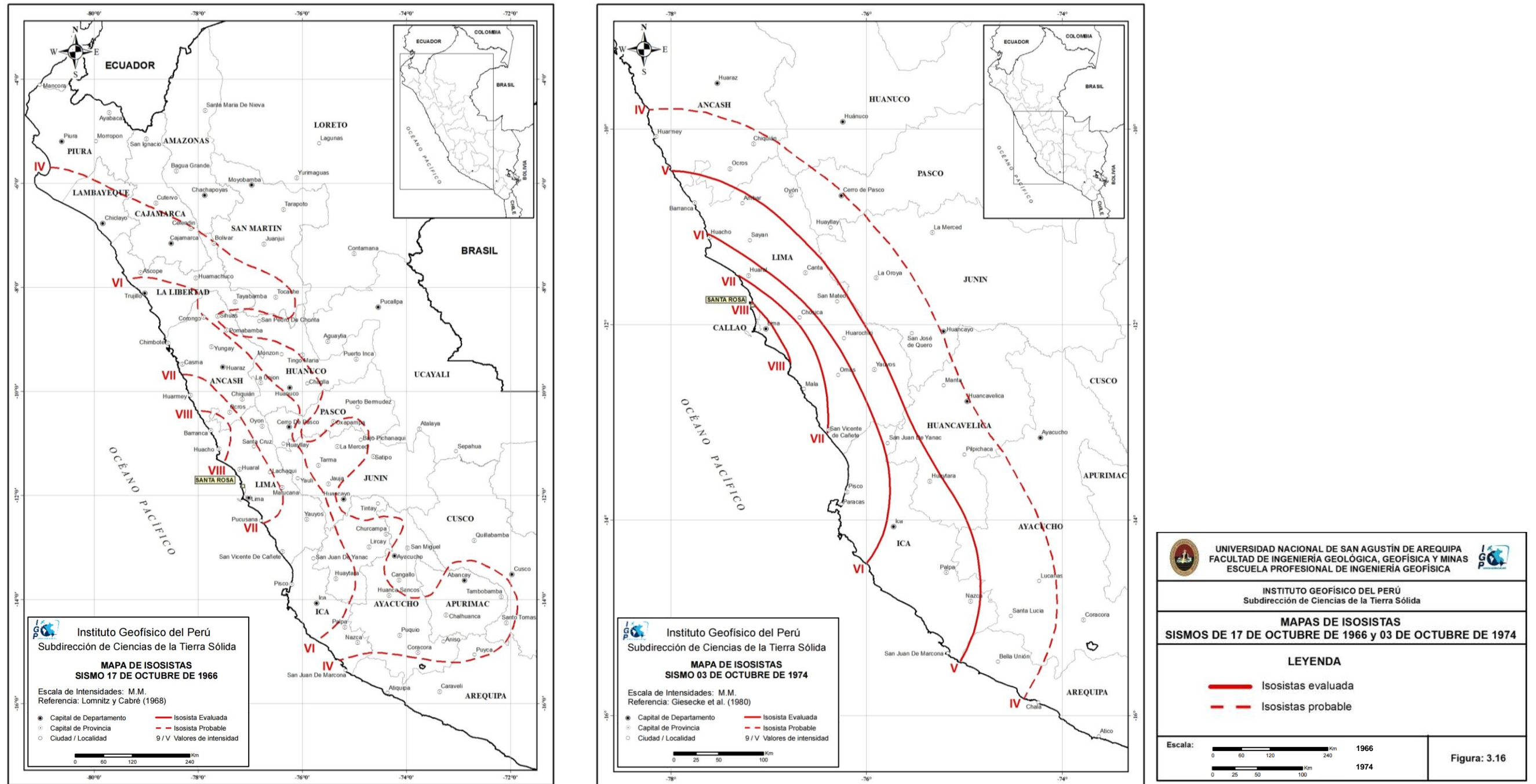


Figura 3.16. Mapas de intensidades para los sismos de 1966 y 1974. En: Tavera et al (2016), Catálogo General de Isosistas para Sismos Peruanos.



Figura 3.17. Daños ocasionados por los sismos de 1966 (Casona de San Marcos) y 1974 (distrito de Chorrillos).

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA Y PROCESAMIENTO DE DATOS

4.1. Instrumentación y adquisición de datos

4.1.1. Instrumentación y registros de Vibración Ambiental

En este estudio se utilizan registros de vibración ambiental obtenidos en el área urbana del distrito de Santa Rosa, haciendo uso de dos sismómetros de tres componentes ortogonales (Vertical, Norte-Sur, Este-Oeste) marca Lennarzt, modelo LE-3D/5s con un rango dinámico de 140Db y banda de frecuencias que fluctúa entre 0.2 y 40 Hz. El registrador es de la marca LEAS (Modelo City Shark II) que registra a una frecuencia de muestreo de 200 Hz en un rango de ganancias de 1024 dB, esto con el fin de obtener la máxima resolución en cada emplazamiento sin llegar a la saturación. La duración de las ventanas de tiempo de cada registro fue de 15 minutos y la información es almacenada en una memoria Compac Flash para su posterior análisis y procesamiento (Figura 4.1).

De acuerdo a estas características instrumentales, los registros de vibración ambiental fueron obtenidos a 200 muestras/segundo en cada componente de registro. El equipo sísmico muestra la información registrada en cada punto de medida, lo cual permite evaluar la calidad del dato, y de presentarse alguna alteración en su registro, volver a repetir la adquisición del dato hasta obtener una señal de buena calidad para los

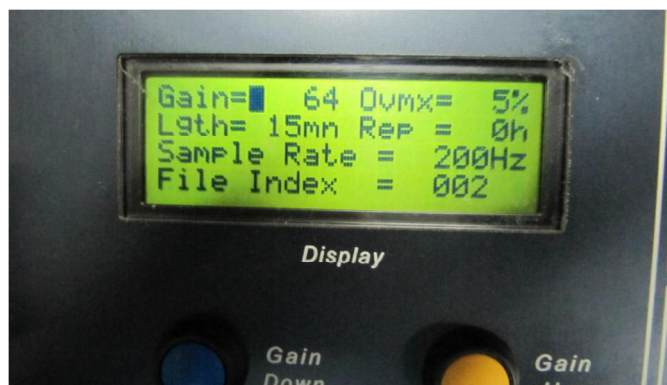
objetivos del estudio. El tiempo de registro y ubicación de cada punto fue controlado por un GPS (Figura 4.2).



Vista de los sensores y registradores



Vista del registrador City Shark II



Vista del Display del registrador

Figura 4.1. Equipo Sísmico utilizado en este estudio para la toma de datos en campo.

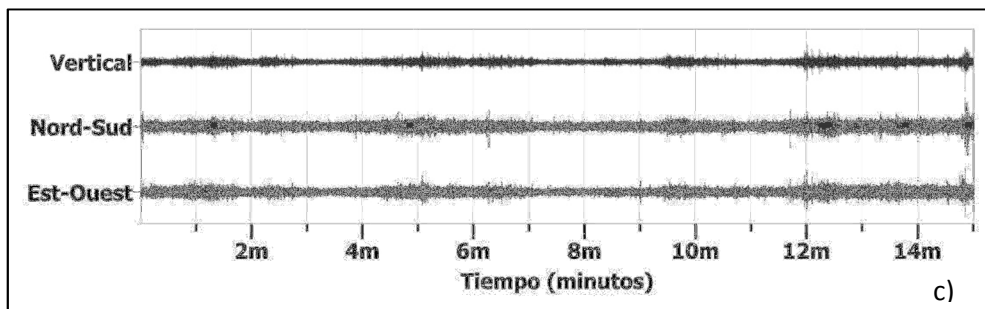
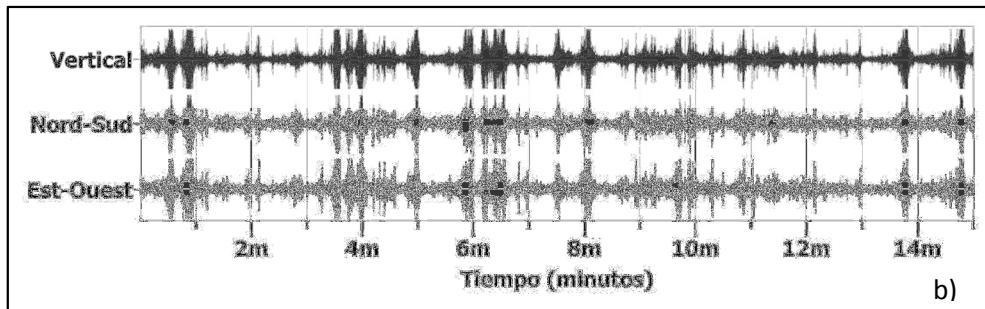


Figura 4.2. a) Imagen donde se observa la disposición del equipo City Shark II a la hora de tomar los datos en campo. b) Ejemplo de un registro de vibración ambiental perturbado por el paso de peatones cerca del sensor y c) Ejemplo de un registro de vibración ambiental obtenido durante un periodo estable. En la imagen superior se observa al autor durante la toma de datos en campo.

Los datos obtenidos en cada punto fueron transferidos a una estación de trabajo para el cambio de formatos respectivos y corrección por línea base (offset), sin la utilización de ningún tipo de filtro a fin de no alterar la señal original. Asimismo, las incidencias y características instrumentales consideradas en cada punto de medición fueron cuidadosamente anotadas en una cartilla y cuyo formato permite contar con el total de información para la evaluación de las condiciones en las cuales se adquirieron los registros antes de su análisis y procesamiento

A fin de realizar el análisis y evaluación de los suelos presentes en el área urbana de Santa Rosa y estimar el comportamiento dinámico de estos, se dividió al Distrito en cuatro áreas en función del índice poblacional, superficie habitada y ubicación geográfica (Figura 4.3).

En resumen, la recolección de datos se realizó de la siguiente manera:

- Los puntos de toma de datos fueron seleccionados considerando el mapa catastral del área urbana del distrito de Santa Rosa llegando a considerar un total de 141 puntos, y de ellos, 41 se encuentran en el Área-1; 63 en el Área-2; 6 en el Área-3 y 31 en el Área-4.
- Durante la toma de datos de vibración ambiental se cuidó el no registrar ruido producido por el paso de peatones o tránsito de vehículos.

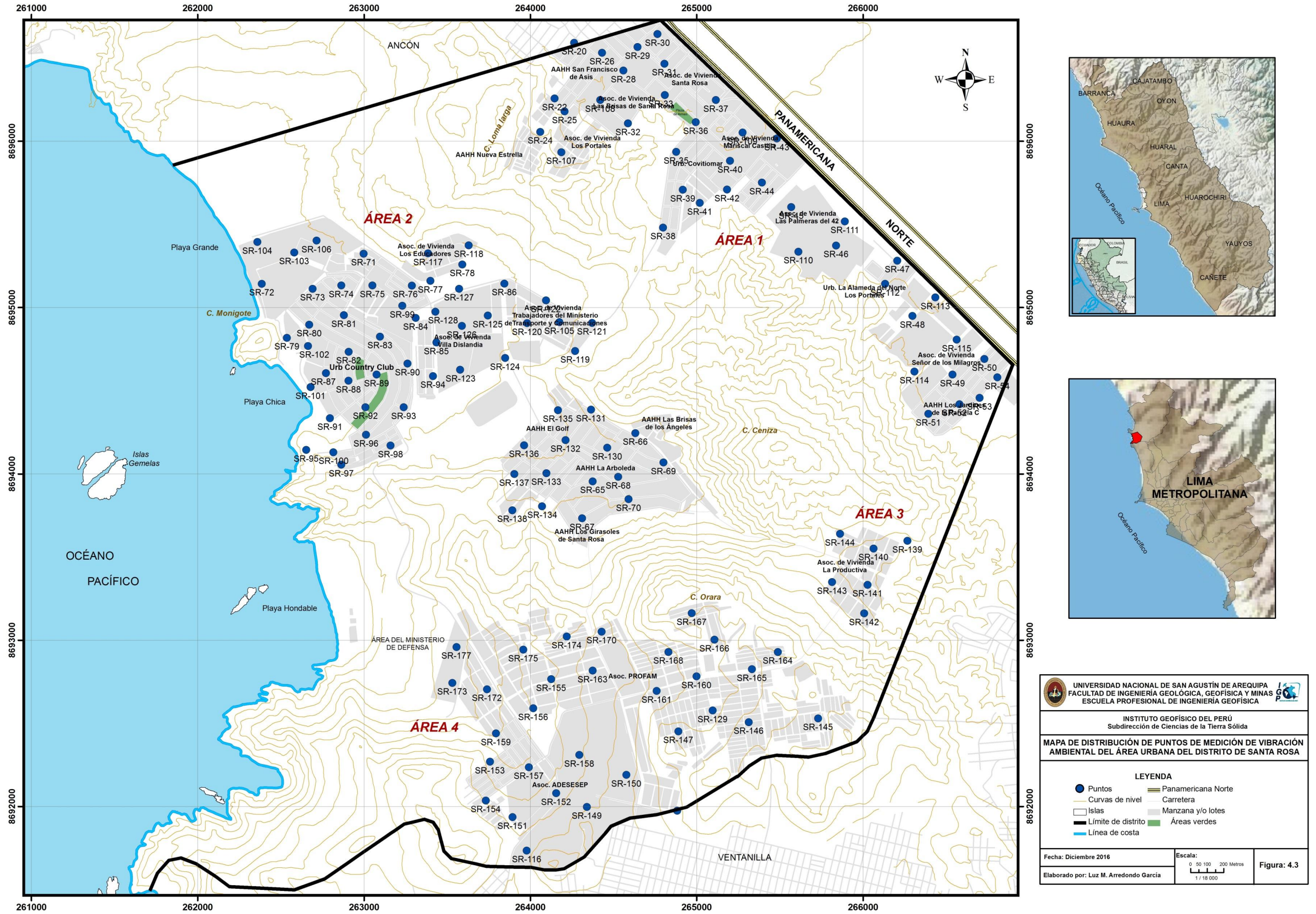


Figura 4.3. Distribución de los puntos de medida de vibración ambiental en el área urbana del distrito de Santa Rosa.

4.1.2. Arreglos Sísmicos

La primera etapa consiste en el registro de las ondas superficiales utilizando un equipo de Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW) que consta de un registrador multipropósito, modelo GEODE (24 canales), geófonos de 4.5Hz y registros a una resolución de 24 bits con un rango dinámico mayor a 110dB. Este digitalizador es operado desde una Laptop. Como fuente de impacto y/o energía para generar las ondas sísmicas, se utilizó un martillo de 20 lbs y un disparador (*trigger*) colocado en el martillo para iniciar la grabación y almacenamiento al detectar la vibración asociada a la fuente impulsiva. También se hizo uso de cable sísmico de 24 canales para la conexión de los geófonos y una placa metálica de 15cm x 15cm que sirve de interfaz entre el suelo y la fuente de impacto (Figura 4.4).

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.



Figura 4.4. Instrumental utilizado en la toma de datos en la técnica de Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW): Línea LR03-SR.

Los registros fueron grabados empleando una frecuencia de muestreo de 4000 Hz con un pre-trigger de -0.1s y una longitud de registro de 2 segundos. Para eliminar el registro de ruido de fondo se realizaron entre 6 y 12 golpes en cada punto de disparo, permitiendo el estaqueo temporal de los datos y así, aumentar la coherencia en los resultados. La calidad del registro fue verificada en campo y analizada con el software SeisImager, específicamente el módulo WaveEq (Surface Wave Analysis) y Surface Wave Analysis Wizard.

Condiciones del terreno para la toma de datos

Para la toma de datos se ha tenido en cuenta las siguientes consideraciones:

- La técnica de Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW) se basa fundamentalmente en el supuesto de que el medio en estudio es lateralmente homogéneo y debe realizarse sobre una superficie plana, ya que posibles cambios en la topografía a lo largo de una línea de estudio afecta la naturaleza de propagación de las ondas de superficie. Las pendientes planas o suaves son adecuadas para la aplicación de esta técnica (Figura 4.5).
- La geometría de un tendido sísmico es definida al inicio; mientras que, la selección de la fuente sísmica y el espaciamiento entre geófonos dependen de la profundidad de subsuelo a investigar.
- Para los puntos de disparo se recomienda realizarlos al centro y en cada extremo del arreglo con el fin de obtener un conjunto de registros. La ubicación de los puntos de tiro se determina en función de la cobertura requerida, y en términos de la superficie del refractor a ser caracterizada. El beneficio de realizar tres o más disparos en un mismo tendido sísmico, es la adquisición de datos adicionales sobre un mismo refractor, lo que permite caracterizar dicha superficie a mayor detalle. Puntos de disparo adicionales en los extremos del arreglo se puede utilizar, si se asume una distribución horizontal de capas. El número de disparos realizados en un tendido pueden ser 6 o más dependiendo de la calidad de registros que se obtenga en campo. Los registros tomados en un mismo punto de disparo, son apilados con la finalidad de mejorar la relación señal/ruido.

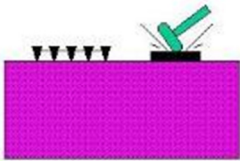
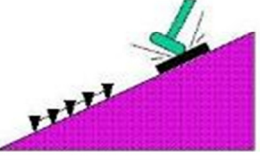
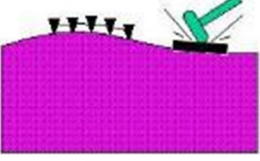
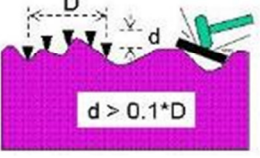
Topografía del suelo	Aplicación del método MASW
	Si
	Si
	Si
	No

Figura 4.5. Condiciones típicas del terreno favorable y desfavorable para la aplicación de la técnica de Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW).

En la Figura 4.6, se presenta la distribución espacial de las 7 líneas de Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW) consideradas en el área urbana de Santa Rosa, las cuales están representadas por las líneas en color rojo y codificadas de la siguiente manera: LR01-SR, LR02-SR, LR03-SR, LR04-SR, LR05-SR, LR06-SR, LR07-SR. Como puede verse, en cada área se ha realizado un tendido de Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW), ello permite conocer la velocidad de las ondas de corte y el espesor de las capas sedimentarias en cada área.

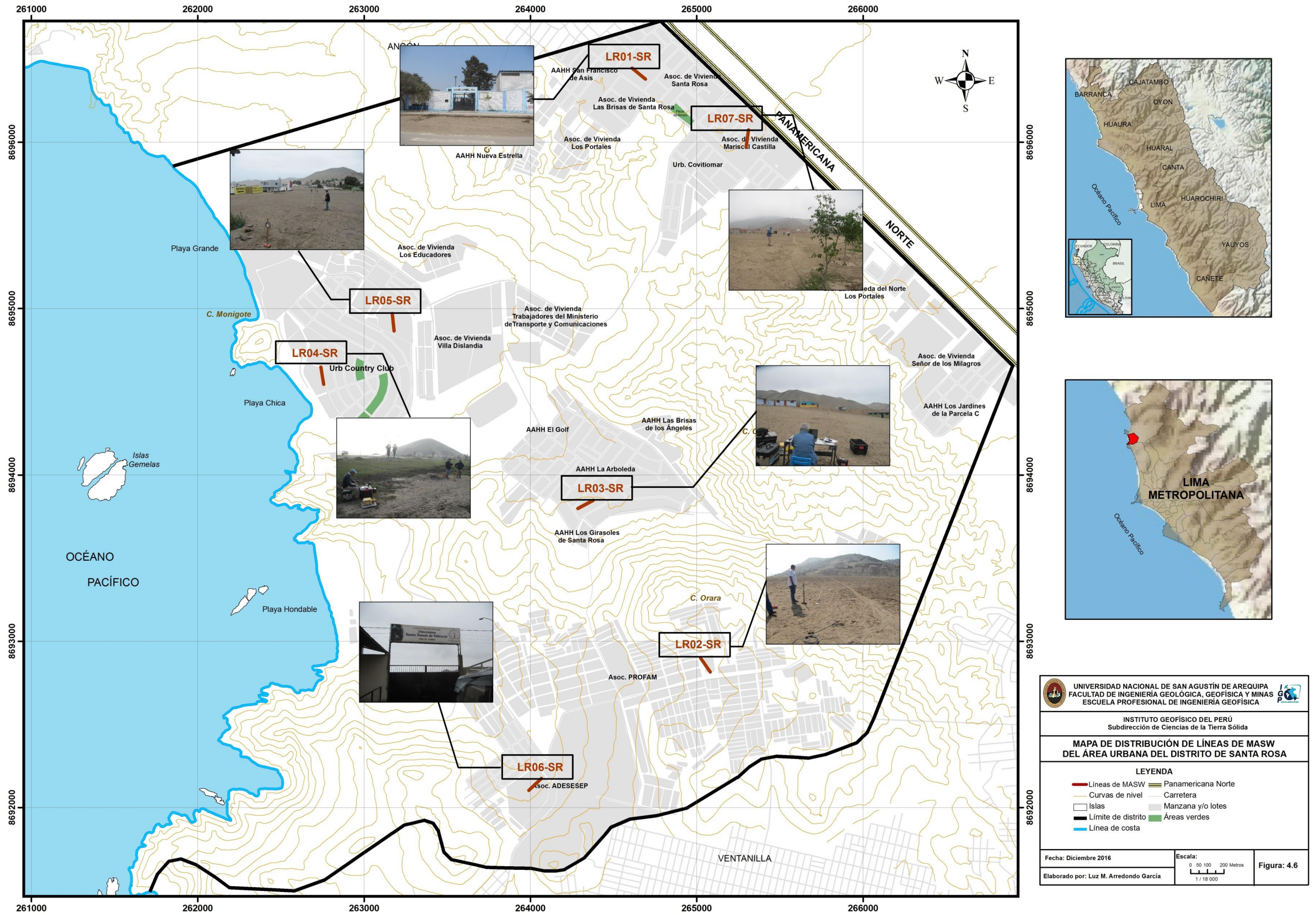


Figura 4.6. Mapa de distribución de las líneas de Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW) en el área urbana de Santa Rosa.

4.1.3. Ensayo Geotécnico

En el área urbana del distrito de Santa Rosa, los estudios geotécnicos han sido realizados a partir del análisis de muestras de suelos, obtenidos directamente de calicatas efectuadas en el área urbana de la ciudad.

Las excavaciones estuvieron a cargo de personal técnico del Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), quienes se encargaron también de obtener dos muestras de suelos por calicata, para su posterior análisis geotécnico en laboratorio. Las muestras se obtuvieron de la capa más profunda y representativa del tipo de suelo en el sitio en evaluación. Para el estudio geotécnico en el área urbana del distrito de Santa Rosa, se elaboran 7 calicatas de exploración a cielo abierto con dimensiones de 1.5 m x 1.5 m de lado x 3.0 m de profundidad máxima, ver Figura 4.7 y Tabla 4.1. Las calicatas fueron codificadas por SR-1, SR-2, SR-3, SR-4, SR-5, SR-6 y SR-7.

Según Das (2001), para clasificar apropiadamente un suelo utilizando el sistema SUCS, debe conocerse el porcentaje de grava, el porcentaje de arena, el porcentaje de limo y arcilla, los coeficientes de uniformidad y curvatura, y el límite líquido e índice de plasticidad. Los primeros cinco datos se obtienen a partir del análisis granulométrico.

Tabla 4.1. Coordenadas de ubicación de las Calicatas.

CALICATA	PROF. (m)	COORDENADAS		COTA (m)	UBICACIÓN
		UTM			
SR - 1	3	8695124N	262953E	31	Urb. Country Club Balneario (zona Norte)
SR - 2	3	8694820N	262943E	30	Urb. Country Club Balneario (zona centro)
SR - 3	3	8694600N	263435E	46	Asoc. Viv. Villa Dislandia Balneario (zona Sur)
SR - 4	3	8694138N	264293E	90	AA.HH. El Golf, PROFAM PERU. Autódromo (zona Este)
SR - 5	3	8692440N	263967E	180	AA.HH. ADESESEP La Bajada
SR - 6	3	8696438N	264551E	48	Urb. Virgen del Rosario Extremo NE del distrito
SR - 7	3	8696282N	265308E	53	Asoc. Mariscal Castilla Entrada Este del distrito

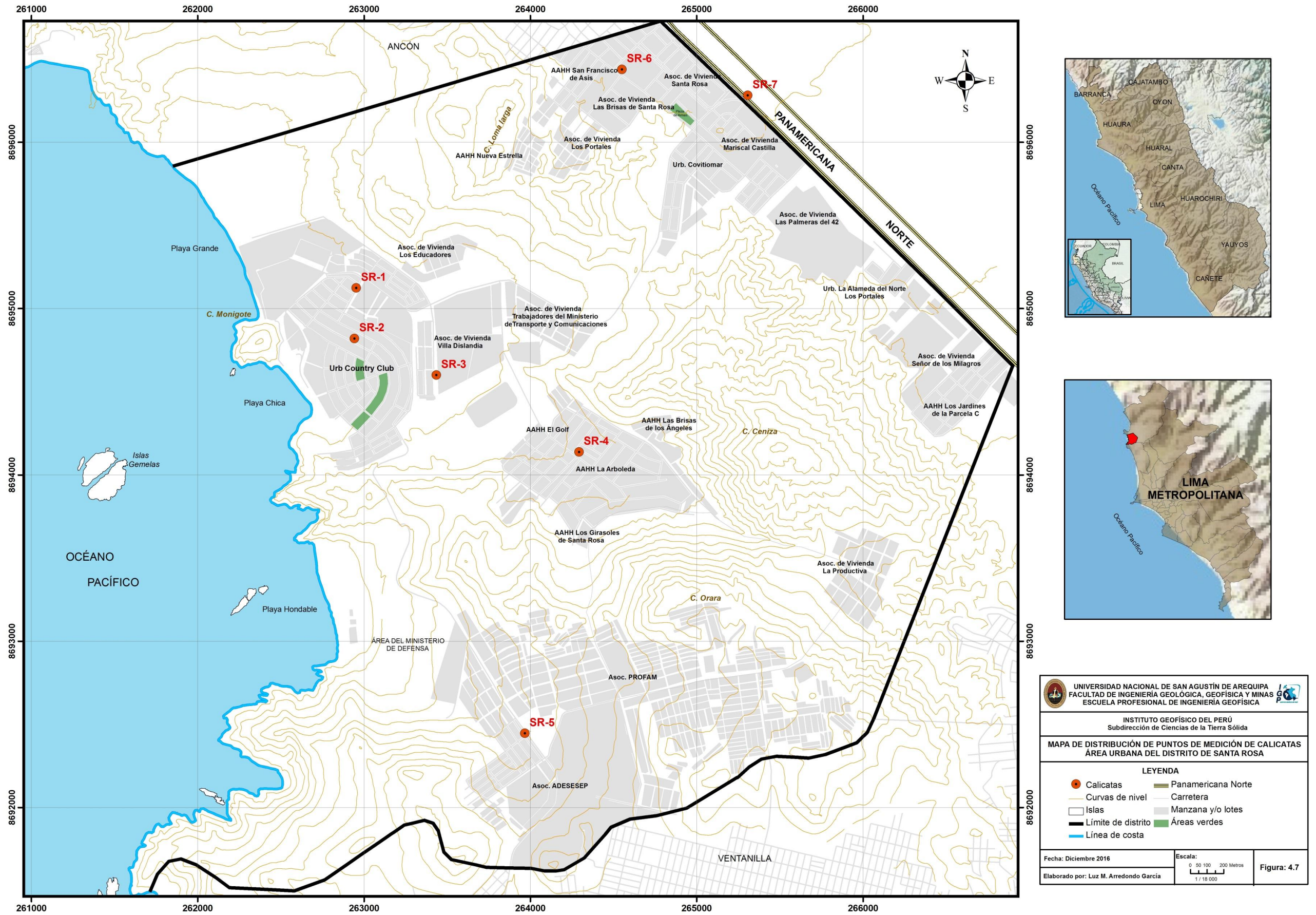


Figura 4.7. Distribución espacial de las siete (7) calicatas ejecutadas en el área urbana de Santa Rosa, (Ver Tabla 4.1).

4.2. Procesamiento de datos

4.2.1. Técnica de Nakamura (H/V)

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

- Los registros de vibración ambiental fueron tratados por ventanas de 2048 muestras (20 segundos) con un traslape del 10%. Debido a la disponibilidad de considerable tiempo de registro, se procedió a seleccionar de forma aleatoria 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 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 y la amplitud máxima relativa.

Para definir la frecuencia predominante se consideran tres criterios:

- Primero, debe estar presente en un rango de interés que fluctúa entre 0.4 a 10 Hz (Lermo y Chávez-García -1994 a,b; Lachet y Bard, 1994);
- Segundo, debe presentar amplificaciones relativas de al menos 2 veces (se considera la amplitud de “1” como punto de referencia)
- Tercero, se considera el pico/rango de frecuencias más representativos para cada punto de medida.

Finalmente, las frecuencias son expresadas en periodos dominantes.

En la Figura 4.8 se muestran ejemplos de ventanas de registro de vibración ambiental (rectángulos en colores) en sus tres componentes con sus respectivos gráficos de razones espectrales H/V, donde se identifican las frecuencias dominantes (barra de color gris). Las líneas gruesas en las gráficas H/V indican el promedio de las curvas de razones espectrales y las líneas discontinuas su desviación estándar.

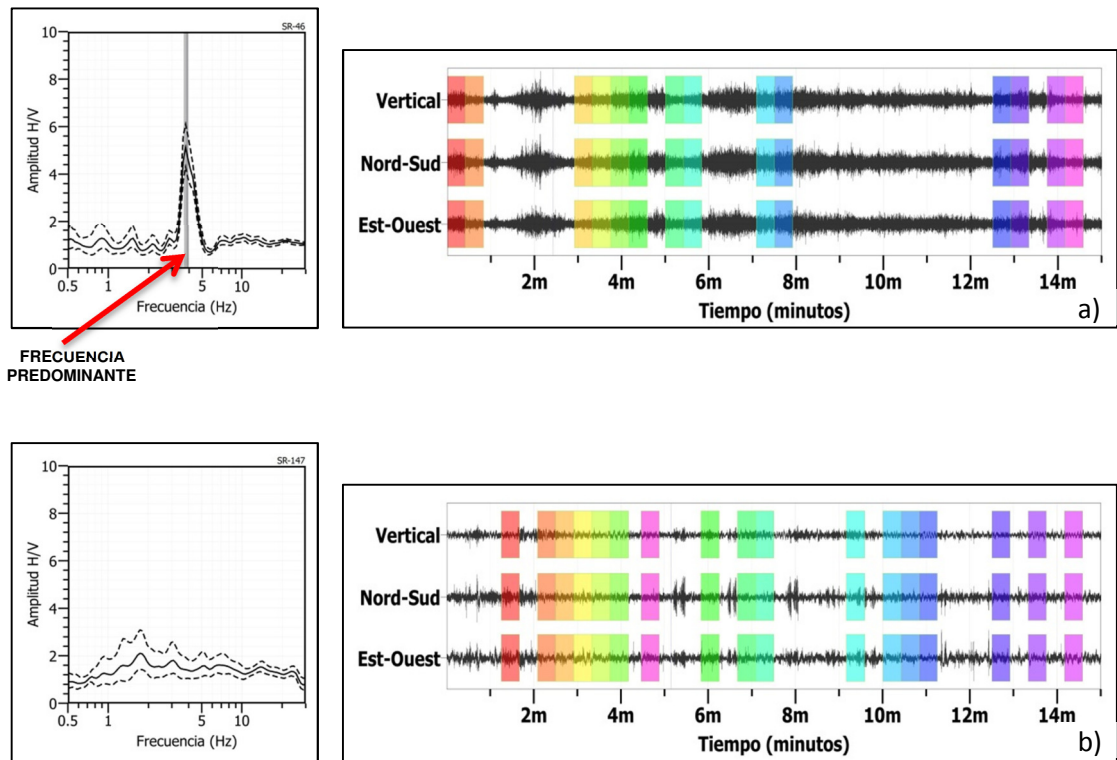
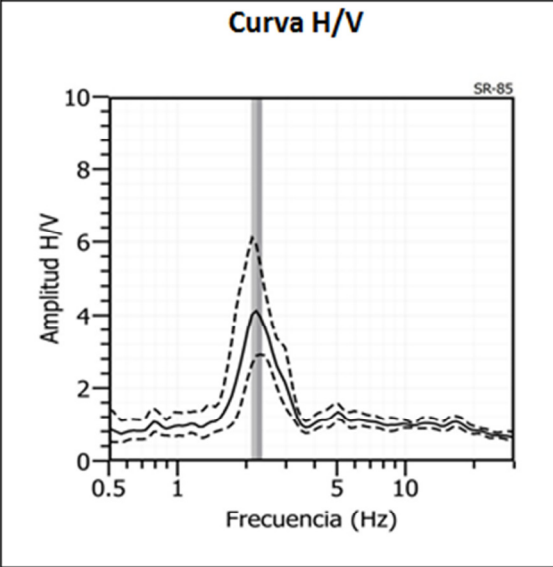


Figura 4.8. Registros y razones H/V de mediciones de vibración ambiental. a) Registro donde se identifican frecuencias predominantes, b) Registro en el cual no resalta ninguna frecuencia predominante.

En la Figura 4.9 se muestra un ejemplo del procedimiento seguido para el punto SR-085. En su extremo superior se muestra el registro de vibración ambiental (15 minutos) analizado con ventanas de 20 segundos; en el extremo inferior izquierdo, la curva promedio de H/V con su respectiva desviación estándar, resaltando en este caso, la frecuencia de 2.23 Hz, con amplificaciones relativas de 4 veces. Hacia el extremo inferior derecho de la figura se muestra la imagen del punto de medida. Este procedimiento de análisis se aplica al total de la información obtenida en campo. Este procedimiento de análisis se aplica al total de la información obtenida en campo.

Zonificación Sísmica - Geotécnica
AREA URBANA DE SANTA ROSA
Frecuencias predominantes

SR-085



Interpretación de resultados				
Dudoso	Pico(s) H/V (Hz)	f0	f1	f2
Ningún pico	(Hz) <input checked="" type="checkbox"/>	2.23448
Observaciones				
Var. azimuthal	Homogénea		Amplitud max. Entre y°	

Figura 4.9. Ejemplo de la ficha H/V para el punto SR-085 en la cual se recopila la información registrada y analizada. Arriba, señal registrada; Medio; razón espectral (H/V) en línea gruesa y su desviación estándar en línea discontinua. Imagen del punto de medida y Abajo: resultados.

4.2.2. Técnica de Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW)

Para aplicar la técnica de Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW), se consideran los siguientes pasos:

- Observación de los datos: verificar la cantidad de ruido existente en cada registro, ya que la calidad del registro depende de la intensidad con el que se da el golpe en el punto de disparo o “shot point” (Figura 4.10a).
- Obtención de la curva de dispersión de las ondas superficiales (Figura 4.10b).
- Inversión de la curva de dispersión para obtener el perfil de velocidad de la onda S vs profundidad (Figura 4.10c).

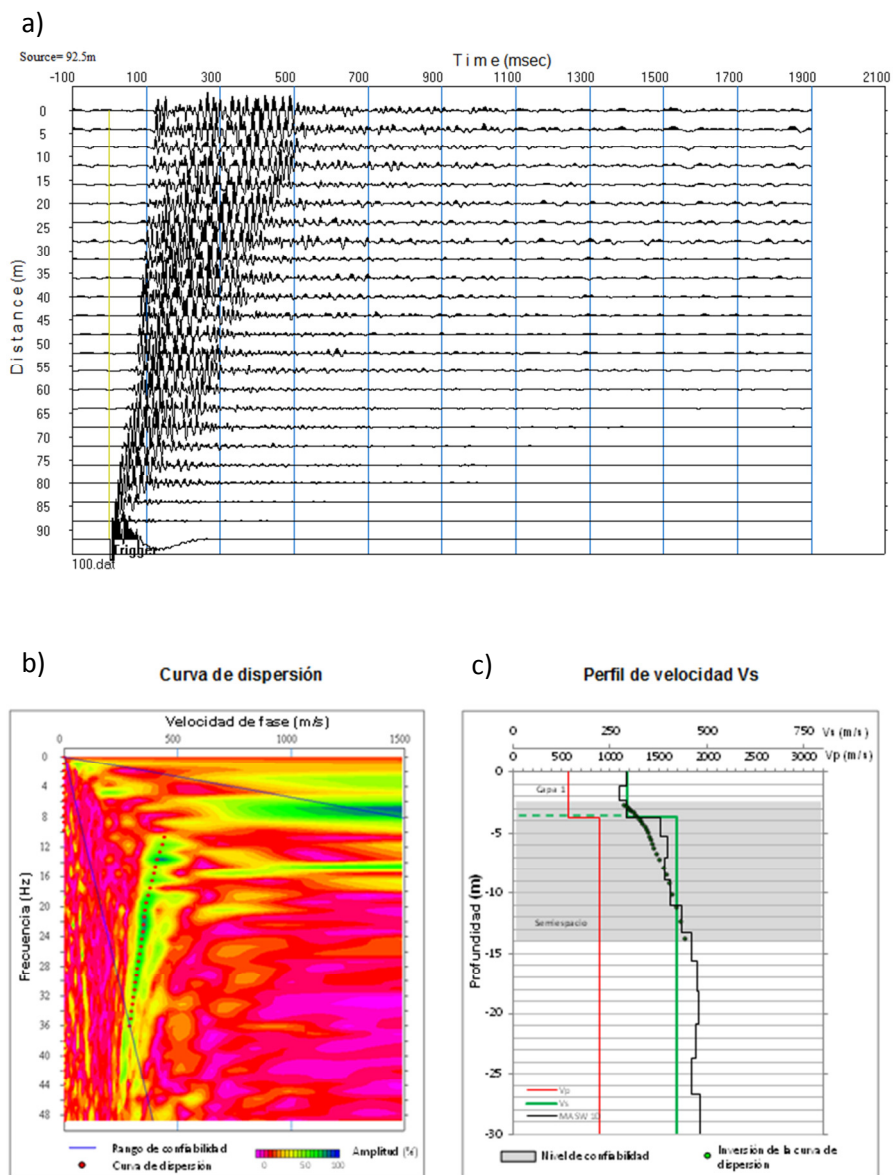


Figura 4.10. Metodología aplicada para el tratamiento de la información de ondas superficiales (MASW).

4.2.3. Técnica de Calicatas

Para aplicar la técnica de Calicatas, se consideran los siguientes pasos:

- De la primera muestra de suelo obtenida se hicieron los análisis granulométricos, límites de elasticidad y contenido de humedad y, con estos datos, se procedió a realizar la Clasificación Unificada de Suelos (SUCS) de la muestra.
- La segunda muestra fue utilizada para el análisis de corte directo que consiste en la aplicación de cargas diferenciadas hasta que falle la muestra. Esto 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 de densidad máxima que también permite estimar el valor de capacidad portante. En la Figura 2.11 (Ver página 31), se muestra la ficha correspondiente a la calicata SR-1, en la cual se identifica la fecha de realización, ubicación geográfica, además de las características geológicas y geomorfológicas del punto estudiado.

4.3. Integración de la información de H/V y MASW

Combinando los resultados obtenidos a partir de la aplicación de la técnica de Vibración Ambiental (H/V) y el Análisis Multicanal de las Ondas Superficiales (MASW), se procederá a calcular la profundidad del basamento para cada punto de H/V utilizando la siguiente relación (Kramer, 1996):

$$H = \frac{V_s}{4F_0}$$

Dónde:

H = profundidad del basamento.

F₀ = frecuencia fundamental obtenida con la técnica H/V.

V_s = velocidad de la onda S obtenida con las profundidades MASW.

CAPÍTULO V

ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1. Caracterización Geofísica

5.1.1. Análisis de frecuencias predominantes

A partir de los valores extraídos de las razones espectrales H/V, se obtiene el mapa de distribución espacial de los valores de frecuencias predominantes (fluctúan entre 1.7 y 14 Hz, observando que valores similares se concentran en ciertas zonas del área urbana del distrito de Santa Rosa (Figura 5.1), lo cual requiere un análisis detallado para comprender su comportamiento dinámico de los suelos.

En general, las razones espectrales para los puntos de medición, presentan un solo pico de frecuencias predominantes con amplificaciones similares, lo cual sugiere que el suelo sobre el basamento rocoso es homogéneo en el área urbana del distrito de Santa Rosa. En la Figura 5.1 se presentan ejemplos de razones espectrales obtenidas para las diferentes áreas definidas en este estudio:

- Área-1: SR-20, SR-26, SR-35, SR-38 y SR-39.
- Área-2: SR-67, SR-73, SR-83, SR-88, SR-123 y SR-135.
- Área-3: SR-139, SR-140, SR-141, SR-142 y SR-144.
- Área-4: SR-155, SR-156, SR-157, SR-163 y SR-172.

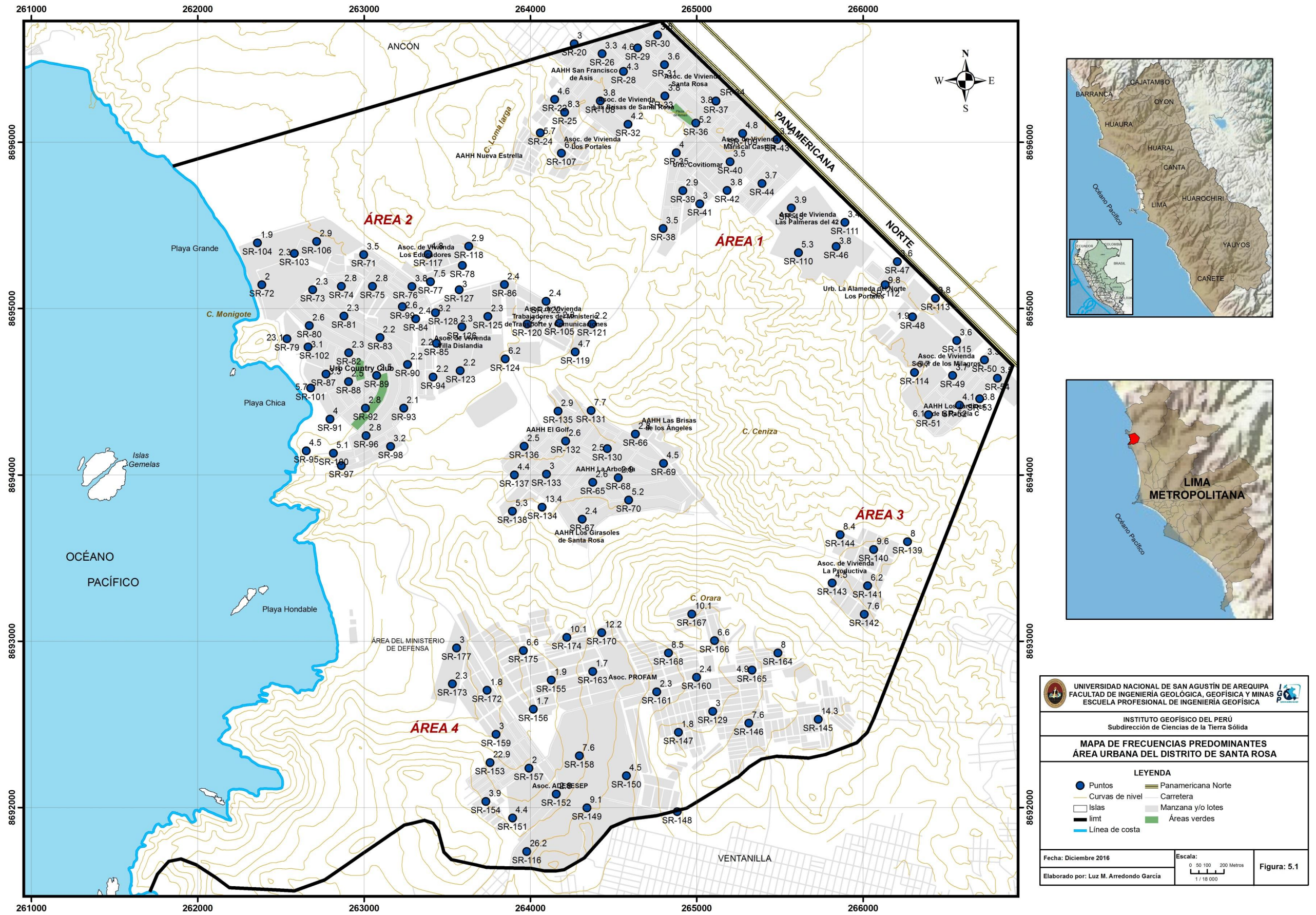


Figura 5.1. Mapa del área urbana del distrito de Santa Rosa y la distribución espacial de las frecuencias predominantes F_o .

En las Figuras 5.2a. se muestran las razones espectrales obtenidas para el Área-1, ubicadas sobre depósitos aluvial-eólicos donde resaltan frecuencias predominantes que fluctúan entre 3Hz y 4Hz con amplificaciones máximas relativas de al menos 5 veces. Asimismo, la forma y ubicación de los picos, y valores de amplificaciones máximas relativas permite inferir que los suelos presentes en esta Área son relativamente blandos y de gran espesor.

En la Figura 5.2b. se muestran las razones espectrales obtenidas para el Área-2, ubicada sobre depósitos aluvio-marinos, rellenos de arena gruesa con fragmentos de roca sub-angulosa de baja compactación y donde sobresalen las frecuencias predominantes que fluctúan entre 2 a 3Hz con amplificaciones máximas relativas de al menos 6 veces. De similar manera al Área 1, los suelos presentes en esta Área son relativamente blandos pero con mayores espesores que el Área 1.

En la Figura 5.2c. se muestran las razones espectrales obtenidas para el Área-3, compuesta por suelos arenosos, con fragmentos de roca sub-angulosa donde sobresalen frecuencias predominantes que fluctúan entre 6 a 10Hz. Tomando en cuenta la ubicación y forma de los picos de las razones espectrales, y amplificaciones relativas de al menos 6 veces, se puede inferir que los suelos presentes en esta Área corresponderían a suelos menos blandos que los presentes en las Áreas 1 y 2 y con menores espesores.

En la Figura 5.2d. se muestran las razones espectrales obtenidas para el Área-4, que se caracteriza por presentar depósitos aluvio-eólicos donde sobresalen las frecuencias predominantes que fluctúan entre 1Hz a 2Hz con amplificaciones máximas relativas de hasta 4 veces, estos valores de amplificaciones bajos dan indicios de la presencia de los suelos más estables del área urbana del distrito de Santa Rosa. Asimismo, los valores de frecuencias predominantes permiten inferir que en esta Área los suelos presentarían mayores espesores.

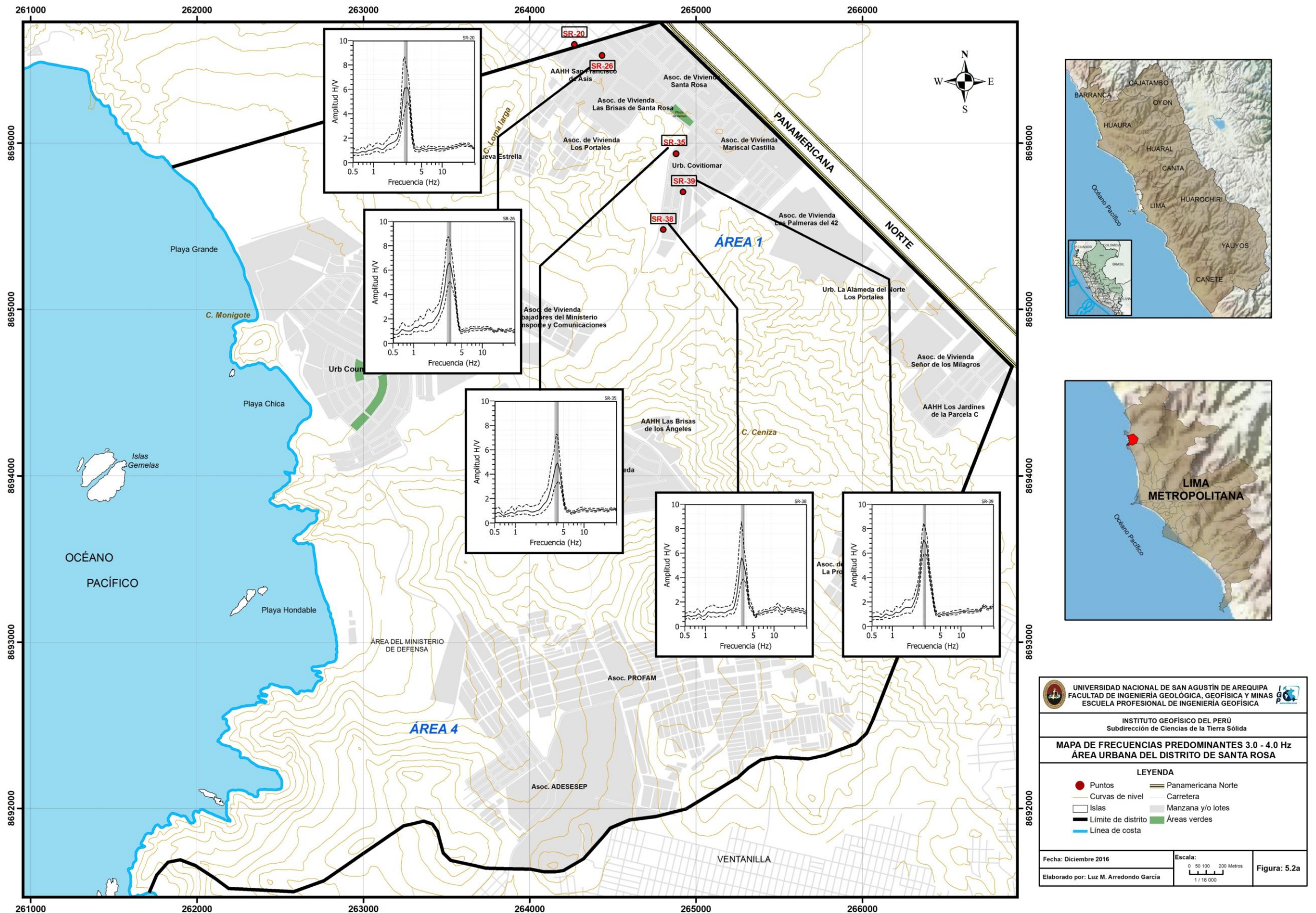


Figura 5.2a. Ejemplo de gráficas de razones espectrales obtenidas en el extremo NE del área urbana de Santa Rosa (Área-1). Las líneas delgadas continuas corresponden a las razones espectrales obtenidas para cada ventana de observación, la línea gruesa el promedio de estas curvas y las líneas discontinuas, su desviación estándar.

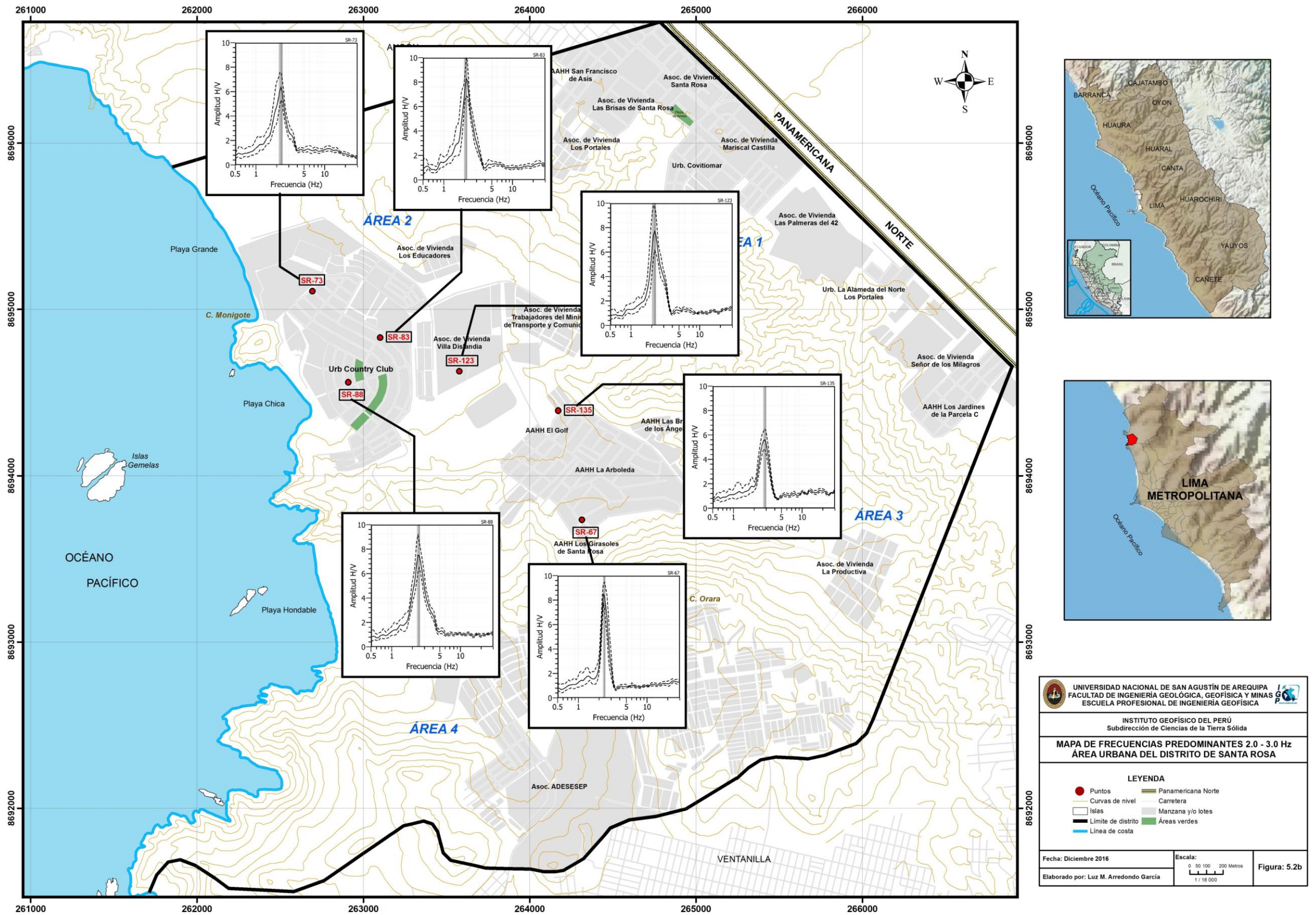


Figura 5.2b. Ejemplo de gráficas de razones espectrales obtenidas en el extremo Oeste y Centro del área urbana de Santa Rosa (Área-2).

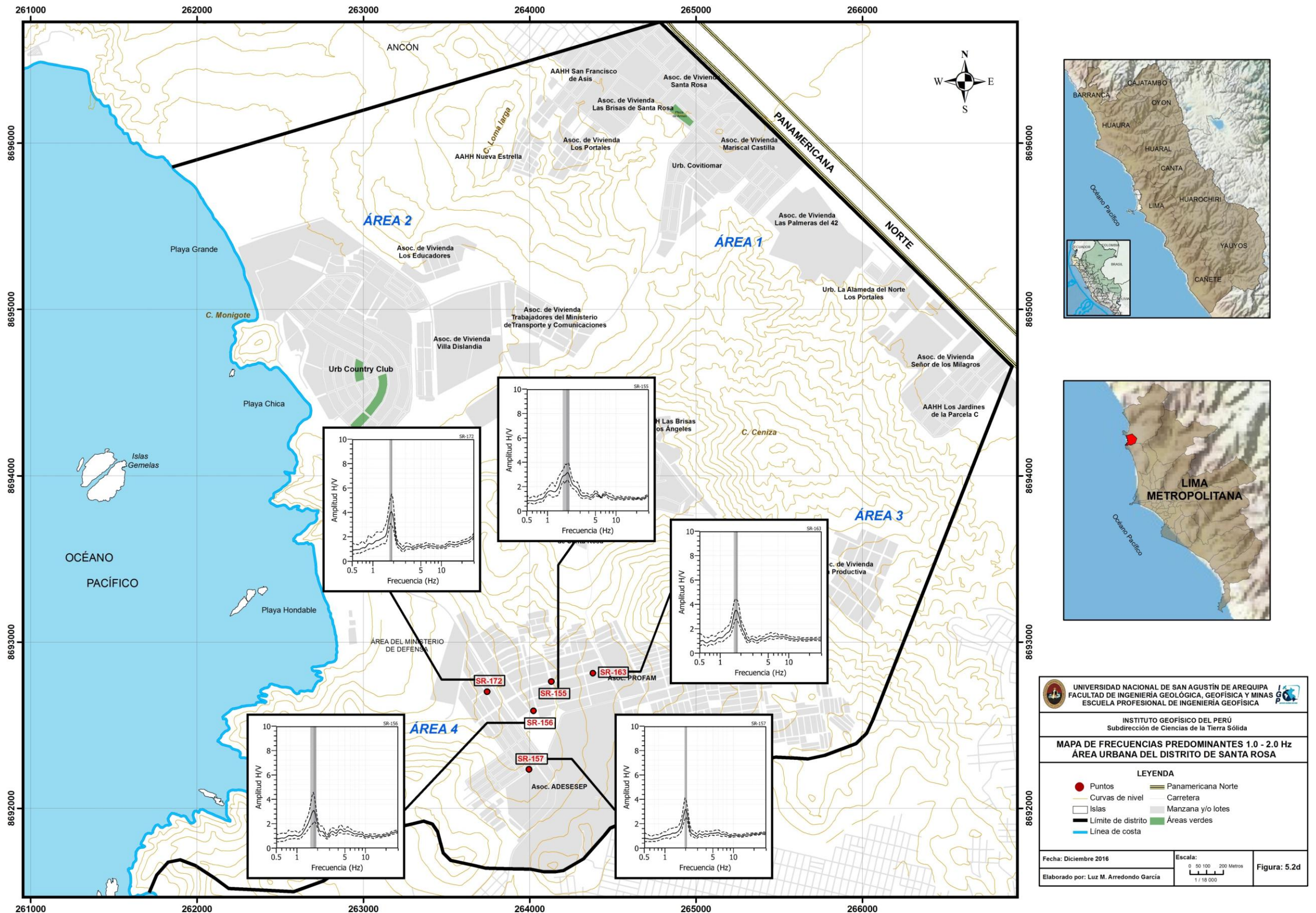


Figura 5.2d. Ejemplo de gráficas de razones espectrales obtenidas en el extremo SO del área urbana del distrito de Santa Rosa (Área-4).

En general, en función a los valores de frecuencias predominantes presentes en el área urbana del distrito de Santa Rosa, se puede inferir que los suelos de las Áreas 1, 2 y 4 presentan una capa de gran espesor o más profundos en comparación a los suelos del Área 3, que presentarían suelos más superficiales o con menor espesor. Estos resultados son coherentes con la morfología de la zona de estudio.

Por otro lado, en la Figura 5.3 se presenta el mapa de amplificaciones relativas, donde los puntos azules representan a las amplificaciones menores a 6 veces y los puntos rojos mayores a 6 veces. La distribución de los valores de amplificaciones son heterogéneas; asimismo, en el área 2, se observa el predominio de amplificaciones mayores a 6 veces a diferencia de las otras áreas, lo que indicaría que en esta zona, los suelos son más inestables o blandos y en el caso de la ocurrencia de un sismo, la señal se amplificaría más que en las otras áreas.

En la Tabla 5.1, se muestra para cada área dividida en la zona de estudio; el rango de frecuencias en cada una de ellas, las frecuencias predominantes, profundidad asumida y las amplificaciones para cada área definida en la zona urbana del distrito de Santa Rosa.

Tabla 5.1. Características de las áreas presentes en la zona de estudio.

ÁREA	FRECUENCIA (Hz)	F ₀ (Hz)	PROFUNDIDAD	AMPLIFICACION
1	2.9-9.8	3-4	Regular	2-9
2	1.9-13	2-3	Menores a regular	2-9
3	4.5-9.6	6-10	Menores	4-7
4	1.7-14	1-2	Mayores	2-8

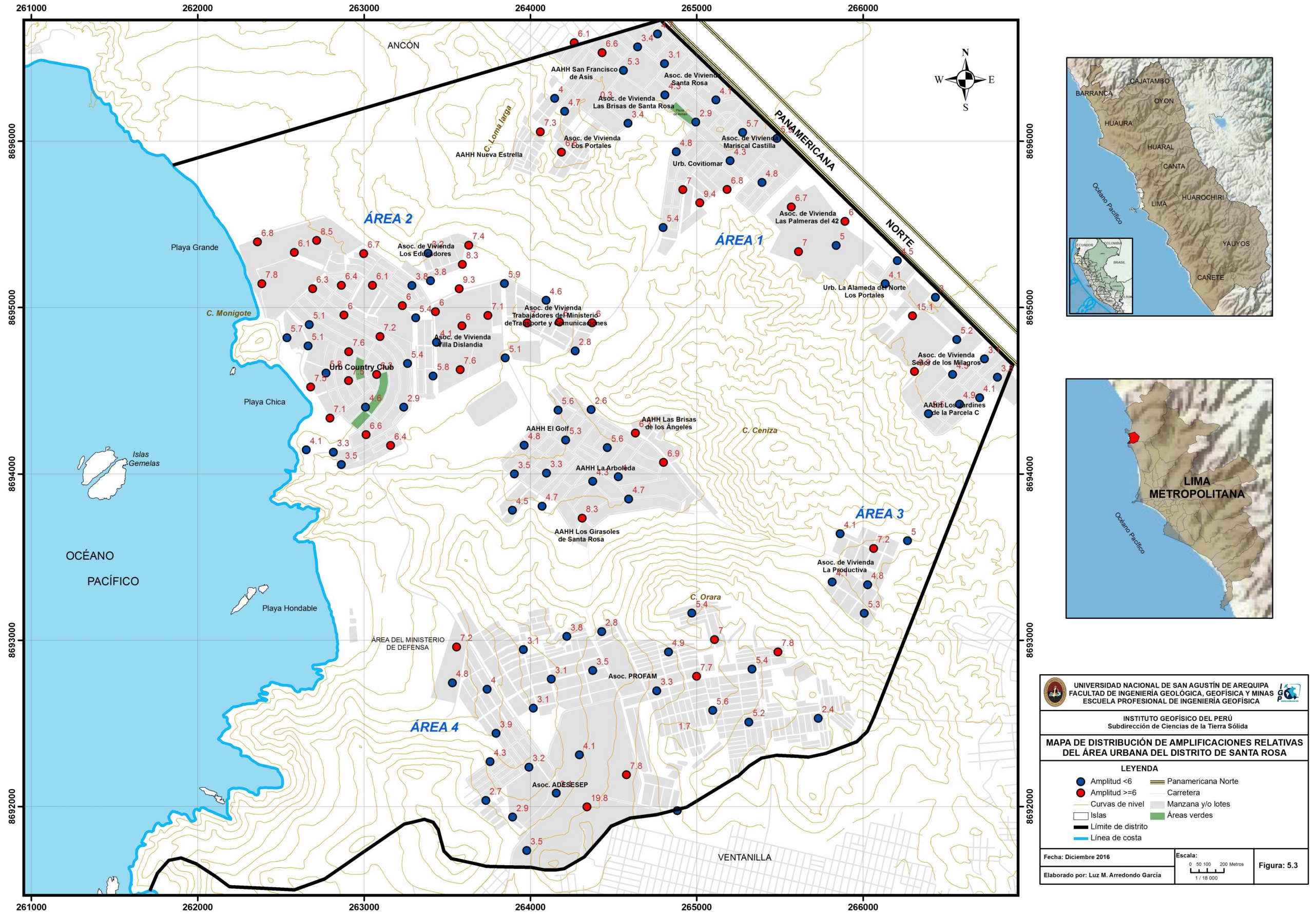


Figura 5.3. Mapa del área urbana del distrito de Santa Rosa y distribución espacial de los valores de amplitudes relativas.

5.1.2. Análisis de las velocidades de las ondas de corte (V_s)

Para el análisis de los resultados se considera la clasificación que la Norma Técnica E-030 establece, para cada tipo de suelo. Según la Norma Técnica E-030 los rangos de velocidades para las ondas de corte (V_s) son:

- Rocas duras, velocidades $V_s > 1,500$ m/s.
- Rocas o suelos muy rígidos, velocidades V_s de 500 a 1500 m/s.
- Suelos medianamente rígidos, velocidades V_s de 180 a 500 m/s.
- Suelo blando, velocidades $V_s < 180$ m/s.

Considerando que los suelos con velocidades de 500 a 1500 m/s abarcan un rango de velocidades muy amplio, se ha visto por conveniente subdividirlos; debido a los resultados obtenidos en el estudio y a fin de realizar una mejor interpretación, los rangos de velocidades para las ondas de corte (V_s) son:

- Rocas duras, velocidades $V_s > 1,500$ m/s.
- Rocas moderadamente duras, velocidades V_s de 800 a 1500 m/s.
- Suelo muy duro o roca blanda, velocidades V_s de 500 a 800 m/s.
- Suelo duro, velocidades V_s de 180 a 500 m/s.
- Suelo blando, velocidades $V_s < 180$ m/s.

A continuación, se describe las características de cada uno de los perfiles sísmicos obtenidos para conocer la velocidad de las ondas de corte (V_s) en el área urbana del distrito de Santa Rosa.

Arreglo Lineal LR01- SR:

Este arreglo se realizó en la Institución Educativa 2066-Almirante Miguel Grau - Asociación de Vivienda Santa Rosa, ubicado en el extremo NO de la zona de estudio. En la Figura 5.4a, se observa la relación de Velocidad de Fase vs Frecuencia, donde la curva de dispersión está limitada entre las frecuencias 8-40 Hz con velocidades de fase entre 260 a 500 m/s. La inversión de la curva de dispersión permite tener el modelo de velocidad de las capas hasta una profundidad de 18 metros. En este modelo se identifica la presencia de una capa aparente con un espesor de 4 metros y velocidades V_s de 309 m/s y el semiespacio con velocidades V_s de 421 m/s. Ambos valores de velocidades sugieren la presencia de capas compuestas por suelos duros.

Arreglo Lineal LR02- SR:

Este arreglo se realizó en el Campo Deportivo de la Asociación PROFAM ubicado hacia al Sur de la zona de estudio. En la Figura 5.4b se observa la relación de Velocidad de Fase vs Frecuencia, donde la curva de dispersión limitada entre las frecuencias 8-34 Hz con velocidades de fase entre 240 a 380 m/s. La inversión de la curva de dispersión permite tener el modelo de velocidad de las capas hasta una profundidad de 18 m. En este modelo se identifica la presencia de una capa aparente con un espesor de 4 metros y velocidades V_s de 280 m/s y el semiespacio con velocidades V_s de 373 m/s. Los valores de velocidades sugieren la presencia de capas compuestas por suelos duros.

Arreglo Lineal LR03- SR: Este arreglo se realizó en el Colegio 8187 – La Arboleda ubicado en el extremo SO de la zona de estudio. En la Figura 5.4c, la curva de dispersión está limitada en las frecuencias 5-44 Hz y entre las velocidades de fase de 310 a 420 m/s. El perfil de velocidad muestra capas con una profundidad confiable de 23 m. En este modelo se identifica la presencia de una capa aparente con un espesor de 4 metros y velocidades V_s de 317 m/s y el semiespacio con velocidades V_s de 391 m/s. Los valores de velocidades sugieren la presencia de capas compuestas por suelos duros.

Arreglo Lineal LR04- SR: Este arreglo se realizó en la zona de las Albuferas de Santa Rosa – Urbanización Country Club, ubicado en el extremo SO de la zona de estudio. La curva de dispersión de la Figura 5.4d está limitada entre las frecuencias 8-27 Hz y entre las velocidades de fase de 180 a 600 m/s. El perfil de velocidad muestra la presencia las capas con una profundidad confiable de 24 m. La primera capa presenta un espesor de 5 metros y velocidades V_s de 211 m/s. y la segunda con un espesor de 10 metros y velocidades V_s de 374 m/s y el semiespacio presenta una velocidad V_s de 545 m/s. Los valores de velocidades sugieren la presencia de capas compuestas por suelos muy duros o roca blanda.

Arreglo Lineal LR05- SR: Este arreglo se realizó en el terreno de la Parroquia de la Urbanización Country Club, ubicado en el extremo SO de la zona de estudio. La curva de dispersión está limitada entre las frecuencias 8 - 37 Hz y entre las velocidades de fase de 300 a 500 m/s (Figura 5.4e). El perfil de velocidad muestra la presencia de capas con una profundidad confiable de 22 m. La primera capa con un espesor de 4 metros y

velocidades V_s de 290 m/s y el semiespacio con velocidades V_s de 430 m/s. Los valores de velocidades sugieren la presencia de capas compuestas por suelos muy duros o roca blanda.

Arreglo Lineal LR06- SR: Este arreglo se realizó en el Colegio Diocesano Santo Tomás de Valencia – Asociación de Vivienda ADESESEP, ubicado en el extremo SO de la zona de estudio. En la Figura 5.4f se observa la curva de dispersión de Velocidad de Fase vs Frecuencia, limitada entre las frecuencias 7-37 Hz y entre las velocidades de fase de 270 a 430 m/s. El perfil de velocidad muestra la presencia de capas con una profundidad confiable de 18 m. La primera capa con un espesor de 5 metros y velocidades V_s de 302 m/s y el semiespacio presenta velocidades V_s de 397 m/s. Los valores de velocidades sugieren la presencia de capas compuestas por suelos muy duros o roca blanda.

Arreglo Lineal LR07- SR: Este arreglo se realizó en el Parque de la Urbanización Mariscal Castilla ubicado en el extremo SE de la zona de estudio. En la Figura 5.4g se muestra la relación de la Velocidad de Fase vs Frecuencia con una resolución débil y estando la curva de dispersión limitada entre las frecuencias 10-37 Hz y entre las velocidades de fase de 260 a 460 m/s. El perfil de velocidad muestra la presencia de capas hasta una profundidad confiable de 14 m. La primera capa con un espesor de 4 metros y velocidades V_s de 293 m/s y el semiespacio con una velocidad V_s de 420 m/s. Los valores de velocidades sugieren la presencia de capas compuestas por suelos duros.

De acuerdo a estos resultados, las líneas L-01 y L-07 están emplazados sobre depósitos aluviales y conglomerados, infrayaciendo a estos, los depósitos del Volcánico Ancón. Tomando en cuenta la información geológica se concluye que los suelos corresponden a depósitos aluviales y la diferencia de velocidad, puede ser causada por las diferentes fases de sedimentación, estratos arenosos, estratos gravosos y/o estratos areno-gravosos.

Los perfiles de velocidad de las líneas L-02, L-03, L-04, L-05 y L-06 se encuentran emplazados sobre los depósitos eluviales y eólicos que posiblemente suprayacen a los depósitos aluviales en algunos sectores o inmediatamente a la estructura del Volcánico Ancón.

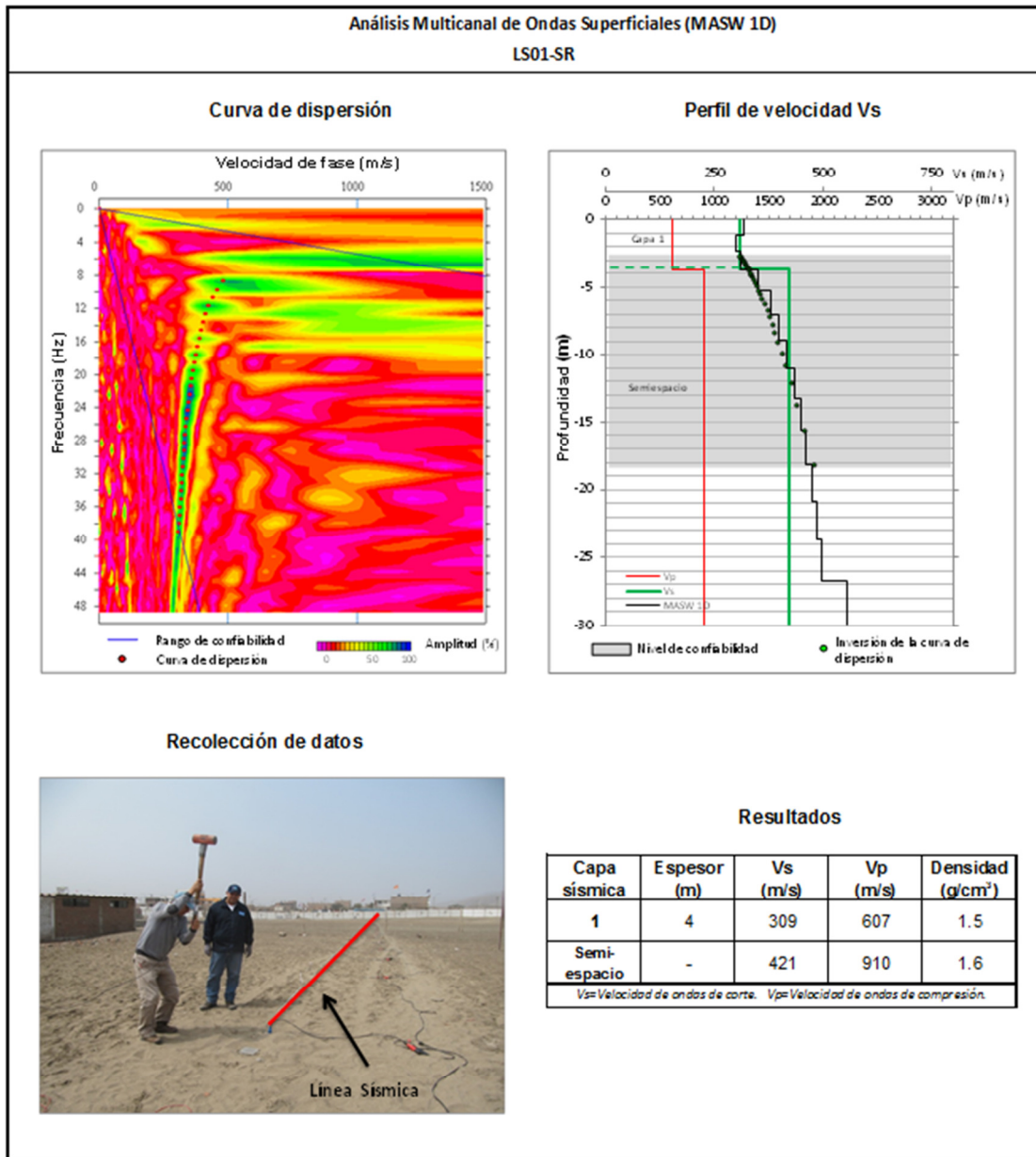


Figura 5.4a. Análisis e interpretación geofísica obtenida con la técnica MASW para el arreglo LR01-SR (En la Figura 4.6, se muestra la ubicación del arreglo sísmico).

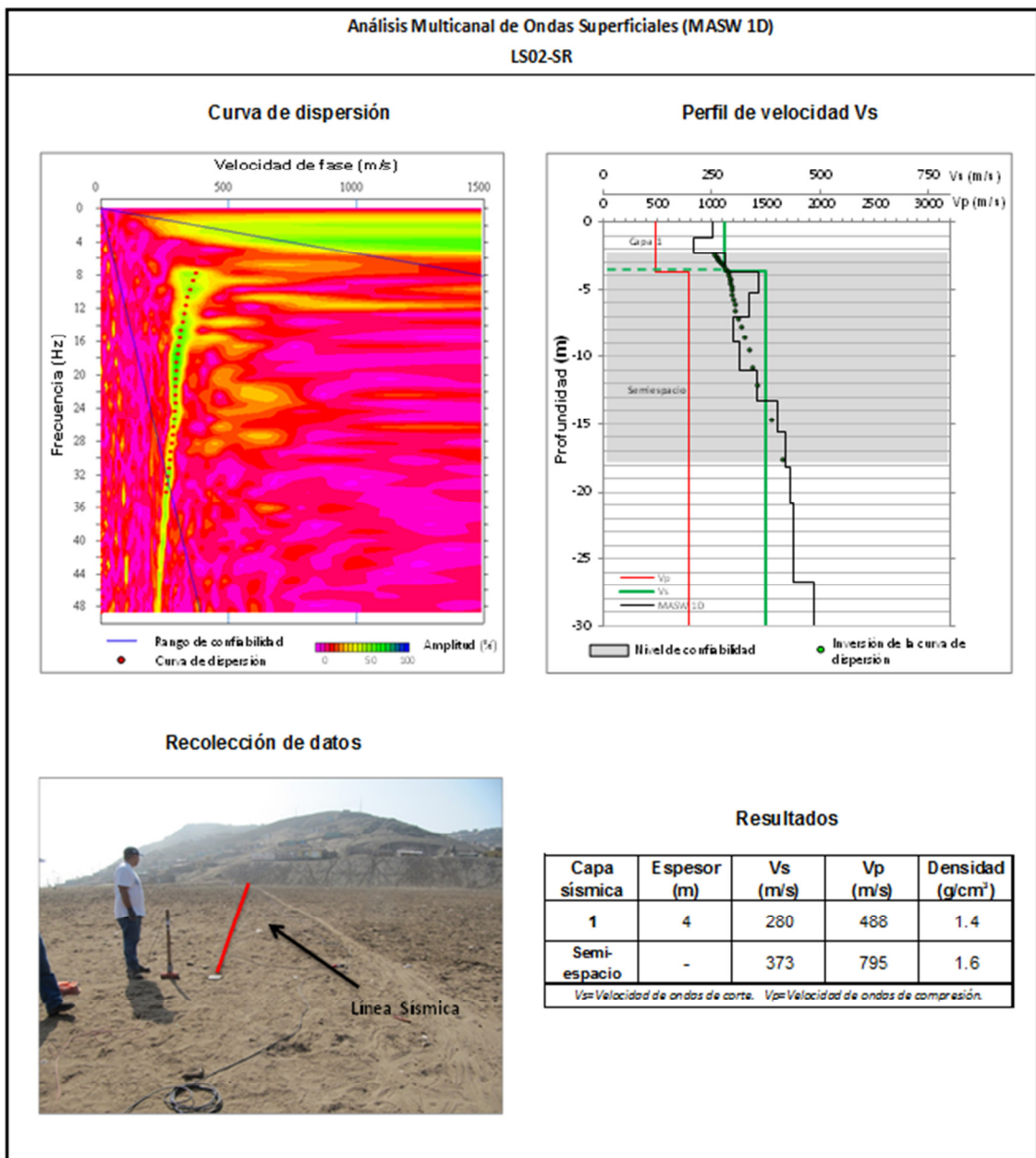


Figura 5.4b. Análisis e interpretación geofísica obtenida con la técnica MASW para el arreglo LR02-SR (En la Figura 4.6, se muestra la ubicación del arreglo sísmico).

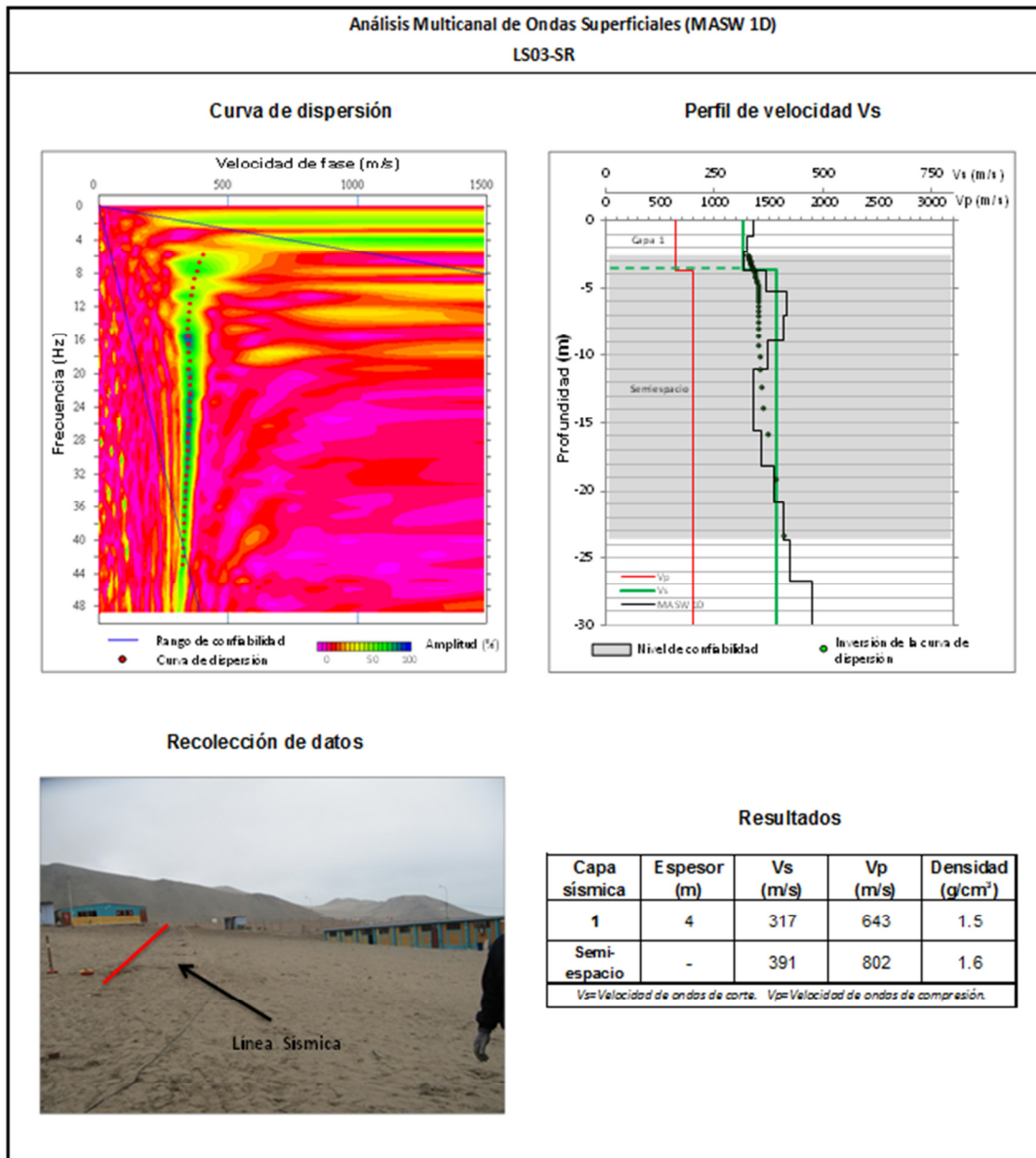


Figura 5.4c. Análisis e interpretación geofísica obtenida con la técnica MASW para el arreglo LR03-SR (En la Figura 4.6, se muestra la ubicación del arreglo sísmico).

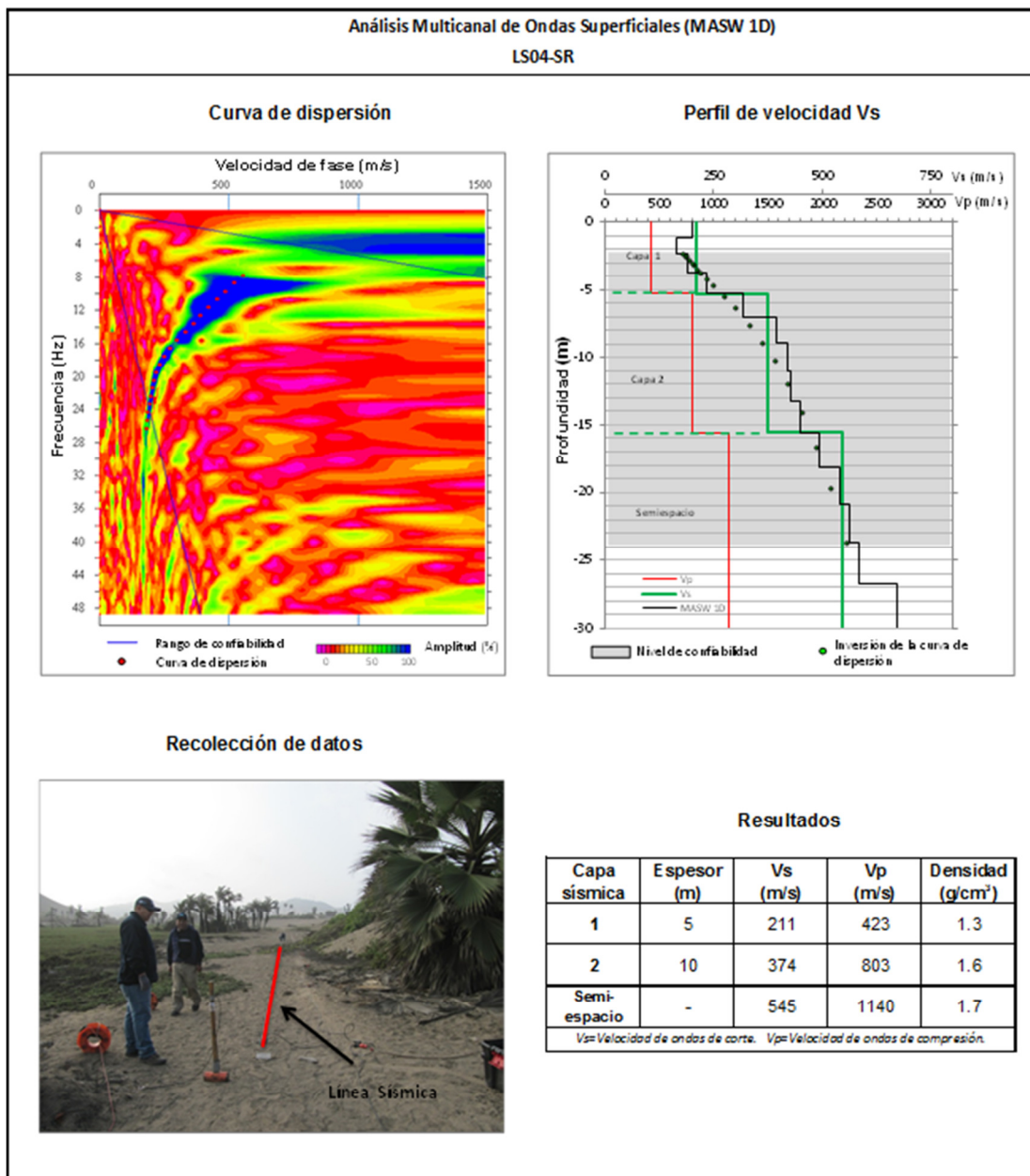


Figura 5.4d. Análisis e interpretación geofísica obtenida con la técnica MASW para el arreglo LR04-SR (En la Figura 4.6, se muestra la ubicación del arreglo sísmico).

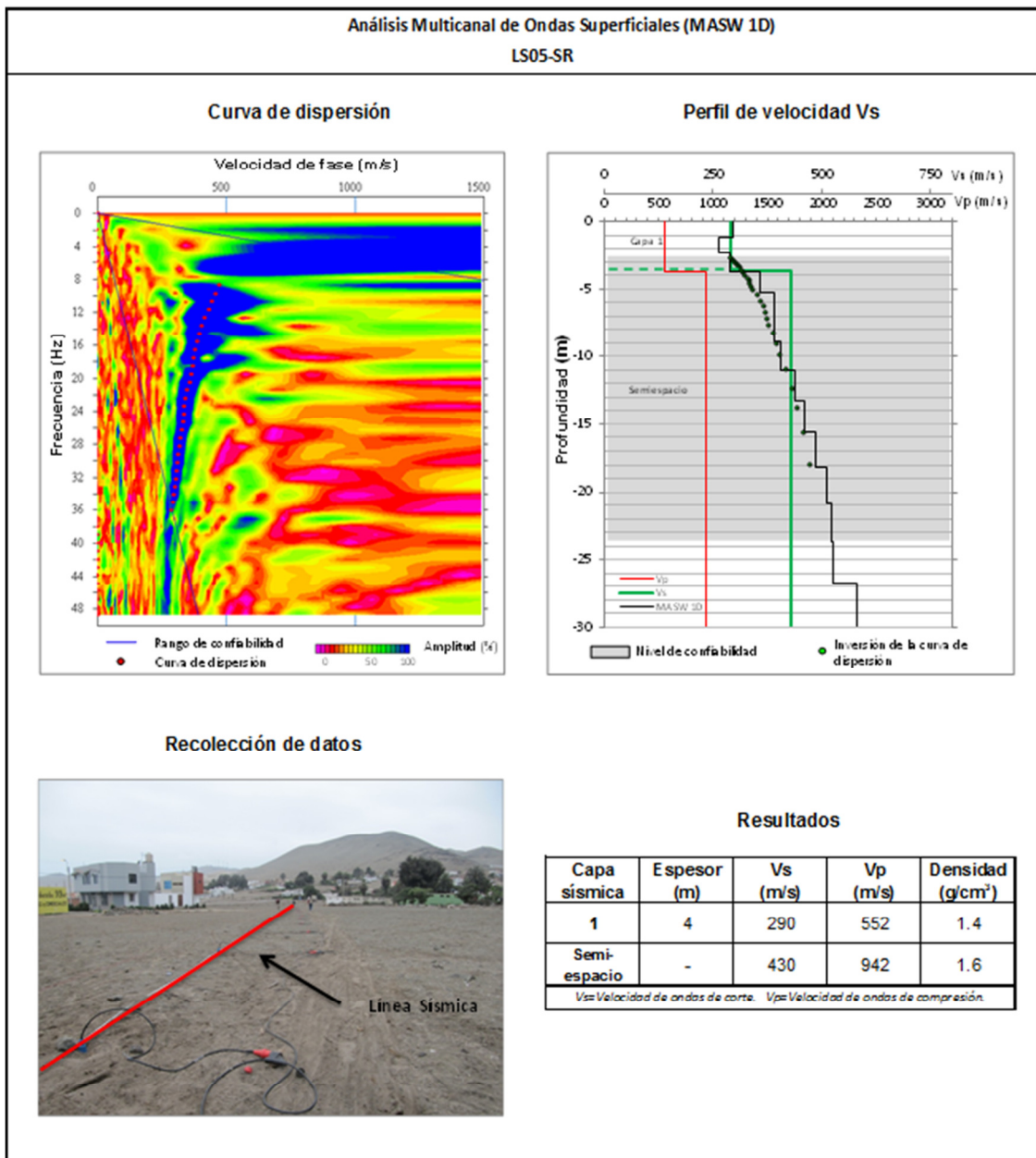


Figura 5.4e. Análisis e interpretación geofísica obtenida con la técnica MASW para el arreglo LR05-SR (En la Figura 4.6, se muestra la ubicación del arreglo sísmico).

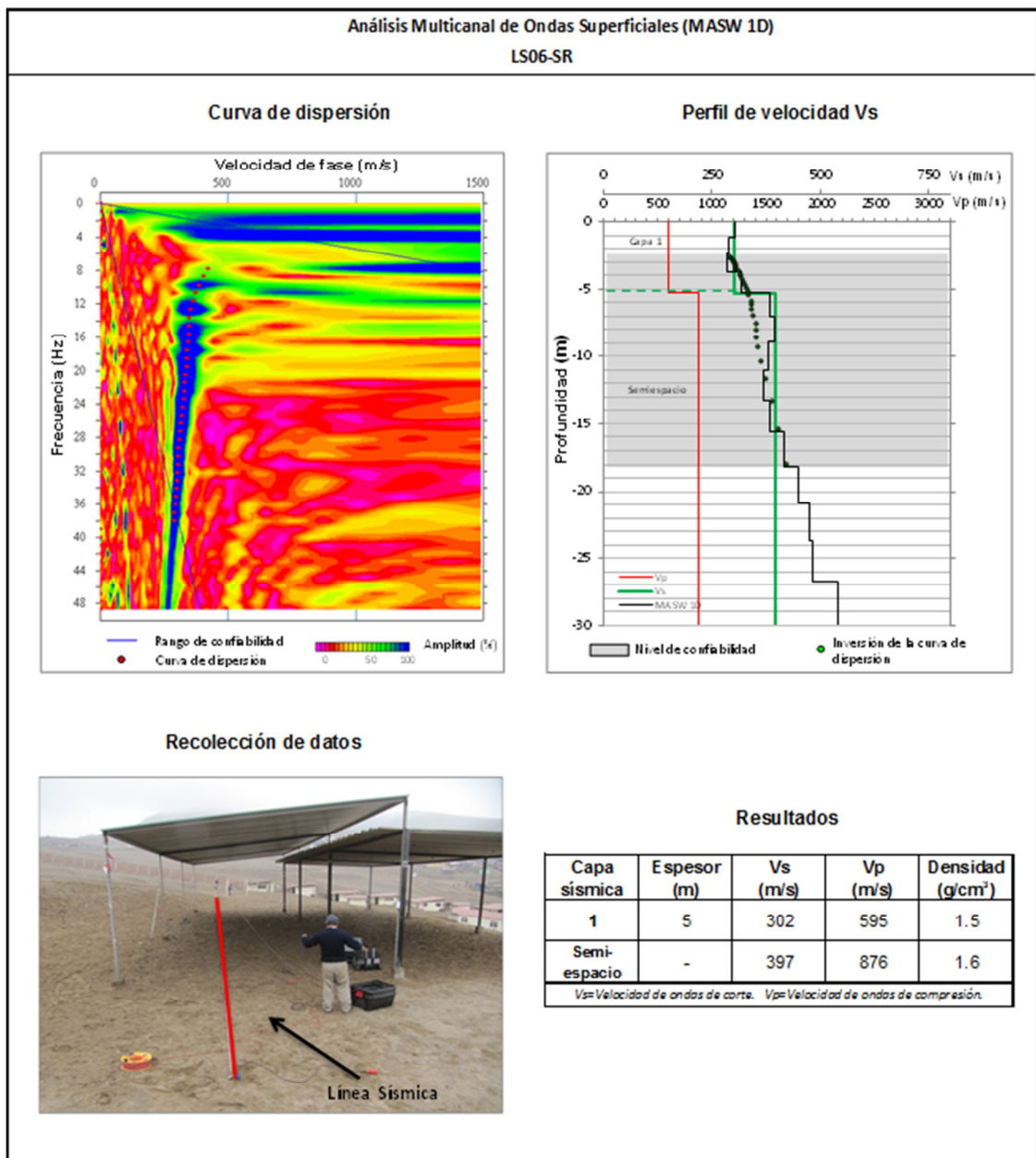


Figura 5.4f. Análisis e interpretación geofísica obtenida con la técnica MASW para el arreglo LR06-SR (En la Figura 4.6, se muestra la ubicación del arreglo sísmico).

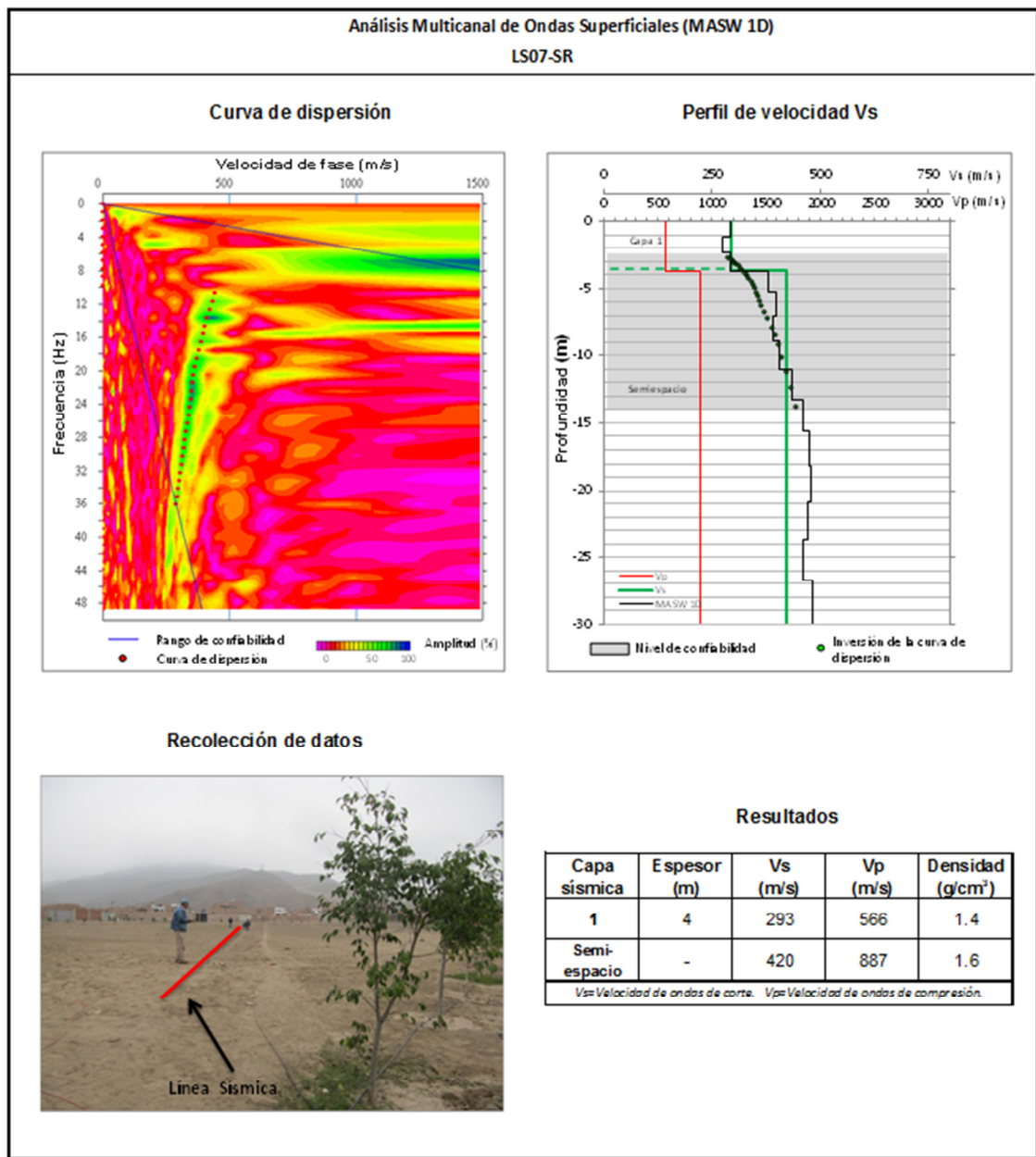


Figura 5.4g. Análisis e interpretación geofísica obtenida con la técnica MASW para el arreglo LR07-SR (En la Figura 4.6, se muestra la ubicación del arreglo sísmico).

En la Tabla 5.2 se muestra las capas identificadas en cada línea, además de sus respectivas velocidades y espesores. En general, los arreglos sísmicos lineales permitieron identificar, la presencia de suelos compuestos por dos capas a excepción de la línea L-04, donde aparentemente existen tres capas; esta tercera capa o semiespacio con velocidades de 545 m/s indicaría la presencia de capas compuestas por suelos muy duros o roca blanda. Próxima a esta línea, se encuentra el Cerro Monigote.

Tabla 5.2. Características de las líneas de MASW en el área urbana del distrito de Santa Rosa.

LÍNEAS	ESPESOR	V_s	DESCRIPCIÓN
LR01	4	309	Suelos duros
	-	421	Suelos duros
LR02	4	280	Suelos duros
	-	373	Suelos duros
LR03	4	317	Suelos duros
	-	391	Suelos duros
LR04	5	211	Suelos duros
	10	374	Suelos duros
	-	545	Suelos muy duros o roca blanda
LR05	4	290	Suelos duros
	-	430	Suelos duros
LR06	5	302	Suelos duros
	-	397	Suelos duros
LR07	4	293	Suelos duros
	-	420	Suelos duros

5.2. Caracterización Geotécnica

5.2.1. Clasificación de suelos

El análisis geotectónico ha permitido diferenciar tres tipos de suelos predominantes en el área urbana de Santa Rosa (Figura 5.5), siendo sus características las siguientes:

- Suelos SM: compuestos por arenas gruesas a medias con contenido de limos, puesto que son suelos de origen aluvial. Estos suelos se emplazan en la parte central del distrito.
- Suelos ML: conformado por arenas finas con poco contenido de finos. Estos suelos se emplazan en el sector NO del distrito y también en la entrada del distrito en su extremo NE.

- Suelos GP: corresponden a gravas pobremente gradadas con arenas medias provenientes de materiales coluviales. Este suelo se distribuye en el extremo SE del distrito.

5.2.1. Capacidad portante

Según los resultados de capacidad portante ha sido posible clasificar los suelos en el área urbana de Santa Rosa de regular a baja resistencia al corte y falla. Así, los suelos en las zonas del Balneario presentan los valores más bajos (SR-1, SR-2, SR-3); los sitios en el área del autódromo y sector La Bajada (SR-4 y SR-5) presentan valores intermedios de capacidad portante y, finalmente, los suelos en el sector de la entrada a Santa Rosa, por la Panamericana Norte (SR-6 y SR-7), presentan los valores de mayor capacidad portante.

Estos resultados indican que cuanto mayor sea el valor de capacidad portante el suelo tendrá mayor resistencia a la carga, Por ejemplo en la Tabla 5.3 para la muestra SR-7 que tiene un valor de capacidad portante de 6.28 kg/cm², quiere decir que 1 cm² podrá soportar una carga de 6.28 kg.

Tabla 5.3.- Valores de capacidad portante (CP) de las muestras de suelos.

CÓDIGO DE LA MUESTRA	CAPACIDAD PORTANTE (kg/cm²)
SR-1	3.05
SR-2	3.33
SR-3	4.08
SR-4	4.49
SR-5	4.34
SR-6	5.31
SR-7	6.28

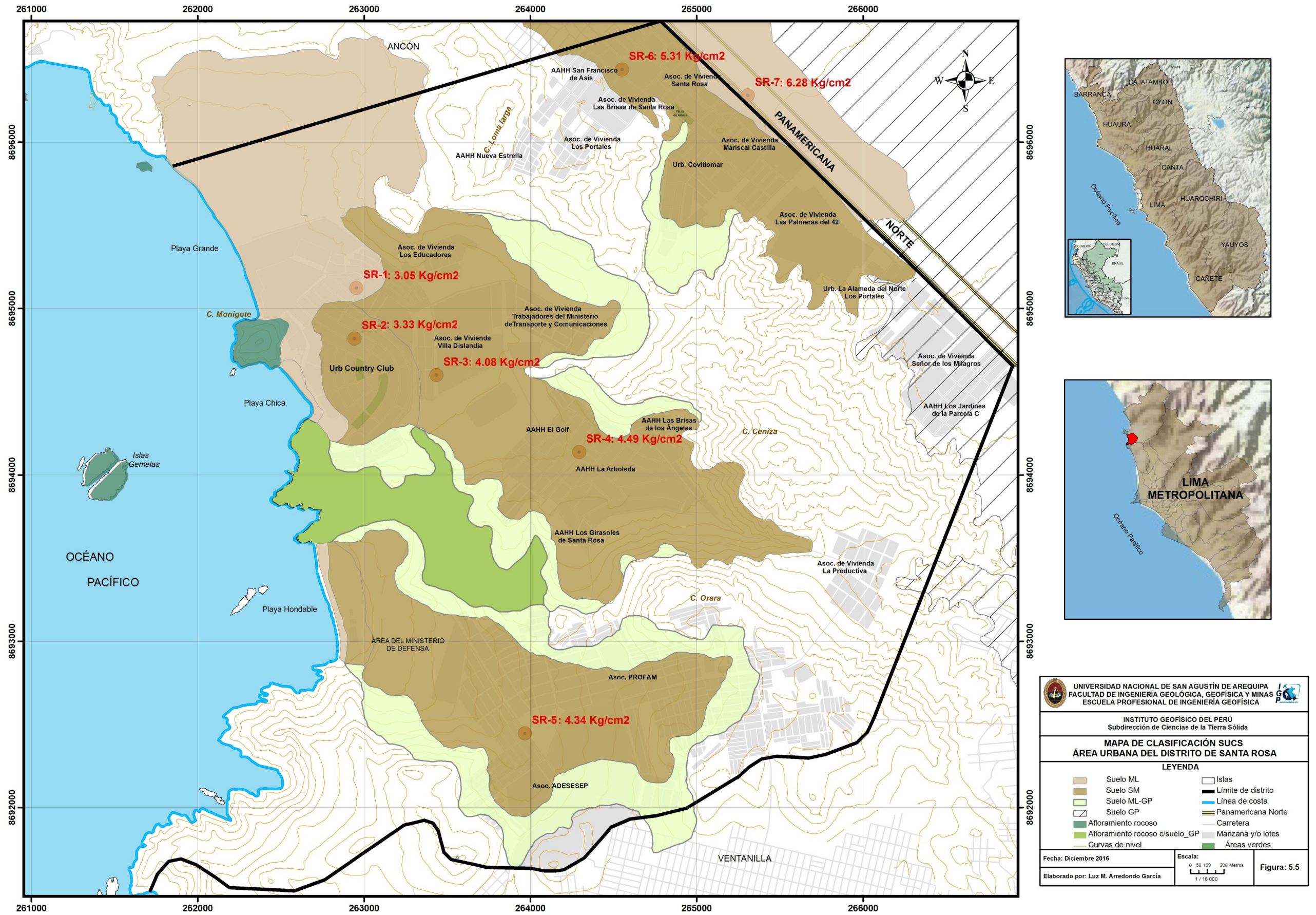


Figura 5.5. Mapa de clasificación de suelos (SUCS) del área urbana del distrito de Santa Rosa y valores de capacidad portante.

5.3. Estimación del basamento rocoso

Para la estimación de la profundidad del basamento rocoso (H) se hace uso de los valores de velocidad Vs asumido para cada Área y corresponde a las capas sedimentarias (Figura 5.6), cuyas velocidades Vs promedio corresponden a capas compuestas por suelos duros (Norma E-030), tal como se muestra en la Tabla 5.4. El cálculo de H para cada punto H/V, permite conocer la profundidad del basamento rocoso para el área urbana del distrito de Santa Rosa.

Tabla 5.4. Valores de velocidades promedios propuestos para cada línea de Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW).

ÁREAS	LÍNEAS	VELOCIDAD PROMEDIO
1	LR01	365
	LR07	357
2	LR03	354
	LR04	293
	LR05	360
3	-----	-----
4	LR02	327
	LR06	350

Calculada la profundidad del basamento rocoso se procede a generar el esquema 3D de la geometría del basamento rocoso para el área urbana del distrito de Santa Rosa. Para la elaboración de este mapa se tuvo en cuenta la topografía del terreno, así como la batimetría de la zona de estudio.

En la Figura 5.7, se muestra el esquema representativo de profundidades en 3D con su respectiva proyección en superficie. Asimismo, en la Figura se observa espesores en un rango de 4 a 50 metros (gama de colores rosa a negro) sobresaliendo cuatro zonas profundas asociadas a cuencas.

- La primera zona se encuentra próxima a las Asociaciones PROFAM y ADESESEP presentando un área mayor y que albergaría una capa de sedimentos de gran espesor en un rango de 30 a 50 metros. La línea de MASW próxima a esta zona es la línea LR06-SR (Colegio Diocesano Santo Tomás de Valencia).

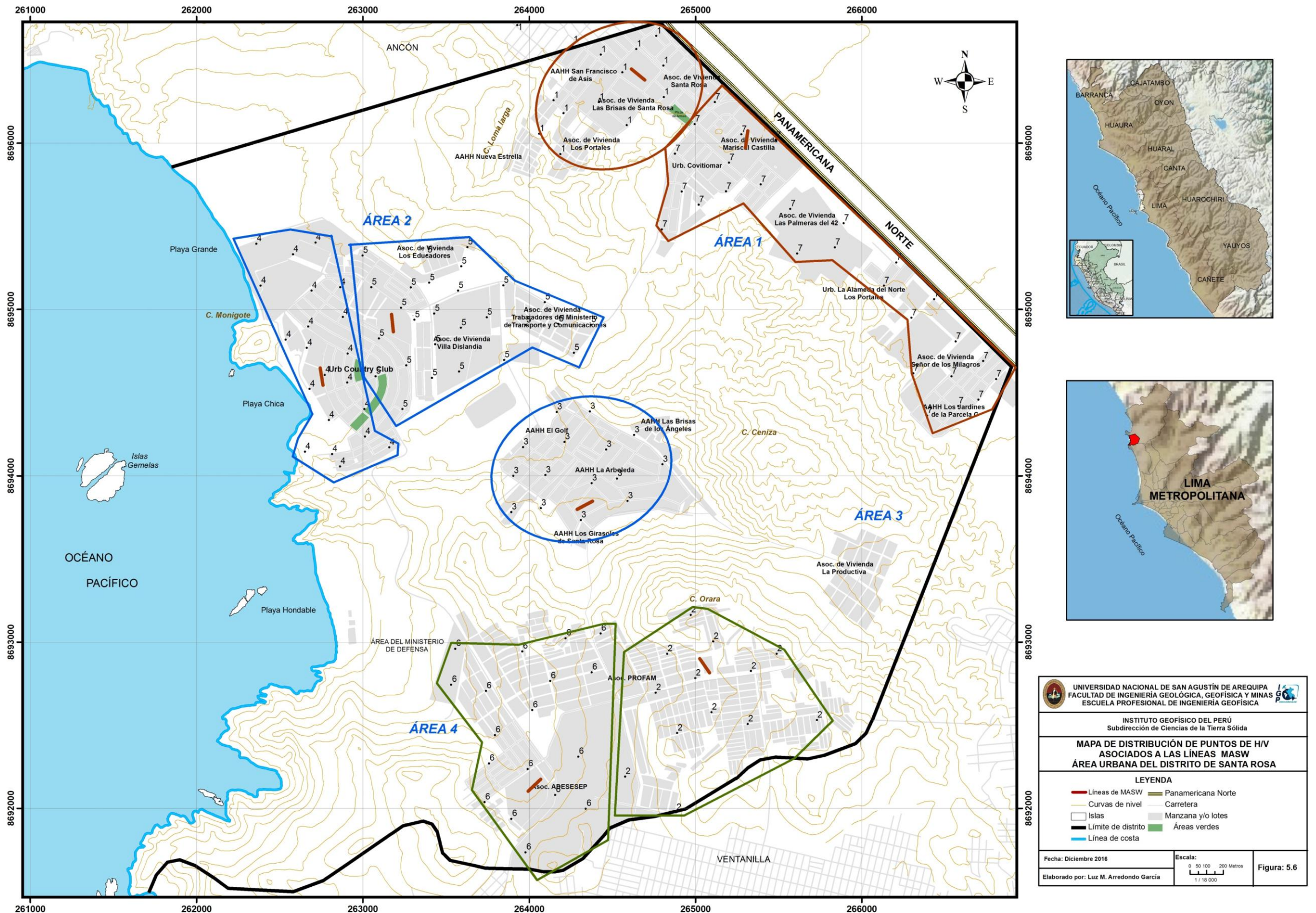


Figura 5.6. Mapa con la identificación de los puntos de H/V asociados a las líneas de Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW). Los números en los círculos y polígonos corresponden al número de línea de MASW asumido para cada punto de H/V.

- La segunda zona se encuentra próxima al litoral, pudiendo albergar sedimentos con espesores en un rango de 30 a 48 metros. La línea de MASW próxima a esta zona es la línea LR04-SR (Albuferas de Santa Rosa - Urb. Country Club).
- La tercera zona se encuentra entorno a la Urb. Country Club y la Asociación MTC, capaces de albergar sedimentos con espesores en un rango de 30 a 40 metros. La línea de MASW próxima a esta zona es la línea LR04-SR y LR05-SR (Albuferas de Santa Rosa y la Parroquia de la Urb. Country Club). y
- La cuarta zona se encuentra entorno a los AAHH La Arboleda y Las Brisas de los Ángeles, área pequeña que albergaría una capa de sedimentos de espesores en un rango de 30 a 36 metros. La línea de MASW próxima a esta zona es la línea LR03-SR (Colegio 8187 - La Arboleda).

En estas zonas, el basamento rocoso se encuentra a mayor profundidad que el resto; por lo tanto, alberga a los mayores volúmenes de sedimentos. En los alrededores, las profundidades son menores y ello permite que los sedimentos presenten menores espesores y sobre ellos se encuentran las Asociaciones de Vivienda: Santa Rosa, Mariscal Castilla, Las Palmeras del 42, Señor de los Milagros; la Urbanización La Alameda del Norte-Los Portales; y el AAHH Los Jardines de la Parcela C, próximos a la carretera Panamericana Norte.

5.4. Zonificación Sísmica-Geotécnica

Los estudios de Zonificación Sísmica-Geotécnica permiten definir el comportamiento dinámico del suelo en el área urbana del distrito de Santa Rosa y ello ayudará en el desarrollo de proyectos sobre la gestión del riesgo ante sismos, lo cual conlleva a mejorar la calidad de vida de sus pobladores, así como proyectar hacia el futuro una adecuada expansión urbana. La elaboración del mapa se obtiene a partir del análisis multidisciplinario de la información geológica, geodinámica, geomorfológica, geotécnica, geofísica y sísmica; como se detalla a continuación:

5.4.1. Geología y Geomorfología

En el área urbana del distrito de Santa Rosa afloran rocas volcánicas andesíticas que conforman la base de la columna estratigráfica de Lima (Jurásico Superior) con una cobertura de depósitos Cuaternarios compuestos por materiales aluviales, coluviales, eólicos y marinos.

La morfología está condicionada por la dinámica marina y los procesos de intemperismo y erosión que ocurren en este tipo de ambiente y que han permitido diferenciar hasta 3 unidades geomorfológicas: las zonas de colinas, conformadas mayormente por afloramientos rocosos, las zonas de terrazas aluviales o aluvio-coluviales que conforman una planicie sub-horizontal y la terraza marina adyacente al borde litoral.

5.4.2. Geotécnica

De acuerdo a la clasificación SUCS de suelos se han podido diferenciar hasta 3 tipos de suelos: SM, ML y GP. Las capacidades portantes determinadas en base a ensayos de corte directo y densidad máxima han permitido establecer los valores de resistencia de carga máxima (6.28 kg/cm^2) presente en los suelos del área urbana del distrito de Santa Rosa (calicata SR-7).

5.4.3. Geofísica

El análisis de las razones espectrales H/V ha permitido observar gran variedad de periodos dominantes que van desde 0.1 a 0.5 segundos con amplificaciones de hasta 6 veces, lo cual sugiere la existencia de suelos con diferentes características dinámicas, pudiendo causar amplificación de las ondas sísmicas de volumen y/o superficiales debido al efecto de las capas estratificadas superficiales de diferente potencia, geometría

y composición geológica, evidenciadas por los periodos dominantes obtenido en el área urbana del distrito de Santa Rosa.

De acuerdo a los valores de periodos dominantes, el área urbana del distrito de Santa Rosa presenta suelos homogéneos y relativamente competentes.

El análisis multicanal de ondas superficiales ha permitido identificar en el área urbana del distrito de Santa Rosa, la presencia de suelos formados por tres capas. La primera con espesores de 4 a 5 metros y velocidades V_s de 280 a 317 m/s, la segunda capa con un espesor de 10 metros y velocidades V_s de 374 m/s y la tercera capa con velocidad V_s de 545 m/s. La superficie de contacto con el estrato más profundo alcanza velocidades V_s mayores a 545 m/s, correspondiendo a suelos muy duros o roca blanda.

5.4.4. Mapa de Zonificación Sísmica-Geotécnica

Para caracterizar el comportamiento dinámico del terreno en el área urbana del distrito de Santa Rosa se han tomado los valores de frecuencias para ser transformados a periodos dominantes. Este procedimiento permite determinar el periodo dominante de vibración natural del terreno y construir el mapa de periodos. Asimismo, el análisis de la información geológica, geodinámica, geomorfológica, geotécnica y geofísica permitirá caracterizar los suelos existentes en el área urbana del distrito de Santa Rosa, todo ello de acuerdo a la Norma Técnica E-030 “Diseño Sismorresistente”.

Los resultados obtenidos en este estudio han permitido identificar, según el procedimiento de la Norma Técnica E-030, la existencia de *suelos de Tipo S1, S2 y S3*, lo cual ha permitido proponer para el área urbana del distrito de Santa Rosa la presencia de 3 zonas sísmicas-geotécnicas: *Las Zonas I, II y III*, (Ver Figura 5.8), en las cuales se espera que el comportamiento sísmico sea similar. Esta clasificación está considerada en la Norma Técnica E-030 (2016).

ZONA I: Esta zona está conformada por secuencias vulcano-sedimentarias subyaciendo a depósitos aluvial-eólicos de poco espesor y cuyos periodos de vibración natural determinados por las mediciones de vibración ambiental varían entre 0.1 y 0.3 s. El 40% del Distrito se encuentra en esta zona con el predominio de periodos de 0.2 s

De acuerdo a los resultados de geotecnia, en este caso se clasifica a la zona como de regular resistencia al corte y falla.

ZONA II: Esta zona considera las áreas conformadas por depósitos aluvio-marinos compuestos por rellenos de arena gruesa y fragmentos de roca sub-angulosa de baja compactación en estado seco. Los periodos predominantes del suelo determinados por las mediciones de vibración ambiental en esta zona son de 0.4s con una ligera tendencia a 0.5s.

De acuerdo a los resultados de geotecnia, se clasifica a esta zona como de baja resistencia al corte y falla.

ZONA III: Esta zona considera un área pequeña y se caracteriza por presentar los periodos predominantes más altos del Distrito de 0.5s con una ligera tendencia a 0.6s. Esta concentración de valores es concordante con la presencia de depósitos aluviales con arenas finas y fragmentos de rocas subangulosas.

De acuerdo a los resultados de geotecnia, se clasifica a esta zona como de regular resistencia al corte y falla.

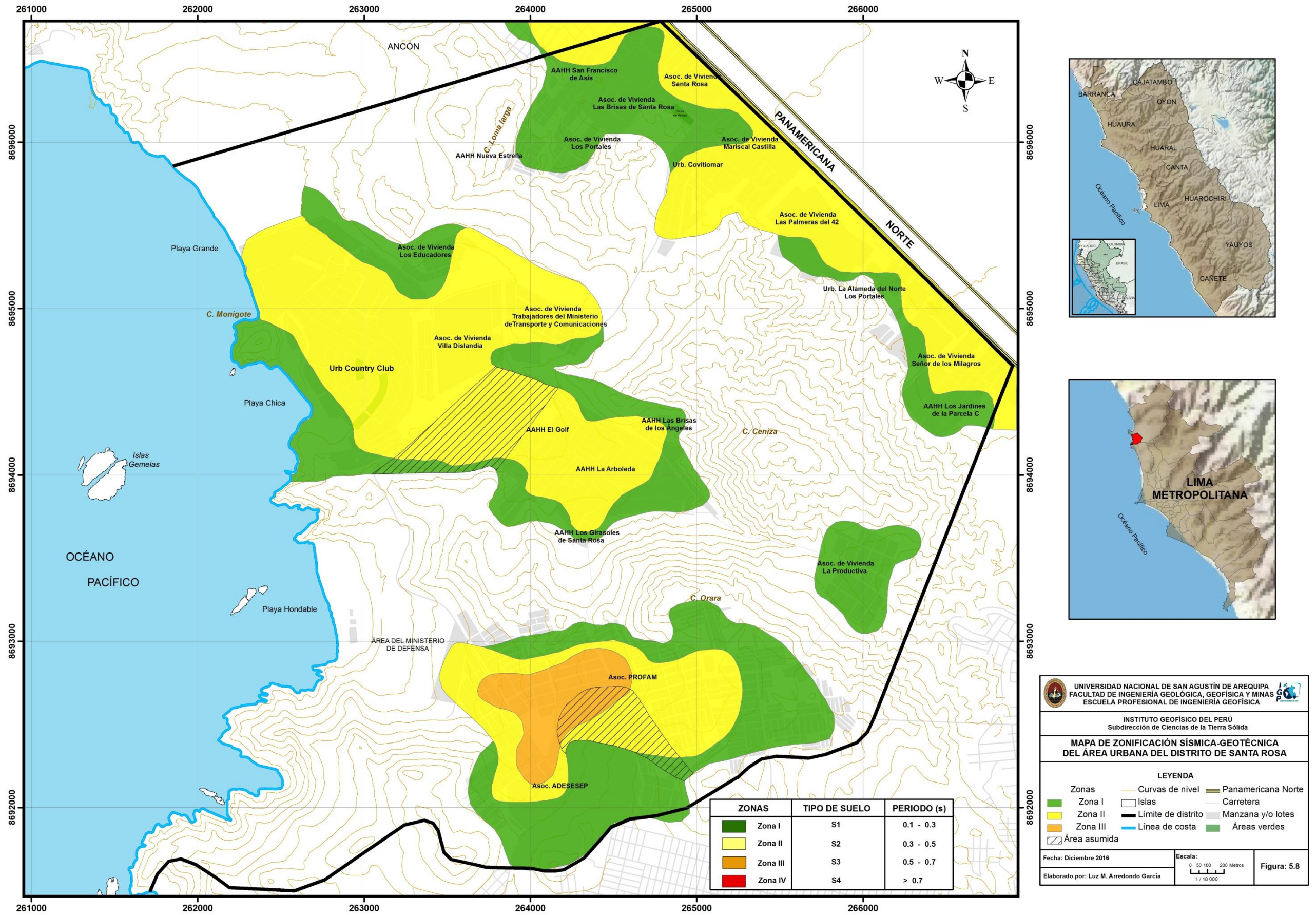


Figura 5.8. Mapa de zonificación sísmica-geotécnica para el área urbana del distrito de Santa Rosa.

CONCLUSIONES

La realización de la presente investigación ha permitido llegar a las siguientes conclusiones:

1. Los estudios geotécnicos han permitido identificar en el área urbana del distrito de Santa Rosa la presencia de tres tipos de suelos (SM, ML y GP) caracterizada de acuerdo a la clasificación SUCS. Los valores de capacidad portante en el área urbana del distrito de Santa Rosa, sugieren la presencia de suelos de regular a baja resistencia al corte y falla. Los valores más bajos de capacidad portante se presentan en las zonas del Balneario (SR-1 = 3.05 Kg/cm², SR-2 = 3.33 y SR-3 = 4.08 Kg/cm²), los valores intermedios en el sector de La Bajada y el autódromo (SR-4 = 4.49 Kg/cm² y SR-5 = 4.34 Kg/cm²) y los valores más altos por la Panamericana Norte (SR-6 = 5.31 Kg/cm² y SR-7 = 6.28 Kg/cm²).
2. Los valores de periodos dominantes de 0.1 a 0.5 segundos (Zona I: 0.1 a 0.3 s, Zona II: 0.4s con una ligera tendencia a 0.5s y la Zona III: 0.5s con una ligera tendencia a 0.6s), presentes en el área urbana del distrito de Santa Rosa sugieren la presencia de suelos homogéneos y relativamente competentes.
3. El Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW) han permitido identificar la presencia de capas compuestas por suelos con velocidades de ondas de corte (Vs) en un rango de 280 a 317 m/s correspondiente a suelos

duros. La superficie de contacto alcanza velocidades mayores a 545 m/s correspondiente a suelo muy duro o roca blanda.

4. A partir de la combinación de las técnicas geofísicas (H/V y MASW), se determinó las profundidades del basamento rocoso para gran parte del área urbana del distrito de Santa Rosa, cuyos valores se encuentran en un rango de 4 a 50 metros, presentando mayores profundidades en el Área 4 de la zona de estudio (30 a 50 metros), entre las Asociaciones de Vivienda PROFAM y ADESESEP.
5. De acuerdo a la Norma Técnica E-030 “Diseño Sismorresistente”, en el área urbana del distrito de Santa Rosa se han identificado 3 zonas sísmica-geotécnicas, las mismas que corresponden a los suelos de *Tipo I*, *Tipo II* y *Tipo III*; lo que permite proponer el Mapa de Zonificación Sísmica-Geotécnica para el área de estudio.

RECOMENDACIÓN

1. A partir de la presente investigación se sugiere considerar los resultados y observaciones realizadas en este estudio, en la programación de la expansión, reubicación de nuevas viviendas, edificaciones, así como el diseño estructural de los mismos.

BIBLIOGRAFÍA:

Aki, K. (1957). Space and time spectra of stationary stochastic waves, with special reference to microtremors, Bull. Earthquake Res. Inst. Univ. Tokyo, 25, 415-457

Aki, K. and P.G. Richards. 1980. "Quantitative Seismology, Theory and Methods". Volume I. W. H. Freeman and Company. San Francisco. 557 pp.

Aki, K. 1988. "Local site effects on strong ground motion". Earthquake engineering and soil dynamics II. Recent advances in ground-motion evaluation. Von Thun Ed. ASCE Geotech. Special Publication. 20: 103-155 p

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.

APESSEG (2005). Estudio de vulnerabilidad y riesgo sísmico en 42 distritos de Lima y Callao, CISMID, 10 pag.

Bard, P.Y. (1999): Microtremor Measurements: A tool for a seismic effect estimation. The effect of surface geology on seismic motion. Irikura, Kudo, Okada and Sasatni (Eds.). Balkema Rotterdam pp. 1231-1275.

Bernal, I. y Tavera, H (2002). Geodinámica, Sismicidad y Energía Sísmica en Perú. Monografía, IGP, Lima-Perú, 63 pp.

De Mets, C., Gordon, R., Aarhus, A., y Stein, S. (1980). Current plate motions. Geophys. J. Int., 101, 425-478.

Casagrande. A. (1948): Classification and identification of soils, American Society of Civil Engineers, Transactions, Vol. 113, 901-991.

Cahill, T. e Isack,B.(1992). Seismicity and shape of the subducted Nazca Plate. J. Geophys. Res., 97, 17503-17529.

Chávez-García, F.J. y F. Luzón, 2005. On the correlation of seismic microtremors, *J. Geophys. Res.*, 110, B11313, doi:10.1029/2005JB003671. Correlation of seismic noise in frequency and time domains. Applications to site effects, *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 7, 03241, European Geosciences Union, 2005.

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

Foti, S. (2000). Multistation Methods for Geotechnical Characterization using Surface Waves. PhD dissertation, Politecnico di Torino, Italy.

Foti, S., Parolai, S., Albarello, D., Picozzi, M. (2011): Application of Surface-Wave Methods for Seismic Site Characterization. - *Surveys in Geophysics*, 32, 6, 777-825

Kanai, K. y Tanaka, I. (1961). On Microtremors. VIII Bulletin Earthquake Research Institute. Tokyo Univ. 39, pp. 97-114.

Konno, K. y Ohmachi T. 1998. "Ground-motion characteristics estimated from spectral ratio between horizontal and vertical components of microtremors". *Bull. Seism.*

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.

Moreno L., Alfaro A. 2000. "De los Microsismos a los Microtemblores - Investigaciones en el Instituto Geofísico". VIII Congreso Colombiano de Geotecnia 2000 - Sociedad Colombiana de Geotecnia.

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.

Nogoshi, M. y T. Igarashi (1971), On the amplitude characteristics of micr (Part-2), *Jour. Seism. Soc. Japan*, 24, 26-40.

Norma E-30 (2003). Technical Building Standard E.030 Earthquake Resistant Standards (E-030 Diseño Sismorresistente). Ministry of Housing, Construction and Sanitation.

Kanai K. y T. Tanaka, (1961), On microtremors VIII, Bull. Earthq. Res Inst., 39,97-114

Park, C., Miller, R. y Xia, J. (1999). Multichannel analysis of surface waves. Geophysics 64:800-808

Rodríguez, L. y Tavera, H.(1991). Determinación con alta resolución de la geometría de la zona de Wadati-Benioff en el Perú Central., Rev. Bras. Geofísica, 9(2), 141-159.

Sébrier, M., Mercier, J.L., Mégard, F., Laubacher, G., and Carey-Gailhardis, E., 1985, Quaternary normal and reverse faulting and the state of stress in central Andes of Southern Peru: Tectonics, v. 4, no. 7, p. 739-780.

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.

Servicio de Parques de Lima – SERPAR. Estudio de preinversión a nivel de Factibilidad del PIP: “CREACION DE SERVICIOS DEPORTIVOS, RECREATIVOS Y CULTURALES EN EL PARQUE ZONAL SANTA ROSA, UBICADO EN EL DISTRITO DE SANTA ROSA, PROVINCIA DE LIMA – LIMA”

Stauder, W. (1975). Subduction of Nazca Plate under Peru as evidenced by focal mechanisms and by seismicity. J. Geophys. Res., 80, 1053-1064.

Stokoe, K. II, Wright, S., Bay, J. y Roesset, J. (1994). Characterization of geotechnical sites by SASW method. Geophysical Characterization of Sites. R.D. Woods Ed.: 15-25.

Tavera, H. y Bernal, I., (2010): Zonificación Sísmico-Geotécnica para 7 distritos de Lima Metropolitana (Comportamiento Dinámico del Suelo). Informe Técnico.

Technical Committee for Earthquake Geotechnical Engineering, TC4, ISSMGE. 1999 “Manual for Zonation on seismic geotechnical hazards (revised version)”, Tokyo, Japan.

Udías, A. y Mézcua, J. (1986). Fundamentos de Geofísica. Editorial Alambra, Madrid, 419p.

Vasquez, T. 2008. “Aplicación de métodos sísmicos: vibraciones naturales y refracción de microtemores para caracterización de sitio en estudios de ingeniería civil”.

Wathelet, M., 2006. Geopsy software manual. Tech. rep. SESAME European Project.

http://www.samusocialperu.org/castellano/publicaciones/informes_actividades/sintesis_trimestral_SSSR_1_2013.pdf

ANEXO

Norma Técnica E-030 “Diseño Sismorresistente”



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_g)
- 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}_{u1} 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:

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

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

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

T es 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						
		MAQUIÁ						
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								
MAQUIÁ								
PUINAHUA								
NAUTA								
PARINARI								
TIGRE								
TROMPETEROS								
URARINAS								
LAGUNAS								
YURIMAGUAS								
BALSAPUERTO								
JEBEROS								
SANTA CRUZ								
TNTE. CÉSAR LÓPEZ ROJAS								

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		
OLLACHEA			
MOHO	COJATA	2	TODOS LOS DISTRITOS
	HUANCANE		
	HUATASANI		
	INCHUPALLA		
	PUSI		
PUNO	ROSASPATA	2	TODOS LOS DISTRITOS
	TARACO		
	VILQUE CHICO		
	HUAYRAPATA		
PUNO	MOHO	2	TODOS LOS DISTRITOS
	CONIMA		
	TILALI		
	COATA	2	TRES DISTRITOS
	CAPACHICA		
	AMANTANI		
	ACORA	3	DOCE DISTRITOS
	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		
	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
		COBACAMBA		
		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			
	YAMON	2	ONCE DISTRITOS	
	CHIRIMOTO			
	COCHAMAL			
	HUAMBO			
LIMABAMBA				
LONGAR				
MARISCAL BENAVIDES				
MILPUC				
OMIA				
SAN NICOLÁS				
SANTA ROSA				
TOTORA				
VISTA ALEGRE	3	UN DISTRITO		

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	3	DIEZ DISTRITOS
		CACATACHI		
		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	PUÑOS	3	TRES DISTRITOS
		CHUQUIS		
		MARIAS		
		QUIVILLA		
		LA UNIÓN		
		PACHAS		
		RIPÁN		
		SHUNQUI		
	LAURICOCHA	SILLAPATA	3	SEIS DISTRITOS
		YANAS		
		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					
	CONCEPCIÓN	MITO	3	ONCE DISTRITOS			
		NUEVE DE JULIO					
		ORCOTUNA					
		SAN JOSÉ DE QUERO					
		SANTA ROSA DE OCOPA					
		CHUPACA			AHUAC	3	TODOS LOS DISTRITOS
					CHONGOS BAJO		
					CHUPACA		
					HUACHAC		
					HUAMANCACA		
	CHICO						

JUNÍN	HUANCAYO	SAN JUAN DE JARPA	2	DOS DISTRITOS
		SAN JUAN DE YSCOS		
		TRES DE DICIEMBRE		
		YANACANCHA		
		PARIAHUANCA		
	HUANCAYO	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			

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SÍSMICA	ÁMBITO	
JUNÍN	JAUJA	APATA	2	CUATRO DISTRITOS	
		MOLINOS			
		MONOBAMBA			
		RICRAN			
		ACOLLA			
		JAUJA	ATAURA	3	TREINTA DISTRITOS
			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 PEDRO DE CHUNAN	2	DOS DISTRITOS
		SAUSA		
		SINCOS		
		TUNANMARCA		
		YAULI		
	JUNÍN	CARHUAMAYO	3	DOS DISTRITOS
		ULCUMAYO		
		JUNIN		
		ONDORES		
		ONDORES		
YAULI	YAULI	CHACAPALPA	3	TODOS LOS DISTRITOS
		HUAY-HUAY		
		LA OROYA		
		MARCAPOMACOCHA		
		MOROCOCHA		
		PACCHA		
		SANTA BÁRBARA DE CARHUACAYÁN		
		SANTA ROSA DE SACCO		
		SUITUCANCHA		
		YAULI		

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		
	ACOMAYO	TÚPAC AMARU	2	TODOS LOS DISTRITOS
		YANAOCA		
		ACOMAYO		
		ACOPIA		
		ACOS		
		MOSOC LLACTA		
	CUSCO	POMACANCHI	2	TODOS LOS DISTRITOS
		RONDOCAN		
		SANGARARÁ		
		CCORCA		
		CUSCO		
		POROY		
		SAN JERÓNIMO		
		SAN SEBASTIÁN		
LA CONVENCION	SANTIAGO	2	TODOS LOS DISTRITOS	
	SAYLLA			
	WANCHAQ			
	ECHERATE			
	HUAYOPATA			
	MARANURA			
	OCOBAMBA			
	PICHARI			
CHUMBIVILCAS	QUELLOUNO	2	TODOS LOS DISTRITOS	
	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			
	ANGARAES	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			PACAYCASA	3	CINCO DISTRITOS	
		MANTA					QUINUA			
		MARISCAL CÁCERES					SAN JOSÉ DE TICLLAS			
		MOYA					SANTIAGO DE PISCHA			
		NUEVO OCCORO					TAMBILLO			
		PALCA					CARMEN ALTO			
		PILCHACA					CHIARA			
		VILCA					SAN JUAN BAUTISTA			
		YAULI					SOCOS			
		ARMA					VINCOS			
	CASTROVIRREYNA	AURAHUA	3	ONCE DISTRITOS				CONCEPCIÓN	3	SIETE DISTRITOS
		CASTROVIRREYNA						ACOMARCA		
		CHUPAMARCA						CARHUANCA		
		COCAS						HUAMBALPA		
		HUACHOS						INDEPENDENCIA		
		HUAMATAMBO						SAURAMA		
		MOLLEPAMPA						VILCASHUAMÁN		
		SANTA ANA						VISCHONGO		
		TANTARÁ								
		TICRAPO								
	HUAYTARÁ	CAPILLAS	4	DOS DISTRITOS				CARAPO	3	TODOS LOS DISTRITOS
		SAN JUAN						SÁCSAMARCA		
		SAN ANTONIO DE CUSCANCHA						SANCOS		
		PILPICHACA						SANTIAGO DE LUCANAMARCA		
	HUAYTARÁ	QUERCO	4	TRECE DISTRITOS				CANGALLO	3	TODOS LOS DISTRITOS
		AYAVÍ						CHUSCHI		
		CÓRDOVA						LOS MOROCHUCOS		
		HUAYACUNDO						MARÍA PARADO DE BELLIDO		
		ARMA						PARAS		
		HUAYTARÁ						TOTOS		
		LARAMARCA								
		OCOYO								
		QUITO ARMA								
SAN FRANCISCO DE SANGAYAICO										
SAN ISIDRO										
SANTIAGO DE CHOCORVOS										
SANTIAGO DE QUIRAHUARA										
SANTO DOMINGO DE CAPILLAS										
TAMBO										

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	SANTA ROSA	2	DIEZ DISTRITOS
		TAMBO		
		ACOCRO		
		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		
	VÍCTOR FAJARDO	SORAS	3	TODOS LOS DISTRITOS
		ALCAMENCA		
		APONGO		
		ASQUIPATA		
		CANARIA		
		CAYARA		
		COLCA		
HUAMANQUIQUIA				

PARINACOCNAS	HUANCAPÍ	3	SEIS DISTRITOS		
	HUANCARAYLLA				
	HUAYA				
	SARHUA				
	VILCANCHOS				
	CHUMPI				
	CORACORA				
	CORONEL CASTAÑEDA				
	PACAPAUZA				
	SAN FRANCISCO DE RAVACAYCU				
	UPAHUACHO				
	PULLO			4	DOS DISTRITOS
	PUYUSCA				

HUANIPACA
LAMBRAMA
PICHIRHUA
SAN PEDRO DE CACHORA
TAMBURCO

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			

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	3	DOCE DISTRITOS			
CARAYBAMBA						
CHALHUANCA						
COTARUSE						
HUAYLLO						
JUSTO APU SAHUARAURA						
POCOHUANCA						
SAÑAYCA						
SORAYA						
TAPAIRIHUA						
TORAYA						
YANACA	3			TODOS LOS DISTRITOS		
ANTABAMBA						
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						
	PAIMAS						
	MORROPÓN	SAPILICA	4	CUATRO DISTRITOS			
		SUYO					
		PIURA			BUENOS AIRES	4	TODOS LOS DISTRITOS
					CHALACO		
	SALITRAL						
	SAN JUAN DE BIGOTE						
	SANTA CATALINA DE MOSSA						
	YAMANGO						
	CHULUCANAS						
	LA MATANZA						
	PIURA	MORROPÓN	4	TODOS LOS 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		
		VICE		
	SULLANA	BELLAVISTA	4	TODOS LOS DISTRITOS
		IGNACIO ESCUDERO		
		LANCONES		
		MARCAVELICA		
		MIGUEL CHECA		
		QUERECOTILLO		
		SALITRAL		
	TALARA	SULLANA	4	TODOS LOS DISTRITOS
		EL ALTO		
		LA BREA		
		LOBITOS		
		LOS ÓRGANOS		
		MÁNCORA		
		PARIÑAS		

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SISMICA	ÁMBITO
LAMBAYEQUE	FERREÑAFE	CAÑARIS	3	DOS DISTRITOS
		INCAHUASI		
		FERREÑAFE	4	CUATRO DISTRITOS
		MANUEL A. MESONES MURO		
		PITTIPO		
		PUEBLO NUEVO		
	LAMBAYEQUE	SALAS	3	UN DISTRITO
		CHOCHOPE		
		ILLIMO	4	SIETE DISTRITOS
		JAYANCA		
		LAMBAYEQUE		
		MOCHUMI		
		MÓRROPE		
		MOTUPE		
		OLMOS		
		PACORA		
	SAN JOSÉ			
	TÚCUME			
	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	OCHO DISTRITOS
		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	CHANCAY	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		
		TAURIFA		
		TAYABAMBA		
	URPAY			
	SANCHEZ CARRIÓN	COCHORCO	2	DOS DISTRITOS
		SARTIMBAMBA		
		CHUGAY		
		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		
		ACZO	3	TRES DISTRITOS
		MIRGAS		
		SAN JUAN DE RONTROY		
	HUARI	ANRA	2	SEIS DISTRITOS
		HUACACHI		
		HUACCHIS		
		PAUCAS		
		RAPAYÁN		
		UCO		
		CAJAY	3	
	CHAVÍN DE HUANTAR			
HUACHIS				
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			
	TAPACCOCHA			
	TICAPAMPA			
	AIJA	AIJA	3	DOS DISTRITOS
		CORIS		
		LA MERCED		
		HUACLLÁN	4	TRES DISTRITOS
		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		
	HUARMEY	COCHAPETI	3	TRES DISTRITOS
		HUAYAN		
		MALVAS		
		CULEBRAS		
	SANTA	HUARMEY	4	DOS DISTRITOS
		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	4	TODOS LOS DISTRITOS	
	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		
		NAZCA		
EL INGENIO				
MARCONA				
NAZCA				
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	4	UN DISTRITO			
			TAPAY					
TISCO								
TUTI								
YANQUE								
MAJES								
MAJES								

CASTILLA		ANDAGUA	3	ONCE DISTRITOS				
		AYO						
		CHACHAS						
		CHILCAYMARCA						
		CHOCO						
		MACHAGUAY						
		ORCOPAMPA						
		PAMPACOLCA						
		TIPÁN						
		UÑÓN						
		VIRACO						
						APLAO	4	TRES DISTRITOS
						HUANCARQUI		
URACA								

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	4	OCHO DISTRITOS				
			LA JOYA						
			POLOBAYA						
			SAN JUAN DE SIGUAS						
			SANTA ISABEL DE SIGUAS						
			SANTA RITA DE SIGUAS						
			UCHUMAYO						
			VÍTOR						
			YARABAMBA						
			CONDESUYOS			CONDESUYOS	CAYARANI	3	TRES DISTRITOS
							CHICHAS		
							SALAMANCA		
							ANDARAY		
CHUQUIBAMBA									
		IRAY	4	CINCO DISTRITOS					
		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.