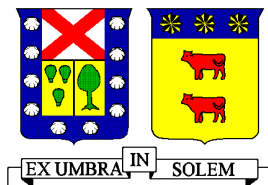


UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA
DEPARTAMENTO DE OBRAS CIVILES
VALPARAISO – CHILE



MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE LA CIUDAD DE VIÑA DEL MAR

Memoria de titulación presentada por
OSVALDO FRANCISCO CARRASCO PONCE
CARLOS SEBASTIÁN NÚÑEZ RIBÓ

Como requisito parcial para optar al título de
Ingeniero Civil

Profesor guía
Carlos Aguirre A.

Marzo de 2013

*Dedicado a nuestras familias, amigos y
todos aquellos que nos ayudaron y apoyaron
durante el transcurso de este trabajo.*

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar queremos agradecer a nuestras familias y amigos por el apoyo incondicional que nos han brindado durante este largo proceso.

A nuestro profesor guía el Sr. Carlos Aguirre por su orientación y colaboración durante el desarrollo de esta investigación.

A los profesores Miguel Petersen, Carlos Wahr y Eleonora Muñóz por su orientación y participación dentro del proyecto. Además queremos agradecer a Felipe Leyton y al Laboratorio de Ensayes de Materiales y Control de Obras LEMCO, en especial a Joel Salas y Paul Gálvez, por su colaboración y préstamo de instrumentos de medición que hicieron posible los registros realizados en terreno.

RESUMEN

El presente trabajo tiene el propósito de establecer las zonas que presentan una mayor Vulnerabilidad Sísmica en la ciudad de Viña del Mar, a partir de los resultados observados tras el terremoto ocurrido el 27 de Febrero de 2010, y en conjunto con el análisis de factores geotécnicos, geológicos y topográficos.

Se identifican las zonas más propensas a sufrir daño debido a un terremoto, lo cual sirve de base para formular los respectivos instrumentos de planificación territorial (IPT), que a su vez son elaborados para mitigar los eventuales efectos asociados a un sismo. En definitiva equivale a estimar las potenciales zonas de igual intensidad sísmica o llamado "Mapa de Isosistas". Los mapas de Microzonificación Sísmica permiten a los proyectistas anticipar las condiciones del terreno donde emplazarán sus estructuras, además de sugerir los tipos de fundación a utilizar y las eventuales mejoras que se deberán hacer al terreno.

Para establecer las zonas con mayor o menor intensidad sísmica, se determinan los daños generados en forma posterior al terremoto del 27 de Febrero de 2010 en las viviendas, se recopilan los antecedentes que describan los suelos de fundación de la ciudad para su posterior clasificación, se determinan y analizan los parámetros geotécnicos obtenidos a partir de ensayos realizados en distintos puntos de la ciudad, se identifica el período fundamental de los suelos mediante la técnica de Nakamura utilizando microvibraciones ambientales, y finalmente se genera un mapa de Microzonificación Sísmica georeferenciado obtenido a partir de un análisis multivariado.

ABSTRACT

The purpose of this research work is to establish the zones that present a higher Seismic Vulnerability in Viña del Mar city, from the results observed after the earthquake happened on February 27th, 2010, and in addition with the analysis of geotechnical, geological, topographic factors.

The most prone areas to be damaged by an earthquake are identified, which is the basis of formulating the respective territorial planning instruments (TPI), which in turn are elaborated to mitigate the possible effects associated with an earthquake. In sum it is equivalent to estimate the potential zones of equal seismic intensity also known as "Isoseismal Map." Seismic Microzonation maps allow engineers to anticipate the conditions of the ground where they will locate their structures, besides suggesting the types of foundation to use and any improvements that will have to be done in the area.

To establish zones with varying seismic intensity, we need to determine the damage caused post the February 27th earthquake at housing locations. At these locations there are collections of the precedents that describes the foundation soils of the city for later classification, identify and analyze the geotechnical parameters obtained from tests conducted in different parts of the city. It also identifies the fundamental period of the soil through Nakamura's technique using environmental micro-vibrations, and finally generates a Seismic Microzonation map obtained from georeferenced multivariate analysis.

GLOSARIO

A_h	Factor de amplificación horizontal del movimiento de la onda incidente de cuerpo
A_v	Factor de amplificación vertical del movimiento de la onda incidente de cuerpo
b	Coeficiente de ancho de banda de Konno y Ohmachi
c	Coeficiente de viscosidad, $[Pa \cdot s]$
CI	Índice de consistencia de la matriz de comparación
CI_{random}	Índice de consistencia de la matriz de comparación aleatoria
C_N	Factor de normalización por confinamiento para ensayo S.P.T
CR	Razón de consistencia
C_u	Resistencia al corte de suelo no drenado, $[MPa]$
D_i	Distancia entre la fuente de impacto y el geófono inferior, $[m]$
D_s	Distancia entre la fuente de impacto y el geófono superior, $[m]$
f	Frecuencia, $[Hz]$
f_c	Centro de frecuencia de Konno y Ohmachi, $[Hz]$
G_i	Grado de daños con intensidad i en escala MSK ($i = 0,1,2,3,4,5$)
G_m	Grado medio de daños en escala MSK
H_b	Espectro de movimiento horizontal en basamento rocoso, $[m]$
H_f	Contribución horizontal de ondas propagadas desde roca hacia la superficie, $[m]$
H_s	Espectro de movimiento horizontal de las ondas Rayleigh
H_{gi}	Profundidad del geófono inferior, $[m]$
H_{gs}	Profundidad del geófono superior, $[m]$
H_r	Espectro de movimiento horizontal de las ondas Rayleigh, $[m]$

L	Distancia entre la fuente del impacto y la perforación, [m]
n	Número de variables de la matriz de comparación
N	Cantidad de valores medidos (análisis Kriging)
N_1	N_{SPT} determinado a un rendimiento de referencia del 60%
$N_1(60)$	N_1 normalizado a presión de confinamiento de 0,1 MPa y por sistema de hincado.
N_i	Número de edificaciones de la muestra con grado de daños G_i
N_{SPT}	Número de golpes efectuados para ensayo SPT
RQD	Ensayo <i>Rock Quality Designation</i> , según norma ASTM D 6032
S_0	Ubicación de la predicción (Análisis Kriging)
t_b	Tiempo de la componente radial del geófono inferior, [ms]
t_t	Tiempo de la componente radial del geófono Superior, [ms]
T_h	Razón entre la contribución horizontal de ondas propagadas desde la roca a la superficie y el espectro de movimiento horizontal en basamento rocoso
t_i	Tiempo de la componente radial del geófono inferior, [ms]
T_h^*	Función de transferencia de Nakamura
t_s	Tiempo de la componente radial del geófono Superior, [ms]
T_v	Razón entre la contribución vertical de ondas propagadas desde la roca a la superficie y el espectro de movimiento vertical en basamento rocoso
u_b	Registro de desplazamiento en basamento rocoso
u_f	Registro de desplazamiento en la superficie
V_b	Espectro de movimiento vertical en basamento rocoso, [m]
V_f	Contribución vertical de ondas propagadas desde la roca hacia la superficie, [m]
V_s	Velocidad de onda de corte, [m/s]

V_r	Espectro de movimiento vertical de las ondas Rayleigh, [m]
W_b	Ventana de Konno y Ohmachi
γ_{sat}	Peso específico saturado del suelo, [T/m ³]
λ_i	Ponderación desconocida para el valor medido en la ubicación "i"
σ'_v	Esfuerzo vertical efectivo a profundidad de ensayo S.P.T, [T/m ²]
σ'_{vref}	Presión de confinamiento de referencia, [T/m ²]
σ_v	Esfuerzo vertical a profundidad de ensayo S.P.T, [T/m ²]
G	Módulo de corte, [Kgf/cm ²]
QTS	Razón entre la contribución horizontal y vertical de ondas propagadas desde la roca a la superficie
SB	Distancia entre la fuente del impacto y la perforación
T	Período fundamental del suelo, [s]
z	Profundidad de ensayo S.P.T, [m]
$Z(S_i)$	Valor medido en la ubicación "i" (Análisis Kriging)
γ	Peso específico del suelo, [T/m ³]
$\gamma(h)$	Semivariograma empírico
λ_{max}	Mayor valor propio de la matriz de comparación

INDICE

INTRODUCCIÓN	1
1 MICROZONIFICACION SISMICA Y METODOLOGÍA PROPUESTA.....	3
1.1 Antecedentes y Justificación	3
1.2 Metodología propuesta	4
2 DAÑOS OBSERVADOS PRODUCTO DEL SISMO DEL 27 DE FEBRERO DE 2010	7
2.1 Estructura urbana de la ciudad de Viña del Mar.....	10
2.2 Catastro de daños.....	11
2.3 Tipo de encuesta y metodología utilizada	12
2.4 Análisis de los daños observados	18
2.5 Comparación de daños con terremoto del 3 de Marzo de 1985	23
3 MODELO DE ASIGNACION DE INTENSIDADES	26
3.1 Procedimiento.....	26
3.2 Algoritmo utilizado para Propuesta 1.....	28
3.2.1 Número de estructuras con igual nivel de daño por cada cuadrante.....	28
3.2.2 Ponderación de daño por estructura asociada a cada cuadrante	29
3.2.3 Intensidad MSK en cada cuadrante para cada estructura	29
3.2.4 Intensidad MSK en cada nudo	30
3.3 Algoritmo utilizado para Propuesta 2.....	31
3.3.1 Número de estructuras con igual nivel de daño por cada cuadrante.....	31
3.3.2 Número de estructuras asociado a cada cuadrante	31
3.3.3 Ponderación de daño por estructura asociada a cada cuadrante	31
3.3.4 Ponderación de daño para todas las estructuras dentro de un cuadrante	32
3.3.5 Intensidad MSK en cada cuadrante para cada estructura	32
3.3.6 Intensidad MSK resultante por cada cuadrante	32
3.3.7 Intensidad MSK en cada nudo	32
3.4 Análisis de resultados	33
3.5 Análisis para la determinación de zonas de igual nivel sísmico	34
3.5.1 Análisis geoestadístico mediante método Kriging.....	34

3.5.2	Componentes de un Semivariograma.....	36
3.5.3	Modelos de Semivariograma.....	37
4	GEOLOGIA Y PROPIEDADES GEOTECNICAS DE LOS SUELOS DE VIÑA DEL MAR.....	42
4.1	Geología de Viña del Mar.....	42
4.1.1	Descripción geomorfológica del área de estudio	42
4.1.2	Descripción geológica	44
4.1.3	Topografía y remociones en masa.....	53
4.2	Clasificación Geotécnica de suelos.....	58
4.2.1	Ensayos Down-hole.....	59
4.2.2	Ensayos de Penetración Estándar (SPT).....	67
4.3	Amplificación sísmica.....	75
5	RESPUESTA DE SITIO MEDIANTE USO DE MICROVIBRACIONES	82
5.1	Definición y origen de las microvibraciones	82
5.2	Metodologías para la medición del efecto de sitio	83
5.3	Método de Nakamura: razón espectral H/V.....	85
5.3.1	Descripción de la metodología H/V	85
5.3.2	Análisis de registros y estimación de período fundamental	87
5.4	Medición de microvibraciones.....	88
5.4.1	Procedimiento y alcances de los registros	88
5.4.2	Características de equipos de medición.....	90
5.4.3	Análisis y resultados.....	91
6	ANALISIS FINAL Y MICROZONIFICACION PROPUESTA.....	95
6.1	Unificación de las variables analizadas.....	95
6.2	Correlación entre variables analizadas.....	98
6.3	Desarrollo análisis PAJ	103
6.4	Análisis y Resultados.....	107
7	CONCLUSIONES.....	113
8	REFERENCIAS	117
	ANEXOS	122
A.	Antecedentes generales de la ciudad de Viña del Mar	123

B.	Encuesta de evaluación de daños	126
C.	Efectos asociados a la Intensidad Mercalli Modificada (IMM)	128
D.	Resultados estadísticos de encuestas realizadas	129
E.	Número de encuestas realizadas por cuadrante	137
F.	Resumen método Kriging Exponencial	138
G.	Ensayos de Penetración Estándar S.P.T.....	140
H.	Registro de Microvibraciones	163
I.	Grilla de mapas temáticos	224
J.	Análisis Proceso Analítico Jerárquico	235
K.	Análisis correlación Microzonificación Sísmica Pérez, L.E. (1988)	240
L.	Mapas temáticos.....	246

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Esquema de metodología propuesta	6
Figura 2: Registro Viaducto Marga-Marga	8
Figura 3: Registro Centro	9
Figura 4: Sectores de Viña del Mar	10
Figura 5: Número de viviendas con daños por Sector	11
Figura 6: Resultado preliminar de evacuación de viviendas	12
Figura 7: Curva patrón para construcciones Tipo A.....	16
Figura 8: Curva patrón para construcciones Tipo B.....	16
Figura 9: Curva patrón para construcciones Tipo C.....	17
Figura 10: Lugares encuestados	19
Figura 11: Definición de tamaño de celdas y sub-celdas, unidades en metros.....	27
Figura 12: Grilla definida de 500x500 m ²	27
Figura 13: Intensidad MSK por nodo. Propuesta 1	30
Figura 14: Intensidad MSK por nodo. Propuesta 2	33
Figura 15: Cálculo de la diferencia cuadrada entre ubicaciones	36
Figura 16: Gráfico de semivariograma empírico	36
Figura 17: Componentes de rango, meseta y nugget.....	37
Figura 18: Modelo de semivarianza Exponencial	38
Figura 19: Kriging método Exponencial	38

Figura 20: Modelo de semivarianza Gaussiana	39
Figura 21: Kriging método Gaussiano	39
Figura 22: Modelo de semivarianza Lineal.....	40
Figura 23: Kriging método Lineal.....	40
Figura 24: Mapa Isosistas en escala MSK.....	41
Figura 25: Mapa geológico del área de Viña del Mar	45
Figura 26: Mapa geológico del área de Valparaíso – Curacaví. SERNAGEOMIN	46
Figura 27: Mapa geológico del área Quillota – Portillo. SERNAGEOMIN.....	47
Figura 28: Ondas sísmicas en suelos de distinta competencia.....	48
Figura 29: Mapa geológico del área Valparaíso – Viña del Mar	50
Figura 30: Mapa geológico del área de Valparaíso – Curacaví. SERNAGEOMIN	50
Figura 31: Mapa geológico del área Quillota – Portillo. SERNAGEOMIN.....	51
Figura 32: Mapa Geológico propuesto para Viña del Mar	52
Figura 33: Modelo digital de elevación de Viña del Mar	54
Figura 34: Remociones en masa	57
Figura 35: Esquema ensayo Down-Hole	62
Figura 36: Resultados ensayos Down-hole según NCh 433 DS 61.....	66
Figura 37: Ensayos SPT a diferentes profundidades.....	71
Figura 38: Clasificación final a partir de ensayos SPT	72
Figura 39: Amplificación Sísmica sector Plan	77

Figura 40: Plano Isobático sector Plan	78
Figura 41: Amplificación Sísmica sector Canal Beagle	79
Figura 42: Correlación entre Razón Espectral Media y Razón de Aceleración Máxima	80
Figura 43: Mapa de Amplificación Sísmica.....	81
Figura 44: Estructura geológica típica de depósito sobre roca	85
Figura 45: Posición de registros de microvibraciones.....	90
Figura 46: Caracterización de las diferentes curvas H/V.....	92
Figura 47: Mapa de Isoperíodos propuesto	93
Figura 48: Correlación entre Isosistas de daño y Geología	100
Figura 49: Correlación entre Isosistas de daño y Fenómenos de remoción en masa	100
Figura 50: Correlación entre Isosistas de daño y Ensayos SPT	101
Figura 51: Correlación entre Isosistas de daño y Amplificación Sísmica.....	101
Figura 52: Correlación entre Isosistas de daño y Período fundamental	102
Figura 53: Combinación de superficies	106
Figura 54: Esquema de obtención de regiones	106
Figura 55: Mapa de Isosistas según PAJ	108
Figura 56: Mapa de Microzonificación Sísmica	109
Figura 57: Mapa final de Microzonificación Sísmica propuesto.....	109
Figura 58: Correlación entre mapas de Microzonificación Sísmica	111
Figura 59: Distribución de Superficie por Sectores.....	124

Figura 60: Distribución de Población por Sectores.....	125
Figura 61: Histograma del Número de pisos de viviendas encuestadas.....	131
Figura 62: Histograma de Sectores encuestados.....	131
Figura 63: Histograma del Tipo de viviendas encuestadas	132
Figura 64: Histograma del Tipo de construcción de viviendas encuestadas.....	132
Figura 65: Histograma del Tipo de edificios encuestados.....	133
Figura 66: Histograma del Grado de daño de viviendas encuestadas.....	133
Figura 67: Gráfico Sector v/s Grado de daño observado	136
Figura 68: Gráfico Sector v/s Intensidad de daño MSK.....	136
Figura 69: Número de encuestas por cuadrante	137
Figura 70: Semivariograma de análisis Kriging para Intensidades MSK.....	138
Figura 71: Errores de predicción análisis Kriging para Intensidades MSK.....	139
Figura 72: Ubicación Sondajes SPT	140
Figura 73: Ubicación registros GVB 316.....	166
Figura 74: Grilla con nodos enumerados.	224
Figura 75: Mapa de isosistas con grilla enumerada.....	225
Figura 76: Mapa geológico propuesto con grilla enumerada.	226
Figura 77: Mapa de Fenómeno de Remoción en Masa con grilla enumerada.....	227
Figura 78: Mapa de ensayos SPT con grilla enumerada.....	228
Figura 79: Mapa de Amplificación Sísmica con grilla enumerada.	229

Figura 80: Mapa de Isoperiodos con grilla enumerada.	230
Figura 81: Mapa Microzonificación (Pérez, L.E., 1988) con grilla enumerada.	240
Figura 82: Mapa Microzonificación Sísmica propuesto con grilla enumerada.....	241
Figura 83: Mapa Isosistas en escala MSK.....	246
Figura 84: Mapa Geológico propuesto para Viña del Mar.....	247
Figura 85: Clasificación final a partir de ensayos SPT.....	248
Figura 86: Mapa de Amplificación Sísmica.....	249
Figura 87: Mapa de Isoperiodos propuesto.....	250

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Morfología Viña del Mar y Reñaca.....	42
Ilustración 2: Morfología de terrazas.....	43
Ilustración 3: Morfología de Reñaca.....	43
Ilustración 4: Computador portátil.....	60
Ilustración 5: Geófono superior e inferior.....	60
Ilustración 6: Acelerómetro.....	61
Ilustración 7: Válvula y bladder.....	61
Ilustración 8: Geófono GVB 316 y SYSCOM MR 2002 respectivamente.....	91

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Tipo de estructura según escala MSK.....	13
Tabla 2: Grado de daño según escala MSK	14
Tabla 3: Definición del grado de intensidad MSK.....	15
Tabla 4: Grados medios de daños G_m	18
Tabla 5: Clasificación de edades geológicas.....	45
Tabla 6: Clasificación de edades geológicas.....	46
Tabla 7: Clasificación de edades geológicas.....	47
Tabla 8: Niveles de peligro de remociones en masa.....	56
Tabla 9: Clasificación de V_s	64
Tabla 10: Clasificación de suelos IBC	64
Tabla 11: Clasificación de suelos Eurocode.....	64
Tabla 12: Clasificación de suelos a partir de sondaje SPT.....	69
Tabla 13: Resultados de razón espectral media y de aceleración máxima.....	80
Tabla 14: Fuentes de ruido y frecuencias.....	83
Tabla 15: Descripción del Tipo de suelo.....	84
Tabla 16: Criterios de Stäl, F. y Westberg, G. (1996) para elección de sitios	89
Tabla 17: Escala de asignación de importancia comparativa.....	96
Tabla 18: Reclasificación de variables para comparación de mapas temáticos.....	99

Tabla 19: Nivel de correlación de la intensidad de daño con las demás variables.....	99
Tabla 20: Matriz de comparación	103
Tabla 21: Parámetros $\lambda_{m\acute{a}x}$ e Índice de Consistencia	103
Tabla 22: Pesos de variables según análisis PAJ	104
Tabla 23: Variables con categorías normalizadas.....	105
Tabla 24: Nivel de correlación entre mapas de Microzonificación sísmica.	110
Tabla 25: Superficie por Sector.....	123
Tabla 26: Población por Sector.....	124
Tabla 27: Escala de Intensidad Mercalli Modificada.....	128
Tabla 28: Tabla de frecuencia de viviendas encuestadas por sector.....	129
Tabla 29: Tabla de frecuencia del tipo de vivienda encuestada.....	129
Tabla 30: Tabla de frecuencia del tipo de construcción encuestado.....	129
Tabla 31: Tabla de frecuencia del número de pisos encuestado	130
Tabla 32: Tabla de frecuencia del grado de daño observado	130
Tabla 33: Tabla de frecuencia del tipo de estructura encuestada.....	130
Tabla 34: Tabla de contingencia Sector v/s Tipo de construcción.....	134
Tabla 35: Tabla de contingencia Sector v/s Tipo de edificio	134
Tabla 36: Tabla de contingencia Sector v/s Grado promedio de daño.....	135
Tabla 37: Tabla de contingencia Tipo de edificio v/s Grado de daño	135
Tabla 38: Tabla de contingencia Tipo de edificio v/s Grado promedio de daño	135

Tabla 39: Resumen método de interpolación Kriging para Intensidades MSK	138
Tabla 40: Asignación de datos (variables) a nodos de grilla preestablecida	231
Tabla 41: Matriz de comparación Random, análisis PAJ	235
Tabla 42: Iteración N°1, análisis PAJ	235
Tabla 43: Iteración N°2, análisis PAJ	235
Tabla 44: Iteración N°3, análisis PAJ	236
Tabla 45: Iteración N°4, análisis PAJ	236
Tabla 46: Iteración N°5, análisis PAJ	237
Tabla 47: Iteración N°6, análisis PAJ	237
Tabla 48: Iteración N°7, análisis PAJ	238
Tabla 49: Iteración N°8, análisis PAJ	238
Tabla 50: Iteración N°9, análisis PAJ	239
Tabla 51: Iteración N°10, análisis PAJ	239
Tabla 52: Asignación de datos a nodos de grilla preestablecida (Mapas finales)	242

INTRODUCCIÓN

Chile, a lo largo de su historia, se ha visto afectado por sismos de diversa magnitud, generando pérdidas humanas y materiales. La ciudad de Viña del Mar no ha estado exenta de estos fenómenos, presentando además diferencias en los daños observados luego de terremotos destructivos en forma sistemática. Es por este motivo que se hace necesario establecer la vulnerabilidad sísmica presente, sobre todo para grandes ciudades como Viña del Mar, con el fin de identificar aquellas zonas que presenten similar comportamiento sísmico, para establecer así planes de contingencia y medidas de resguardo en las zonas más vulnerables al momento de diseñar y construir, minimizando de esta forma la pérdida de vidas humanas.

La técnica de Microzonificación Sísmica se ha desarrollado fuertemente en el mundo, con el objetivo de conocer las propiedades de los suelos de fundación, y cómo estos reaccionarían en conjunto con las estructuras ante un eventual evento telúrico. En el caso chileno se han realizado Microzonificaciones Sísmicas desde la década de los 70, utilizando distintos procedimientos. Para la zona estudiada se han realizado trabajos previos, los cuales se efectuaron en forma posterior al terremoto del 3 de Marzo de 1985, siendo uno de los principales objetivos de esta investigación poder comparar los daños generados por el terremoto del 27 de Febrero de 2010 con el anterior ocurrido el año 1985, ya que la ciudad durante estos años ha expandido sus zonas urbanas y crecido demográficamente.

El estudio presentado consiste, en primer lugar, en conocer los daños producidos por el pasado terremoto, a partir de encuestas realizadas en la ciudad y utilizando la escala MSK adaptado a la metodología de Monge, J. y Astroza, M. (1989), la cual ha sido ampliamente difundida y aceptada en el país. Además incorpora la geología, geomorfología y una clasificación de suelos según la norma sísmica vigente, a partir de ensayos SPT

Por otra parte se incorporan registros y análisis de microvibraciones, a partir de los cuales se obtiene el período fundamental de los suelos de la ciudad mediante la técnica de Nakamura. Una vez estudiadas las diversas variables involucradas, y mediante un análisis multivariado basado en el Proceso de Análisis Jerárquico, se obtiene finalmente el mapa de curvas Isosistas que señalan las zonas donde se presenta un mismo nivel de intensidad sísmica.

En el capítulo 1 se describe el estudio de Microzonificación Sísmica y la necesidad de aplicarlo a grandes ciudades. A su vez, se hace una reseña de las distintas metodologías existentes para estudios de esta índole, y la metodología general propuesta para el presente trabajo.

En el capítulo 2 se hace una breve descripción de las características del sismo ocurrido el 27 de Febrero de 2010 y se presentan los daños observados en Viña del Mar a partir de encuestas realizadas en viviendas, junto con la metodología utilizada para determinar el grado de intensidad. Finalmente se hace una descripción del daño observado más representativo para cada sector de la ciudad y su respectiva comparación con lo ocurrido tras el terremoto del 3 de Marzo de 1985.

El capítulo 3 define el modelo de asignación de intensidades basado en la escala MSK y su posterior análisis mediante métodos geoestadísticos, lo cual es utilizado para definir una primera zonificación de la ciudad.

En el capítulo 4 se describe la geología de los suelos de Viña del Mar, presentando un mapa propuesto, realizado a partir de estudios previos y verificaciones de contactos en terreno. Además se presenta una clasificación geomorfológica y geotécnica, a partir del análisis de pendientes y ensayos en terreno respectivamente. Sumado a esto se realiza una recopilación de estudios de amplificación sísmica para los sectores Plan y Canal Beagle.

EL capítulo 5 describe el origen de las microvibraciones, la metodología de Nakamura, su análisis e interpretación. Además establece la metodología con la cual se clasifican los suelos de fundación a partir de esta técnica, junto con su mapa de Isoperíodos respectivo.

En el capítulo 6 se presenta el modelo integral de Microzonificación Sísmica utilizando un Procedimiento de Análisis Jerárquico, incluyendo la fundamentación teórica, el programa utilizado y los resultados obtenidos. Además se entrega la zonificación propuesta y un análisis global de los resultados obtenidos.

En el capítulo 7, se exponen las principales conclusiones y recomendaciones del desarrollo de esta memoria.

1 MICROZONIFICACION SISMICA Y METODOLOGÍA PROPUESTA

1.1 Antecedentes y Justificación

La ciudad de Viña del Mar pertenece a la Provincia y Región de Valparaíso, localizada en la zona central de Chile. Se emplaza a 110 kilómetros al oeste de la ciudad de Santiago, y a sólo 7 km de Valparaíso. Posee una alta densidad poblacional y es uno de los atractivos turísticos más importantes del país. Gran parte de esta ciudad se encuentra emplazada en zonas de depósitos cuaternarios, relativamente jóvenes y poco consolidados, y presenta fenómenos de amplificación sísmica en el suelo debido a efectos de sitio asociados a la respuesta sísmica de sus depósitos, fallas geológicas y topográficas.

Existen estudios anteriores de Microzonificación Sísmica, geología y caracterización de suelos realizados en la ciudad, los cuales se han realizado con el fin de comprender de mejor forma las características de éstos, identificando, entre otras cosas, las zonas más expuestas a un sismo de alta intensidad. El trabajo de Microzonificación Sísmica tiene como objetivo principal estimar las potenciales zonas de igual intensidad sísmica o Isosistas, lo cual se debe correlacionar al menos con la información geológica y geotécnica existente. Además permite a los proyectistas anticipar las condiciones del terreno donde emplazarán sus estructuras, los tipos de fundación que deberán considerar, y las eventuales mejoras que deban realizar al terreno, entre otros aspectos. Un mapa de Microzonificación Sísmica no tiene como objetivo identificar aquellas zonas donde no se pueda construir una determinada obra, sino ayudar como guía para prever en qué sectores aquellos proyectos puedan llevarse a cabo con mayor seguridad y bajo qué resguardos.

Se han efectuado, en reiteradas ocasiones, estudios en la ciudad en forma posterior al terremoto del 3 de Marzo de 1985. Luengo, R. (1986) realizó una clasificación de los suelos de Viña del Mar a partir de diversos ensayos, con los cuales pudo identificar un total de 26 zonas de similar estratigrafía. Posteriormente Pérez, L. E. (1988), logró generar una primera microzonificación sísmica de Viña del Mar, incorporando principalmente los ensayos a la fecha de mecánica de suelos, registros de microvibraciones ambientales mediante la metodología de Kanai y los daños generados en viviendas producto del terremoto de Marzo de 1985. Verdugo, A. (1996) obtuvo mediante un estudio gravimétrico la profundidad de la roca basal en el sector Plan de la ciudad, mediante lo cual, Pérez, P. (2003), pudo obtener la respuesta dinámica de los suelos a través de un

modelo de elementos finitos, obteniendo finalmente Isosistas de Aceleración Máxima, Intensidad de Arias y Potencial Destructivo, entre otros. A pesar que de la gran cantidad de estudios realizados en la zona, es necesario establecer una nueva Microzonificación Sísmica, ya que, debido al actual estado del arte, es posible utilizar nuevas y mejores metodologías para evaluar y caracterizar las propiedades mecánicas y dinámicas de los suelos.

Por otra parte, la ciudad se ha expandido con el pasar de los años y la zona urbana se ha visto modificada. Se hace importante, de esta forma, realizar un nuevo catastro de daño a las viviendas en forma posterior al terremoto del 27 de Febrero de 2010, para así poder conocer la actual condición que presentan las viviendas en la ciudad. Es posible de esta manera identificar las zonas más dañadas y compararlas con estudios anteriores.

En general, no se puede determinar que exista una metodología única para realizar una Microzonificación Sísmica, pero sí se hace necesario contar con la mayor cantidad posible de información. Además se pueden realizar nuevos métodos de análisis que sirvan de complemento para contrastar los resultados, o bien, dar el paso a estudios posteriores.

Toda la información obtenida puede ser georreferenciada y visualizada en su respectivo formato GIS, lo cual permite una mayor y mejor comprensión de los fenómenos estudiados, facilitando así su análisis e interpretación.

1.2 Metodología propuesta

Para llevar a cabo un trabajo de Microzonificación Sísmica se debe contar con la mayor cantidad de información posible de forma tal de obtener un resultado que ilustre de mejor manera lo observado luego de un terremoto. Existen diversos métodos para realizar una Microzonificación Sísmica de un sector, siendo el registro de aceleraciones producidas durante sismos severos el más útil de todos, pero acarreado un elevado costo de operación. Es por ello que para efectos de esta investigación, se han utilizado mecanismos alternativos para lograr identificar las zonas donde exista mayor vulnerabilidad sísmica.

El primer método utilizado para realizar una Microzonificación Sísmica es a través del daño observado en las viviendas, para lo cual se procede a efectuar un catastro en terreno identificando la ubicación, tipo de construcción y daño observado, entre otras cosas. De esta manera, mediante

la definición de grados de daños y tipo de construcción, se define una escala de intensidades MSK la cual se asemeja a la escala de Mercalli Modificada en cuanto a las percepciones humanas y efectos en las construcciones.

Por otra parte, analizando los ensayos SPT realizados en la ciudad hasta la fecha, se conocen los parámetros resistentes del suelo y se pueden estimar zonas donde exista una misma categoría, según la normativa actual chilena. Junto con lo anterior, se identifican las distintas unidades geológicas y geomorfológicas de la ciudad, con el objetivo de incorporar mayor información al modelo a conformar.

Otra arista dentro de este estudio es el uso de microvibraciones ambientales, ampliamente utilizado para evaluar el efecto de sitio al determinar el período fundamental del suelo, cuando se pretende realizar estudios de Microzonificación Sísmica de grandes ciudades. Períodos predominantes obtenidos con microvibraciones han demostrado ser semejantes a los calculados con movimientos fuertes (Nakamura, Y. 1989). Una de las técnicas más utilizadas por su simplicidad y economía consiste en calcular la razón espectral entre las componentes horizontal y vertical (H/V), conocida como técnica de Nakamura, donde se registra el ruido ambiental de un sitio mediante geófonos. Nakamura supone que el cociente espectral entre las componentes horizontal y vertical de las microvibraciones es una aproximación de la función de transferencia de los suelos, siendo posible evaluar los efectos de sitio al obtener, a partir de la aplicación de este método, el periodo fundamental de resonancia.

A continuación se presenta un esquema con la metodología utilizada en el presente estudio:

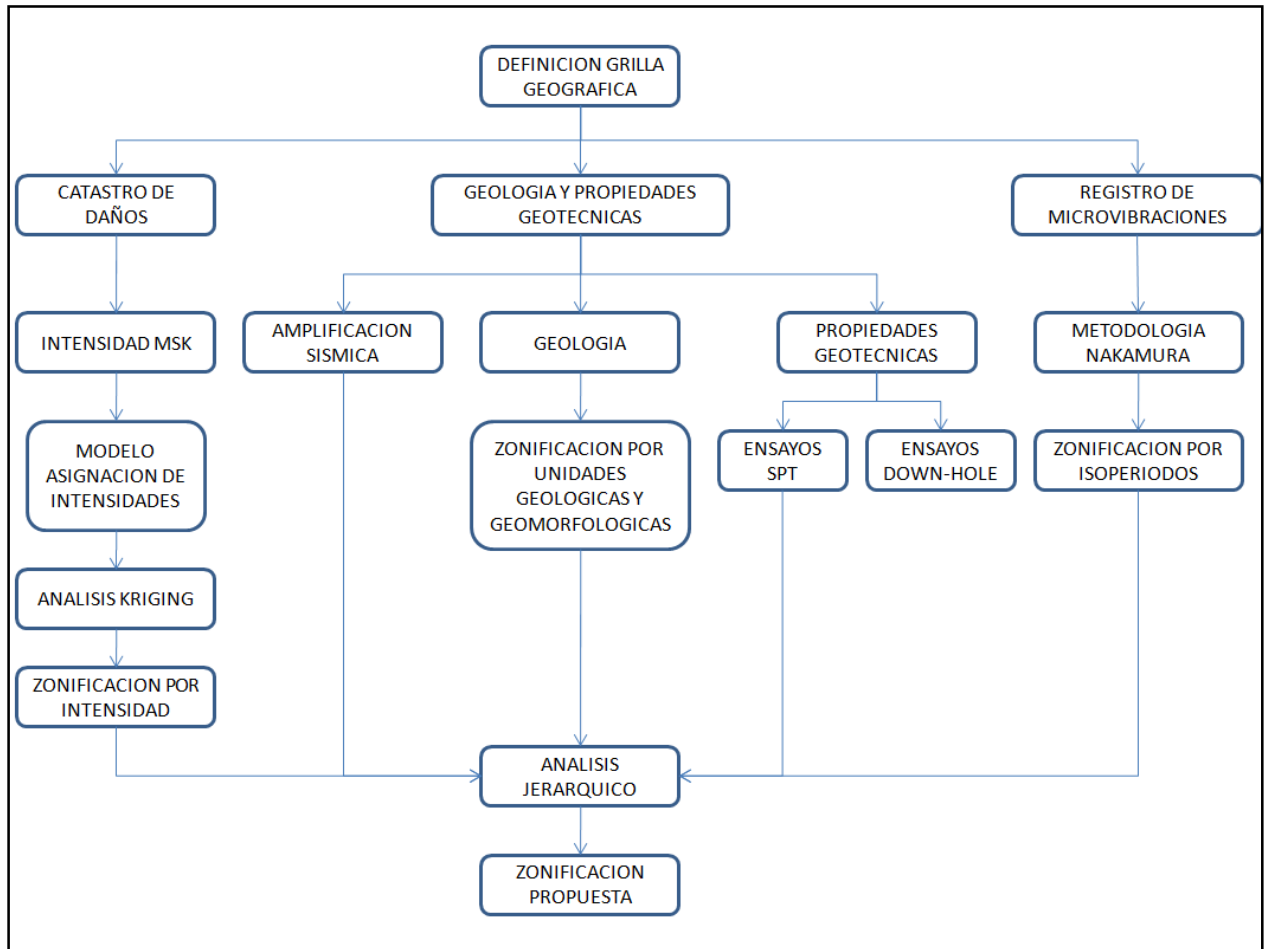


Figura 1: Esquema de metodología propuesta

Finalmente se utiliza un Proceso de Análisis Jerárquico que involucra en cada punto del modelo georreferenciado todos los atributos que se puedan determinar, indicando una correlación con el daño observado. Para llevar eso a cabo, se analizarán las distintas variables en función de la importancia relativa que éstas poseen dentro del estudio, lo cual será analizado en el Capítulo 6.

2 DAÑOS OBSERVADOS PRODUCTO DEL SISMO DEL 27 DE FEBRERO DE 2010

El origen de los sismos en nuestro planeta está asociado principalmente a la interacción entre las placas tectónicas. Para el caso chileno, las placas Sudamericana y de Nazca son las que al estar en contacto, producen dicho fenómeno generando sismos de distinto tipo. La subducción de la Placa de Nazca se realiza según un plano inclinado hacia el Este con buzamientos que varían entre los 15° y 40° respecto a la horizontal, denominado plano de Benioff. En la zona de Chile Central, la Placa de Nazca desciende bajo la placa Sudamericana con un ángulo de 14° a 25° aproximadamente y a una velocidad relativa de cerca de entre 66 y 70 mm/año. La teoría más aceptada del movimiento en las placas tectónicas es por la liberación de calor mediante movimientos convectivos de material del manto, que empujarían la placa de Nazca en dirección al Este generando la convergencia, situación favorecida por la composición y edad de la placa oceánica (35 millones de años en la zona central y comparativamente más densa) por lo que tendería a introducirse bajo la corteza continental menos densa de la placa Sudamericana. El movimiento relativo de las placas se ve impedido por asperezas que generan un fuerte grado de acoplamiento mecánico y permiten una capacidad enorme de acumulación de energía de deformación. Al superar la resistencia de la roca y liberarse, generan sismos de gran magnitud (Kausel, E. 1986).

Se han documentado diversos sismos que han afectado a la V región de nuestro país, de los cuales resaltan el de 17 de Marzo de 1575 (7,3 Ms), 13 de Mayo de 1647 (8,5 Ms), 8 de Julio de 1730 (8,7 Ms), 19 de Noviembre de 1822 (8,5 Ms), 16 de Agosto de 1906 (7,9 Ms y 8,2 Mw) y 3 de Marzo de 1985 (7,8 Ms y 8,0 Mw), según el Servicio Sismológico de la Universidad de Chile. Se debe señalar que los terremotos de 1647, 1730, 1822, 1906 y 1985, han tenido sus epicentros costa afuera de la región, la longitud total de las zonas de ruptura de todos ellos es más de 150 Km, se han generado maremotos pequeños excepto en 1730 y se han producido sistemáticamente sollevamientos a lo largo de la costa. El período de recurrencia estimado para los grandes terremotos que afectan a la región es de 82 ± 6 años (Kausel, E. 1986).

El pasado terremoto del 27 de Febrero de 2010 tuvo su epicentro frente a las localidades de Curanipe y Cobquecura, cerca de 150 Km al noroeste de la ciudad de Concepción, y a una profundidad de 30,1 Km, presentando una magnitud de 8,8 Mw y afectando a cerca de un 80% de

la población del país. La Región de Valparaíso no estuvo ajena a este fenómeno, siendo afectadas principalmente las provincias de Valparaíso y San Antonio, presentado severos daños en viviendas, edificios patrimoniales, hospitales, estructuras ferroviarias, viales y portuarias. Específicamente en Viña del Mar, el Sistema Sismológico Nacional de la Universidad de Chile registró aceleraciones máximas en los centros de medición Viaducto Marga-Marga y Centro, las cuales se pueden observar en la Figura 2 y Figura 3 respectivamente.

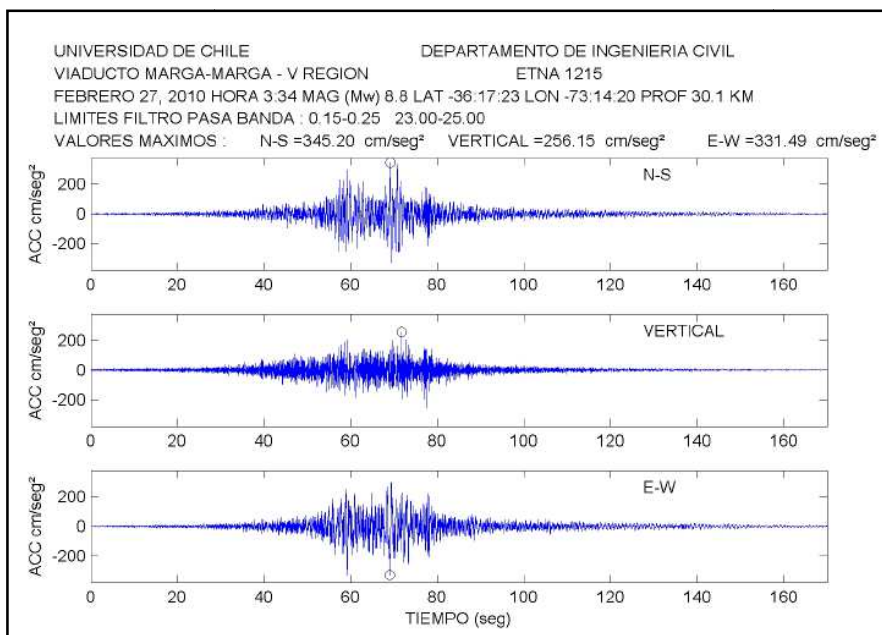


Figura 2: Registro Viaducto Marga-Marga

Fuente: Sistema Sismológico Nacional, Universidad de Chile

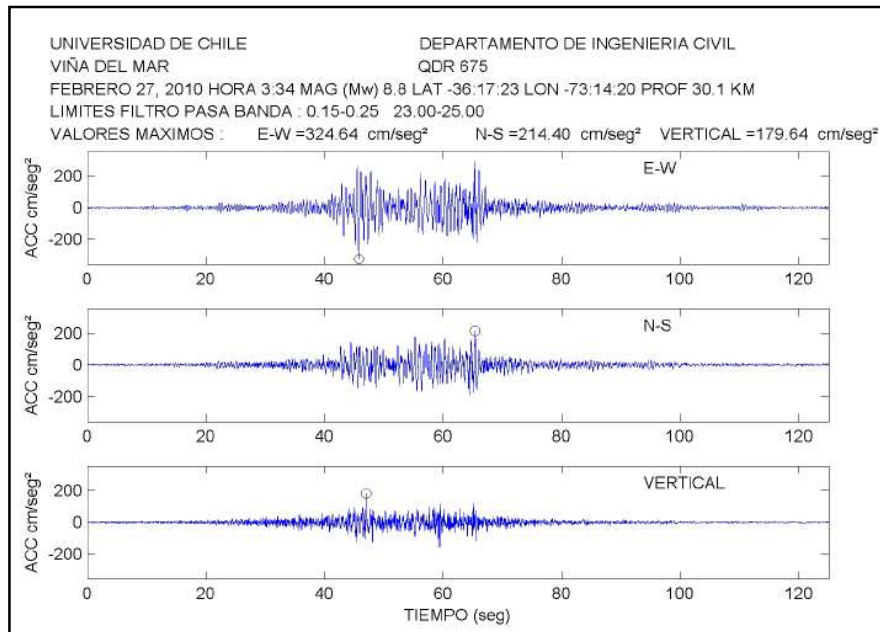


Figura 3: Registro Centro

Fuente: Sistema Sismológico Nacional, Universidad de Chile

Los registros obtenidos en la ciudad muestran aceleraciones máximas, para el caso del Viaducto Marga-Marga (Latitud $-33,0469^\circ$ y Longitud $-71,51^\circ$) de 0,351 g en dirección NS, 0,338 g en EW y 0,261 g en V, mientras que el registro del Centro (Latitud $-33,0253^\circ$ y Longitud $-71,551^\circ$) de 0,219 g en dirección NS, 0,334 g en EW y 0,186 g en V. El terremoto del año 2010 dejó evidencias que sismos gatillados más al Sur de la zona de estudio (zona centro – Sur entre los 35° y 40° latitud Sur: terremotos 1570, 1657, 1751, 1835, 1928 y 2010) también pueden afectar el área de análisis, generándose un acoplamiento entre dos zonas de ruptura de las placas.

En el presente capítulo se analizarán en detalle los daños presentados por el terremoto ocurrido el 27 de Febrero del 2010, con el objetivo de identificar las intensidades presentadas en los distintos sectores que integran la ciudad y así realizar una comparación con los daños observados luego del terremoto de Marzo de 1985.

Cabe señalar que debido a la gran complejidad presentada en la ciudad, en el ámbito geomorfológico, se decidió estudiar los daños causados por el terremoto en prácticamente toda el área urbana de la ciudad, permitiendo así identificar claramente los sectores que hayan presentado mayor o menor daño, para luego contrastarlos con los parámetros geotécnicos y geológicos analizados en el presente estudio.

2.2 Catastro de daños

A partir de la base de datos generada por la Secretaría Comunal de Planificación de la Municipalidad de Viña del Mar (SECPLA), la cual consta de un catastro realizado a 641 estructuras de la ciudad los días posteriores al terremoto del 27 de Febrero del 2010. Esta base de datos se utilizó como herramienta comparativa para calibrar los resultados obtenidos y aumentar el universo de encuestas. De esta forma se optimizó la obtención de datos con el método de Intensidad MSK modificado (Monge, J. y Astroza, M., 1989) en la ciudad.

Informes preliminares realizados por la Municipalidad de Viña del Mar, demuestran que el mayor porcentaje de daños ocurrió en el Sector Plan con un 63,4% como se observa en la Figura 5, mientras que en la Figura 6 se muestran los resultados preliminares para evacuación de viviendas.

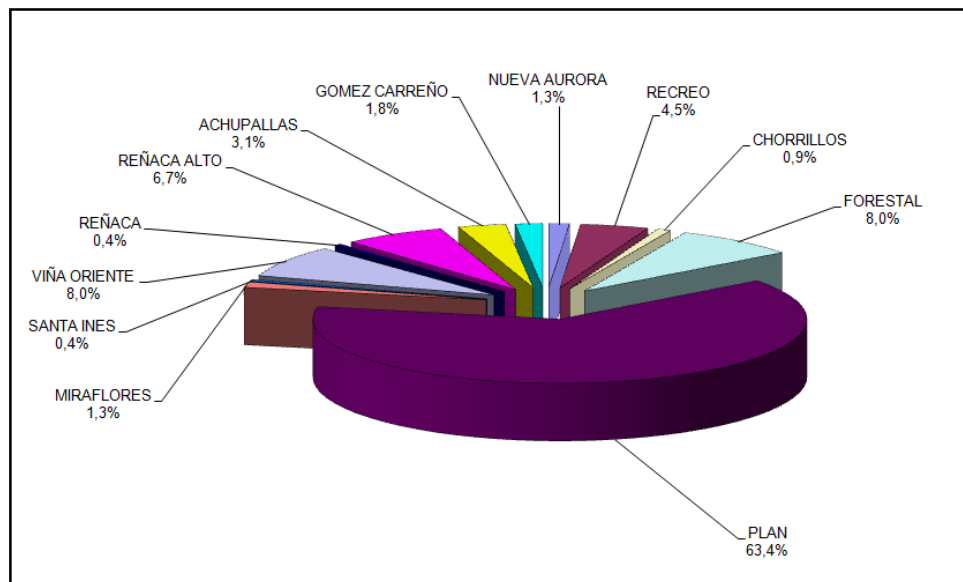


Figura 5: Número de viviendas con daños por Sector
Fuente: SECPLA Viña del Mar

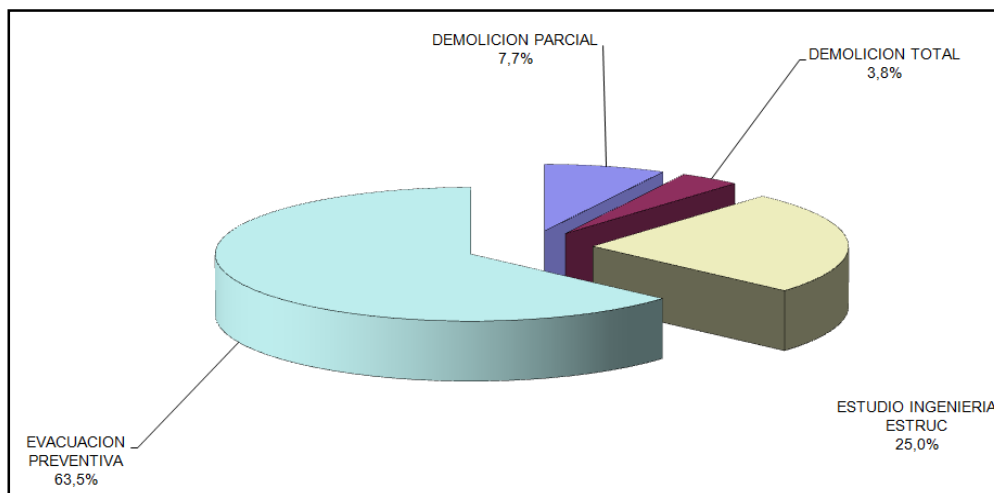


Figura 6: Resultado preliminar de evacuación de viviendas
Fuente: SECPLA Viña del Mar

2.3 Tipo de encuesta y metodología utilizada

Para cuantificar los daños generados a partir del terremoto recién pasado, se realizaron 933 encuestas en la ciudad de Viña del Mar, utilizando el formato de encuesta detallada en el Anexo B, la cual permite identificar:

- Ubicación y tipo de construcción
- Número de pisos
- Tipo de vivienda
- Estado interior: agrietamiento y desplome de paredes, cielos y envigados
- Estado exterior: techo, agrietamiento o desplome de paredes exteriores

Acorde a lo antes señalado, en primera instancia se encuestaron viviendas pertenecientes al registro municipal de daños, para luego continuar con otras viviendas representativas del sector, de manera de contrastar las mediciones ya realizadas por la Municipalidad, generándose una corrección y validación de los datos utilizados.

El muestreo fue acotado a viviendas de características similares, pues ello mejora la comparación y hace más confiable los resultados. Una manera de uniformar estas viviendas fue limitando la altura a 2 pisos, lo cual se consideró como máximo para una vivienda unifamiliar, evitando de esta forma obtener 2 registros de propietarios diferentes en una misma estructura.

Esto se debe a que las viviendas de 1 o 2 pisos presentan un mayor y mejor universo que las estructuras en altura, las cuales se concentran principalmente en el sector Plan de la ciudad, y generan distintos niveles de daño por piso, dependiendo principalmente de su tipología estructural. Sin embargo, se encuestaron 49 estructuras de 3 pisos en zonas donde éstas son representativas.

La información recopilada se codificó de forma tal de poder asignar a una malla preestablecida la magnitud de las variables. La metodología utilizada para determinar el grado de intensidad a partir de los daños se basó en la escala de intensidades MSK, adaptando los daños y tipos de construcciones al país (Monge, J. y Astroza, M., 1989). Esta escala de intensidades coincide con la escala de 12 grados de Mercalli Modificada (Medvedev, S., Sponheur, W. y Kárnik, V., 1964), presentada en el Anexo C. Esta información puede ser útil para comparar experiencias con eventos sísmicos pasados que sólo cuentan con registros de intensidad.

El análisis estadístico del comportamiento de un gran número de construcciones de una misma tipología, permite precisar mejor el grado de intensidad, el cual se puede expresar en fracciones de grados para el trazado de las Isosistas. Para estos efectos se trabaja con encuestas de daño, las cuales son traducidos en intensidades de la escala Mercalli Modificada definiéndose, a su vez, en función de 5 grados de daños y 3 tipos de edificaciones (ver Tabla 1 y Tabla 2). Cabe mencionar que han sido adaptados obedeciendo aspectos prácticos detectados en el estudio del sismo del 3 de Marzo de 1985.

Tabla 1: Tipo de estructura según escala MSK
Fuente: Monge, J. y Astroza, M. (1989)

	Definición original	Adaptaciones
Tipo A:	Edificios de mampostería de piedra sin labrar, estructuras rurales, casas de adobe, casas de tierra.	Edificios de adobe, edificios de mampostería de piedra unida con barro.
Tipo B:	Edificios corrientes de albañilería de ladrillos, edificios de bloques grandes y del tipo prefabricado, tabiquerías pesadas, edificios de mampostería de piedra labrada.	Edificios de albañilería simple, edificios de mampostería de piedra unida con mortero de cemento.
Tipo C:	Edificios reforzados, estructuras de madera bien construidas.	Edificios de albañilería reforzada con pilares y cadenas de hormigón armado.

Tabla 2: Grado de daño según escala MSK
Fuente: Monge, J. y Astroza, M. (1989)

Definición original		Adaptaciones
Grado 0:	Sin daños	
Grado 1:	Daños ligeros. Grietas finas en estucos, caída de pequeños trozos de estuco	Daños menores en estuco
Grado 2:	Daños moderados. Grietas pequeñas en muros; caída de trozos grandes de estuco; corrimiento de tejas; grietas en chimeneas; caen partes de chimeneas	Grietas horizontales en antetechos, tímpanos y chimeneas; grietas verticales en encuentros de muros, sin que aparezca separación; grietas finas en muros bajo el nivel del cielo
Grado 3:	Daños graves. Grietas grandes y profundas en muros; caída de chimeneas	Caída de antetechos, tímpanos o partes de chimeneas; grietas verticales en encuentros de muros con separación, indicando desaplomo; grietas diagonales en muros bajo el nivel del cielo
Grado 4:	Destrucción. Separaciones en muros; partes de edificios pueden derrumbarse; elementos de un edificio pierden su cohesión; muros interiores y rellenos de estructuras de muros se derrumban	Caída de un muro o parte de un muro bajo el nivel del cielo
Grado 5:	Daño total. Colapso total de edificios	Caída de más de un muro

La Tabla 3 resume la información de la Tabla 1 y Tabla 2 para cada grado de intensidad desde el 5 al 11 según el comportamiento estadístico típico de edificios tipo A, B y C. Se observa que esta escala establece porcentajes del daño para cada nivel de intensidad, los cuales quedan representados por la cantidad de estructuras que poseen cierto nivel de daño.

Tabla 3: Definición del grado de intensidad MSK

Grado de Intensidad MSK-64	Edificaciones					
	Tipo A		Tipo B		Tipo C	
	%	Grado	%	Grado	%	Grado
5	0%					
	5%	1	100%	0	100%	0
	95%	0				
6	5%	2	5%	1	100%	0
	50%	1	95%	0		
	45%	0				
7	5%	4	50%	2	50%	1
	50%	3	35%	1	50%	0
	35%	2	15%	0		
	10%	1				
8	5%	5	5%	4	5%	3
	50%	4	50%	3	50%	2
	35%	3	35%	2	35%	1
	10%	2	10%	1	10%	0
9	50%	5	5%	5	5%	4
	35%	4	50%	4	50%	3
	15%	3	35%	3	35%	2
			10%	2	10%	1
10	75%	5	50%	5	5%	5
	25%	4	35%	4	50%	4
			15%	3	35%	3
					10%	2
11	100%	5	75%	5	50%	5
			25%	4	50%	4

Con los porcentajes de la tabla anterior se puede hacer una representación gráfica de los grados de intensidad para cada tipo de construcción en función del porcentaje acumulado de viviendas dañadas, esta gráfica Monge, J. y Astroza, M. (1989) la denominan como curva patrón (Figura 7, Figura 8, Figura 9).

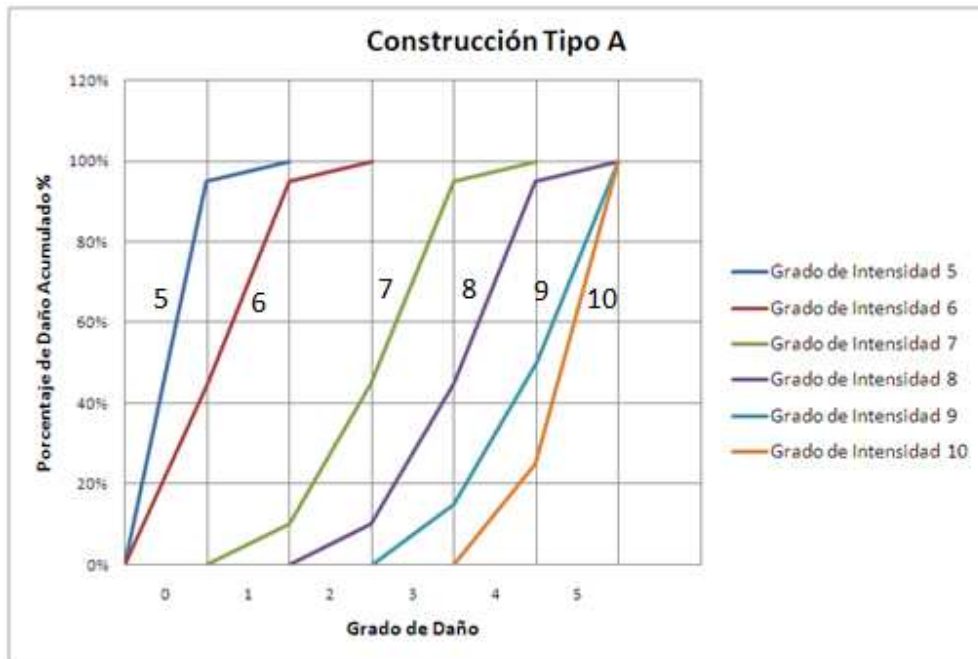


Figura 7: Curva patrón para construcciones Tipo A

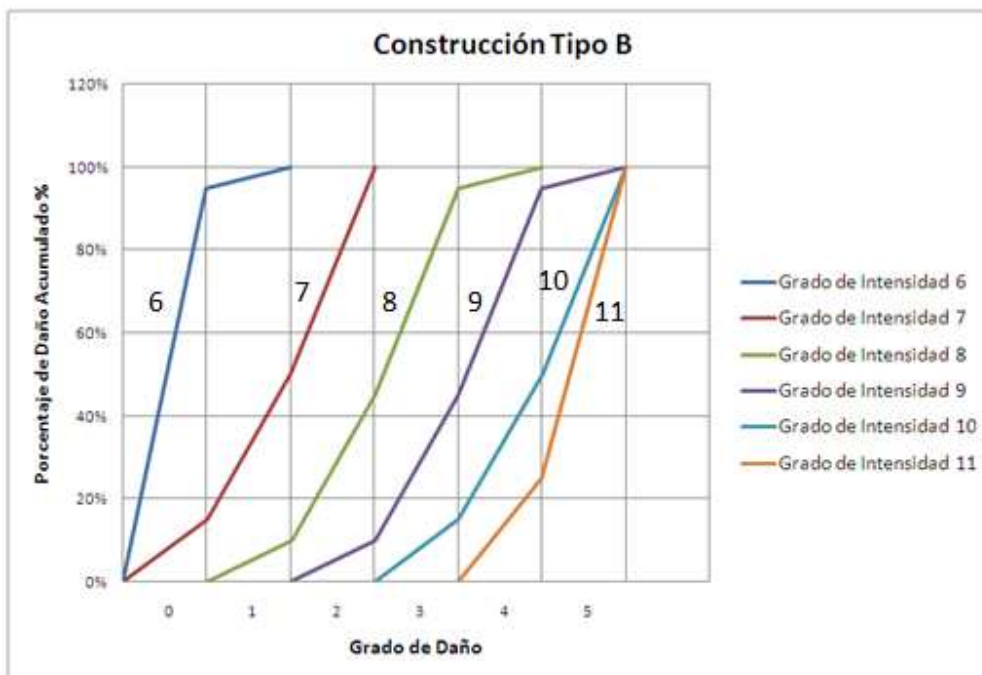


Figura 8: Curva patrón para construcciones Tipo B

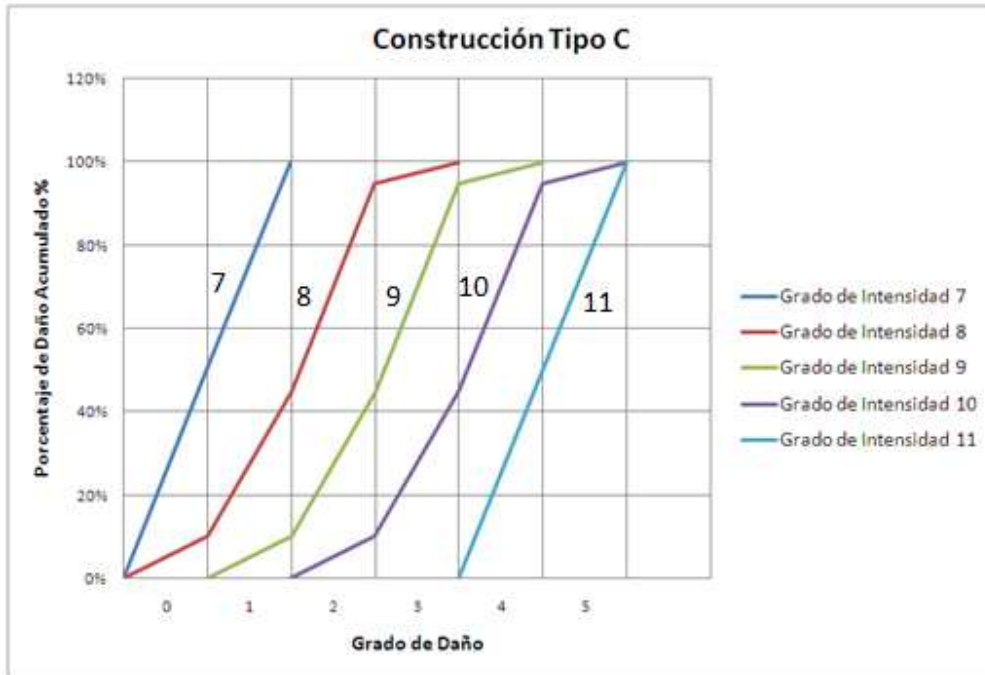


Figura 9: Curva patrón para construcciones Tipo C

A partir de los grados de daños asignados a cada vivienda de la muestra, se calcula el grado de intensidad usando un método de interpolación. Se grafica el grado de daños (G_i) en el eje de las abscisas y el porcentaje acumulado de viviendas del mismo tipo con grados de daños iguales o menores que G_i en el eje de las ordenadas.

Para establecer el grado de intensidad de una cierta muestra, se debe determinar el número de viviendas que posean cierto grado G_i . Luego, se determina el grado medio de daños (G_m) mediante la siguiente expresión:

$$G_m = \frac{\sum G_i N_i}{\sum N_i} \quad (1)$$

Donde:

G_i = grado de daños ($i = 0,1,2,3,4,5$)

N_i = numero de edificaciones de la muestra con grado de daños G_i

Además se ha determinado que el área bajo la curva patrón entre el eje de las ordenadas (porcentaje acumulado de edificios del mismo tipo con grados de daños iguales o menores a G_i) y la curva de daño acumulado para cierto tipo de construcción, corresponde exactamente al grado medio de daños del conjunto, la cual se encuentra en la Tabla 4.

Tabla 4: Grados medios de daños G_m
Fuente: Monge, J. y Astroza, M. (1989)

Grado de intensidad	Grado Medio (G_m) en construcción		
	Tipo A	Tipo B	Tipo C
5	0.06	0.00	0.00
6	0.60	0.05	0.00
7	2.50	1.35	0.50
8	3.50	2.50	1.50
9	4.35	3.50	2.50
10	4.75	4.35	3.50
11	5.00	4.75	4.50

El hecho de graficar la curva de daños para una cierta muestra, tiene la ventaja de ilustrar si ésta presenta o no un comportamiento típico. En caso de no ser así, se deben analizar aquellos datos por separado mediante una re-evaluación del daño en el sector.

2.4 Análisis de los daños observados

La información correspondiente a las 933 encuestas realizadas y codificadas de acuerdo al grado de daño, tipo de estructura y definida de acuerdo a la escala de Intensidades MSK (ver Figura 10), se encuentra en el Anexo D. Se puede observar que la mayor concentración de daños se encuentra en la parte baja y céntrica de la ciudad (Plan, Chorrillos y Forestal bajo). Mientras que en la parte alta (Miraflores Alto, Achupallas, Gómez Carreño, etc.) el daño presentado es de tipo superficial o de menor importancia (exceptuando Santa Inés y Viña Oriente).

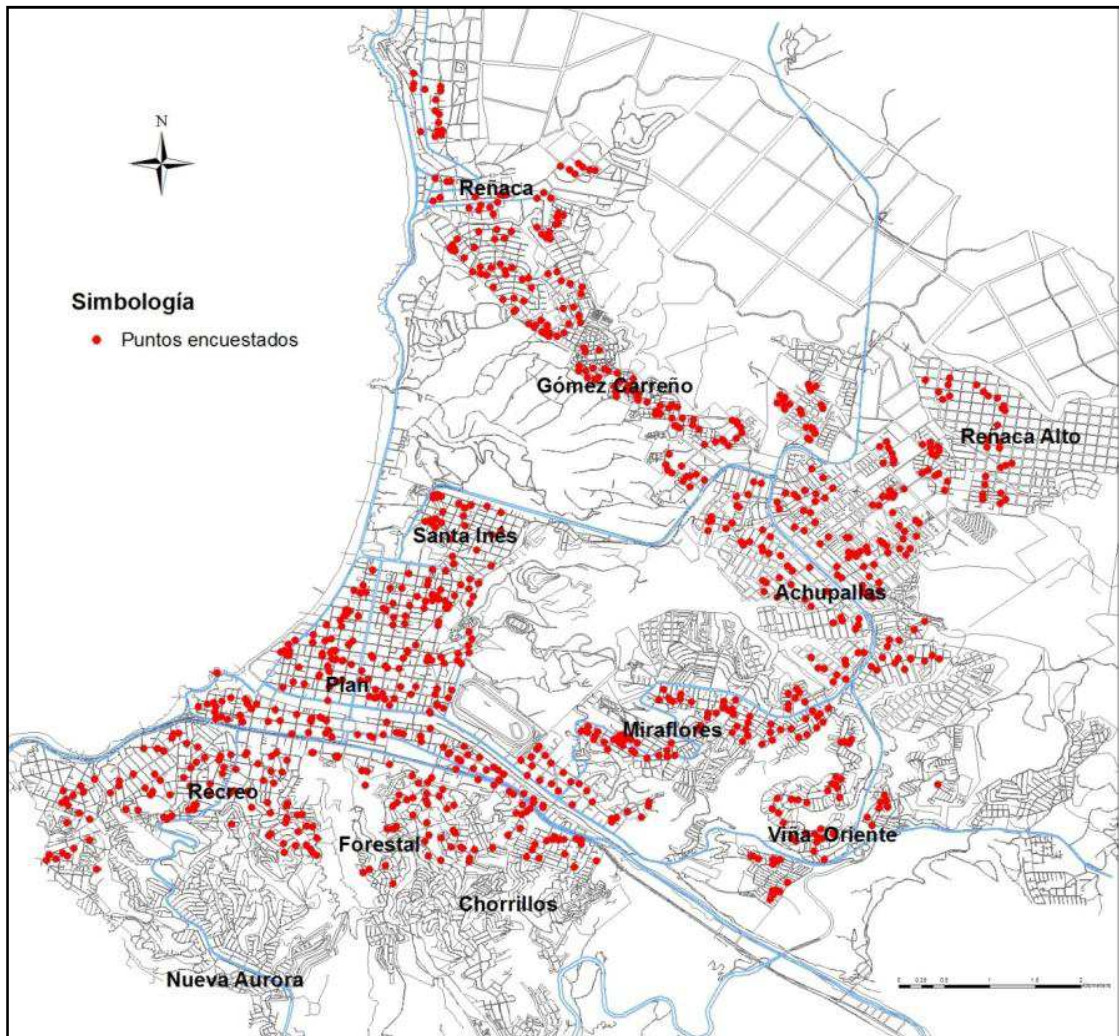


Figura 10: Lugares encuestados

De esta forma se reafirma el hecho que ante un sismo severo la distribución de intensidades no es homogénea, y que su comportamiento se mantiene similar al ocurrido en sismos anteriores. De lo observado en todo el período de muestreo, en los sectores altos y dada la tipología de construcción, prevalecen las viviendas de albañilería o Tipo B, identificando un importante porcentaje de viviendas construidas por sus propios dueños, mientras que en la parte baja de la ciudad se observan una gran cantidad de viviendas Tipo A.

A continuación se presenta un resumen por sector:

- Sector Recreo. En este sector el daño se concentra en la parte más alta, donde se encuentran algunas viviendas de madera con adobe y hormigón armado con un nivel de daño entre 1 y 2 (ligero a moderado), presentando pequeñas grietas en muros y desprendimiento de revestimiento. En el sector bajo prevalecen las viviendas de albañilería, que junto con las de hormigón armado prácticamente no sufrieron daño (entre 0 y 1). Además se aprecian viviendas de madera con adobe que presentan grietas horizontales entre antetechos y verticales entre muros (nivel de daño 2). En general, el muestreo en este sector indica un daño poco significativo que no llega a comprometer la resistencia de las estructuras.
- Sector Forestal. Este sector presenta en su mayoría viviendas de albañilería, tanto en el sector alto como bajo, con un leve incremento de daño en la parte baja debido a la influencia de viviendas de madera con adobe y entramados de madera cercanas al estero Marga-Marga que presentan fisuras en muros y uniones de paneles (grado de daño de 1 a 2). La parte alta del sector no manifiesta un daño importante, salvo casos específicos producto de relieves (pie de quebrada), los cuales generaron pequeños desplomes en muros interiores que dan hacia su patio interior producto de deslizamientos de tierra. En general este sector no presentó grandes daños.
- Sector Chorrillos. Presenta una distribución más o menos homogénea de viviendas de distinto tipo de construcción, destacándose las de albañilería. El daño observado es levemente mayor en la parte baja con dirección al sector oriente, encontrándose en algunos puntos viviendas de albañilería y hormigón armado con fisuras en muros y desprendimiento de revestimiento. Además pueden observarse estructuras de adobe con madera que presentan grietas diagonales profundas en muros exteriores y grietas verticales en muros interiores bajo el nivel del cielo (grado de daño 2 a 3). En general el nivel de daño observado es de categoría leve (fisuras en revestimientos), salvo casos puntuales que sufrieron mayores deterioros debido a su calidad de construcción.
- Sector Viña Oriente. Este sector presenta en su mayoría viviendas de albañilería, encontrándose en el sector de Canal Beagle una gran cantidad de estructuras con un nivel

de daño leve a moderado, llegando algunas a presentar grietas pequeñas en uniones de muros y pérdida de revestimiento (grado de daño 1 a 2). Los edificios existentes en el lugar presentaron un mayor grado de daño, encontrándose una gran cantidad de grietas de consideración tanto en columnas como losas según el catastro realizado por la Municipalidad. Para los sectores vecinos como Villa Dulce, El Olivar, entre otros, el panorama fue similar; una gran cantidad de viviendas de albañilería que sufrieron daño de mediana consideración, disminuyendo a medida que se acerca a la parte alta del sector.

- Sector Miraflores. Este sector manifiesta mayor concentración de daño en la parte alta, puesto que presenta un mayor porcentaje de viviendas conformadas por entramados de madera y albañilería que presentaron un daño leve a nulo, en comparación con las viviendas del sector bajo que en su mayoría son de albañilería u hormigón armado, las cuales no presentaron daño. Respecto a los edificios dañados según el catastro realizado por la municipalidad, existen pocos casos que sufrieron daños moderados en muros. En general este sector presentó uno de los menores daños, gracias a la buena calidad de sus construcciones, sobretodo en el sector de Miraflores Bajo.
- Sector Santa Inés. Posee en su mayoría viviendas de albañilería las cuales presentaron daño de categoría leve (desprendimiento de revestimiento) en algunos casos, lo mismo para las viviendas de hormigón armado. Las construcciones de madera y adobe, aun no siendo significativamente representativas, fueron las más dañadas, encontrándose casos que presentan grandes grietas diagonales en muros exteriores y grietas verticales en encuentros de muros. En general el mayor daño se encuentra en las faldas del cerro, disminuyendo a medida que aumenta la cota de terreno.
- Sector Plan. Este sector es el que presenta mayor concentración de daño, aun en las construcciones tipo C (hormigón armado) y edificios en altura, los cuales muchos de ellos quedaron inhabitables. Del catastro de daño realizado por la municipalidad a edificios del sector, se aprecian daños de categoría moderada a severa en muros, y moderados en pilares y losas. La principal razón del daño manifestado es la gran cantidad de construcciones del siglo pasado, sobretodo de mampostería de adobe (Tipo A), las cuales sufrieron grietas de consideración en la mayoría de los casos, incluso llegando a caída de

muros (grado de daño 4), quedando en condición de demolición. Las viviendas encuestadas de albañilería presentan también un daño moderado, encontrando fisuras en revestimiento, grietas en uniones de muros y problemas de muros divisorios con casas vecinas. Las escasas viviendas de madera encuestadas no presentan un daño significativo, debido a su calidad de construcción y ligereza. La concentración de daño más notoria se encuentra comprendida entre Calle Álvarez de Este a Oeste y a lo largo de las Avenidas Libertad y San Martín.

- Sector Achupallas. La mayor parte del sector está comprendida por viviendas de albañilería que en su gran mayoría no presentaron daño, salvo casos aislados donde se apreciaron fisuras en estuco (grado de daño 1). El segundo tipo de construcción predominante en el sector son las viviendas de madera (Tipo C) que presentaron también un nivel de daño leve a nulo, con pequeñas fisuras superficiales en entramados que no son catalogados de consideración. En general este sector presenta uno de los grados de daño más bajos de la ciudad.
- Sector Gómez Carreño. El sector está conformado en su mayoría por viviendas de albañilería, las cuales presentaron un grado de daño nulo a leve, el cual fue disminuyendo a medida que se alejaba de las zonas más altas. Su comportamiento fue bastante similar al ocurrido en el sector de Achupallas, además de presentar una tipología de construcción en viviendas bastante parecido, salvo la presencia de pequeñas edificaciones de hormigón armado que sufrieron en algunos casos daños leves a moderados en muros, lo cual no logra ser representativo del sector.
- Sector Reñaca Alto. En este sector destaca la cantidad de viviendas de albañilería y entramados de madera, muchas de éstas pertenecientes a viviendas sociales ubicadas en el sector de Glorias Navales, las cuales sufrieron un daño de poca consideración. Más abajo se encuentran viviendas de mejor calidad constructiva, encontrándose en su mayoría viviendas de albañilería y hormigón armado las cuales presentaron un daño casi nulo debido a la calidad de su construcción. El daño observado en general no es de consideración.

- Sector Reñaca. Este sector destaca por la calidad y alto costo de sus construcciones, generalmente viviendas de albañilería y hormigón armado las cuales, en su mayoría, no presentaron daño alguno. El mayor porcentaje de viviendas que presentaron algún tipo de daño ocurrió en las cercanías al Estero Reñaca, encontrándose en algunos casos con estructuras de albañilería que sufrieron un daño de categoría superficial, como pequeñas fisuras en revestimiento. Este sector presenta el menor daño registrado según el catastro realizado en todos los sectores.

2.5 Comparación de daños con terremoto del 3 de Marzo de 1985

A continuación se hace una breve comparación del comportamiento sísmico observado en las estructuras existentes durante el terremoto del 3 de Marzo de 1985, según Pérez, L. E. (1988), en contraste con lo observado tras el terremoto recién pasado.

- Sector Recreo. A diferencia de lo observado durante el terremoto del año 1985 en este sector, se aprecia que la mayor concentración de daño ocurrió en la parte alta debido a la calidad de las construcciones, en su mayoría con entramados de madera o adobe, las cuales ya existían en el año 1985. En cuanto al grado de daño registrado no se aprecia una mayor diferencia.
- Sector Forestal. La concentración de daño observado posterior al terremoto recién pasado se asemeja bastante a lo observado durante el terremoto del año 1985, salvo que la intensidad estimada es bastante menor. Si bien hubo casos puntuales de viviendas antiguas, en su mayoría de madera y adobe que presentaron un grado de daño considerable, no se apreciaron casos de destrucción total. Además, continúa manifestándose el fenómeno de pequeños deslizamientos en pie de quebradas que afectaron algunas viviendas en particular.
- Sector Chorrillos. El comportamiento fue bastante similar al ocurrido tras el terremoto del año 1985, encontrándose una mayor concentración de daño en la parte baja. En cuanto al grado de daño, también se observa un comportamiento similar, debido a la presencia de viviendas de adobe con madera que poseen grietas de consideración, debido a la calidad y año de construcción.

- Sector Viña Oriente. Se aprecia un comportamiento similar en cuanto a la concentración de daño observada, especialmente en el sector de Canal Beagle, donde se observan estructuras con nivel de daño leve a moderado y edificios que presentaron grietas de consideración. Los sectores vecinos como Villa Dulce y El Olivar presentaron un menor grado de daño, destacándose viviendas de mejor calidad constructiva, sobretodo albañilería.
- Sector Miraflores. A diferencia de lo ocurrido tras el terremoto del 3 de Marzo de 1985, la mayor concentración de daño se presenta en la parte alta del sector. Además, las viviendas predominantes a la fecha son de albañilería, a diferencia del año 1985 donde predominaban las de mampostería de adobe y ladrillo. Esto explica en parte el hecho que el daño observado en general fue de menor proporción para el terremoto recién pasado, y que se haya detectado un menor daño en la parte baja debido a la buena calidad de sus construcciones.
- Sector Santa Inés. El daño presentado fue bastante similar al ocurrido el año 1985, debido a que el muestreo denota la presencia en general de viviendas tipo B que no presentaron un daño significativo, y que éste fue disminuyendo a medida que se acercaba a la cima del cerro.
- Sector Plan. Para ambos casos, es el sector de la ciudad que presenta mayor concentración de daño, aun en las construcciones tipo C (de hormigón armado) y edificios en altura. Siguen existiendo viviendas de mampostería de adobe del siglo pasado que ya han sufrido terremotos, razón por la cual amplificó la magnitud de los daños en ciertos sectores. Se aprecia además un sector característico donde el daño fue de gran consideración, abarcando la calle Álvarez de Este a Oeste y a lo largo de las avenidas Libertad y San Martín, similar a lo ocurrido en el terremoto recién pasado.
- Sector Achupallas. Predominan en ambos escenarios las viviendas de albañilería, las cuales en su gran mayoría no presentaron daño. No hay mayor diferencia en el comportamiento observado de las estructuras para ambos casos.

- Sector Gómez Carreño. Al igual que en el caso del sector de Achupallas, el comportamiento sísmico de las construcciones no varió con respecto al terremoto del año 1985. En ambos casos se mantiene la tipología de construcción de albañilería, la cual es predominante y no sufrió daño de consideración.
- Sector Reñaca Alto. No se detecta mayor diferencia en el daño observado para ambos terremotos, además de presentar una calidad de viviendas bastante parecida. Abundan las viviendas de albañilería y entramados de madera, junto con edificaciones que sufrieron un daño de poca consideración.
- Sector Reñaca. Es uno de los sectores que sigue presentando viviendas de una muy buena calidad de construcción, existiendo una gran cantidad de estructuras de hormigón armado y albañilería que no presentaron daño alguno.

3 MODELO DE ASIGNACION DE INTENSIDADES

El procedimiento utilizado se basa en la información de daño obtenida a partir de encuestas realizadas en terreno, la cual fue procesada y codificada. El tamaño de la muestra se escogió de forma tal de incluir un número estadísticamente significativo para poder ser asignado a una malla predeterminada. Cada vértice de esta malla tiene tributariamente la información de los puntos adyacentes.

El modelo a utilizar incorpora la información de daños procesado según el tipo de vivienda encuestada y transformada a la escala de intensidades MSK, la cual fue utilizada debido a su similitud con la escala de intensidades de Mercalli Modificada en lo que refiere a las percepciones humanas y efectos en las construcciones. A continuación se presenta el procedimiento para la obtención del grado de intensidad de daño en la ciudad de Viña del Mar.

3.1 Procedimiento

Teniendo en cuenta que la determinación del grado de intensidad se basa en el comportamiento estadístico de las viviendas, el tamaño de la muestra para cada sector es importante y se estima que un número de 20 o más viviendas es aceptable para una superficie de 1 Km² (Monge J. y Astroza M., 1989) para grandes ciudades. En caso de contar con muestras de menor tamaño el valor calculado con ellas sólo tiene un carácter de respaldo.

Para grandes ciudades se recomienda dividir las en sectores con un área aproximada de 1 Km², ubicadas cada uno en un mismo tipo de suelo. Tomando estas consideraciones se definió una grilla compuesta por celdas de 1 Km² cada una, y éstas se subdividieron en cuatro cuadrantes iguales de 0,25 Km² (ver Figura 11), para poder realizar un análisis más detallado a sectores que presenten cierto tipo de anomalías. Cada cuadrante posee como mínimo 5 datos encuestados, criterio escogido para obtener una mayor homogeneidad del sector y cumplir con la recomendación de 20 viviendas por Km².

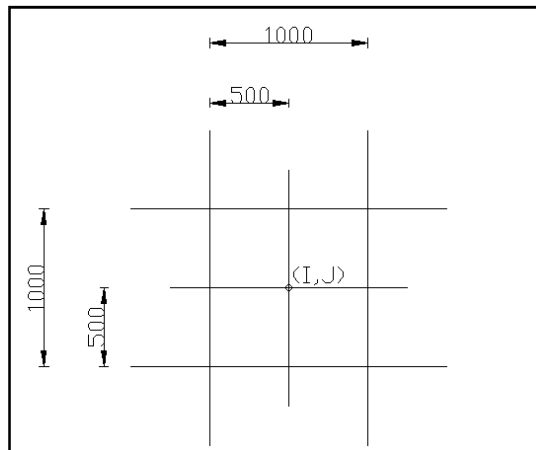


Figura 11: Definición de tamaño de celdas y sub-celdas, unidades en metros

La Figura 11 muestra la grilla definida en la ciudad de Viña del Mar, con la cual se analizaron las intensidades de daños.

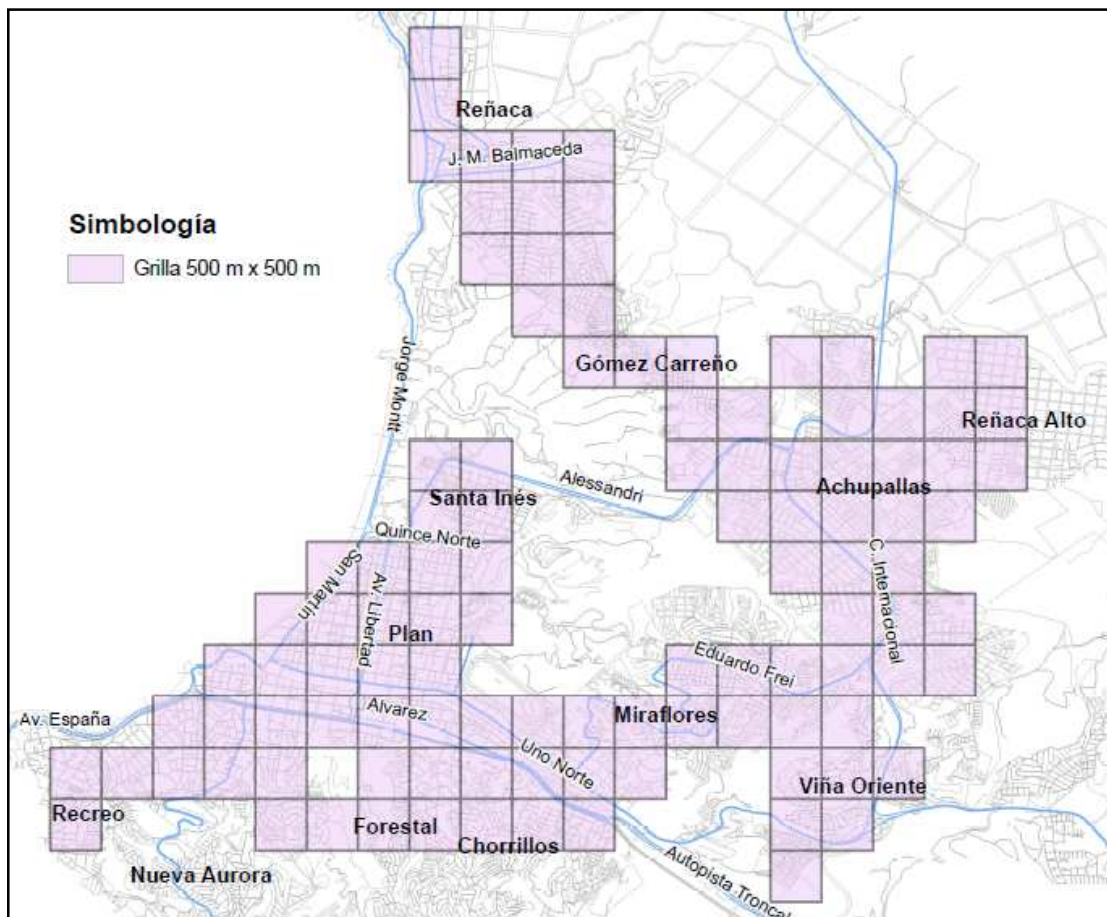


Figura 12: Grilla definida de 500x500 m²

El criterio utilizado para la obtención de la intensidad de daño fue asignando un valor de intensidad a cada uno de los nodos de la grilla mediante la técnica de los Promedios Móviles Ponderados. En ella se considera como tributarias a cada nudo de la grilla los datos de las celdas adyacentes a él. De esta manera se logra un cierto traslape de la información entre las celdas, lo que permite obtener valores más suavizados de intensidades para el posterior trazado de curvas Isosistas.

A continuación se definió la intensidad en escala MSK por cada cuadrante para las construcciones Tipo A, B y C, la cual fue asignada en los vértices de cada uno. Luego y para cada cuadrante, se obtuvo el promedio ponderado de la intensidad en función del número de viviendas correspondientes a cada tipo.

Para analizar la influencia del número de viviendas por cuadrante, se proponen dos algoritmos que determinan la Intensidad MSK en cada nodo, los cuales se detallan en los capítulos 3.2 y en 3.3.

3.2 Algoritmo utilizado para Propuesta 1

3.2.1 Número de estructuras con igual nivel de daño por cada cuadrante

$NA(I, J, K, M)$: Número de estructuras tipo A que presentan daño K en la celda (I,J) aportado por el cuadrante M.

$NB(I, J, K, M)$: Número de estructuras tipo B que presentan daño K en la celda (I,J) aportado por el cuadrante M.

$NC(I, J, K, M)$: Número de estructuras tipo C que presentan daño K en la celda (I,J) aportado por el cuadrante M.

Donde M corresponde a cada uno de los 4 posibles cuadrantes que aportan con información al nodo (I,J).

3.2.2 Ponderación de daño por estructura asociada a cada cuadrante

$$PA(I, J, M) = \frac{NA(I, J, K, M)}{NA(I, J, K, M) + NB(I, J, K, M) + NC(I, J, K, M)} \quad (2)$$

$$PB(I, J, M) = \frac{NB(I, J, K, M)}{NA(I, J, K, M) + NB(I, J, K, M) + NC(I, J, K, M)} \quad (3)$$

$$PC(I, J, M) = \frac{NC(I, J, K, M)}{NA(I, J, K, M) + NB(I, J, K, M) + NC(I, J, K, M)} \quad (4)$$

3.2.3 Intensidad MSK en cada cuadrante para cada estructura

$INA(I, J, M)$: Intensidad MSK asociada al nudo (I,J) aportado por el cuadrante M para estructuras tipo A.

$INB(I, J, M)$: Intensidad MSK asociada al nudo (I,J) aportado por el cuadrante M para estructuras tipo B.

$INC(I, J, M)$: Intensidad MSK asociada al nudo (I,J) aportado por el cuadrante M para estructuras tipo C.

De esta forma se calcula finalmente la intensidad MSK resultante por cada cuadrante:

$$IN(I, J, M) = INA(I, J, M) * PA(I, J, M) + INB(I, J, M) * PB(I, J, M) + INC(I, J, M) * PC(I, J, M) \quad (5)$$

3.2.4 Intensidad MSK en cada nudo

$$IMSK(I, J) = \sum_{M=1}^n \frac{IN(I, J, M)}{n} \quad (6)$$

Donde:

$n = 1, 2, 3, 4$ según corresponda para cada nudo de la malla

Lo que se traduce como un promedio simple aplicado al nudo (I,J) aportado por los cuadrantes adyacentes, independiente del número de viviendas que contiene cada uno. El resultado de este proceso se observa en la Figura 13.

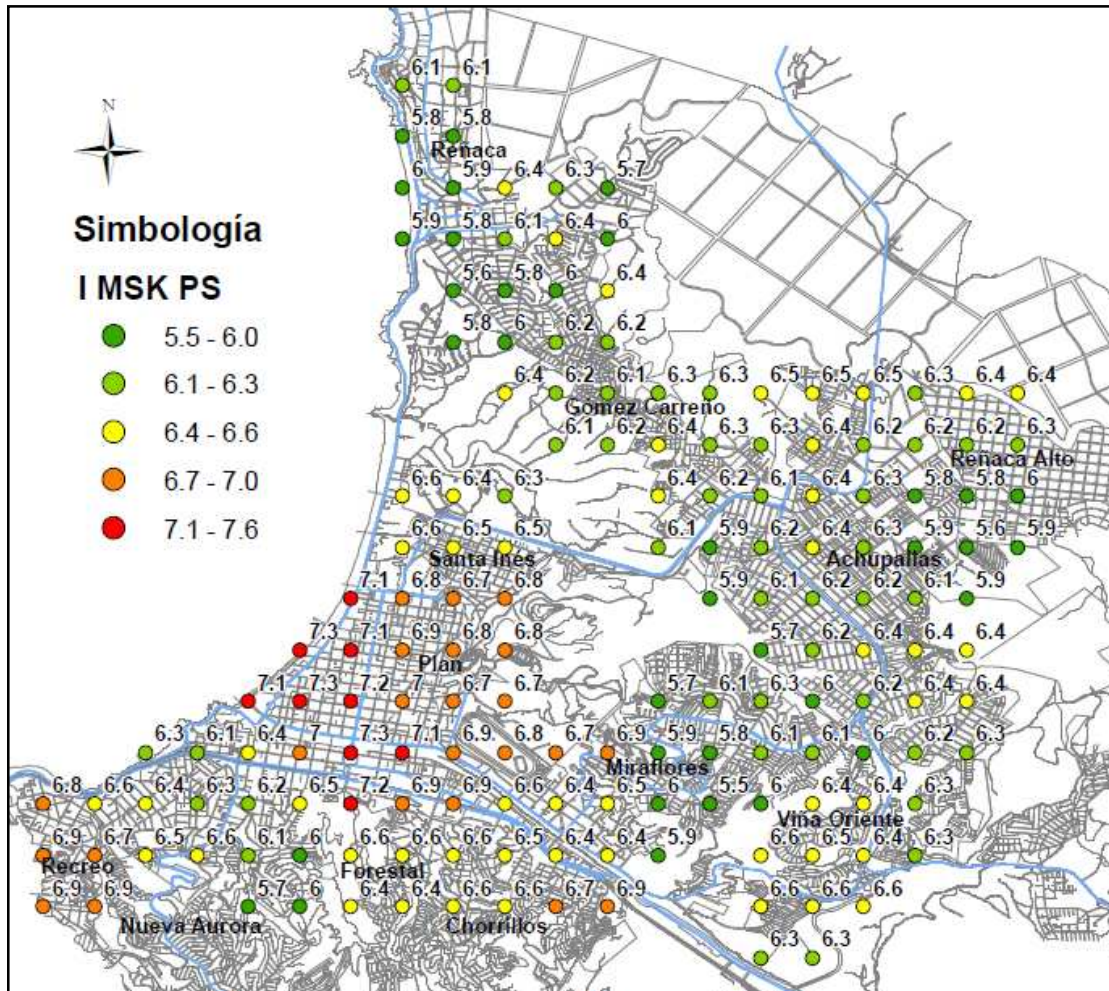


Figura 13: Intensidad MSK por nudo. Propuesta 1

3.3 Algoritmo utilizado para Propuesta 2

3.3.1 Número de estructuras con igual nivel de daño por cada cuadrante

$NA(I, J, K, M)$: Número de estructuras tipo A que presentan daño K en la celda (I,J) aportado por el cuadrante M.

$NB(I, J, K, M)$: Número de estructuras tipo B que presentan daño K en la celda (I,J) aportado por el cuadrante M.

$NC(I, J, K, M)$: Número de estructuras tipo C que presentan daño K en la celda (I,J) aportado por el cuadrante M.

Donde M corresponde a cada uno de los 4 posibles cuadrantes que aportan con información al nodo (I,J).

3.3.2 Número de estructuras asociado a cada cuadrante

$$N(I, J, K, M) = NA(I, J, K, M) + NB(I, J, K, M) + NC(I, J, K, M) \quad (7)$$

3.3.3 Ponderación de daño por estructura asociada a cada cuadrante

$$PA(I, J, M) = \frac{NA(I, J, K, M)}{NA(I, J, K, M) + NB(I, J, K, M) + NC(I, J, K, M)} \quad (8)$$

$$PB(I, J, M) = \frac{NB(I, J, K, M)}{NA(I, J, K, M) + NB(I, J, K, M) + NC(I, J, K, M)} \quad (9)$$

$$PC(I, J, M) = \frac{NC(I, J, K, M)}{NA(I, J, K, M) + NB(I, J, K, M) + NC(I, J, K, M)} \quad (10)$$

3.3.4 Ponderación de daño para todas las estructuras dentro de un cuadrante

$$P(I, J, M) = \frac{N(I, J, K, M)}{\sum_{M=1}^n N(I, J, K, M)} \quad (11)$$

Donde:

n = 1,2,3,4 según corresponda para cada nodo de la malla

3.3.5 Intensidad MSK en cada cuadrante para cada estructura

$INA(I, J, M)$: Intensidad MSK asociada al nudo (I,J) aportado por el cuadrante M para estructuras tipo A.

$INB(I, J, M)$: Intensidad MSK asociada al nudo (I,J) aportado por el cuadrante M para estructuras tipo B.

$INC(I, J, M)$: Intensidad MSK asociada al nudo (I,J) aportado por el cuadrante M para estructuras tipo C.

3.3.6 Intensidad MSK resultante por cada cuadrante

$$IN(I, J, M) = INA(I, J, M) * PA(I, J, M) + INB(I, J, M) * PB(I, J, M) + INC(I, J, M) * PC(I, J, M) \quad (12)$$

3.3.7 Intensidad MSK en cada nudo

$$IMSK(I, J) = \sum_{M=1}^n P(I, J, M) * IN(I, J, M) \quad (13)$$

Donde:

$n = 1,2,3,4$ según corresponda para cada nodo de la malla

Lo que se traduce como un promedio ponderado aplicado al nudo (I,J) aportado por los cuadrantes adyacentes, en función del número de viviendas que contiene cada uno. El resultado de este proceso se observa en la Figura 14.

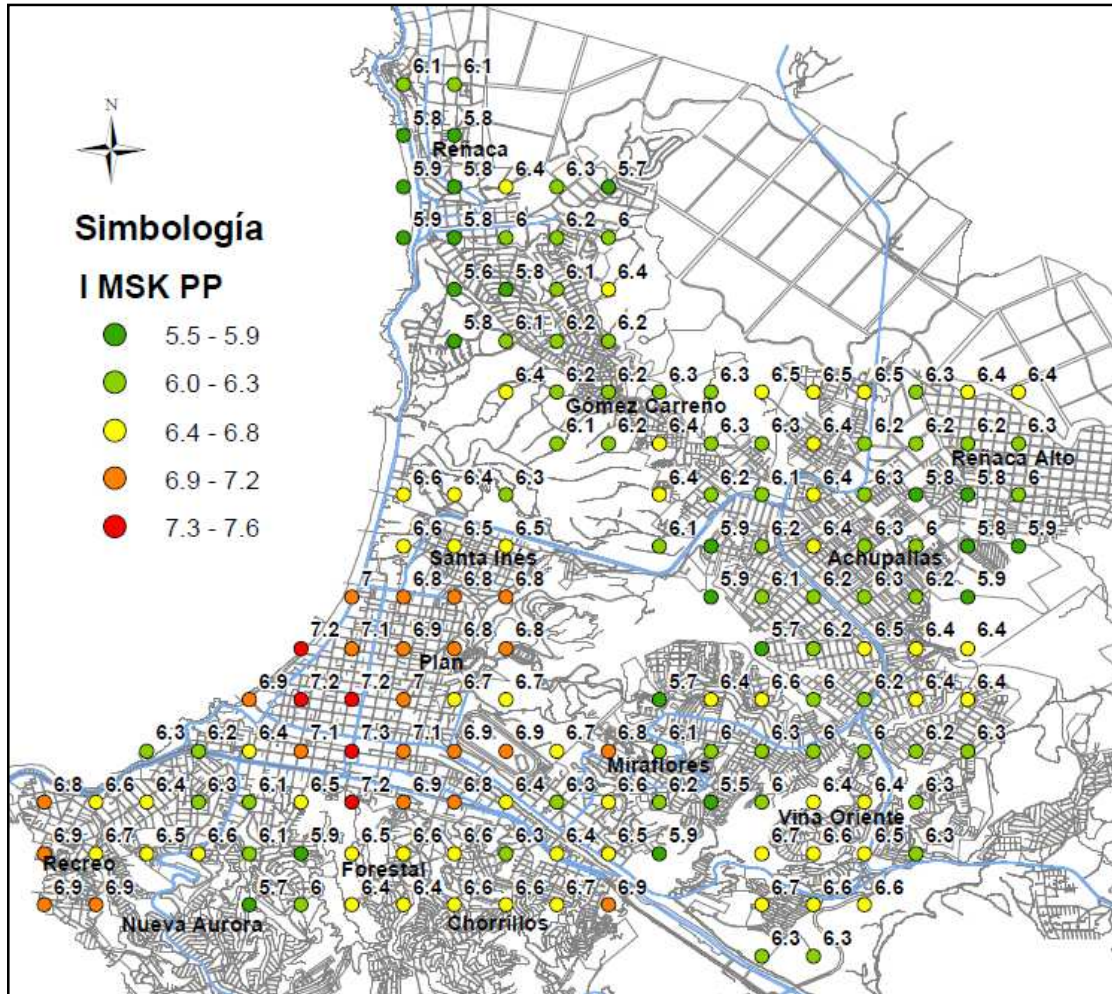


Figura 14: Intensidad MSK por nodo. Propuesta 2

3.4 Análisis de resultados

De acuerdo a los resultados obtenidos para las dos propuestas en el cálculo de intensidades en escala MSK, se observa que no hay mayor diferencia entre ambas, ya que si bien

en algunos puntos la intensidad fue mayor por un decimal que en el otro método, en los puntos cercanos la intensidad disminuyó en la misma proporción. Se observa de esta manera que los datos encuestados fueron registrados de manera bastante homogénea, puesto que no se observan mayores contrastes entre puntos adyacentes y el número de viviendas encuestadas por cuadrante es bastante similar, salvo en el caso del sector Plan donde se profundizó el análisis debido a la gran cantidad de viviendas dañadas (ver Anexo E).

Cabe destacar que, bajo el criterio de superposición de nodos adyacentes para el análisis (Promedio Móvil), se considera como más representativa la Propuesta 2, ya que entrega valores que se ven influenciados por el número de viviendas pertenecientes al cuadrante.

3.5 Análisis para la determinación de zonas de igual nivel sísmico

3.5.1 Análisis geoestadístico mediante método Kriging

Kriging es un procedimiento geoestadístico avanzado que genera una superficie estimada a partir de un conjunto de puntos dispersos con sus respectivos valores. A diferencia de otras herramientas de interpolación como el IDW (Distancia Inversa Ponderada) o método Spline donde la interpolación es determinística y basada en los valores medidos circundantes o fórmulas matemáticas especificadas que determinan la suavidad de la superficie resultante, el método Kriging está basado en modelos estadísticos que incluyen la autocorrelación entre los puntos medidos. De esta forma es posible generar una superficie de predicción y proporcionar alguna medida de certeza o precisión de éstas.

La herramienta Kriging ajusta una función matemática a una cantidad específica de puntos, o bien, a todos los puntos dentro de un radio específico para determinar el valor de salida. Su uso es más adecuado cuando se sabe que hay una influencia de la distancia con la ubicación de los datos, por esta razón se utiliza a menudo en estudios de suelos y geología. Este método se basa en la teoría de variables regionalizadas que presupone que la variación espacial es estadísticamente homogénea a lo largo de toda la superficie. El método Kriging pondera los valores medidos circundantes para calcular una predicción de una ubicación sin mediciones. La fórmula general se forma como una suma ponderada de datos:

$$\hat{Z}(S_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(S_i) \quad (14)$$

Donde:

$Z(S_i)$: Valor medido en la ubicación "i"

λ_i : Ponderación desconocida para el valor medido en la ubicación "i"

S_0 : Ubicación de la predicción

N : Cantidad de valores medidos

Una de las razones por la cual conviene utilizar este método de interpolación es que en IDW la ponderación (λ) depende exclusivamente de la distancia a la ubicación de la predicción, en cambio el método Kriging las ponderaciones están basadas no sólo en la distancia entre puntos medidos, sino también en la disposición espacial general de éstos. Para utilizar la disposición espacial en las ponderaciones, la correlación espacial debe estar cuantificada.

El programa *ArcGIS 10* ofrece un modelo Kriging basado en un proceso de dos pasos:

1. Creación de variogramas y funciones de covarianza para calcular los valores de dependencia estadística (autocorrelación espacial), que depende del modelo de autocorrelación.
2. Estimación de valores desconocidos.

El modelado espacial, conocido como variografía, comienza con un gráfico del semivariograma empírico, calculado con la siguiente ecuación para todos los pares de ubicaciones separados por una cierta distancia h :

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum (Z(x+h) - Z(x))^2 \quad (15)$$

Donde:

h : Distancia entre pares de muestras

$Z(x+h)$: Valor en el punto $x+h$

$Z(x)$: Valor en el punto x

$N(h)$: Número de pares de puntos

Esta fórmula implica calcular la diferencia cuadrada entre valores de las ubicaciones asociadas. La Figura 15 muestra la asociación entre un punto (en color rojo) con las demás ubicaciones.

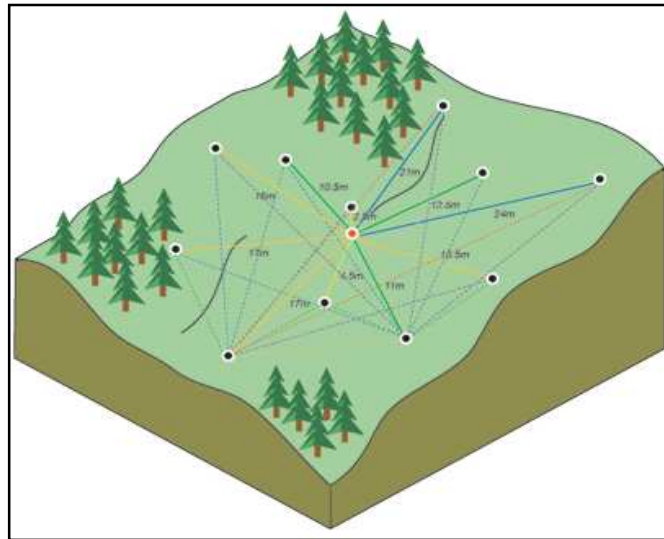


Figura 15: Cálculo de la diferencia cuadrada entre ubicaciones
Fuente: ArcGIS Help Center

El semivariograma empírico es un gráfico de los valores de semivariograma promediados en el eje de las ordenadas, y la distancia (o intervalo) en el eje de las abscisas (ver Figura 16).

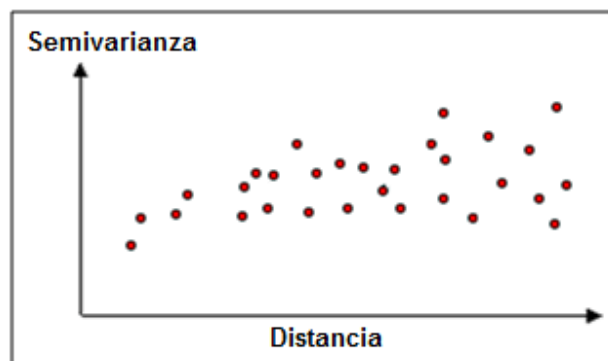


Figura 16: Gráfico de semivariograma empírico
Fuente: ArcGIS Help Center

De esta forma, y aplicando un principio básico de geografía, será más probable que los datos más cercanos sean más parecidos que los que se encuentran más alejados. A su vez, el semivariograma empírico no suministra información para todas las direcciones y distancias posibles, por esta razón es necesario ajustar una función o curva continua al semivariograma similar al análisis de regresión.

3.5.2 Componentes de un Semivariograma

Al observar el modelo de algún semivariograma a una determinada distancia, el modelo se nivela llegando a una etapa denominada Rango. Las ubicaciones de muestras separadas por

distancias más cortas que el rango están autocorrelacionadas espacialmente, no así las ubicaciones que se encuentran más alejadas del rango en donde llegan a una meseta (ver Figura 17).

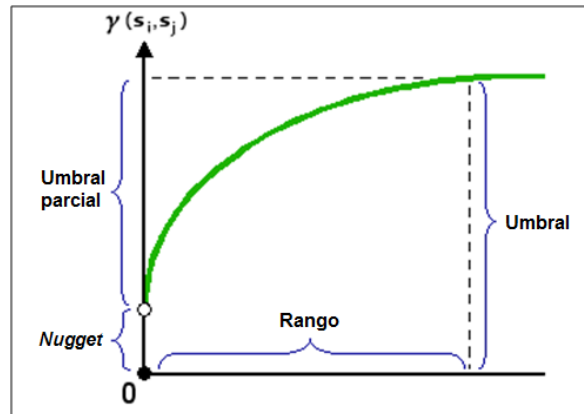


Figura 17: Componentes de rango, meseta y nugget
Fuente: ArcGIS Help Center

La intersección del semivariograma con el eje Y se denomina “*Nugget*” y su valor es cero cuando la distancia al punto medido es nula. No obstante, a medida que la separación crece el semivariograma sufre un “Efecto *Nugget*” en donde la intersección con el eje Y aumenta y es distinto de cero. Este efecto se atribuye a errores de medición o a fuentes de variación a distancias menores que el intervalo de muestreo.

Una vez descubierta la autocorrelación de los datos, puede realizarse una predicción utilizando un modelo que mejor se ajuste.

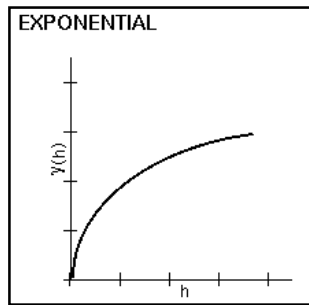
3.5.3 Modelos de Semivariograma

El modelo seleccionado influye en la predicción de los valores desconocidos, principalmente cuando la forma de la curva cercana al origen difiere significativamente. El programa *ArcGIS 10* proporciona diferentes funciones para elegir el modelo de semivariograma empírico, y éstos presuponen que el valor medio constante es desconocido.

Para poder escoger un método determinado, se ha probado con diferentes modelos, los cuales se pueden distinguir a continuación. Se separaron las intensidades para esta fase preliminar

en cinco categorías, desde 5,5 a 7,6, correspondiente a los límites obtenidos para las intensidad ya calculadas en capítulo 3.3.7.

3.5.3.1 Modelo Exponencial



$$\gamma(h) = c_0 + c \left(1 - \exp\left(-\frac{h}{r}\right) \right) \quad h > 0 \quad (16)$$

$$\gamma(0) = 0$$

Figura 18: Modelo de semivarianza Exponencial

Fuente: ArcGIS Help Center

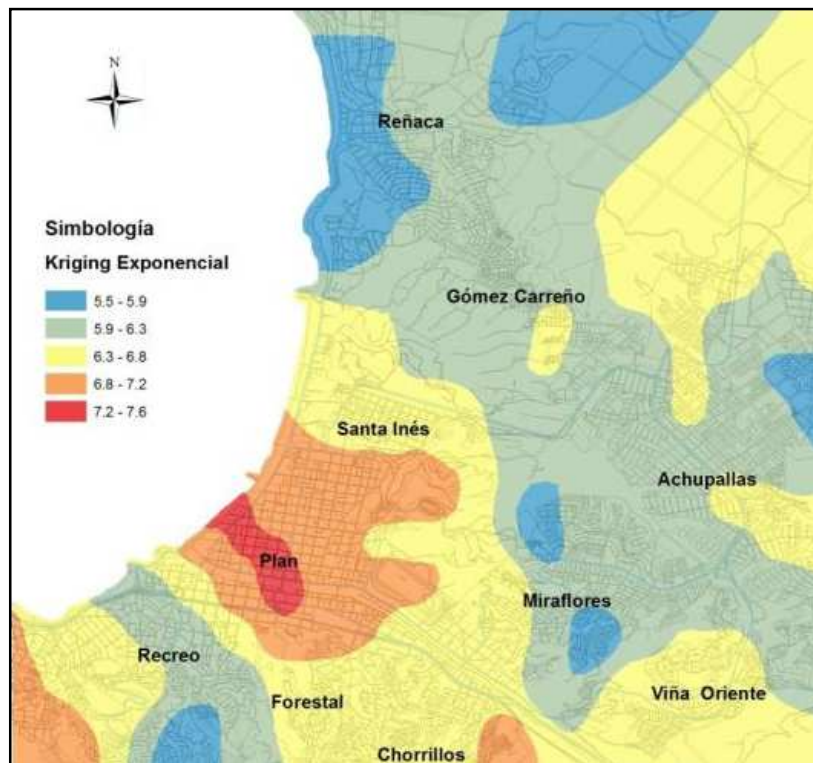
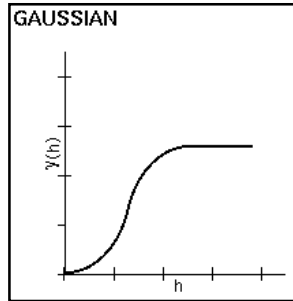


Figura 19: Kriging método Exponencial

3.5.3.2 Modelo Gaussiano



$$\gamma(h) = c_0 + c \left(1 - \exp\left(-\frac{h^2}{r^2}\right) \right) \quad h > 0 \quad (17)$$
$$\gamma(0) = 0$$

Figura 20: Modelo de semivarianza Gaussiana

Fuente: ArcGIS Help Center

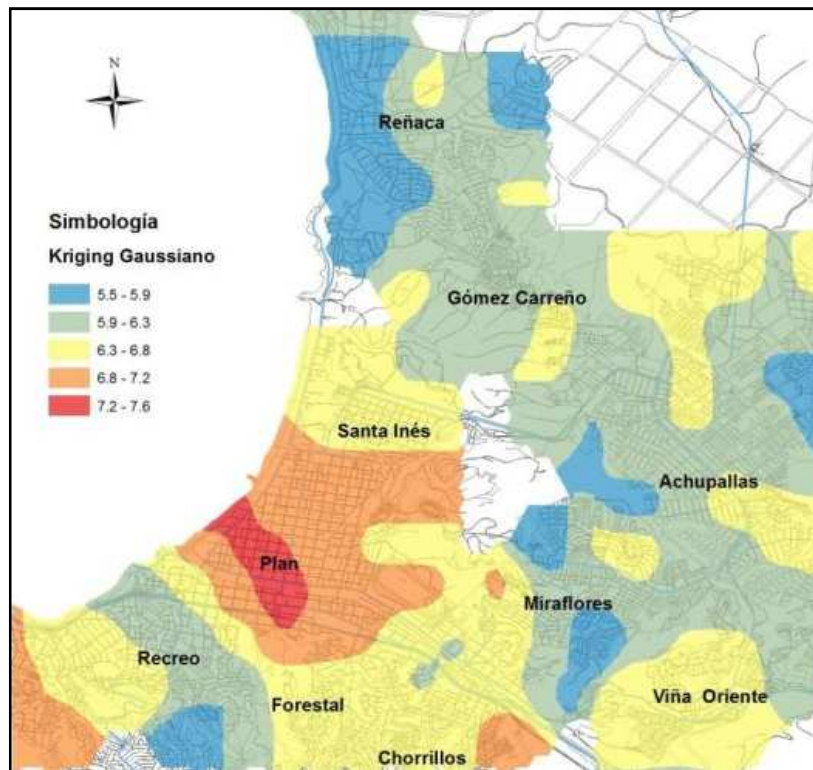
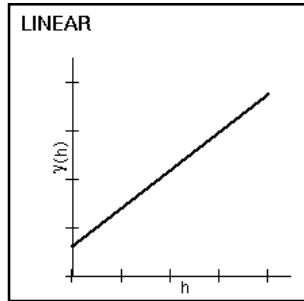


Figura 21: Kriging método Gaussiano

3.5.3.3 Modelo Lineal



$$\begin{aligned} \gamma(h) &= c_0 + c \left(\frac{h}{a}\right) & 0 < h \leq a \\ \gamma(h) &= c_0 + c & h > a \\ \gamma(0) &= 0 \end{aligned} \quad (18)$$

Figura 22: Modelo de semivarianza Lineal

Fuente: ArcGIS Help Center

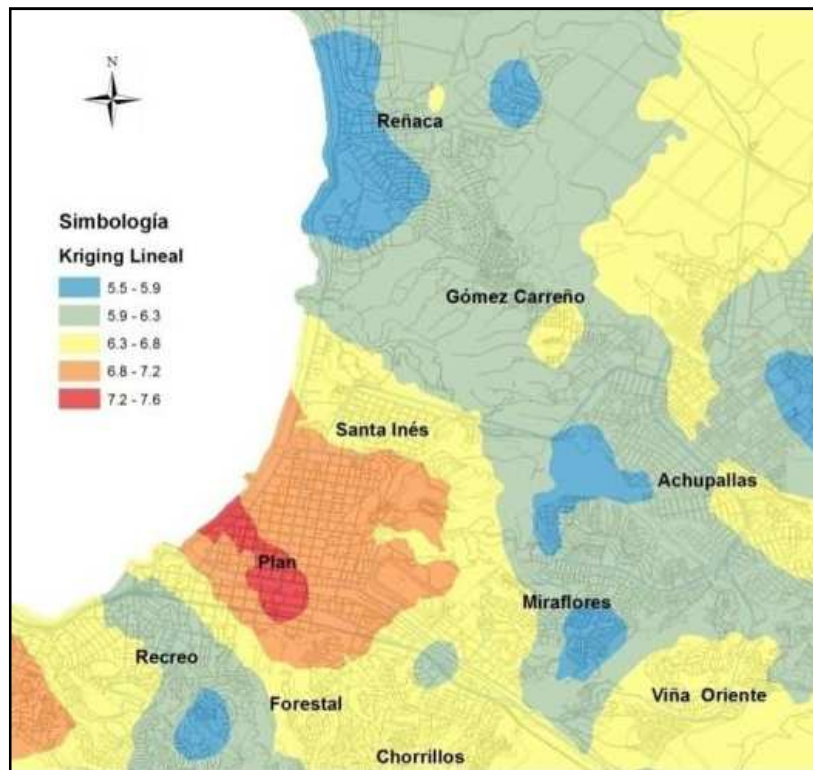


Figura 23: Kriging método Lineal

Si bien, todos los métodos entregan una representación adecuada de lo observado en terreno, se consideró más adecuado el método Exponencial pues las regiones generadas son más suaves y permite extrapolar la información en zonas donde ésta no existía. A diferencia del método Gaussiano, permite interpolar en zonas donde falta información debido a la inexistencia de viviendas, lo que le permite ser un buen método predictivo. Además presenta contornos más suaves que el método Lineal, lo cual facilita la distinción de un sector con otro.

Finalmente en la Figura 24 se ha conformado el mapa de Isosistas identificando cuatro zonas, las cuales se separan en medio grado de intensidad MSK una de otra, utilizando el método Exponencial. Un resumen de los parámetros utilizados para esta interpolación, al igual que el variograma y sus errores, puede ser encontrado en el Anexo F. Este mapa temático se puede apreciar con mayor detalle en el Anexo L.

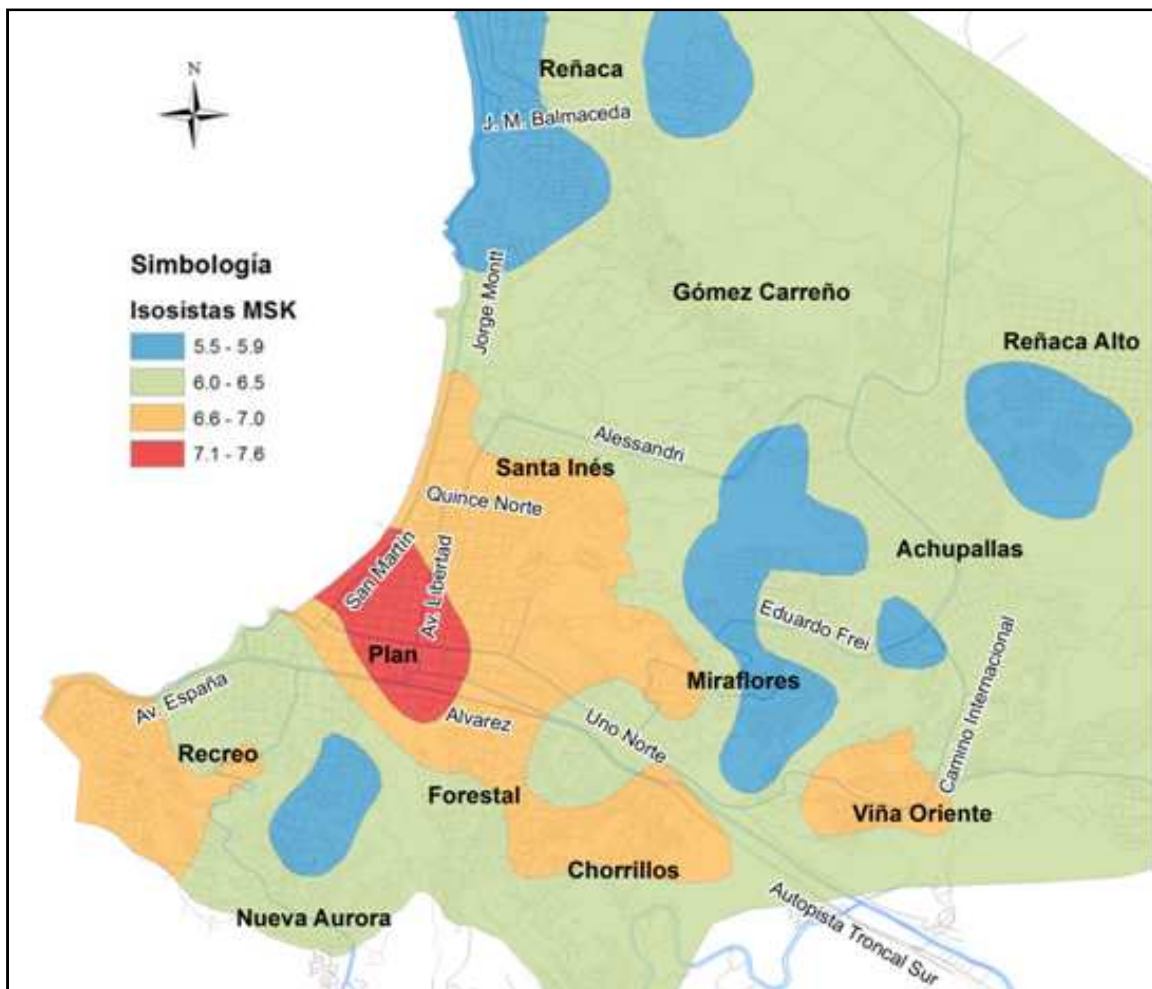


Figura 24: Mapa Isosistas en escala MSK

4 GEOLOGIA Y PROPIEDADES GEOTECNICAS DE LOS SUELOS DE VIÑA DEL MAR

4.1 Geología de Viña del Mar

4.1.1 Descripción geomorfológica del área de estudio

Viña del Mar se encuentra, según Grimme, K. y Álvarez, L. (1964), en un área caracterizada por formas topográficas que indican una costa de regresión. Sus rasgos geomorfológicos más notables son las terrazas de abrasión marina y de depositación, acantilados costeros y profundas quebradas que cortan las terrazas. La Ilustración 1 muestra una imagen satelital de Viña del Mar que representa las distintas formas topográficas explicadas anteriormente. La Ilustración 2 muestra las terrazas de abrasión marina correspondiente a los sectores norte y sur del estero Marga-Marga. Dentro de la ciudad se pueden presenciar las distintas unidades caracterizadas principalmente por sus relieves. La primera es una llanura donde se encuentra emplazado el sector Plan, constituido por sedimentos marino-fluviales provenientes del estero Marga-Marga y la costa, delimitada por terrazas hacia el Norte y Sur del estero. Hacia el Norte de éste es posible distinguir terrazas de gran extensión, las cuales tienen cotas máximas desde 200 a 450 m.s.n.m. Bordeando la costa hacia el Norte existen afloramientos de sedimentos marinos, principalmente arenas, mientras que hacia el Sur, se encuentran terrazas con mayor altitud, las cuales se ubican a cotas superiores a 250 m.s.n.m.



Ilustración 1: Morfología Viña del Mar y Reñaca
Fuente: Google Earth.



Ilustración 2: Morfología de terrazas
Fuente: Google Earth. Exageración de relieve 1:2

En el sector de Reñaca desemboca el estero homónimo que separa la ciudad en forma similar que el estero Marga-Marga con el sector Plan y que se forma por la confluencia de dos cursos de agua que nacen en el cerro Buitre y el otro en el cerro Molle. En el sector Norte y hacia Concón, se encuentran dunas y acantilados rocosos con fuertes pendientes, mientras que hacia el Sur del estero Reñaca, es posible distinguir cerros con alturas menores a las terrazas ya mencionadas. La Ilustración 3 muestra el sector de dunas y acantilado rocoso en las cercanías del estero Reñaca.



Ilustración 3: Morfología de Reñaca
Fuente: Google Earth. Exageración de relieve 1:2

4.1.2 Descripción geológica

Para la identificación de las unidades geológicas de la ciudad de Viña del Mar, se han utilizado las siguientes referencias:

- Geología del área Valparaíso - Viña del Mar. Grimme, K. y Álvarez, L. (1964). Escala 1:50.000
- Mapa Geológico del Área de Valparaíso - Curacaví. Gana, Wall, R., y Gutiérrez, A. 1996. Escala 1:100.000
- Mapa Geológico Quillota - Portillo. Rivano, S., Sepúlveda, P. y Boric, R., 1993. Escala 1:250.000

En la Figura 25 se muestra el mapa geológico propuesto por Grimme, K. y Álvarez, L. (1964) para la totalidad de la ciudad de Viña del Mar, su clasificación geológica se muestra en la Tabla 5; la Figura 26 presenta el mapa geológico propuesto por Gana *et al.* (1996) para los sectores comprendidos entre Valparaíso y Curacaví, mostrando la geología parcial de la ciudad, específicamente de la zona sur de Viña del mar, la clasificación geológica respectiva se encuentra en la Tabla 6; finalmente la Figura 27 muestra el mapa geológico propuesto por Rivano *et al.* (1993) para los sectores comprendidos entre Quillota y Portillo, mostrando la geología de la zona norte de Viña del Mar, su clasificación geológica se muestra en la Tabla 7.

De las figuras antes mencionadas, es posible observar que la ciudad posee unidades geológicas que van desde rocas intrusivas del Paleozoico hasta sedimentos no consolidados del Cuaternario.

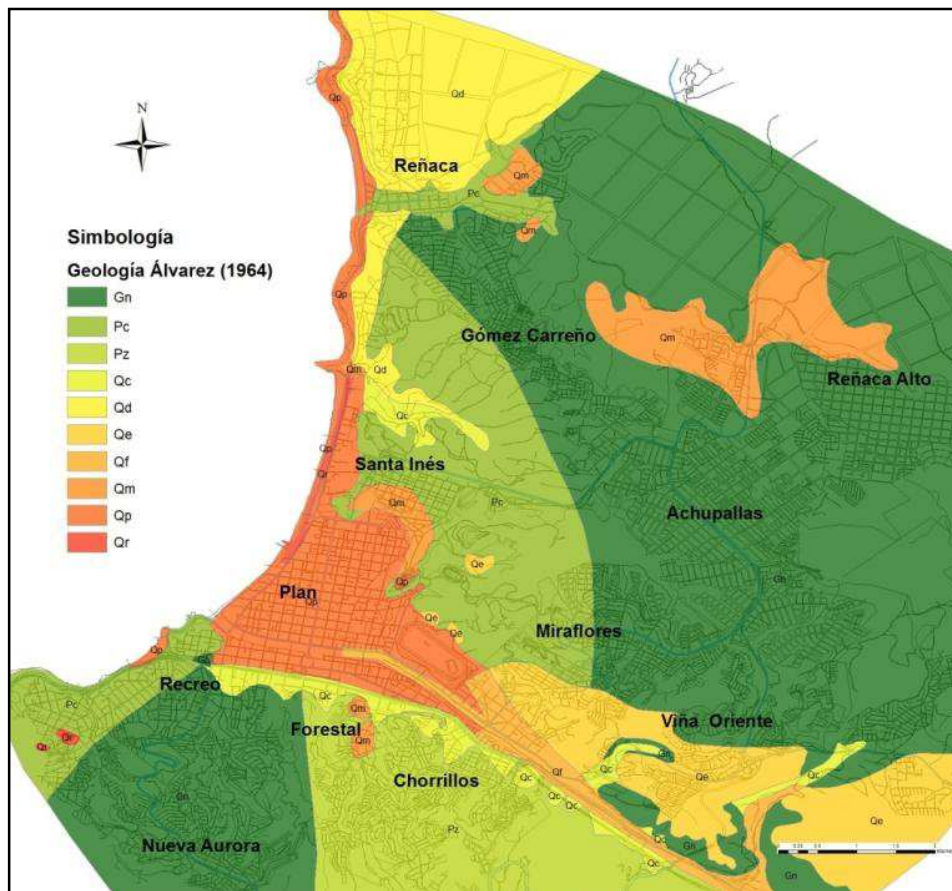


Figura 25: Mapa geológico del área de Viña del Mar
Fuente: Adaptación de Grimme, K. y Álvarez, L. (1964)

Tabla 5: Clasificación de edades geológicas
Fuente: Grimme, K. y Álvarez, L. (1964)

Edad geológica	Unidad	Descripción
Precámbrico	Pc/Gn	Esquistos, anfibolitas, neis de transición (Gn)
Paleozoico	Pz	Intrusivo granítico
Cuaternario - Reciente	Qr	Relleno artificial
	Qc	Coluvio
Cuaternario – Pleistoceno Reciente	Qf	Relleno fluvial
	Qp	Arena y grava de playa
	Qd	Arena eólica (dunas)
Cuaternario - Pleistoceno	Qe	Terrazas Estuariales
	Qm	Terrazas Marinas

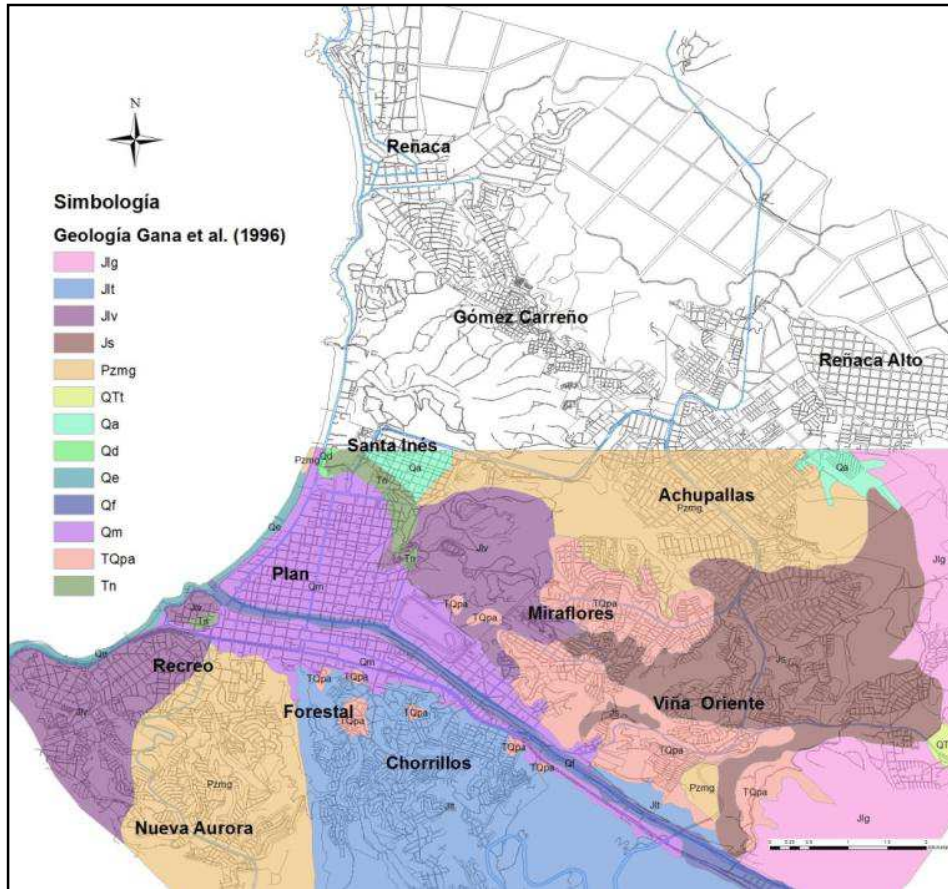


Figura 26: Mapa geológico del área de Valparaíso – Curacaví. SERNAGEOMIN
Fuente: Adaptación de Gana, P., Wall, R. y Gutiérrez, A. (1996)

Tabla 6: Clasificación de edades geológicas
Fuente: Gana, P., Wall, R. y Gutiérrez, A. (1996)

Edad geológica	Unidad	Descripción
Paleozoico	Pzmg	Rocas intrusivas paleozoicas
Jurásico	Jlg/Jlt/Jlv/Js	Rocas intrusivas jurásicas
Terciario	TQpa	Estratos de Potrero Alto
	Tn	Formación Navidad
Cuaternario – Pleistoceno	Qm	Depósitos marinos
	QTt	Terrazas de abrasión
Cuaternario – Holoceno	Qa	Depósitos aluviales
	Qd	Depósitos eólicos subactuales
	Qe	Depósitos litorales y eólicos actuales
	Qf	Depósitos fluviales

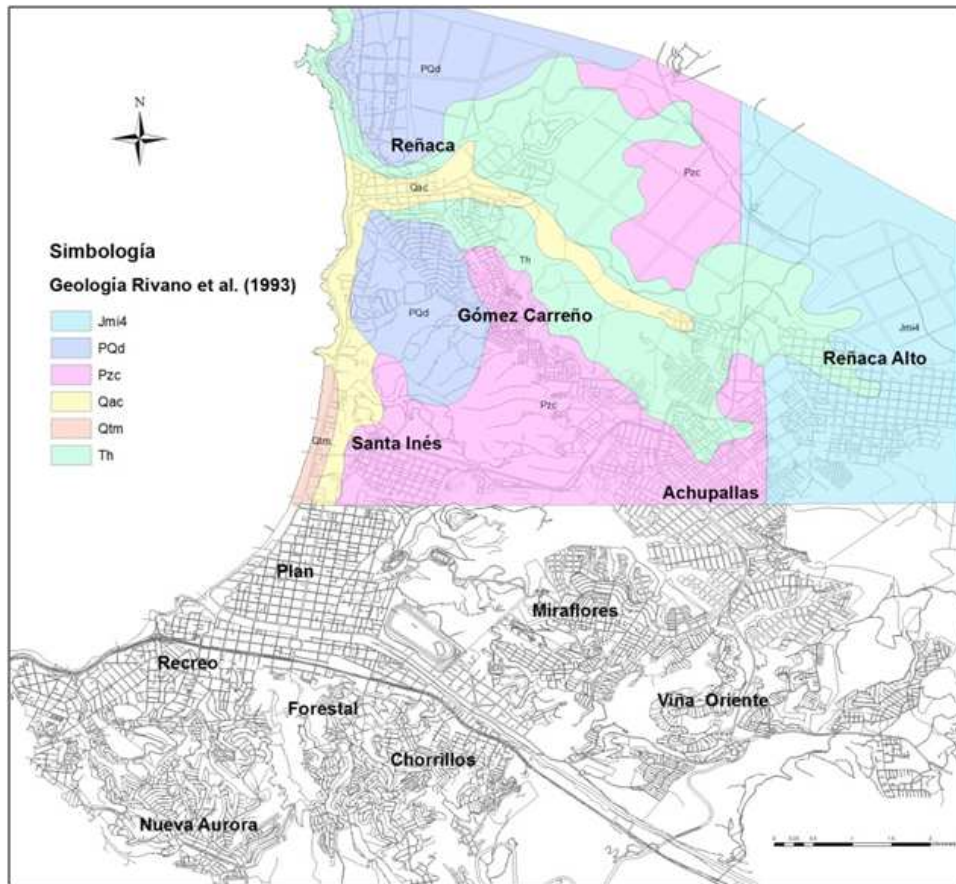


Figura 27: Mapa geológico del área Quillota – Portillo. SERNAGEOMIN
 Fuente: Adaptación de Rivano, S., Sepúlveda, P. y Boric, R. (1993)

Tabla 7: Clasificación de edades geológicas
 Fuente: Rivano, S., Sepúlveda, P. y Boric, R. (1993)

Edad geológica	Unidad	Descripción
Paleozoico	Pzc	Unidad Cochoa granitoides
Jurásico	Jmi4	Unidad Caviolén. Rocas intrusivas
Terciario	Th	Formación Caleta Horcón. Marino transicional
	Tc	Formación Confluencia. Continental
Cuaternario	Qtm	Terrazas de depósitos marinos
	Qac	Sedimentos aluviales y coluviales
	PQd	Sedimentos eólicos antiguos. Paleodunas

Según Tsige, M. y García, I. (2006), la presencia de terrenos, considerados geotécnicamente como blandos y próximos a la superficie del terreno, produce un aumento considerable de los daños generados por terremotos en las infraestructuras situadas sobre ellos, al condicionar la amplificación de las ondas sísmicas en un rango de periodos de vibración (períodos altos) de los materiales, que coincide con el periodo de vibración de las estructuras. La respuesta y la magnitud de esa amplificación de la señal, está controlada principalmente por las propiedades geotécnicas de los materiales geológicos, especialmente por sus características dinámicas, así como el espesor de las capas y la profundidad a la que se encuentra el sustrato rocoso. Cuando se produce un movimiento sísmico, se libera una gran energía de deformación almacenada, esta energía se transmite por el interior de la tierra (rocas) en forma de ondas sísmicas que normalmente se atenúan con la distancia al foco emisor y con el tiempo. Sin embargo, cuando las ondas atraviesan determinados tipos de terrenos (por ejemplo suelos blandos, no consolidados), el movimiento o la señal de entrada se amplifica de forma muy relevante. En la Figura 28 se esquematiza un ejemplo del paso de las ondas sísmicas en terrenos de distinta competencia.

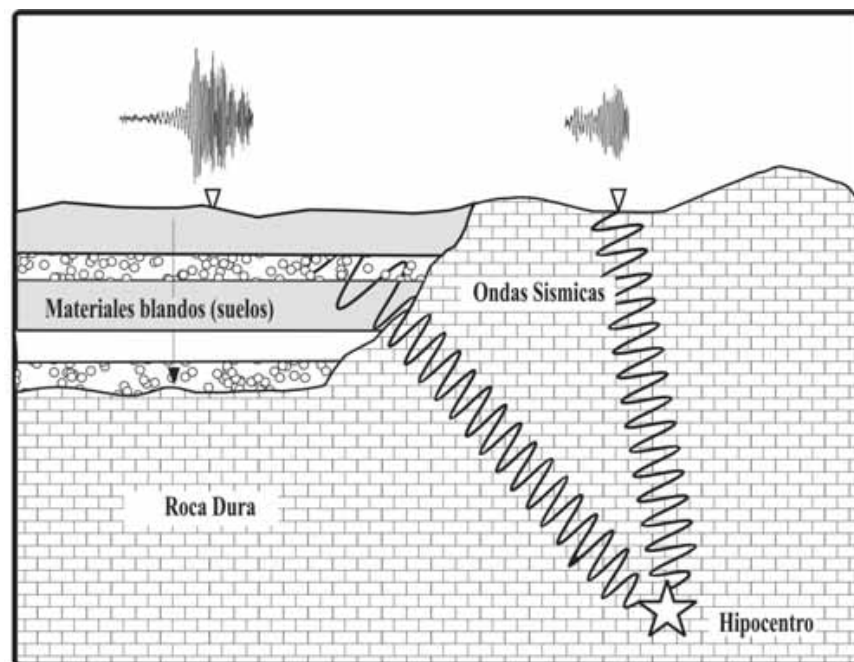


Figura 28: Ondas sísmicas en suelos de distinta competencia
Fuente: Tsige, M. y García, I. (2006)

Al conocer la geología de una ciudad es posible saber, en rasgos generales, el tipo de suelo de fundación existente, información que el proyectista debiese incorporar y disponer con facilidad a sus estudios. De la misma manera es posible llevar dicha información a la planificación urbana, ya que las viviendas, edificaciones esenciales y líneas vitales, se encuentran emplazadas sobre diferentes unidades y tipos de suelos. Para el caso de una actividad sísmica moderada o alta pueden ser más o menos propensas a sufrir daños, debido al diferente comportamiento que poseen los suelos recientes con menor nivel de compactación respecto a las rocas intrusivas de mayor edad. Un claro ejemplo de aquello son los sedimentos que se encuentran en las partes bajas de la ciudad, que es precisamente donde se disponen la gran mayoría de las edificaciones esenciales, estructuras en altura y donde se identificaron los mayores daños tras los terremotos de 1985 y 2010.

De la clasificación geológica obtenida según los distintos autores, se observan diferencias en términos de nomenclatura, disposición y distribución de algunas unidades geológicas. Sin embargo, la disposición de los depósitos a escala comunal coincide en términos generales, por lo que se ha debido identificar en terreno principalmente los contactos entre las distintas unidades en aquellas zonas donde existen discrepancias o falta de información.

Dentro del marco del estudio SEREMI MINVU REGIÓN DE VALPARAÍSO: “Microzonificación Sísmica en sectores urbanos de las comunas de Valparaíso y Viña del Mar, Informe N°1: Plan de Trabajo - Diagnóstico Descriptivo”, realizado por el Centro de Estudios e Investigación en Infraestructura de la Universidad Técnica Federico Santa María y con ayuda de la geóloga Eleonora Muñoz, se logró validar la información mediante visitas a terreno en los siguientes lugares: Sporting Club, calle Quillota esquina Subida Los Lirios, Sector Santa Inés por subida Alessandri y Canal Beagle.

Para incorporar toda la información existente y utilizarla como una variable más en el mapa final de Microzonificación Sísmica, se adoptó la identificación de unidades geológicas señalada en el estudio SEREMI MINVU REGIÓN DE VALPARAÍSO: “Microzonificación Sísmica en sectores urbanos de las comunas de Valparaíso y Viña del Mar, Informe N°2: Plan de Trabajo – Análisis y Modelación”, para generar un mapa en función de las edades de cada unidad geológica. De esta forma se identificaron aquellas zonas correspondientes a sedimentos no consolidados (Cuaternario), sedimentos semi-consolidados (Terciario) y rocas intrusivas (Jurásico/Paleozoico). La Figura 29, Figura 30 y Figura 31 muestran la simplificación utilizada según edad geológica para

los estudios de Grimme, K. y Álvarez, L. (1964), Gana *et al.* (1996) y Rivano *et al.* (1993) respectivamente.

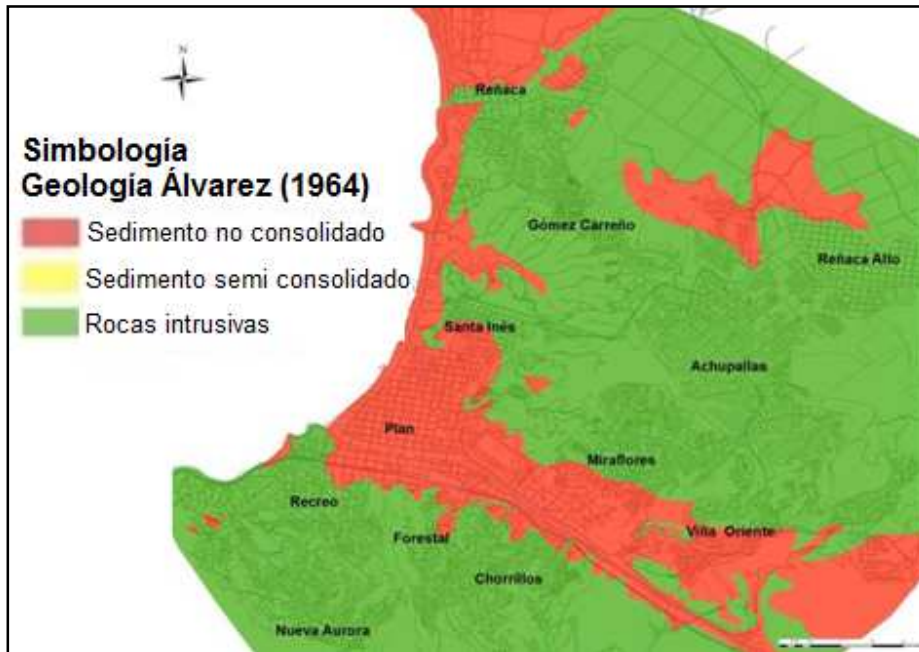


Figura 29: Mapa geológico del área Valparaíso – Viña del Mar
Fuente: Adaptación de Grimme, K. y Álvarez, L. (1964)

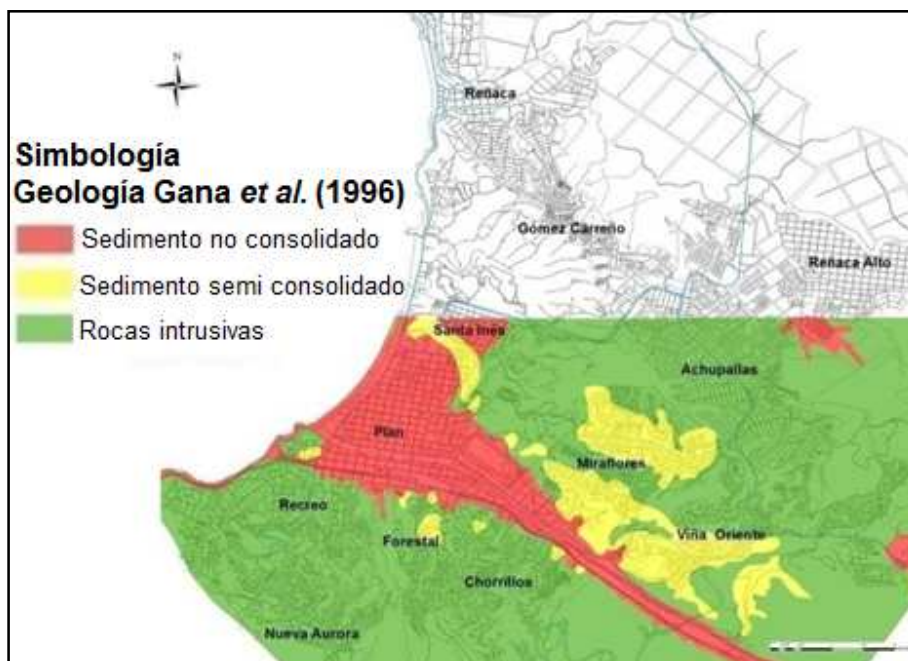


Figura 30: Mapa geológico del área de Valparaíso – Curacaví. SERNAGEOMIN
Fuente: Adaptación de Gana, P., Wall, R. y Gutiérrez, A. (1996)

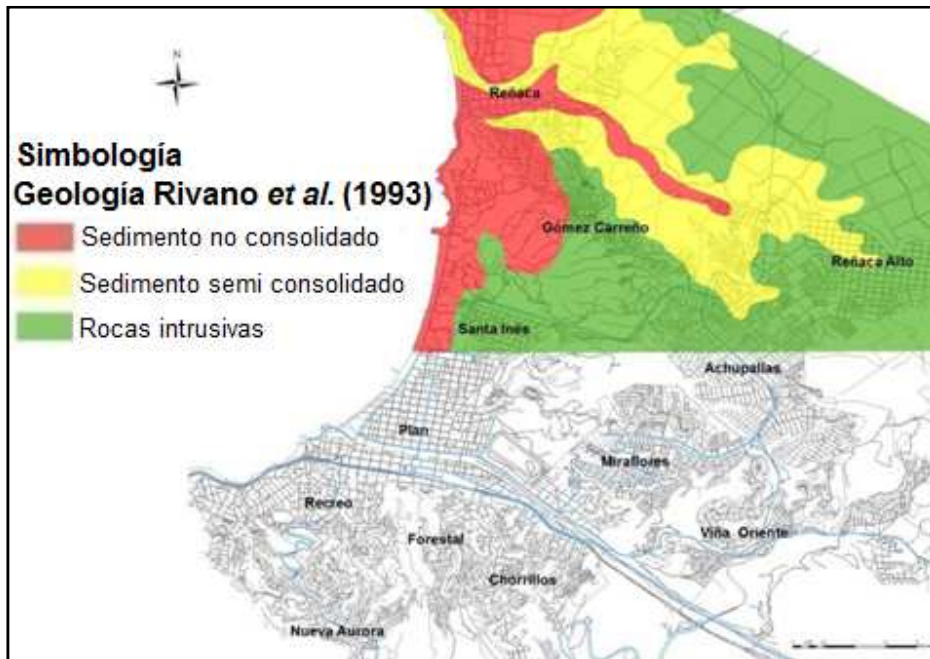


Figura 31: Mapa geológico del área Quillota – Portillo. SERNAGEOMIN

Fuente: Adaptación de Rivano, S., Sepúlveda, P. y Boric, R. (1993)

Una vez simplificados los mapas a partir de las edades geológicas, se propone una clasificación geológica (ver Figura 32), adaptada a las unidades geológicas definidas por los mapas del Servicio Nacional de Geología y Minería SERNAGEOMIN (Gana *et al.*, 1996 y Rivano *et al.*, 1993) debido a que son estudios más recientes, por ende incorporan información y técnicas que el estudio de Álvarez no contiene. Sin embargo los contactos y límites entre unidades fueron comparados con el estudio de Grimme, K. y Álvarez, L. (1964), el cual está en una escala mucho menor (1:50.000), por consiguiente posee un mayor detallamiento de los contactos para las distintas unidades. Este mapa temático se puede apreciar con mayor detalle en el Anexo L.

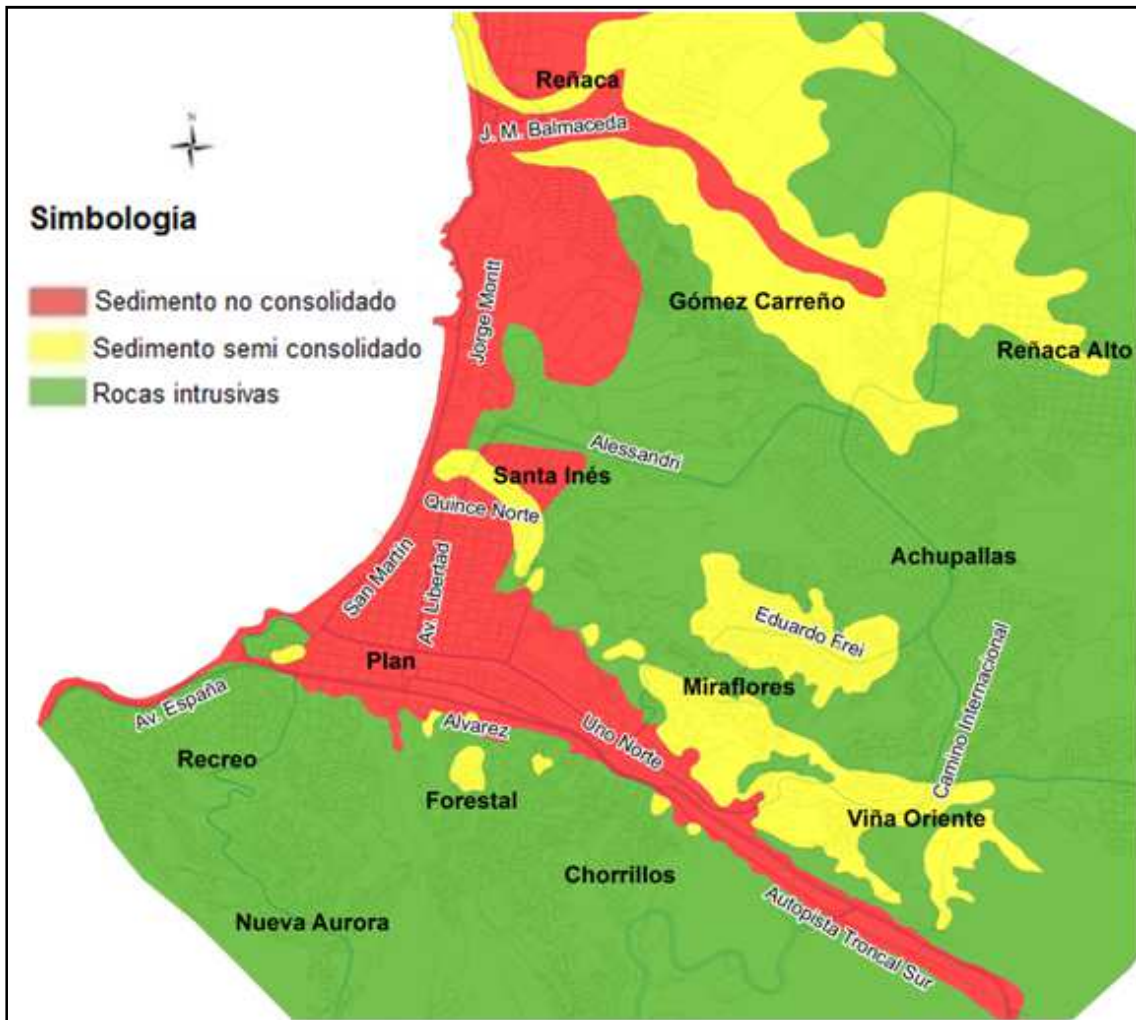


Figura 32: Mapa Geológico propuesto para Viña del Mar

Es posible observar en la Figura 32 la existencia de rocas intrusivas del período Jurásico y Paleozoico en las zonas altas de la ciudad, correspondientes a los sectores Recreo, Nueva Aurora, Chorrillos, Forestales, Achupallas, Gómez Carreño y Reñaca Alto. Los sectores Viña Oriente y Miraflores están emplazados sobre unidades del Terciario, mientras que los sectores Plan, Santa Inés y Reñaca se encuentran sobre unidades del Cuaternario.

Un aspecto importante a considerar en futuros estudios es la geología estructural de Viña del Mar, específicamente las fallas que se presentan en la ciudad identificadas en los trabajos de Grimme, K. y Álvarez, L. (1964), Thorson, R. (1999) y Gana *et al.* (1996) principalmente. La más importante de ellas es la falla Marga-Marga, cuya traza coincide con el valle del estero Marga-

Marga. A pesar de que ha sido investigada en diversos estudios, es necesario una validación y reproducción de los datos obtenidos a la fecha a partir de sondajes, con la finalidad de identificar específicamente la zona que dicha falla afecta y bajo qué condiciones. Tras los terremotos de los años 1985 y 2010, y como se señaló previamente, los daños que se generaron se observaron principalmente en la misma zona donde se estima que la falla está emplazada. Una vez realizado un estudio definitivo, será posible, para efectos de la Microzonificación Sísmica de la ciudad, incorporar el área que dicha falla afecta en forma más directa, para poder así, agregar más y mejor información al análisis realizado.

4.1.3 Topografía y remociones en masa

Los principales rasgos geomorfológicos de la zona de estudio corresponden al desarrollo de cordones de cerros de variada altitud, un notorio control estructural de la orientación de los valles y la existencia de sectores llanos en el área costera. La llanura que ocupa la ciudad se encuentra cruzada por el estero Marga-Marga y está limitada por cordones de cerros al Norte y Sur, con cerros de alturas entre 150 a 300 m.s.n.m., los cuales muestran altos niveles de erosión y desarrollo de quebradas profundas con fuerte pendiente topográfica.

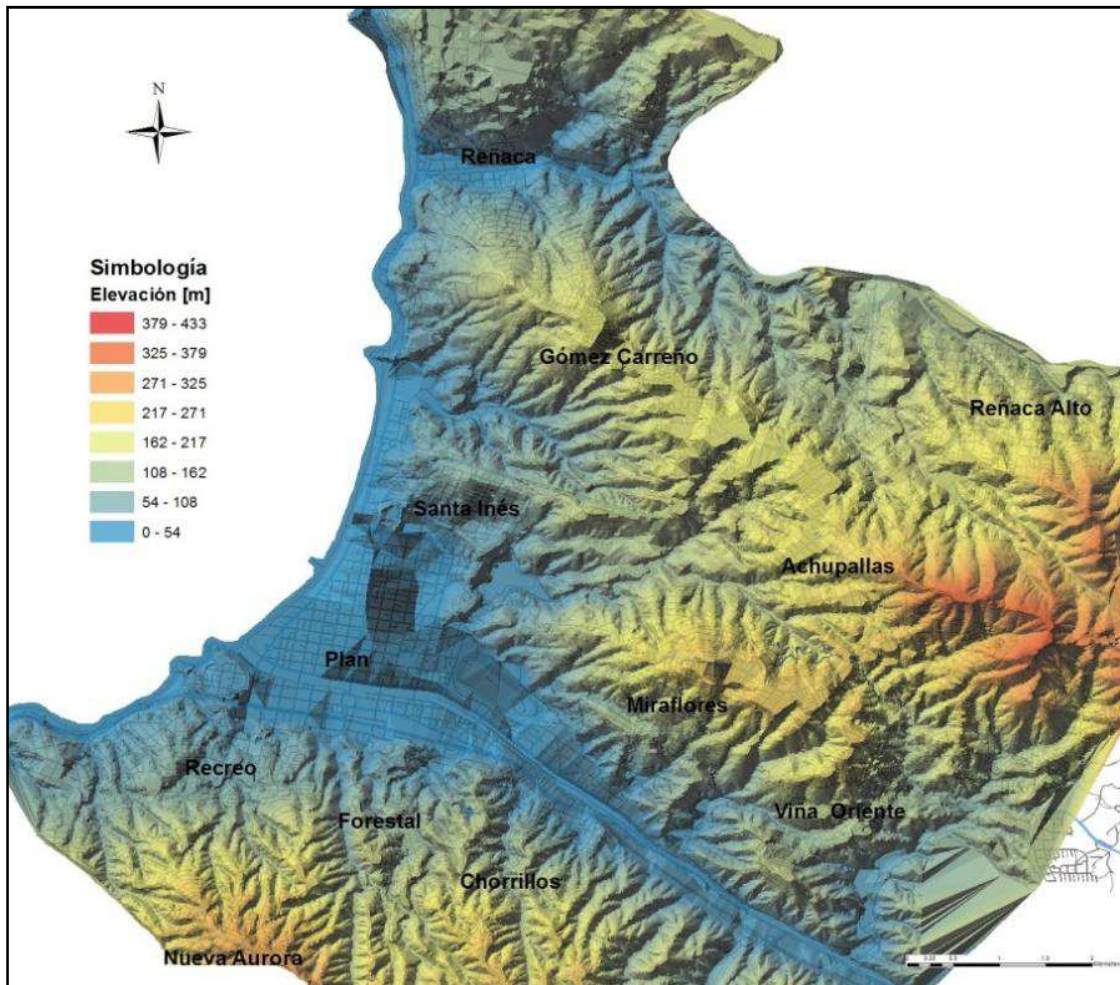


Figura 33: Modelo digital de elevación de Viña del Mar

En el sector de Reñaca su estero, de igual nombre, disecta al valle emplazado en el sector céntrico de dicho lugar. Se puede apreciar erosión en los cerros aledaños, pero es notoriamente menor, y solamente en el sector costero se presenta un acantilado de gran pendiente topográfica. Para poder ilustrar de mejor manera la topografía de la ciudad, se ha realizado un análisis a partir de curvas de nivel detalladas cada 5 m, en donde es posible apreciar y distinguir los sectores bajos (en azul) con aquellos más elevados (en rojo), ver Figura 33.

Uno de los fenómenos asociados a la actividad sísmica y que está directamente relacionado con la topografía, debido al efecto que generan las pendientes del terreno, es el de Remoción en Masa. Es un fenómeno ligado a procesos tanto exógenos (gravedad, acción eólica e hidrológica, fenómenos climáticos y acción de seres vivos) como endógenos (actividad sísmica), y

es una fuente de daños considerable sobretodo en ciudades como Viña del Mar, donde muchas de las viviendas son construidas en zonas con pendientes moderadas o altas y donde la coexistencia de sectores planos con laderas de cerros se hace notar en gran parte de la ciudad.

El término de Remoción en Masa está referido a movimientos de laderas que ocurren pendiente abajo de un determinado volumen de suelo, rocas o combinación de ambos, en los cuales el factor gravedad está siempre presente. Estos movimientos de terreno se producen debido al debilitamiento progresivo de los materiales, conjugado con condiciones geométricas del terreno y que son en general desencadenados por sismos, lluvias intensas y cambios en la geometría natural del terreno (en forma natural o realizada por el hombre). De los distintos procesos de Remoción en Masa existente, es posible diferenciarlos por el material movilizado (rocas, suelos, barro, una combinación de los anteriores), tipo de movimiento que presentan (caídas, volcamientos, deslizamientos, flujos) o el mecanismo de falla que predomina. Las Remociones en Masa más comunes son:

- Desprendimientos de material: caídas de rocas, suelos o mezclas incluyendo en algunos casos vegetación.
- Deslizamientos: el material desliza a través de una superficie de cizalle o plano.
- Flujo: donde la masa compuesta por rocas y suelo se mueve con un material homogéneo y saturado.

Existen factores que favorecen los procesos de Remoción en Masa, como las altas pendientes, topografía abrupta de un terreno, mala compactación de suelos superficiales, alto nivel de meteorización, ausencia de vegetación, presencia de agua y la acción humana entre otros. Además, existen factores que modifican la estabilidad preexistente de los terrenos, dentro de los cuales se encuentran las construcciones de caminos, cortes de laderas, la actividad sísmica y las lluvias intensas, que pueden terminar desencadenando estos procesos de remoción.

El estudio realizado por López *et al.* (2005) sobre el peligro de remociones en masa, integra la información geológica y geomorfológica a través del análisis de las pendientes topográficas para definir los distintos niveles de peligro, validando dicho análisis con fenómenos observados en distintos puntos de la ciudad.

La Tabla 8 presenta un resumen de los niveles de riesgo de remociones en masa propuesto por López *et al.* (2005), donde cada nivel de peligro, se relaciona además con dos tipos de fenómenos:

- Flujos de barro y/o detritos canalizados, que comprenden todos los movimientos en masa encauzados en quebradas o líneas de erosión.
- Deslizamientos, flujos y/o detritos, reptación, caída de roca y colapso de materiales inestables, que se originan en laderas de cerros o sectores con distintos grados de pendiente topográfica, constituidos por mantos meteorizados (suelo residual), roca intensamente fracturada o arena de origen eólico.

Tabla 8: Niveles de peligro de remociones en masa
Fuente: López *et al.* (2005)

Tipo de Fenómeno	Peligro	Descripción
Flujos de barro y/o detritos canalizados	Alto	Corresponde a la zona de máxima incisión vertical por erosión debido a escorrentía superficial, que se desarrolla en forma lineal en pendientes superiores a 40°. Es producto de la fuerte erosión de potentes mantos de suelo residual arcilloso.
	Moderado a Alto	Es el canal de transporte y depósito del material erodado, se enmarca en áreas de pendiente entre 15 y 40°, que corresponde a las zonas de escorrentía de las quebradas.
	Moderado a Bajo	Es la zona final de acumulación del material erodado, principalmente, en las cabeceras de las quebradas. Se encuentra en sectores con pendientes inferiores a 15°, tanto al final de los canales de transporte y depositación como en replanos ubicados a media ladera.
Deslizamiento, flujos de barro y/o detritos, reptación, caída de roca y colapso de materiales inestables.	Alto	Corresponde a todas las laderas de cerros superiores a 40° de inclinación, en las cuales mantos meteorizados de potencias métricas, de material arcilloso, son fácilmente erosionables. La pendiente topográfica, más la actividad antrópica propician el desarrollo de remociones en masa del tipo deslizamientos, flujos de barro y mezclas complejas de estos tipos, es decir, procesos de tipo gravitacional.
	Moderado a Alto	Corresponde a la zona de acumulación de caída de rocas y colapso de materiales no consolidados, provenientes de laderas con más de 70° de pendiente.
	Moderado	Comprende las laderas de quebradas con pendientes entre 15° y 40°, adyacentes a las zonas de peligro alto. En ellas también se desarrollan mantos de regolito arcilloso o materiales no consolidados de distinto origen. Se generan tanto deslizamientos, flujos de barro y detritos, colapsos, como también reptaciones en pendientes bajas.
	Bajo o Nulo	Son los sectores con pendientes bajo los 15° que se ubican en los sectores altos de los cerros y en el plano urbano. Son zonas con ausencia de erosión incisiva.

En la Figura 34 se representan los niveles de peligro de remoción en masa para la ciudad de Viña del Mar en función de los distintos fenómenos asociados y para los distintos grados de peligros propuestos por López *et al.* (2005).

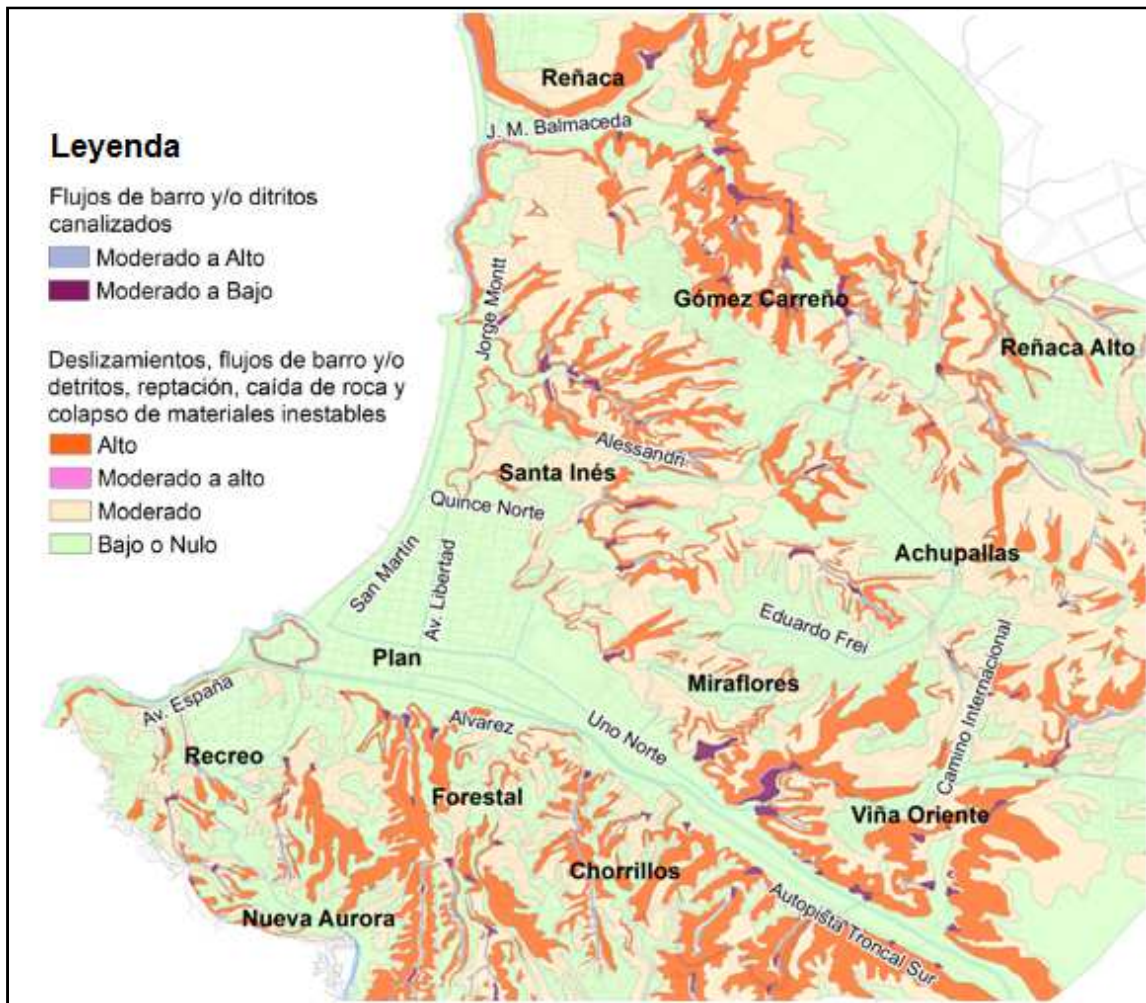


Figura 34: Remociones en masa
Fuente: Adaptación de López *et al.* (2005)

Es posible identificar que los sectores Forestal, Chorrillos, Viña Oriente y Reñaca, se encuentran emplazados en zonas donde existe un alto peligro de sufrir efectos de Remoción en Masa debido a las altas pendientes presentes (sobre 40°). Lo anterior es validado luego del catastro de daños realizado para el presente estudio, en donde viviendas ubicadas en zonas altas

sufrieron daños producto de deslizamientos de tierra, generando grietas en los pisos principalmente. A su vez, existen sectores que presentan zonas urbanas con bajo a moderado peligro de sufrir este efecto, como Recreo, Nueva Aurora, Miraflores, Achupallas, Reñaca Alto, Santa Inés y Gómez Carreño. Por contraparte, el sector Plan tiene un bajo peligro de Remoción en Masa, debido a que sus pendientes se encuentran bajo los 15°.

4.2 Clasificación Geotécnica de suelos

La clasificación geotécnica de los suelos ha sido modificada en las normas sísmicas, tanto chilenas como internacionales, con el paso del tiempo a medida que más evidencias y resultados instrumentales han sido obtenidos. De acuerdo a los estudios y respuestas sísmicas recopiladas por Dobry, R. y Lai, S. (2000) de diversos terremotos en el mundo y evaluadas por distintos investigadores, los comités de normas han ido adoptando parámetros dinámicos de los suelos para su clasificación y posterior obtención de espectros de diseño a partir de resultados de amplificación sísmica evidenciados luego de grandes terremotos, principalmente el de Ciudad de México en 1985 y Loma Prieta en 1989.

Según Dobry y Lay, en Japón la clasificación de suelos a partir de parámetros dinámicos se ha dado con anterioridad que en Estados Unidos, siendo el terremoto de Loma Prieta el que finalmente dio pie a la incorporación de parámetros dinámicos de los suelos para la obtención de espectros de diseño en la edición de 1994 de las disposiciones sísmicas NEHRP. Los resultados de distintas investigaciones resumidas en Dobry, R. y Lai, S. (2000), consideran que la amplificación de una onda sísmica para un período dado es proporcional a la velocidad de propagación de la onda de corte V_s elevada a un coeficiente generalmente negativo. Autores como Joyner y Aki proponen coeficientes -0.5, mientras que Borchardt propone coeficientes -0.4 para una banda de períodos bajos (0.1-0.5 segundos) y -0.6 para una banda de períodos altos (0.4-2.0 segundos), aproximadamente en los primeros 30m de suelo. Estos resultados han dado pie para la inclusión de la clasificación de suelos mediante el promedio de los primeros 30m de la velocidad de onda de corte en los códigos y normas sísmicas a nivel internacional, con la finalidad de definir el espectro de diseño más apropiado para cada caso.

Chile ha modificado la norma NCh 433Of.96: Diseño sísmico de edificios, mediante el Decreto Supremo 61 en el año 2011, que cambia, entre otras cosas, la clasificación de los suelos incorporando el valor de la velocidad de onda de corte V_s , sumándose a la iniciativa presentada en

los códigos sísmicos internacionales. La caracterización del suelo requiere conocer el perfil de velocidades de la onda de corte V_s de las capas de suelo que subyacen el terreno hasta una profundidad de al menos 30 metros, lo cual resulta necesario para:

- Evaluar la respuesta sísmica del terreno donde se instalará una estructura.
- Evaluar potenciales de licuación de suelos en caso de arenas.
- Evaluar la transmisión de vibraciones generadas por máquinas, explosiones, u otros elementos en superficie o profundidad.

Por otro lado, la exploración de suelos de acuerdo a la norma NCh 1508 debe corresponder a la profundidad del subterráneo más 1,5 veces el ancho o lado menor de fundación. Esto implica, por ejemplo, que para un edificio de 18 pisos y de planta $18 \times 30 \text{ m}^2$ con un subterráneo de 3 m debe ser explorado a una profundidad cercana a los 30 m al igual que el mínimo exigido por la normativa vigente (Decreto Supremo 61, 2011).

De acuerdo a la normativa actualmente vigente (Decreto Supremo 61, 2011), la velocidad de propagación de las ondas de corte puede ser medida por ensayos Down-hole, Cross-hole o sonda de suspensión o a partir de mediciones de ondas superficiales (Rayleigh), a través del Análisis Espectral de Ondas Superficiales (o SASW por sus siglas en inglés), Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (o MASW por sus siglas en inglés) o por medio de la Refracción de ruido ambiental (o ReMi por sus siglas en inglés).

A continuación se presentará el ensayo Down-hole que permite determinar la velocidad de propagación de la onda de corte y el ensayo de penetración estándar (o SPT por sus siglas en inglés) utilizado para caracterizar suelos granulares, ambos empleados actualmente en Chile para clasificar suelos.

4.2.1 Ensayos Down-hole

4.2.1.1 Descripción y alcances del ensayo

El ensayo Down-hole permite determinar la velocidad de la onda de corte V_S , utilizando la misma perforación del ensayo SPT, registrando valores cada 3 m en vertical. Este ensayo se rige por las normas ASTM D7400-08, ASTM D4428 y ASTM D4428M-00 y se lleva a cabo con un equipo que consta de lo siguiente:

- Computador portátil

- 2 Geófonos triaxiales, utilizados para recibir la señal dentro del ducto de PVC dispuesto. Las 3 componentes son: vertical, radial y tangencial. Ambos geófonos están dispuestos a 3 m de distancia uno de otro.
- Acelerómetro, dispuesto en los tabloncillos adheridos mediante una resina epóxica donde se origina la fuente
- Sistema de válvulas, compresor y sistema inflable (bladder), uno para cada geófono.
- Elementos adicionales: Set de cables para conectar los geófonos con el ordenador, cordel de soporte , un tablón y un combo metálico de 8 libras, utilizados para generar el pulso usado como fuente.



Ilustración 4: Computador portátil



Ilustración 5: Geófono superior e inferior



Ilustración 6: Acelerómetro



Ilustración 7: Válvula y bladder

La velocidad de onda de corte V_s es medida en los distintos estratos de suelo utilizando la perforación típica de un sondaje SPT de al menos 3" de diámetro, en el cual se introducen 2 geófonos triaxiales separados a una distancia de 3 metros en un tubo de PVC, cuyas paredes son revestidas con mortero de cemento y bentonita, que normalmente se utiliza como revestimiento en un sondaje SPT.

Junto con introducir los geófonos triaxiales al tubo de PVC, viene incluido un sistema inflable (bladder) el cual permite ajustar los instrumentos de medición al tubo y así evitar posibles oscilaciones. Este sistema funciona mediante la aplicación de aire comprimido entre 5 y 10 psi. Una vez instalado el equipo, se procede a golpear el tablón de madera debidamente instalado con

un martillo de 8 libras el cual es utilizado como fuente de impacto, enviando una señal al acelerómetro, que a su vez envía una señal al computador portátil que registra el desfase de la señal recibida por el acelerómetro y los geófonos. Ver Figura 35.

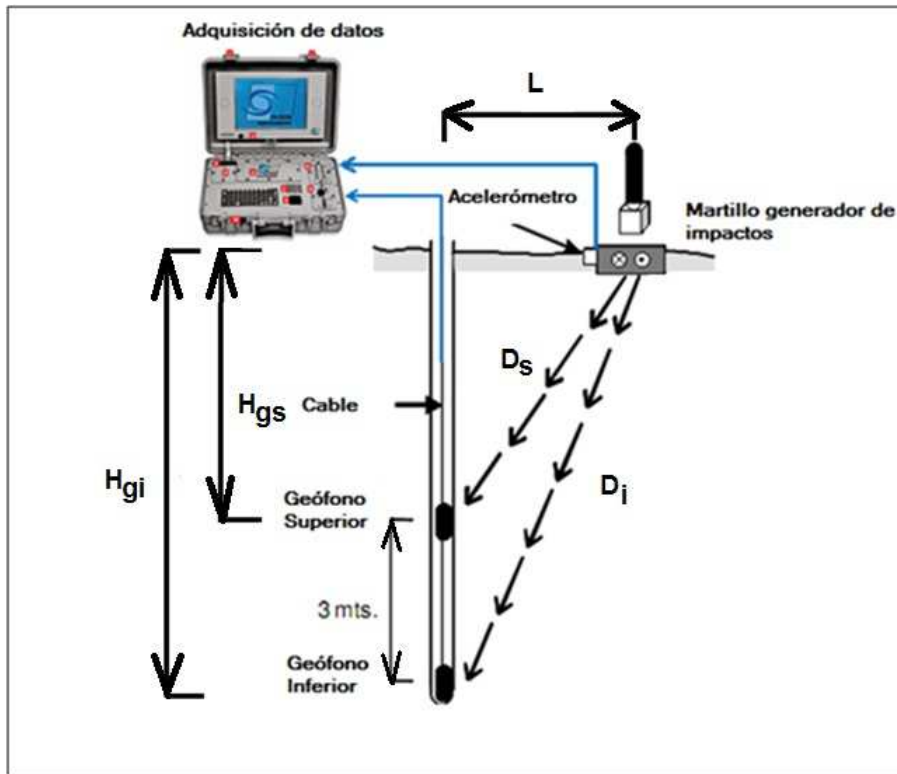


Figura 35: Esquema ensayo Down-Hole

Se realizan 3 mediciones para cada tipo de golpe a cierta profundidad, escogiendo el valor promedio de las 3. Para cada tipo de golpe se considera como una medición válida aquella que presente una visible amplitud de la Onda de Corte pasado los 4 microsegundos, en caso contrario se repite la medición.

Para el cálculo de las velocidades se utiliza el Método de Intervalo; según las referencias geométricas de la fuente de impacto y los geófonos y utilizando las variables mencionadas en la Figura 35, las ondas de propagación se determinan utilizando las siguientes ecuaciones:

$$D_s = \sqrt{H_{gs}^2 + L^2} \quad (19)$$

$$D_i = \sqrt{H_{gi}^2 + L^2} \quad (20)$$

$$VS = \frac{D_i - D_s}{t_i - t_s} \quad (21)$$

Donde:

L : Distancia entre la fuente del impacto y la perforación

H_{gs} : Profundidad del geófono superior

H_{gi} : Profundidad geófono inferior

D_s : Distancia entre la fuente de impacto y el geófono superior

D_i : Distancia entre la fuente de impacto y el geófono inferior

t_i : Tiempo de la componente radial del geófono inferior

t_s : Tiempo de la componente radial del geófono Superior

4.2.1.2 Clasificación de suelo a partir de velocidad de onda de corte

Dentro de la clasificación de suelos según la normativa sísmica vigente en Chile, analizando solamente los valores de V_s (ver Tabla 9) se puede observar que existe una semejanza para la clasificación sísmica del suelo con algunas normas extranjeras, como el International Building Code (2003) y Eurocode 8 (2004), las cuales se presentan en la Tabla 10 y Tabla 11 respectivamente. Cabe señalar que para ambas clasificaciones de suelos, el ensayo Down-hole no es el único exigido, sino que está acompañado de ensayos SPT, RQD, Resistencia al corte no drenado del suelo, entre otros.

Tabla 9: Clasificación de Vs

Fuente: NCh 433 DS 61

TIPO DE SUELO		VS ₃₀ (m/s)
A	Roca, suelo cementado	≥ 900
B	Roca blanda o fracturada, suelo muy denso o muy firme	≥ 500
C	Suelo denso o firme	≥ 350
D	Suelo medianamente denso o firme	≥ 180
E	Suelo de compacidad o consistencia mediana	< 180
F	Suelos especiales	-

Tabla 10: Clasificación de suelos IBC

Fuente: International Building Code, 2003

Clase	Tipo de suelo	VS ₃₀ (m/s)	N _{SPT}	C _u (kPa)
A	Roca dura	> 1524	-	-
B	Roca	762 - 1524	-	-
C	Suelo muy denso y roca blanda	366 - 762	> 50	≥ 96
D	Suelo firme	183 - 366	15 - 50	48 - 96
E	Suelo suelto	< 183	< 15	< 48
F	Suelos especiales	-	-	-

Tabla 11: Clasificación de suelos Eurocode

Fuente: Eurocode, 2004

Clase	Tipo de suelo	VS ₃₀ (m/s)	N _{SPT}	C _u (kPa)
A	Roca u otra formación geológica similar	> 800	-	-
B	Depósitos de arena densa, grava o arcilla muy dura	360 - 800	> 50	> 250
C	Depósitos profundos de arena densa o medianamente densa, grava o arcilla dura	180 - 360	15 - 50	70 - 250
D	Depósitos de suelos con baja a mediana cohesión	< 180	< 15	< 70
E	Superficie aluvial con valores de Vs tipo C o D y espesor variable entre 5 a 20 m sobre material rígido con Vs > 800 m/s	-	-	-
S ₁	Depósitos que contiene un estrato de al menos 10 m de espesor, de arcillas blandas con IP > 40	< 100	-	10 - 20
S ₂	Depósitos de suelos licuables, de arcillas que no se encuentran en tipo A hasta S ₁	-	-	-

El ensayo Down-hole es un ensayo muy atractivo para conocer V_s debido a que requiere solamente un sondaje, lo cual lo hace más económico que un ensayo Cross-hole. Además es un ensayo de fácil operación, utiliza una fuente generadora de ondas y si es realizado correctamente entrega resultados muy confiables.

Las limitaciones del ensayo son el grado de alteración del suelo cuando se realiza el sondaje y el correcto contacto entre el encamisado y el geófono. La expansión geométrica y el amortiguamiento pueden influir en las longitudes de onda y por tanto las velocidades de las ondas secundarias pueden tener una interpretación incorrecta para profundidades superiores a 60 m. El método de Intervalos es más correcto en cuanto a su aplicación e interpretación que el caso del Método Directo, que utiliza tan solo un geófono y entrega valores promedio de los estratos cercanos, haciendo a su vez más compleja la labor de interpretación ya que implica evaluar los cambios de pendiente de la onda V_s , según señala Kim *et al.* (2004). Sin embargo es necesario aún identificar con más ensayos a gran profundidad la confiabilidad que posee éste y cuán grande es el error que implica el no considerar alguna ley de atenuación que involucre efectos de refracción.

Dentro del marco del estudio SEREMI MINVU REGIÓN DE VALPARAÍSO: “Microzonificación Sísmica en sectores urbanos de las comunas de Valparaíso y Viña del Mar, Informe N°2: Plan de Trabajo – Análisis y Modelación”, realizado por el Centro de Estudios e Investigación en Infraestructura de la Universidad Técnica Federico Santa María, fueron realizados 6 ensayos Down-Hole en el sector Plan de Viña del Mar los cuales se presentan en la Figura 36. La clasificación sísmica del suelo se realizó utilizando los criterios estipulados en la normativa sísmica vigente mostrada en la Tabla 9.

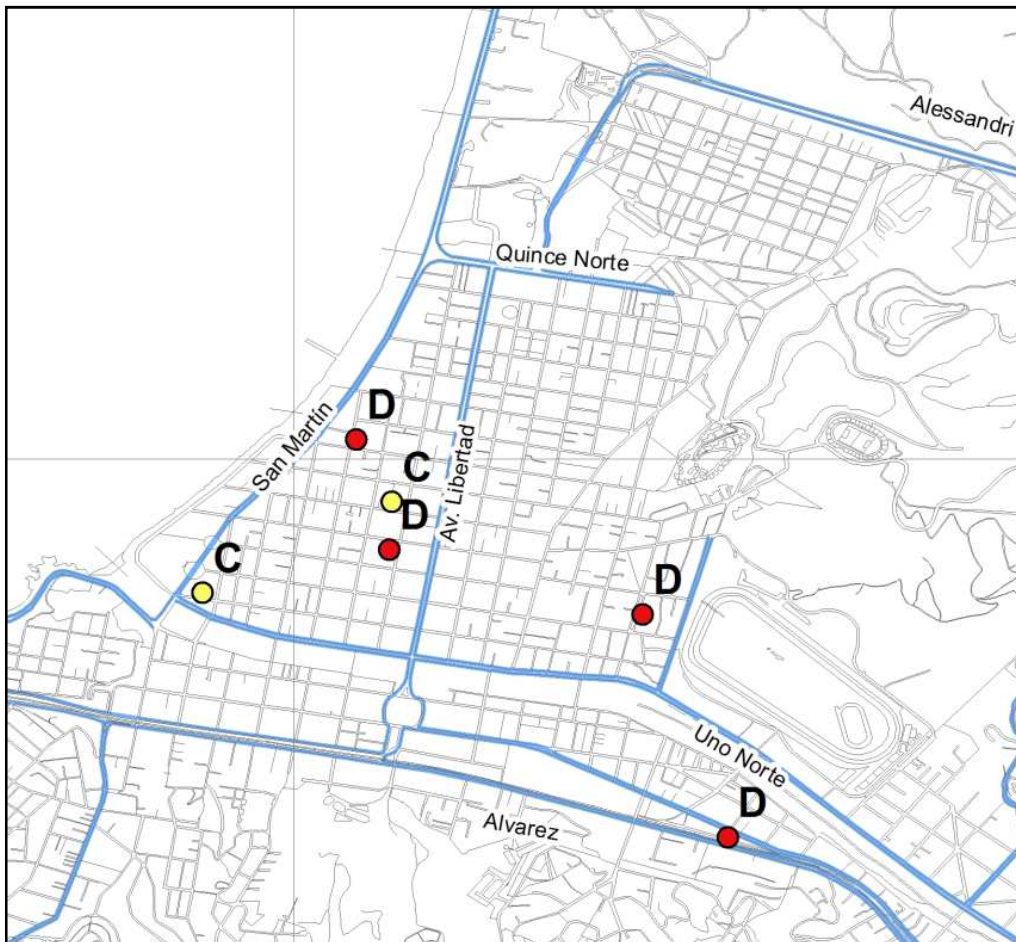


Figura 36: Resultados ensayos Down-hole según NCh 433 DS 61
Fuente: Estudio MINVU: Informe N°2

Es recomendable continuar realizando ensayos Down-Hole para determinar la velocidad de onda de corte a una profundidad de al menos 30 metros, puesto que permite obtener parámetros más representativos del suelo ante movimientos sísmicos y así lo exige la nueva normativa sísmica chilena.

El terremoto recién pasado dejó de manifiesto la necesidad de estudiar las propiedades dinámicas del suelo, debido a que con la normativa sísmica vigente a esa fecha, no era posible realizar una adecuada clasificación que permita estimar la sollicitación al momento de ocurrido un sismo de gran intensidad. A partir de esto, se decidió incluir la velocidad de onda de corte la cual permite determinar algunos parámetros dinámicos del suelo. A su vez, estos parámetros son más representativos del comportamiento ante un sismo grande en donde el suelo sufre una degradación de su resistencia.

4.2.2 Ensayos de Penetración Estándar (SPT)

4.2.2.1 Descripción y alcances del ensayo

El Ensayo de Penetración Estándar o SPT por las siglas en inglés, fue desarrollado en el año 1927 y permite realizar un reconocimiento geotécnico del suelo, es uno de los ensayos más utilizados en todo el mundo hoy en día y sobre el cual se han realizado gran cantidad de investigaciones. Es relativamente sencillo y tiene la facultad de poder ser intercalado con otros sondajes de reconocimiento. Otra ventaja es que mediante la cuchara utilizada en este ensayo se pueden tomar muestras que permiten visualizar el terreno donde se ha realizado el ensayo.

Los resultados de estos ensayos pueden ser correlacionados empíricamente con las propiedades de los suelos arenosos, sin embargo no son adecuados para suelos que presentan gravas o altos contenidos de limos y/o arcillas. Este ensayo ha sido pensado para suelos donde predominan las arenas, caso aplicable a la gran mayoría de los suelos de fundación de los sectores Reñaca y Plan de Viña del Mar, donde se tienen registros para efectos de este estudio.

El ensayo SPT posee distintas características intrínsecas que afectan su resultado final, tales como la preparación y calidad del sondeo, la longitud de las varillas, el diámetro del sondeo, el pandeo de las varillas y el dispositivo de golpe. Además existen factores que no dependen del sistema utilizado pero que también influyen el número de golpes que realiza el ensayo, por ejemplo la existencia de napa freática, sobre todo para arenas finas y limos, y la sobrecarga debido al peso del suelo. La norma NCh 433 DS 61 señala que para clasificar un suelo arenoso, uno de los ensayos a realizar es el SPT, el cual debe ser normalizado a una presión de confinamiento de 0,1 MPa. Utilizando la norma ASTM D6066-96 (2004), se obtiene la normalización que debe realizarse como se indica a continuación:

$$N_1 = C_N * N_{SPT} \quad (22)$$

Donde C_N es el factor de normalización por confinamiento:

$$C_N = \left(\frac{\sigma'_{vref}}{\sigma'_v} \right)^n \quad (23)$$

$$\sigma_v = \gamma * Z \quad (24)$$

$$\sigma'_v = \sigma_v - Z * \gamma_{sat} \quad (25)$$

σ'_{vref} corresponde a la presión de confinamiento de referencia, σ'_v es el esfuerzo vertical efectivo a la profundidad del ensayo y n es el exponente que depende de la densidad, tamaño de partícula, consolidación y edad del suelo.

Valores típicos del coeficiente n utilizados en la práctica hoy en día, van desde 0,45 y 0,6 según la norma ASTM D6066-96. Liao, S. y Whitman, R. (1986), proponen para una presión de confinamiento de 0,1 MPa un valor de $n = 0,5$, cuya expresión es a su vez la recomendada por la norma ASTM y utilizada en este trabajo para analizar los ensayos SPT en la ciudad de Viña del Mar. Cabe señalar que a bajas profundidades el factor de corrección puede alcanzar valores muy bajos, por lo cual se recomienda en la norma ASTM D6066-96 el uso de un valor máximo de $C_N = 0,6$, mientras que para bajas profundidades un $C_N = 1,6$.

Cabe mencionar que los resultados obtenidos del empleo de penetrómetros dinámicos a energía constante tipo SPT y ensayo de cono dinámico (CPT) presentan importantes dispersiones, principalmente asociadas con la variación de la energía aplicada durante el proceso de hincado (Kovacs, W. y Salomone, L. 1982; Mcgregor, J.A. y Duncan, J.M. 1998; entre otros) y además con la longitud del tren de barras empleado en los ensayos. Ello se traduce en los resultados de los valores de las mediciones del índice de resistencia a la penetración (NSPT o NDCPT), los que arrojan importantes grados de dispersión, para un mismo tipo de suelo, grado de compactación y estado hídrico. Esta variación de energía se encuentra directamente relacionada con las características del equipo, con el dispositivo de hincado, con la modalidad de ensayo y la metodología empleada. Sin embargo, es posible validar los resultados obtenidos in-situ mediante la medición continua de la energía de hincado empleando la normativa internacional vigente (ASTM D 4633-86: Standard Test Method for Stress Wave Energy Measurement for Dynamic Penetrometer Testing Systems).

4.2.2.2 Análisis de resultados

A partir de la información obtenida luego del análisis de cada ensayo SPT, obtenidos gracias al Laboratorio de Ensayes de Materiales y Control de Obras LEMCO de la Universidad Técnica Federico Santa María, se puede realizar una clasificación de los suelos mediante el promedio de número de golpes observado, utilizando ensayos de hasta 30 m de profundidad. La clasificación utilizada en este trabajo está basada en la nueva norma NCh 433 DS 61 tomando exclusivamente los valores de SPT, como se muestra en la Tabla 12.

Tabla 12: Clasificación de suelos a partir de sondaje SPT
Fuente: NCh 433 DS 61

Clase	Tipo de suelo	N ₁
A	Roca, suelo cementado	-
B	Roca blanda o fracturada, suelo muy denso o muy firme	≥ 50
C	Suelo denso o firme	≥ 40
D	Suelo medianamente denso o firme	≥ 30
E	Suelo de compacidad o consistencia mediana	≥ 20
F	Suelos especiales	-

Al igual que en los ensayos de Vs, la clasificación mediante el ensayo SPT tiene una gran similitud con la señalada en el International Building Code (2003) y el Eurocode (2004), las cuales se presentaron en la Tabla 10 y Tabla 11 respectivamente.

Considerando que todos los ensayos SPT recopilados (ver Anexo G) poseen diferentes profundidades, ya sea por presencia de un estrato sumamente duro (rechazo y término de sondaje) o por decisión del proyectista, en este trabajo se decidió clasificar los ensayos en función de las profundidades que éstos poseían. Los ensayos mencionados alcanzan profundidades que varían entre aproximadamente 10 metros y poco más de 30 metros. De esta forma, y adoptando la clasificación descrita en la Tabla 12, se agruparon las profundidades en tres clases:

- **Clase 1. Exploración hasta los 10 metros.** Incluye todos los ensayos que exceden los 10 metros de profundidad. En ellos se considera sólo los primeros 10 metros (117 ensayos).
- **Clase 2. Exploración hasta los 20 metros.** Incluye todos los ensayos que exceden los 20 metros de profundidad. En ellos se considera sólo los primeros 20 metros (62 ensayos).
- **Clase 3. Exploración superior a 20 metros.** Incluye todos los ensayos que exceden los 20 metros de profundidad. En este último caso se considera las propiedades hasta la profundidad máxima de la exploración (22 ensayos).

A partir de dicha clasificación se pueden identificar zonas de similar número promedio de golpes, las cuales, mediante un análisis de interpolación espacial Kriging, se pueden correlacionar para obtener finalmente zonas con similares características (ver Figura 37). Cabe señalar que los resultados de cada ensayo realizado corresponden exclusivamente al punto estudiado, presentándose en muchos casos variaciones importantes de N_1 en puntos muy cercanos entre sí. Es por este motivo que la interpolación espacial se ha realizado utilizando vecindades de datos del orden de 200 m, lo que implica que muchas zonas no presenten información. Esta distancia se escogió netamente con fines prácticos para una mejor visualización de los datos y para estimar alguna relación entre puntos vecinos.

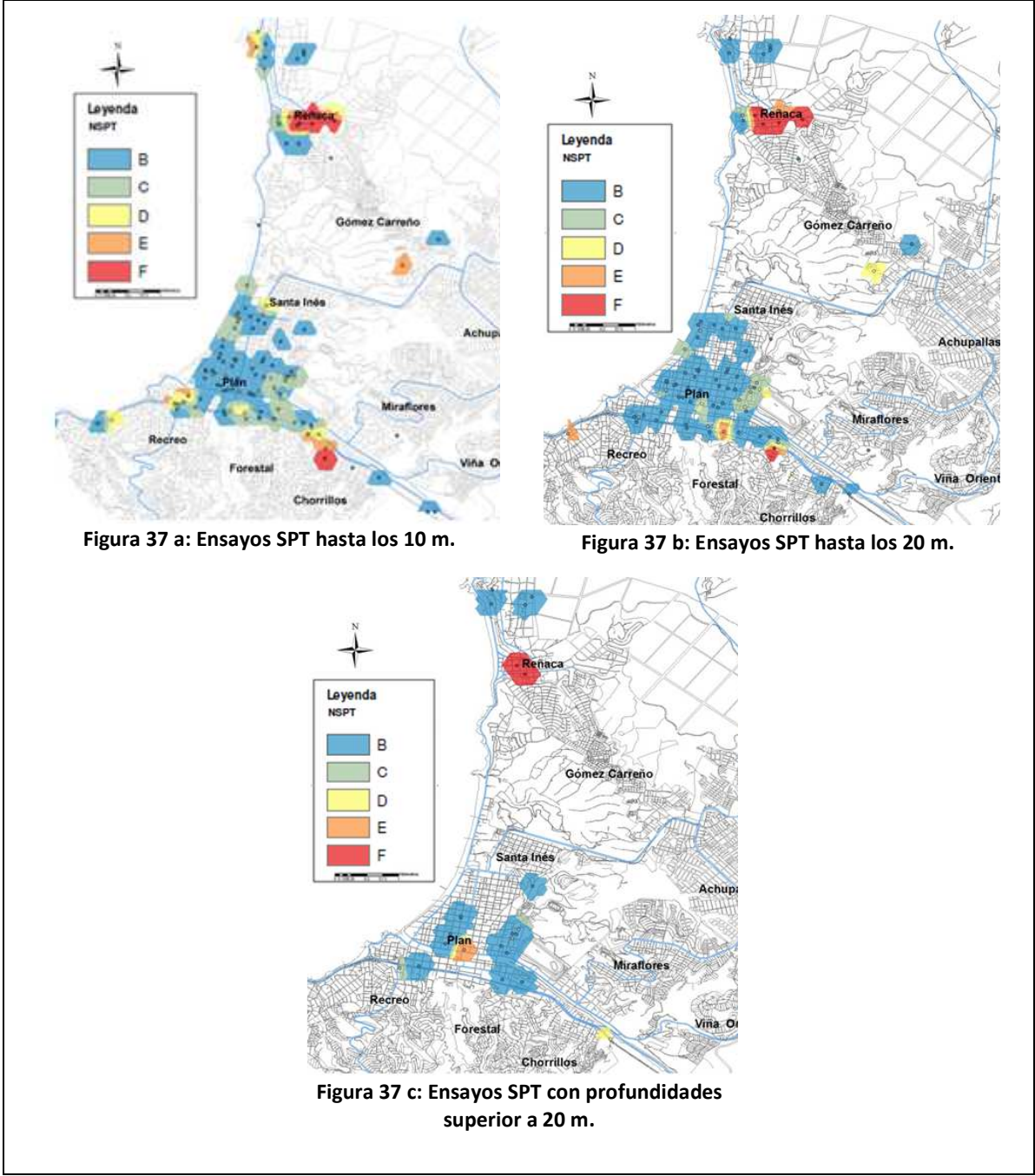


Figura 37: Ensayos SPT a diferentes profundidades

De las clasificaciones mostradas anteriormente, se escogió como mapa temático para el modelo del Proceso Analítico Jerárquico aquel que presenta ensayos a profundidades de hasta 20 metros (ver Figura 37 b), debido a que en este rango hay un mayor número de ensayos disponibles, y porque éstos son más representativos del sector. Este mapa temático se puede apreciar con mayor detalle en el Anexo L.

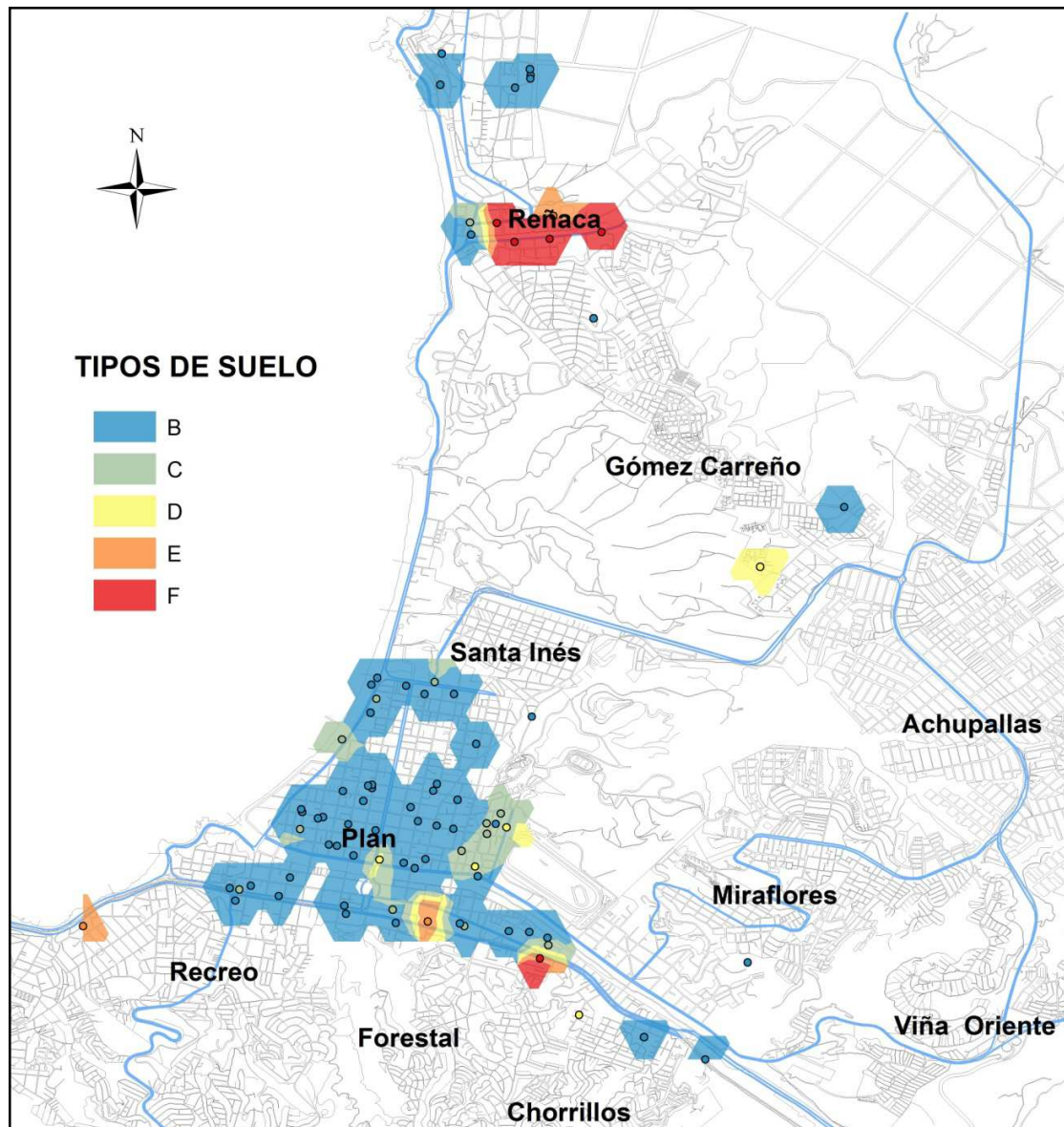


Figura 38: Clasificación final a partir de ensayos SPT

En el Sector de Reñaca, se observa que los valores de N_1 en las zonas cercanas al estero de Reñaca son muy bajos (menores a 20), inclusive en algunos casos con clasificaciones de suelo tipo

F, debido al potencial de licuación presente y la presencia de suelos orgánicos en algunos casos. Debido al plano regulador de la ciudad de Viña del Mar, en este sector existe una restricción de altura en edificios, siendo uno de los principales responsables del por qué no se identificaron edificios con daños, contrariamente a lo antes señalado. Para aquellas zonas más alejadas del estero y que se encuentran en el sector de Jardín del Mar y Bosques de Montemar, se observan resultados de N_1 superiores.

En el Sector Plan de la ciudad se observan menores valores de N_1 para aquellos ensayos realizados en las cercanías del estero Marga-Marga, con clasificaciones de suelo tipo D y E en muchos de ellos, al igual que en sectores cercanos a la costa y en la Avenida los Castaños. El centro de la ciudad presenta ensayos con N_1 sobre 50 golpes en muchos casos, lo cual no coincide con el daño generado en edificios durante el terremoto del 2010. Es conveniente la realización de ensayos a mayor profundidad que permitan conocer las propiedades de los suelos hasta la roca basal, ya que probablemente la influencia de los suelos bajo la cota -30 m de terreno, puede ser la causante de las grandes amplificaciones observadas en algunos lugares del sector Plan de la ciudad. Esto señala además que la clasificación actual de 30 m bajo el sello de fundación según la norma NCh 433 DS 61 para los sondajes SPT no es suficiente al menos en el caso del sector Plan de Viña del Mar.

Si se revisan los resultados de la clasificación de suelos realizada alternativamente mediante la propagación de ondas de corte y ensayos de penetración estándar, se encuentra que en el sector Plan de la ciudad la clasificación del suelo mediante V_{S30} indica una disminución de 1 o 2 categorías respecto a la clasificación obtenida mediante ensayos SPT. Por ejemplo, cercano a la intersección de las calles 8 Norte con 3 Poniente, se cuenta con un ensayo SPT cuya profundidad aproximada es de 18 m y clasificación de suelo tipo B de acuerdo a la normativa vigente. Esta clasificación discrepa al considerar la velocidad de propagación de onda de corte, que de acuerdo a la Tabla 9 clasifica al suelo como tipo D.

De acuerdo a los resultados obtenidos, aun cuando las exploraciones V_{S30} medidas están en el rango de 180 a 350 [m/s] y clasificarían al suelo (según norma NCh 433 DS 61) en clase D, los registros de N_{SPT} normalizados como rechazo N_1 indican que el suelo sería de una clase diferente, lo cual se puede deber a que estos últimos no alcanzan en su totalidad una profundidad de 30 m como lo exige la norma.

El estudio se llevó a cabo examinando los sitios hasta las profundidades que exigen las nuevas normativas sísmicas, las cuales en casos muy especiales podrían ser insuficientes, como por ejemplo en el caso de existir una falla geológica o potentes estratos blandos subyacentes bajo 30-40 m de profundidad.

Otro aspecto importante a considerar a partir de los resultados obtenidos, es la identificación de aquellas zonas que tengan alto potencial de licuación, debido a que las grandes deformaciones y daños que se generan producto de este fenómeno luego de una actividad sísmica causan gran impacto en las estructuras. La licuación se produce cuando existe un aumento de la presión intersticial y la reducción del esfuerzo efectivo y capacidad resistente de un suelo granular saturado debido a una carga externa, generalmente un terremoto, produciéndose una disminución de la capacidad resistente al corte del suelo, comportándose finalmente en forma similar a un fluido. La distribución de tamaños de granos, duración, amplitud y frecuencia del terremoto, la distancia al epicentro, nivel de napa de agua, cohesión y permeabilidad de las capas de suelo, afectan el potencial de licuación de un suelo y está asociado generalmente a arenas o arenas arcillosas de baja plasticidad y densidad.

El potencial de licuación se estima generalmente a partir de ensayos en laboratorio o en terreno, dentro de los cuales el SPT es uno de los más estudiados y utilizados para obtener una primera aproximación de aquellas zonas en donde se requieren estudios más acabados. Según Pearce, J.T. y Baldwin, J.N. (2005), una manera rápida para identificar y considerar en estudios futuros las zonas susceptibles a la licuación es a partir de los criterios que se mencionan a continuación:

- Registros históricos de licuación.
- Presencia de suelos arenosos de al menos 20 m de espesor.
- Existencia de napa de agua.
- Depósitos recientes (Holoceno).
- Umbral de aceleración requerida para producir licuación menor o igual a 0,1g.
- $N_1(60)$ menor o igual a 20.

De acuerdo al mapa geológico de Viña del Mar presentado en el capítulo 4.1, se observa que existe un área importante dentro de la superficie total de la ciudad compuesta por depósitos cuaternarios, la cual posee unidades cuyo origen data del Holoceno, Pleistoceno o incluso más antiguas, encontrándose principalmente en los sectores Plan y Reñaca. En algunas de estas zonas

coincide además con la presencia de napa de agua a cotas promedio de 7 m bajo el nivel de superficie, junto con espesores medios de sedimento de 100 m para el caso del sector Plan, según Verdugo, A. (1996). Es posible además identificar zonas en la Figura 38, cercanas a los esteros Marga-Marga y Reñaca, que poseen valores de N_1 bajos, lo cual las convertiría en zonas propensas a presentar fenómenos de licuación ante un sismo determinado. Específicamente en los alrededores del estero Reñaca se registraron 3 sondajes que tendrían alto potencial de licuación de acuerdo a su clasificación sísmica de suelo tipo F, que van desde los 6 hasta los 18 número de golpes según el ensayo SPT.

Se recomienda en el presente trabajo realizar futuras investigaciones que permitan generar un mapa de licuación asignando grados de susceptibilidad a cada criterio de evaluación, utilizando más ensayos y basándose en procedimientos como el simplificado de Seed, H.B., e Idriss, I.M., (1971), que permitan obtener en cada zona de estudio el umbral de aceleración requerida para producir licuación de las arenas de la ciudad. Es importante señalar que cada área considerada con alto nivel de susceptibilidad a la licuación, debe ser evaluada mediante análisis más acabados, como por ejemplo ensayos triaxiales cíclicos no drenados, para así poder validar la resistencia del suelo a la licuación.

4.3 Amplificación sísmica

La respuesta sísmica en un determinado emplazamiento es fuertemente influenciado por las condiciones locales, principalmente por las propiedades del suelo y su configuración geométrica, las cuales pueden modificar apreciablemente la respuesta sísmica del emplazamiento, afectando a las estructuras que se encuentran sobre ella. Los registros sísmicos tomados en depósitos señalan aumentos de las amplitudes, cambios en el contenido de frecuencia y duración con respecto a registros realizados sobre roca, lo que además se puede comprobar con los daños observados entre dichas zonas. Este mismo efecto de amplificación sísmica es apreciable en las partes superiores de colinas, donde el factor preponderante es la geometría por sobre las propiedades del suelo. La respuesta que presentan los depósitos y las estructuras que se encuentran sobre ellos, está condicionada por la heterogeneidad que poseen generalmente los suelos y por las irregularidades de su geomorfología, sus estratos y de la roca basal.

En forma general, se puede señalar que la energía producida por un movimiento sísmico puede ser disipada mediante el acomodo de las partículas del suelo que compone la capa del

depósito, que se traduce en cambios volumétricos de aquellos suelos menos compactos, o bien, amplificada. La gran mayoría de los estudios de amplificación sísmica corresponden a perfiles de suelo, formados por capas horizontales, donde se supone que el origen principal de los movimientos es causado por ondas de corte que se propagan verticalmente y despreciando los efectos de dilatación que producen las ondas de compresión, lo cual es correcto siempre y cuando el espesor del depósito sea delgado en comparación con la profundidad de la fuente de energía, lo que se cumple para el caso del sector Plan de Viña del Mar (Pérez, P. 2003).

Si bien las características de un movimiento sísmico en un determinado lugar se ven afectadas por la magnitud del sismo, su distancia al área de ruptura, el mecanismo de la fuente sísmica y los efectos de atenuación existentes, es necesario señalar que las condiciones locales del suelo son muy importantes al momento de diseñar y construir. Existen diversos parámetros que afectan la respuesta local del suelo ante un movimiento sísmico, dentro de los cuales se pueden identificar principalmente: la rigidez del depósito, geometría del estrato, topografía, disposición del depósito, ángulo de incidencia de las ondas secundarias y tipo de roca basal.

En la ciudad de Viña del Mar se han realizado diferentes estudios de amplificación sísmica, específicamente en los sectores Plan y Canal Beagle, los cuales han sido de mayor interés debido al daño sistemático presentado luego de sismos de mediana y gran magnitud. Se ha querido incluir como variable a la Microzonificación Sísmica la amplificación que presentan estos sectores, debido a la correlación que dichos estudios muestran con los daños observados.

Pérez, P. (2003), presenta un estudio del sector Plan de la ciudad (ver Figura 39), basado en un análisis computacional de amplificación unidimensional y bidimensional. Mediante la configuración de mallas de elementos finitos, obtuvo la respuesta superficial de diferentes parámetros, siendo el utilizado para el presente estudio la razón espectral media de aceleración, la cual fue obtenida para un rango de períodos de 0,1 a 1,0 segundos. Asumiendo un comportamiento viscoelástico, junto con el método lineal equivalente y mediante los programas *SHAKE* y *QUAD-4*, se generó la respuesta sísmica, obtenida a partir del sismo de Marzo de 1985 registrado en la estación *UTFSM N70E* y Vertical, actuando simultáneamente en la base.

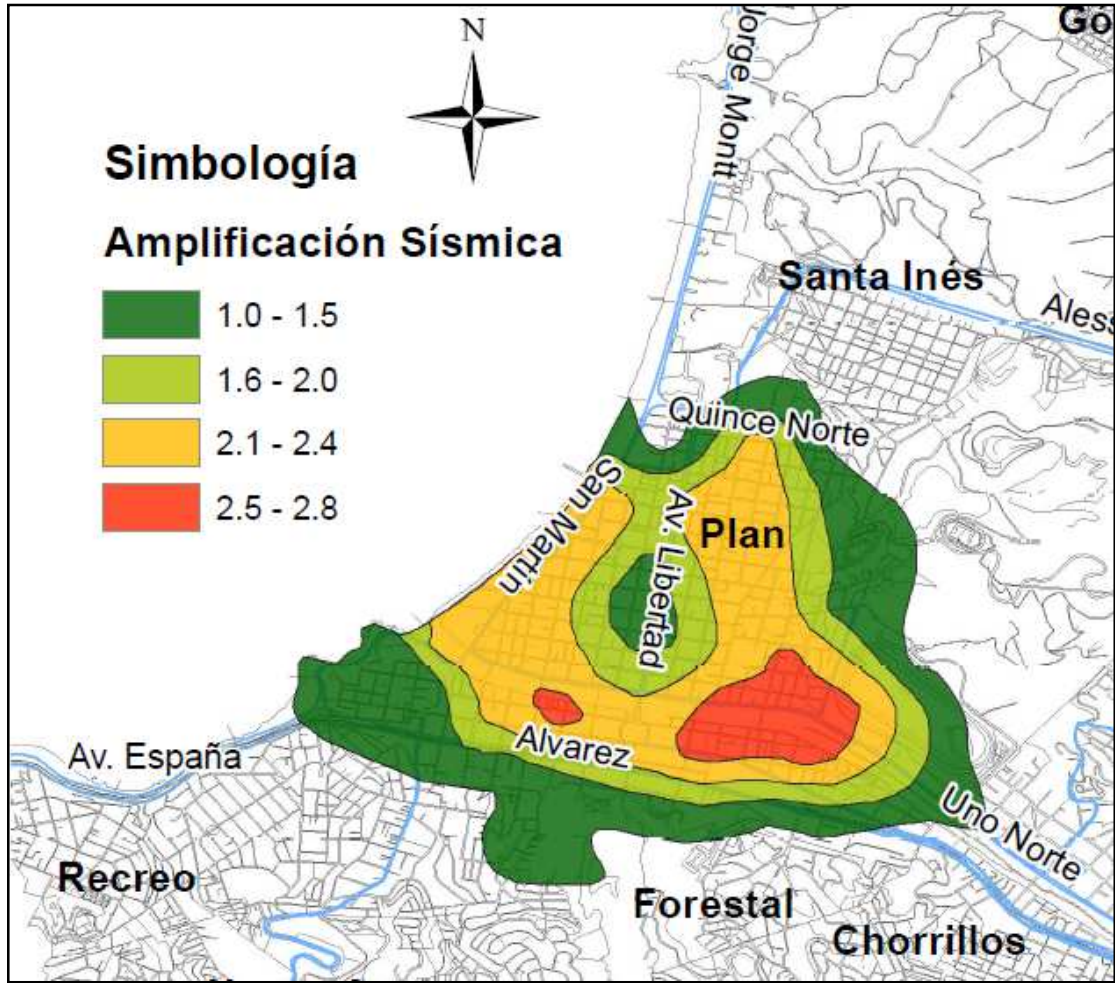


Figura 39: Amplificación Sísmica sector Plan
Fuente: Adaptación de Pérez (2003)

Según el estudio gravimétrico realizado por Verdugo (1996) en el sector Plan de Viña del Mar (Figura 40), el basamento rocoso posee una forma de cuenca, cuya máxima profundidad coincide con el eje inicial del estero Marga-Marga y su falla. Las profundidades llegan a valores máximos de 175 m en la zona que Thorson, R. (1999) estima existió una laguna. La profundidad media del basamento se estima en 100 m de profundidad.



**Figura 40: Plano Isobático sector Plan
Fuente: Adaptación de Verdugo (1996)**

Otro caso de amplificación sísmica ha sido estudiado en el sector de Canal Beagle (Figura 41) por Garrido, L. (1988), sector donde se han presentado daños sistemáticos en viviendas y edificios de 4 a 5 pisos, luego de los terremotos de 1985 y 2010. El estudio realizado por Garrido se basa en el análisis bidimensional de elementos finitos para 3 cortes de dicho sector y desarrollado con los programas *QUAD-4* y *SHAKE*.

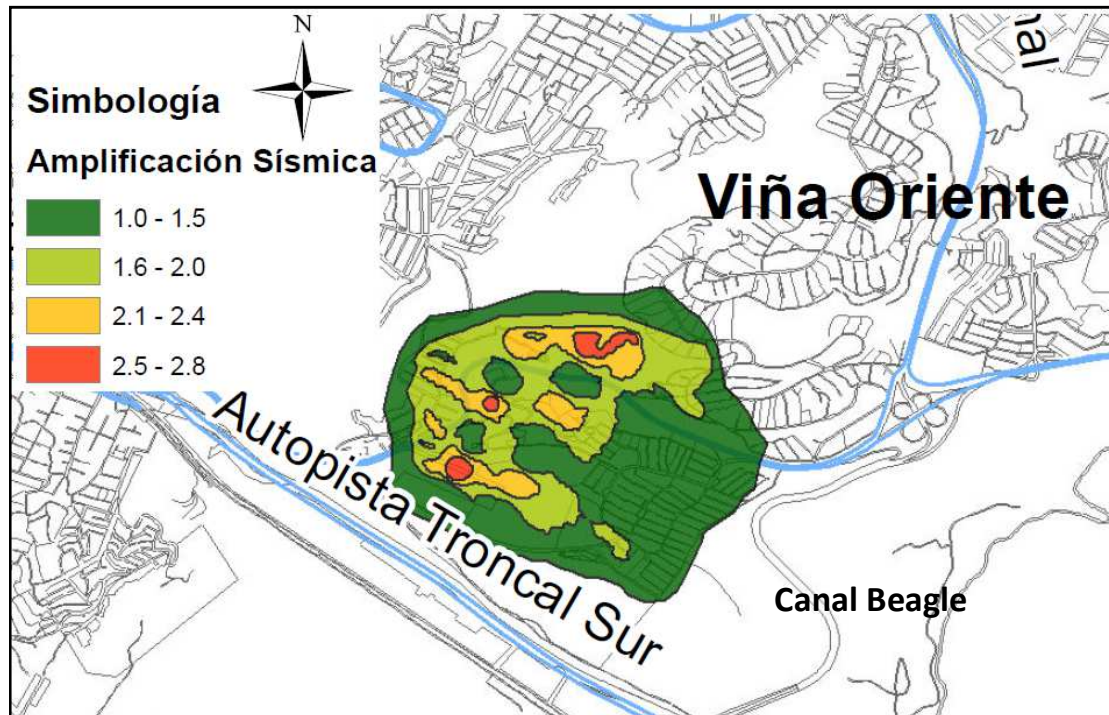


Figura 41: Amplificación Sísmica sector Canal Beagle
Fuente: Adaptación de Garrido, L. (1988)

La respuesta sísmica obtenida por Garrido, L. (1988), muestra que la amplificación señalada se debe principalmente a la variable topográfica que afecta a la zona de estudio por sobre las propiedades del suelo, durante el sismo del 3 de Marzo de 1985. Se observan amplificaciones máximas de aceleraciones cercanas a 2,8 (zonas rojas) por sobre el valor dado en la roca base. Las máximas aceleraciones horizontales en la superficie han sido distinguidas en aquellos sectores donde existen cerros (crestas y topografías convexas), a diferencia de aquellas aceleraciones menores, que han sido observadas en áreas de valles o en zonas de topografía cóncava.

Debido a que se los resultados obtenidos por Pérez, P. (2003) en el sector Plan de la ciudad se presentan mediante la Razón Espectral Media de aceleraciones y los del sector de Canal Beagle de Garrido, L. (1988), a partir de la Razón de Aceleración Máxima, es necesario homologar ambos estudios, transformando los resultados de Garrido, L. (1988) a Razón media de Aceleraciones.

Se utilizaron los tres perfiles del estudio de amplificación sísmica según el análisis de elementos finitos para el sector de Canal Beagle, donde cada perfil está conformado por una malla

con sus respectivos nodos, los cuales a su vez contienen información referida a la aceleración máxima horizontal en la superficie y en la base. Además, se cuenta con la razón de espectros de aceleración absoluta con un 5% de amortiguamiento para ciertos nodos ubicados en cada perfil.

A partir de la información recopilada, se escogieron los nodos que contienen toda la información antes descrita. Luego, para cada uno se obtuvo el valor promedio de la razón espectral de aceleración absoluta para períodos comprendidos entre 0,1 y 1 segundo, con el objetivo de comparar los valores en el mismo rango de períodos con el estudio de Pérez (2003). Para los nodos mencionados se obtuvo además la relación entre la aceleración máxima horizontal en la superficie y la aceleración basal (Tabla 13).

Tabla 13: Resultados de razón espectral media y de aceleración máxima

Perfil	Nodo	Razón Espectral Media	Razón de Aceleración Máxima
1	7	2,36	2,50
1	31	1,15	1,16
2	9	2,28	2,62
2	34	1,56	1,59
3	2	1,34	1,40
3	10	1,37	1,37

Una vez calculado el promedio de la Razón Espectral Media y la relación entre aceleraciones en la superficie y la base se obtiene el gráfico mostrado en la Figura 42.

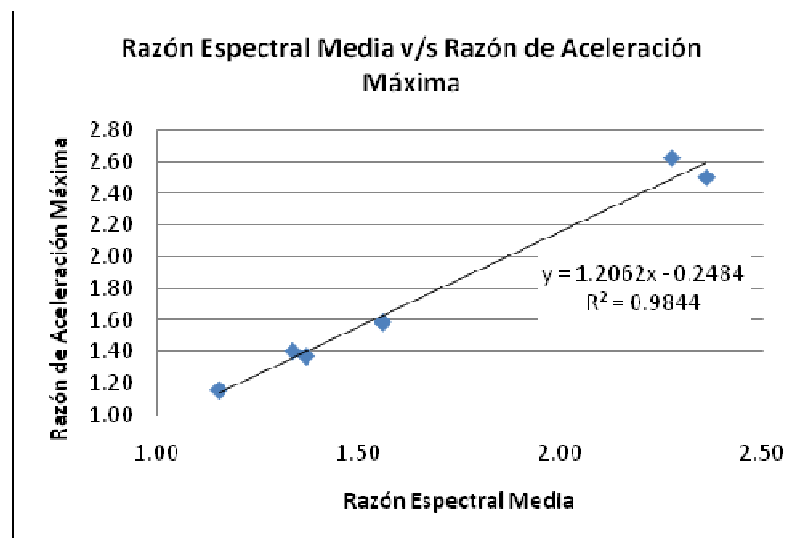


Figura 42: Correlación entre Razón Espectral Media y Razón de Aceleración Máxima

Como se aprecia en la Figura 42, existe una correlación lineal entre los datos para cada perfil estudiado, obteniéndose un coeficiente de correlación lineal de Pearson de 0,984. Luego de transformar los resultados de amplificación sísmica del sector de Canal Beagle a Razón Espectral Media de aceleraciones, es posible unificar ambos mapas, considerando los dos casos dentro de un mismo mapa de Amplificación Sísmica para la ciudad, según se muestra en la Figura 43. Este mapa temático se puede apreciar con mayor detalle en el Anexo L.

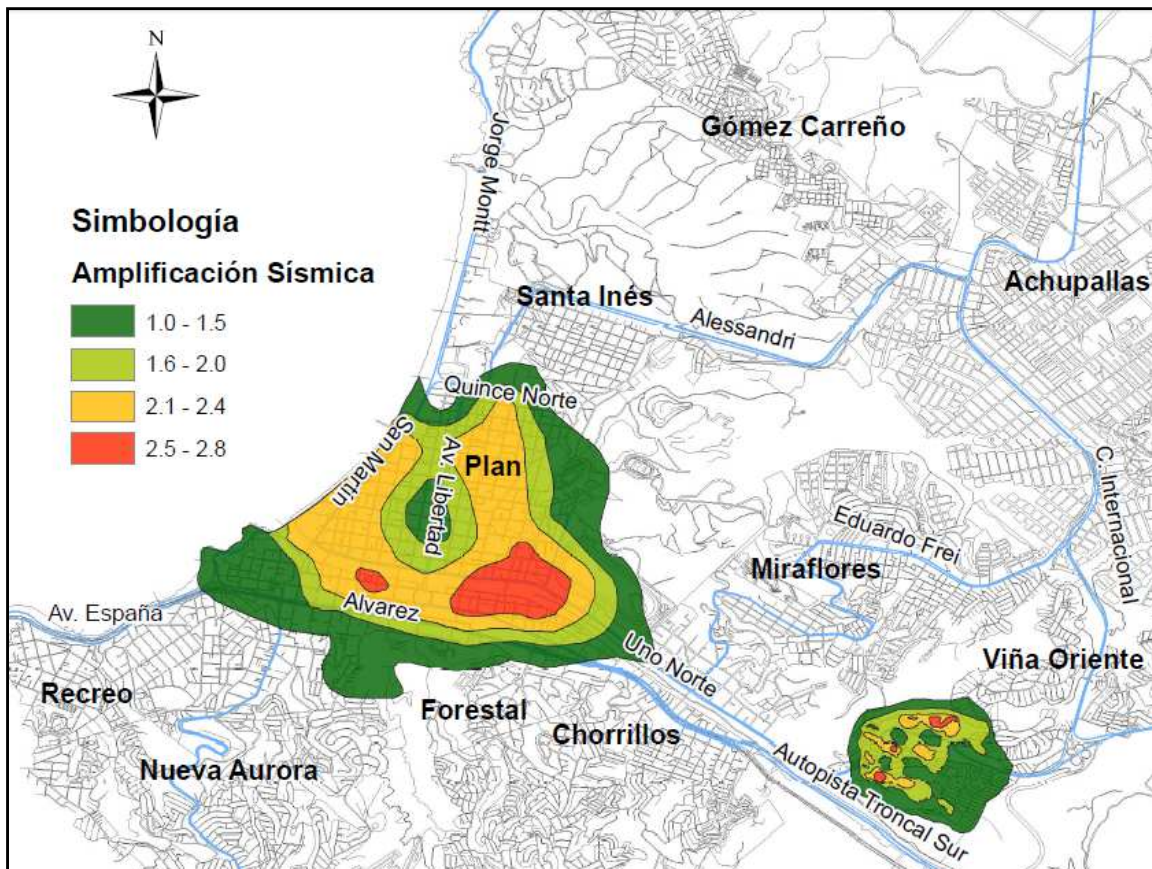


Figura 43: Mapa de Amplificación Sísmica
Fuente: Adaptación de Pérez, P. (2003) y Garrido, L. (1988)

5 RESPUESTA DE SITIO MEDIANTE USO DE MICROVIBRACIONES

Las microvibraciones se han estudiado desde hace muchos años, siendo Omori, F. (1908) el pionero en concluir que la existencia de vibraciones en el suelo es producto de fuentes diferentes a las vibraciones sísmicas, aduciendo a fuentes como el viento y perturbaciones artificiales como maquinarias y tráfico. En la década de los 50, investigadores como Kanai, K. (1957) y Aki, K. (1957), ya realizaban estudios acerca de la naturaleza de las microvibraciones, desarrollando metodologías para su evaluación y uso. Posteriormente, autores como Nogoshi, M. e Igarashi T. (1971), Nakamura, Y. (1989) y Konno, K. (1996), han realizado avances en metodologías para realizar ensayos y su posterior evaluación. Particularmente la metodología propuesta por Nakamura ha sido ampliamente aceptada y difundida a nivel mundial, debido a su facilidad en la obtención de registros, ya que utiliza instrumentos de pequeño tamaño, fácil manejo, de rápido análisis y no requiere generar ondas en forma artificial ni tampoco en base a sismos, sino que utiliza las microvibraciones para realizar el análisis e identificar el efecto de sitio asociado. Esta metodología ha sido aplicada en Chile en las ciudades de Curicó y Talca por Soto *et al.* (2010) y en la cueca de Santiago por Leyton, F. *et al.* (2010), entre otras.

5.1 Definición y origen de las microvibraciones

Ruido es el término genérico utilizado para señalar las vibraciones producto del medio ambiente, causadas por fuentes como la marea, olas que rompen en la costa, viento y su efecto en árboles o edificios, máquinas industriales, automóviles y otros medios de transporte terrestre, el pisar de los transeúntes, etc. La clasificación de la fuente del ruido ambiental ha sido propuesta por diferentes autores dependiendo de su frecuencia, como se muestra en la Tabla 14. Los análisis señalados demuestran que existen dos tipos de ruidos ambientales de acuerdo a su origen: naturales y antropogénicos, los cuales difieren en sus frecuencias. Como primera aproximación se dice que las bajas frecuencias, es decir menores a 1 Hz, provienen de fuentes naturales, como el océano y condiciones meteorológicas a gran escala; las frecuencias intermedias, de 1 a 5 Hz, provienen de fuentes naturales, como condiciones meteorológicas locales, y además antropogénicas; y por último las frecuencias altas, están dadas por fuentes esencialmente antropogénicas.

Tabla 14: Fuentes de ruido y frecuencias

Fuente: Peck, L. (2008)

FUENTE	GUTENBERG (1958)	ASTEN (1978, 1984)
Olas oceánicas que rompen en costas	0,05 - 0,1 Hz	0,5 - 1,2 Hz
Monzones y perturbaciones meteorológicas a gran escala	0,1 - 0,25 Hz	0,16 - 0,5 Hz
Ciclones sobre océanos	0,3 - 1 Hz	0,5 - 3 Hz
Condiciones meteorológicas locales	1,4 - 5 Hz	-
Temblores producto de actividad volcánica	2 - 10 Hz	-
Urbano	1 - 100 Hz	1,4 - 30 Hz

La diferencia entre los términos microsismos y microvibraciones ha sido realizada por diversos autores, como Nakamura (1989) y Lay & Wallace (1995), siendo su origen el principal criterio que las distingue. Las microvibraciones son aquellos movimientos producto de una fuente antropogénica de altas frecuencias, mientras que los microsismos provienen de una fuente natural y de bajas frecuencias.

Las microvibraciones de menor período son claramente producto de actividades antropogénica, las cuales pueden ser identificadas en registros diarios, debido a que las amplitudes varían en el transcurso de un día. De esta forma se encuentran amplitudes mínimas en la media noche y un máximo al medio día. Por otra parte, existe una variación semanal que depende del sector estudiado, pero que en forma general, presenta mayores amplitudes durante la semana, decreciendo los fines de semana.

En Bonnefoy-Claudet *et al.* (2006) se señala que los resultados de las fuentes superficiales dependen de la distancia a la cual se encuentra la fuente con el sensor: si la distancia es mayor a veinte veces el espesor de la capa de suelo, el ruido vertical es una mezcla entre ondas Rayleigh y de cuerpo; si las fuentes están cerca, el ruido vertical consiste principalmente de ondas tipo Rayleigh.

5.2 Metodologías para la medición del efecto de sitio

Una de las primeras metodologías para la medición del efecto de sitio producto de una actividad sísmica fue propuesta por Kanai, K. & Tanaka, T. (1954), la cual consiste en la construcción de curvas de distribución de períodos según el método *Zero Crossing*, los cuales requieren registros de microvibraciones tomados a partir de un sensor horizontal.

Una vez obtenidos los períodos, se crea un histograma con los valores de intervalos de períodos de un registro, a partir del cual, los autores propusieron dos métodos para la clasificación de los suelos utilizando ábacos; el primero relaciona los períodos promedio con los períodos mayores, mientras que el segundo relaciona el período predominante con las amplitudes máximas. Ambos métodos, permiten clasificar el suelo en cuatro categorías, las cuales se señalan en la Tabla 15.

Tabla 15: Descripción del Tipo de suelo
Fuente: Kanai, K. & Tanaka, T. (1954)

TIPO DE SUELO	DESCRIPCIÓN
I	Roca, conglomerado (grava y arena con matriz de finos) firme.
II	Suelos de aluvión, arena con grava, arcilla arenosa firme, limo arenoso compacto de 5 o más metros de espesor.
III	Suelos de coluvio aluvionares, con lentes o capas de sedimentos finos poco densos, de 5 o más metros de espesor.
IV	Suelos aluvionares o sedimentarios arcillo-limosos, inclusive con capas de arena fina intercaladas, baja densidad, compresibles y de baja capacidad de soporte. Espesores de 30 o más metros.

Kanai, K. (1957) señala que para que se presente un período predominante del terreno, el suelo debe estar formado por un solo estrato. Para el caso en donde existan varios estratos de suelo, la respuesta es irregular, siendo menor la amplitud del *peak* que el caso de un solo estrato.

Otra metodología para analizar los parámetros dinámicos de un determinado suelo es la utilización de una red de sensores, que en conjunto, sean capaces de registrar y posteriormente identificar la estructura del subsuelo, el origen de las microvibraciones y cómo éstas se propagan en el medio. Esto implica que se puedan identificar, y por ende eliminar del análisis, los efectos de fuente y trayectoria de las ondas. Un trabajo de este tipo ha sido realizado por Verdugo, A. (1996), donde se efectúa un análisis de refracción sísmica para las zonas planas de Viña del Mar y Valparaíso para generar perfiles sísmicos en las zonas estudiadas, utilizando una red de geófonos y un sismógrafo.

Finalmente existe un método mucho más económico, que requiere de tan solo un sensor. Este instrumento puede tener uno o tres componentes, siendo el caso más común el geófono de tres componentes: dos horizontales y uno vertical. Nakamura, Y. (1989) creó una metodología basada en la razón de los espectros horizontales con el vertical de un registro, procedimiento que se discutirá en el capítulo 5.3.

5.3 Método de Nakamura: razón espectral H/V

5.3.1 Descripción de la metodología H/V

El uso de microvibraciones para evaluar efectos sísmicos locales es una herramienta muy conveniente, debido a que permite conocer en forma fácil, rápida y confiable el período fundamental de la geología superficial del punto analizado. El hecho de que requiera el uso de microvibraciones y no necesariamente de movimientos fuertes del suelo, es lo que lo hace un método simple de aplicar en zonas de baja o nula sismicidad.

Las ondas que causan las vibraciones ambientales registradas en la superficie del suelo son de dos tipos: ondas superficiales (Rayleigh específicamente) y ondas de cuerpo (ondas P y S). Si alguna fuente superficial genera ondas de cuerpo en un medio formado por una capa elástica sobre una roca con una gran diferencia de impedancia, estas ondas se propagan siguiendo un patrón complejo que depende de cuál es la fuente específica que les dio origen y de su localización. De todas maneras, debido a las reflexiones que ocurren en la interfaz suelo-roca, parte de las ondas P y S se mueven desde el basamento hacia la superficie libre donde pueden ser registradas por un sensor (Figura 44). De esta forma se obtiene el registro de desplazamiento en la superficie (u_f) y en el basamento rocoso (u_b).

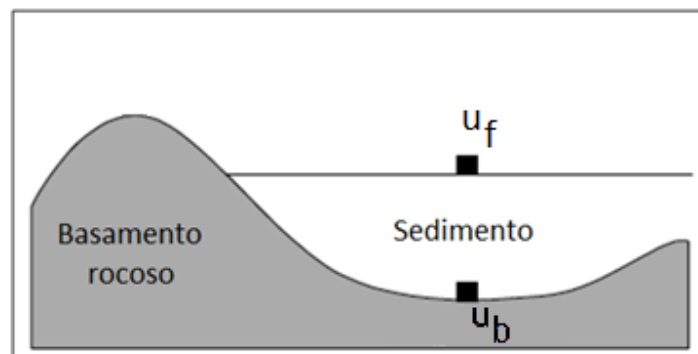


Figura 44: Estructura geológica típica de depósito sobre roca

El trabajo de Nakamura, Y. (1989) supone que el movimiento del suelo en la superficie libre queda definido como la suma entre el movimiento debido a las ondas de cuerpo que viajan desde el basamento y la contribución de las ondas superficiales. Una vez obtenidos los registros de desplazamiento u_f y u_b , estos son transformados a aceleración mediante el software incorporado

en los equipos de medición y la superposición se hace en el dominio de las frecuencias, como se señala a continuación:

$$H_f = A_h * H_b + H_r \quad (26)$$

$$V_f = A_v * V_b + V_r \quad (27)$$

Donde:

H_f : espectro de aceleración de Fourier de la componente horizontal en superficie.

V_f : espectro de aceleración de Fourier de la componente vertical en la superficie.

A_h : factor de amplificación horizontal de la onda de cuerpo.

A_v : factor de amplificación vertical de la onda de cuerpo.

H_b : espectro de aceleración de Fourier de componente horizontal en el basamento rocoso.

V_b : espectro de aceleración de Fourier de componente vertical en el basamento rocoso.

H_r : espectros de aceleración de Fourier de componente horizontal de las ondas Rayleigh.

V_r : espectros de aceleración de Fourier de componente vertical de las ondas Rayleigh.

La contribución de las ondas Rayleigh se conoce a partir de la Función de Transferencia, obtenida a partir de la razón de los registros en el basamento rocoso y la superficie del sedimento:

$$T_h = \frac{H_f}{H_b} \quad (28)$$

$$T_v = \frac{V_f}{V_b} \quad (29)$$

Donde:

T_h : factor de transferencia horizontal en la superficie con respecto al basamento rocoso

T_v : factor de transferencia vertical en la superficie con respecto al basamento rocoso

Por la dificultad o inconveniencia de obtener H_b , Nakamura, Y. (1989) propone usar una función de transferencia T_h^* , como la razón entre T_h y T_v :

$$T_h^* = \frac{T_h}{T_v} = \frac{\frac{H_f}{V_f}}{\frac{H_b}{V_b}} = \frac{QTS}{\frac{H_b}{V_b}} \quad (30)$$

Donde:

$$QTS = \frac{H_f}{V_f} = \frac{A_h * H_b + H_r}{A_v * V_b + V_r} = \frac{H_b}{V_b} * \frac{\left[\frac{A_h + H_r}{H_b} \right]}{\left[\frac{A_v + V_r}{V_b} \right]} \quad (31)$$

$$T_h^* = \frac{QTS}{\frac{H_b}{V_b}} = \frac{\left[\frac{A_h + H_r}{H_b} \right]}{\left[\frac{A_v + V_r}{V_b} \right]} \quad (32)$$

Según se señala en Nakamura, Y. y Saito, A. (1983), el cociente entre H_b/V_b es aproximadamente igual a 1, al menos dentro del rango de frecuencias donde se encuentra la frecuencia fundamental del depósito de suelo lo que implica que la función de Transferencia asociada a la propagación de ondas en un depósito de suelos puede ser estimada a partir de del movimiento medido a nivel superficial.

Las razones H_r/H_b y V_r/V_b están relacionados con la energía de las ondas Rayleigh, por lo que si no existiese influencia de estas ondas $QTS = A_h/A_v$, mientras que si su influencia fuese mayor, $QTS = H_r/V_r$. El cociente QTS proviene de las siglas en inglés *Quasi Transfer Spectrum*, conocido generalmente como el cociente H/V. Esta razón presenta un *peak* concordante con la frecuencia fundamental del suelo, asociado a las vibraciones horizontales. Para efectos de análisis, el valor utilizado de h_f es la raíz del promedio de los cuadrados en las direcciones Norte-Sur (h_{f1}) y Este-Oeste (h_{f2}), como se señala a continuación:

$$h_f = \sqrt{\frac{h_{f1}^2 + h_{f2}^2}{4}} \quad (33)$$

5.3.2 Análisis de registros y estimación de período fundamental

Los registros obtenidos en la superficie del suelo estudiado, al momento de utilizar la técnica H/V, se vuelven indefinidos para ciertos valores de períodos, haciéndose difícil encontrar una forma de la curva y por ende, identificar el período fundamental. En este trabajo se utilizó para el suavizado de los análisis H/V la ventana de Konno, K. y Ohmachi, T. (1998), la cual se expresa como:

$$W_B(f, f_c) = \left[\frac{\sin\left(\log_{10}\left(\frac{f}{f_c}\right)^b\right)}{\log_{10}\left(\frac{f}{f_c}\right)^b} \right]^4 \quad (34)$$

Donde b , f y f_c son coeficiente por ancho de banda, frecuencia y centro de frecuencia respectivamente. Esta suavización permite variar el valor de b o más conocido como constante de Konno y Ohmachi, el cual al ir disminuyendo suaviza cada vez más la curva H/V final, siendo el valor utilizado para el presente trabajo de b igual a 40. La característica más importante de esta ventana, es que pierde menos información de la amplitud espectral que otros tipos de ventanas, lo cual permite obtener *peaks* más claros al momento del análisis sin perder amplitud.

5.4 Medición de microvibraciones

5.4.1 Procedimiento y alcances de los registros

Los registros de microvibraciones pueden ser tomados en muchos sitios dentro de la zona de estudio, sin embargo deben ser escogidos en forma precisa para evitar errores en la estimación de los períodos fundamentales. Para el presente estudio se utilizó el criterio de Stäl, F. y Westberg, G. (1996), expresado en la Tabla 16, y que señala los criterios para selección de sitio de un registro. Esto se debe a que no debe existir una frecuencia predominante generada por fuentes externas o elementos que rigidicen el suelo bajo el cual se quiere conocer sus propiedades dinámicas.

En cuanto al espaciamiento que debe existir entre cada registro, no existe un consenso claro al respecto, Schmitz *et al.* (2002) y Toshinawa *et al.* (1997) han utilizado distancias de 100 a 1.000 m, mientras que autores como Stäl, F. y Westberg, G. (1996) y Leyton *et al.* (2010) han generado registros según los lugares aptos existentes, manteniendo una distribución regular, siendo esta última metodología la empleada en el presente trabajo.

Tabla 16: Criterios de Stål, F. y Westberg, G. (1996) para elección de sitios

	Descripción
1	La superficie debe estar libre de asfalto o concreto. El instrumento debe estar en contacto con el terreno y debe ser colocado por debajo de la capa vegetal.
2	No se deben realizar mediciones en cercanías de maquinaria que generen ondas en las bajas frecuencias.
3	Evitar realizar mediciones cerca de edificios altos, los vientos fuertes podrían hacer vibrar el edificio e inducir vibraciones con bajas frecuencias en la cimentación del edificio.
4	Si las mediciones se hacen cerca de vías, estas deben ser planas. Bombas de agua pueden crear ondas transitorias que se pueden mezclar en los registros de las microvibraciones.
5	El tráfico en las vías debe ser lo más continuo posible. De tal manera que los registros no tendrán señales transitorias. En la ciudad hay muchas fuentes de vibración, las mediciones cerca de vías son las mejores ya que el tráfico es una fuente de ruido más poderosa.
6	Cuando se mide en cercanías de vías transitadas, es mejor medir en un sitio cercano a una intersección, tal que las ondas provengan de diferentes direcciones.
7	Se deben hacer mediciones lejos de tuberías y bombas de agua, las cuales pueden afectar las mediciones. Para evitar estas fuentes, sería bueno contar con mapas de infraestructura.

En cuanto a la hora en la cual se debe realizar el registro, los trabajos de Nakamura, Y. (1989), Mucciarelli, M. (1998) y Giraldo *et al.* (1999), han demostrado que no existe una diferencia significativa en la variación de los espectros y señalan que cuanto mayor sea el ruido antropogénico, se puede definir de mejor manera el período fundamental del suelo. Para efectos de este trabajo, se tomaron todos los registros durante el día y sin un mecanismo adicional generador de ondas.

La campaña en terreno realizada para el presente estudio, contempló la medición de 148 puntos (Anexo H), los cuales fueron seleccionados principalmente en el área urbana de la ciudad según la metodología ya descrita. En la Figura 45 se muestran los puntos de medición en donde se utilizaron dos geófonos diferentes: uno modelo *GVB 316* y uno *SYSCOM MR2002*.

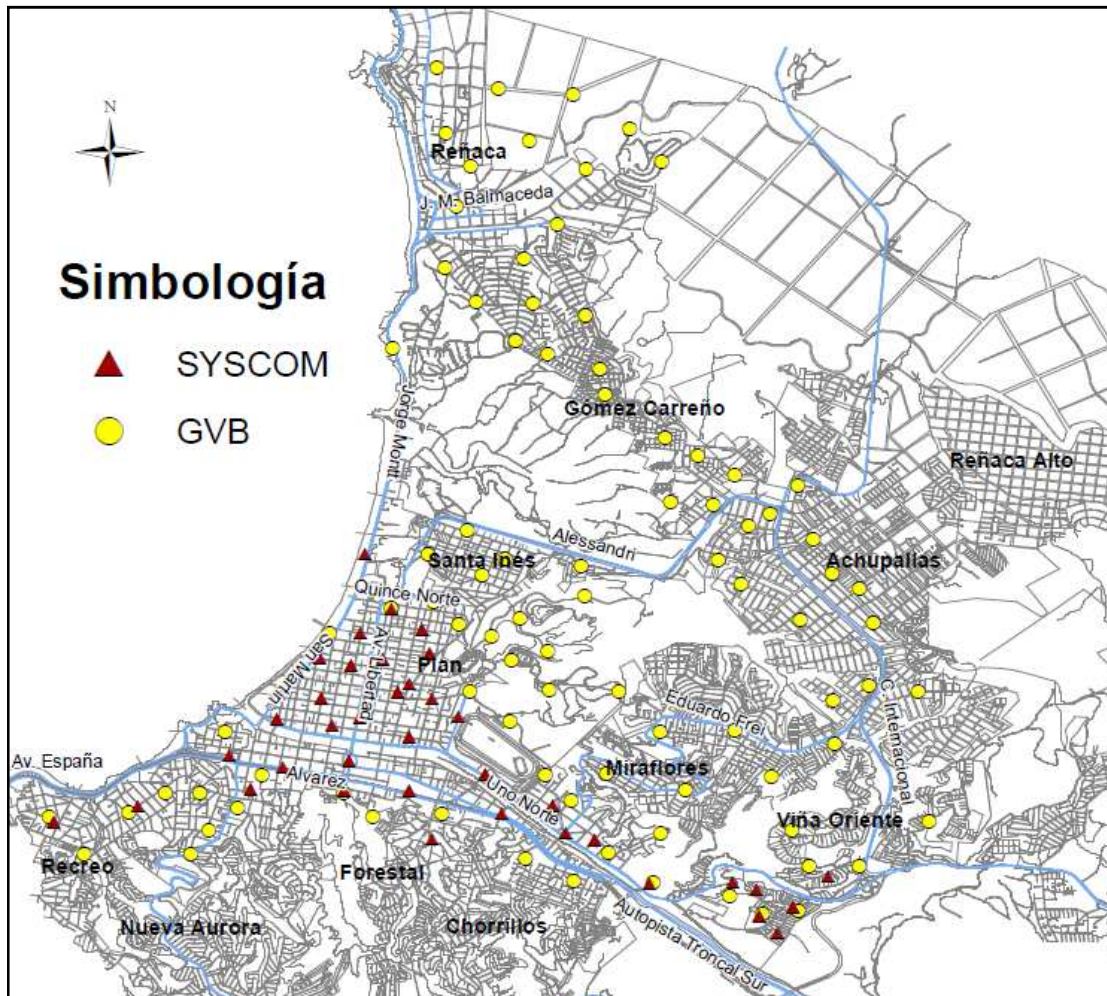


Figura 45: Posición de registros de microvibraciones

5.4.2 Características de equipos de medición

Para la obtención de registros de microvibraciones y posterior estimación del período fundamental del suelo, se utilizó en el presente estudio un geófono superficial modelo GVB 316, de 4,5 Hz con tres componentes ortogonales. El geófono utilizado es reconocido por registrar señales de ruido muy precisas, utilizado en las microzonificaciones en Tocopilla (Astroza *et al.*, 2010) y la cuenca de Santiago (Leyton *et al.*, 2010). Un segundo instrumento utilizado es el geófono SYSCOM MR2002 de última generación, con tres componentes y tres canales de data, junto con cuatro canales auxiliares de 10 bit de resolución.



Ilustración 8: Geófono GVB 316 y SYSCOM MR 2002 respectivamente

5.4.3 Análisis y resultados

Luego del análisis realizado a los registros de microvibraciones, es posible distinguir distintos comportamientos de las curvas H/V, dentro de los cuales se señalan cuatro formas claramente definidas que se describen a continuación:

- a) Curvas con un *peak* definido de alta amplitud
- b) Curvas con un *peak* de mediana y baja amplitud
- c) Curvas con *peak* pero no definido, presentando una parte plana en la punta
- d) Curvas planas sin *peak*

La Figura 46 muestra de forma gráfica las cuatro formas definidas anteriormente, las líneas continuas representan el promedio de la razón H/V de cada una de las componentes horizontales, mientras que la zona gris representa el error en términos de la desviación estándar.

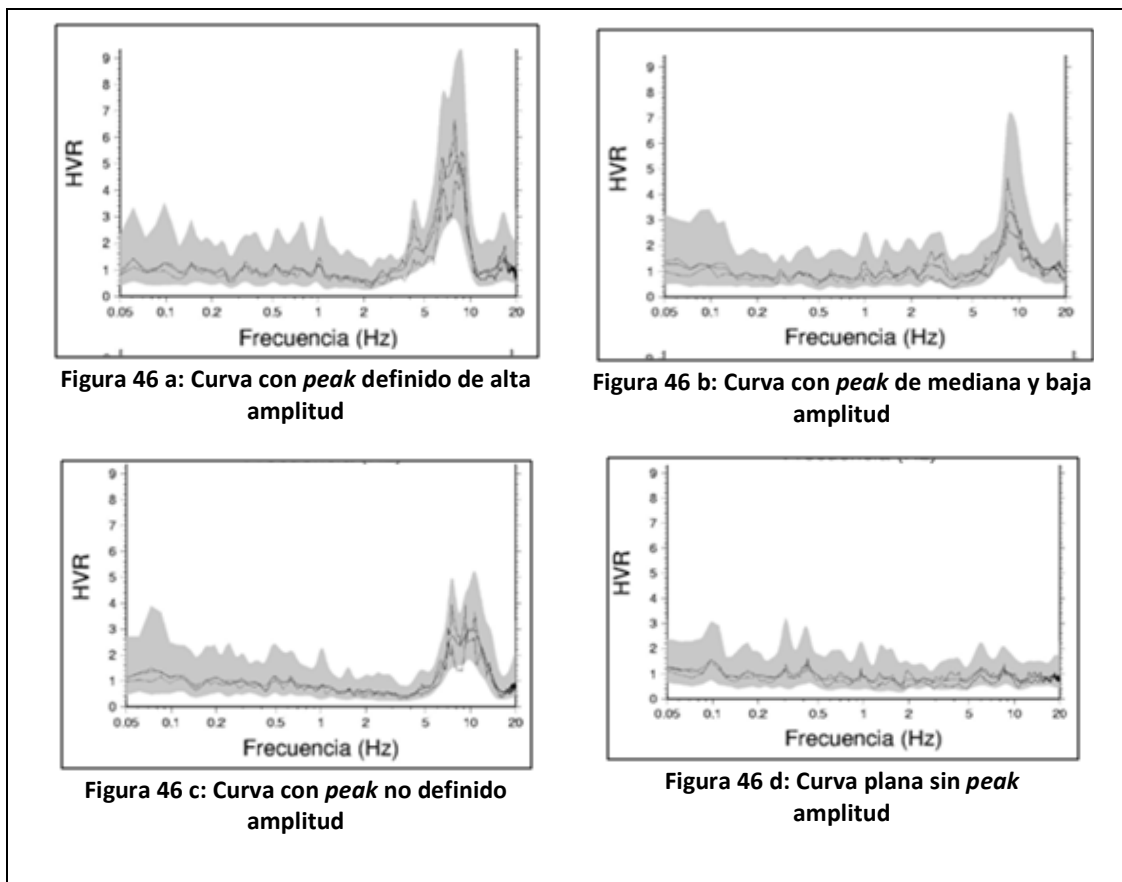


Figura 46: Caracterización de las diferentes curvas H/V

Los trabajos realizados por Bonnefoy-Claudet *et al.* (2006), señalan que el *peak* existente en las curvas H/V corresponden al alto contraste de impedancia que existe entre la roca y el relleno bajo el cual se realizó el registro. Cabe señalar que para efectos de este estudio, no se ha realizado distinción entre las curvas con distintos grados de amplitud, debido a que ambos reflejan la existencia de la frecuencia fundamental del estrato. Las curvas que presentan una forma plana señalan la presencia de un suelo competente, independientemente que no entregue información acerca de su frecuencia fundamental, debido a las bajas diferencias del estrato superior con el rocoso. Finalmente, aquellas curvas que presentan partes planas en el *peak*, señalan efectos de capas inclinadas en el subsuelo, las cuales se ubican generalmente a faldas de cerros y sus laderas. Todas las formas de curvas entregan información del punto donde se toma el registro

Finalmente es posible generar un mapa de Isoperiódos en la ciudad de Viña del Mar a partir de un análisis espacial, similar al señalado en 3.5.1 (ver Figura 47). Para efectos de este trabajo, se ha clasificado el período fundamental en rangos de 0,2 segundos cada uno, lo que

permite identificar y comparar los efectos de sitio entre cada zona. Este mapa temático se puede apreciar con mayor detalle en el Anexo L.

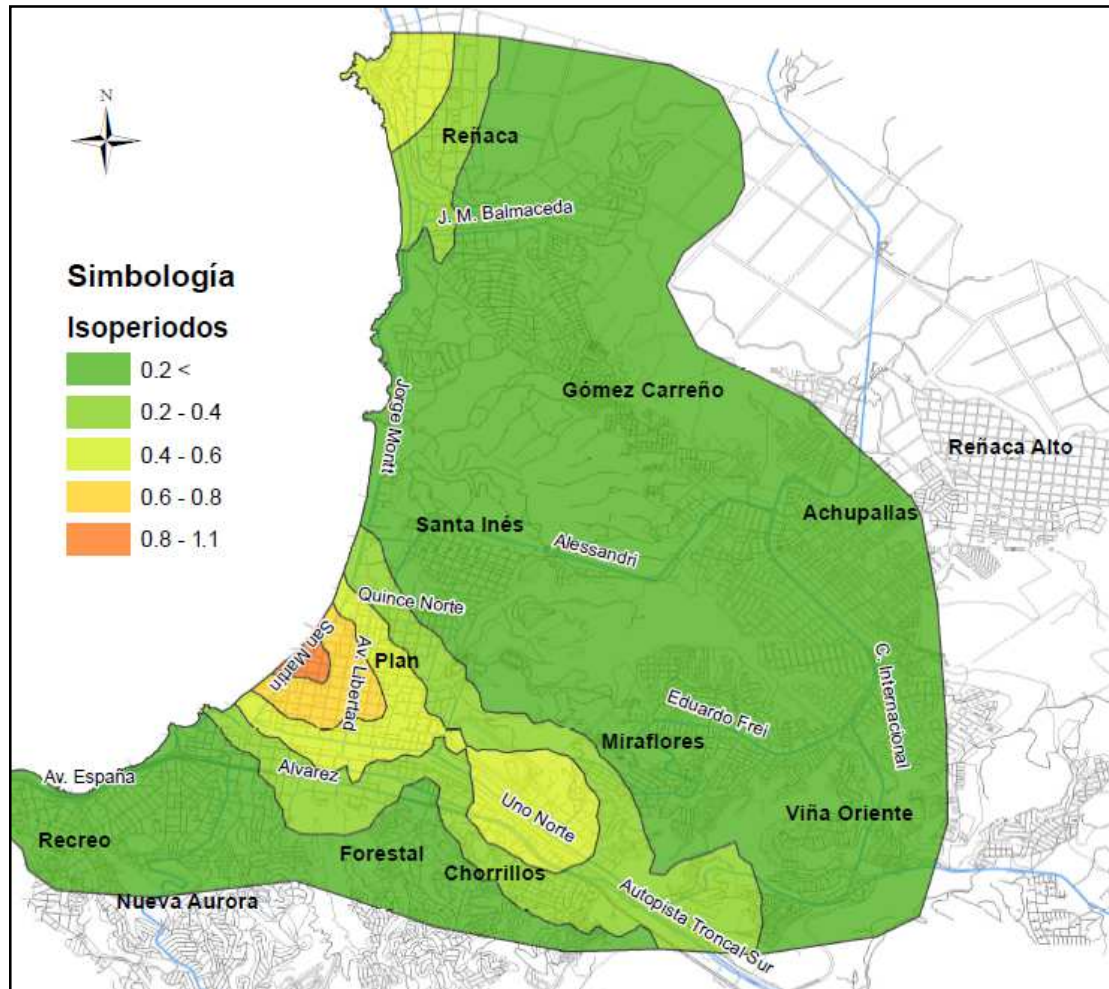


Figura 47: Mapa de Isoperíodos propuesto

De los resultados obtenidos del análisis H/V en la ciudad de Viña del Mar, se desprende que los registros situados en el sector Plan y zonas bajas de los sectores Forestal, Chorrillos y Miraflores presentan *peaks* notorios en períodos sobre los 0.6 segundos, siendo la zona con mayores períodos fundamentales registrados, la que comprende las calles 4 Norte, Avenida Libertad y 10 Norte. A medida que los registros se alejan de las zonas planas de la ciudad, como en los ubicados en los sectores de Recreo, Chorrillos, Miraflores, Santa Inés y partes bajas de Reñaca, cambian las formas de las curvas a *peaks* más suaves, donde los períodos fundamentales

obtenidos se encuentran entre los 0,4 seg y 0,6 seg. Finalmente las zonas altas de la ciudad presentan curvas con *peaks* bajo los 0,4 seg, muchas de las cuales presentan formas planas.

Como se observa en la Figura 47, es posible asociar aquellas zonas que presentan menor período fundamental con las unidades geológicas más antiguas, señaladas en 4.1.1, mientras que las zonas en donde período fundamental es mayor, corresponden a depósitos recientes y menos consolidados que los primeros.

Tal como lo indica la teoría de la amplificación sísmica en rellenos sedimentarios, los valores de período fundamental son mayores a medida que la profundidad de la roca basal aumenta, tal es el caso para sedimentos ubicados principalmente en el sector Plan. Esto explicaría el hecho que en este sector se hayan presentado un mayor daño en edificios de altura, debido a que el rango de períodos se encuentra entre 0,6 y 1 segundo.

A pesar de todos los beneficios que conlleva la técnica de razón espectral H/V de Nakamura (1989), éste es un método estimativo que requiere de condiciones especiales del sitio de medición para que los resultados sean confiables, al igual que un correcto análisis e interpretación de los registros.

6 ANALISIS FINAL Y MICROZONIFICACION PROPUESTA

Los sistemas de información geográfica proveen herramientas que permiten realizar un análisis espacial o gráfico de datos, lo cual se ha utilizado en el estudio de Microzonificación Sísmica. El programa *ARCGIS 10* permite obtener, mediante la utilización de un Proceso Analítico Jerárquico (PAJ), un mapa final de Microzonificación a partir de las diferentes variables estudiadas en este trabajo.

PAJ es un método de decisión que involucra muchos criterios y que utiliza estructuras jerárquicas para resolver un problema, basado en el juicio y experiencia de cada usuario (Saaty, T.L., 1980). El proceso jerárquico de Saaty se basa en construir matrices que permiten comparar las diferentes variables entre sí, distinguiendo la importancia relativa que posee una de la otra.

6.1 Unificación de las variables analizadas

Para obtener el mapa final correspondiente a la Microzonificación Sísmica propuesta, se deben identificar las variables a analizar y asignarles el respectivo peso que cada una de ellas tendrá en el modelo final. Según Saaty, T.L., (2008), para tomar una decisión de manera organizada es necesario distinguir y analizar el conjunto de variables que atañen al problema, mediante los siguientes pasos:

1. Definir el problema en forma clara.
2. Jerarquizar las distintas variables desde el comienzo teniendo presente el objetivo del estudio.
3. Realizar un análisis entre los distintos elementos que componen la toma de decisión mediante el uso de matrices de comparación.
4. Asignar pesos a las distintas variables y sus correspondientes subcategorías.

La forma en la cual se obtienen los pesos es mediante una comparación de atributos entre pares de variables (o mapas), para lo cual es necesario establecer: “¿Cuál de los 2 es el más importante?” y “¿Cuánto más importante?”. Los valores de importancia con respecto al otro se expresan en una escala de 1 a 9. La Tabla 17 muestra la escala de asignación de importancia comparativa entre parejas utilizada, de esta forma, las comparaciones son realizadas entre pares de mapas donde la percepción es lo suficientemente significativa para hacer una distinción.

Tabla 17: Escala de asignación de importancia comparativa

Fuente: Saaty, T.L., (2008)

Intensidad de Importancia	Definición de importancia	Explicación
1	Igual	Dos actividades contribuyen igualmente al objetivo
2	Leve	
3	Moderada	Debido a la experiencia y juicio favorecen levemente una actividad sobre la otra
4	Más que moderada	
5	Fuerte	Debido a la experiencia y juicio favorecen fuertemente una actividad sobre la otra
6	Más fuerte	
7	Muy fuerte	Una actividad es favorecida muy fuertemente sobre la otra; su dominio es demostrado en la práctica
8	Mucho más fuerte	
9	Extremadamente	La evidencia favorece una actividad sobre la otra en el mayor rango de afirmación posible
Números recíprocos	Si la actividad i tiene asignado uno de los números de la lista al ser comparada con actividad j , la actividad j tiene un valor recíproco cuando es comparada con la actividad i	
1,1 – 1,9	Si las actividades son muy similares	A pesar que sea pequeña la diferencia, es necesario siempre resaltar la importancia relativa entre actividades

Las variables que fueron contempladas para el análisis jerárquico y que permitieron confeccionar el mapa final de Microzonificación Sísmica son:

- **ID:** Isosistas de daño determinado en el Capítulo 3.
- **GE:** Geología determinado en el Capítulo 4.
- **FR:** Fenómenos de Remoción en Masa determinado en el Capítulo 4.
- **GT:** Ensayos SPT determinado en el Capítulo 4.
- **AS:** Amplificación Sísmica determinado en el Capítulo 4.
- **PF:** Período fundamental determinado en el Capítulo 5.

Alonso, J.A. y Lamata, M.A. (2006) definen las n variables de decisión como $\{A_1, A_2, \dots, A_n\}$, cuyos pesos asignados previamente son $\{w_1, w_2, \dots, w_n\}$ respectivamente, permiten obtener una matriz de razones de pesos como se señala a continuación:

$$\mathbf{W} = [\mathbf{w}_i/\mathbf{w}_j] = \begin{pmatrix} \mathbf{w}_1/\mathbf{w}_1 & \mathbf{w}_1/\mathbf{w}_2 & \cdots & \mathbf{w}_1/\mathbf{w}_n \\ \mathbf{w}_2/\mathbf{w}_1 & \mathbf{w}_2/\mathbf{w}_2 & \cdots & \mathbf{w}_2/\mathbf{w}_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{w}_n/\mathbf{w}_1 & \mathbf{w}_n/\mathbf{w}_2 & \cdots & \mathbf{w}_n/\mathbf{w}_n \end{pmatrix} \quad (35)$$

La matriz de pares de comparación $A = [a_{ij}]$ representa las intensidades definidas por los analistas entre pares de variables (A_i versus A_j , para $i, j = 1, 2, \dots, n$) y son escogidos según los criterios señalados previamente. Dadas las n variables $\{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ se comparan todos los posibles pares y se obtiene la matriz A , donde el elemento a_{ij} muestra la preferencia de peso A_i obtenida de la comparación con A_j .

$$\mathbf{A} = [a_{ij}] = \begin{pmatrix} \mathbf{1} & \mathbf{a}_{12} & \cdots & \mathbf{a}_{1j} & \cdots & \mathbf{a}_{1n} \\ \mathbf{1}/\mathbf{a}_{12} & \mathbf{1} & & \mathbf{a}_{2j} & & \mathbf{a}_{2n} \\ \vdots & & \ddots & & & \vdots \\ \mathbf{1}/\mathbf{a}_{1j} & \mathbf{1}/\mathbf{a}_{2j} & \cdots & \mathbf{1} & & \mathbf{a}_{in} \\ \vdots & & & & \ddots & \vdots \\ \mathbf{1}/\mathbf{a}_{1n} & \mathbf{1}/\mathbf{a}_{2n} & \cdots & \mathbf{1}/\mathbf{a}_{in} & \cdots & \mathbf{1} \end{pmatrix} \quad (36)$$

Los elementos a_{ij} estiman las razones de peso w_i/w_j . Si la matriz A es absolutamente consistente, se obtiene que $A = W$ y en ese caso el valor propio principal (λ_{max}) es igual al número de variables n . De esta forma para una matriz de tamaño $n \times n$ son requeridas solamente $n - 1$ comparaciones para establecer pesos a los n indicadores, sin embargo el número real de comparaciones realizadas en este procedimiento es $n \times (n - 1)/2$ veces.

Los pesos relativos de las variables implicadas dentro de este estudio han sido calculados a partir del vector propio obtenido de la matriz de comparación. Una de las ventajas de este método es que permite revisar la consistencia de dicha matriz a través del cálculo de sus valores propios, mediante un índice de consistencia (CI). A su vez existe una razón de consistencia (CR) que corresponde al cociente entre el CI de una matriz dada y el CI generado a partir de una matriz de comparación aleatoria, y se obtiene según las siguientes expresiones:

$$\mathbf{CI} = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (37)$$

$$\mathbf{CR} = \frac{\mathbf{CI}}{\mathbf{CI}_{\text{random}}} \quad (38)$$

La consistencia CR debe ser menor o igual a 0,1, de lo contrario los elementos de la matriz de comparación deben ser revisados mejorando así su consistencia. Una vez obtenida una consistencia aceptable, es decir menor a 0,1, se puede normalizar el vector propio determinándose así los pesos de cada variable.

6.2 Correlación entre variables analizadas

Para determinar la importancia relativa entre las distintas variables se compararon los mapas temáticos definidos en los capítulos anteriores. Mediante la grilla definida en el capítulo 3.1 (ver Figura 12) se le asignó un número a cada nodo para su posterior identificación, resultando una grilla como se ve en la Figura 74 (Anexo I).

Una vez definidos los nodos de la grilla, se registró en cada punto el valor respectivo que corresponde a cada mapa temático. Aquellas variables que presentan ensayos distribuidos espacialmente (Intensidad de daños, Período fundamental y ensayos SPT), los datos fueron promediados y asignado su valor en el nodo adyacente más cercano. Para el caso de los ensayos SPT, se asignó el valor promedio del número de golpes a cada nodo y posteriormente su clasificación sísmica de acuerdo a la norma NCh 433 DS 61.

A la Amplificación sísmica, cuya clasificación es a través de rangos de valores, se consideró el valor promedio para su representación. Aquellas variables que presentan una clasificación cualitativa se le asignaron números de forma arbitraria, cuya escala sigue el orden lógico de aumentar a medida que disminuye la calidad del suelo, o bien, aumenta el riesgo. La nueva clasificación utilizada para la identificación de las distintas variables en los nodos se muestra en la Tabla 18. El objetivo de esta re-clasificación es determinar algún grado de correlación entre las distintas variables para su posterior asignación de pesos.

Los mapas temáticos con sus respectivas grillas enumeradas y los valores asignados a cada nodo se encuentran en el Anexo I.

Tabla 18: Reclasificación de variables para comparación de mapas temáticos.

	Antes	Después
GE: Geología	Sedimento no consolidado	3
	Sedimento consolidado	2
	Rocas intrusivas	1
FR: Fenómenos de Remoción en Masa	Alto	4
	Moderado a alto	3
	Moderado	2
	Bajo o nulo	1
AS: Amplificación Sísmica	1,0 - 1,5	1,3
	1,6 - 2,0	1,8
	2,1 - 2,4	2,3
	2,5 - 2,8	2,7

La intensidad de daño en escala MSK ha sido considerada como el indicador de daño más representativo, pues muestra de manera explícita los resultados observados en terreno y está directamente relacionado con el tipo de construcción de las viviendas. Por esta razón se decidió entregarle el mayor peso como variable, debido a que es el parámetro más confiable de todos. Cabe mencionar que el peso de cada variable se escoge en función de la confiabilidad de los resultados obtenidos y de la decisión de expertos en estudios anteriores (Sitharam, T.G., y Anbazhagan, P., 2008).

De acuerdo a esto, se calculó la correlación existente entre la intensidad de daño con las demás variables junto con su respectiva covarianza, el resultado se muestra en la Tabla 19.

Tabla 19: Nivel de correlación de la intensidad de daño con las demás variables.

	Correlación	Covarianza
	ID: Intensidad de daño	ID: Intensidad de daño
ID: Intensidad de daño	1,0000	-
GE: Geología	0,1789	0,0579
FR: Fenómeno de Remoción en masa	-0,1363	-0,0583
GT: Ensayos SPT	-0,4341	-0,2220
AS: Amplificación Sísmica	0,3063	0,0518
PF: Período fundamental	0,5108	0,0386

A continuación se presenta de forma gráfica la correlación existente entre las Isosistas de daño y el resto de las variables consideradas en este estudio (ver Figura 48 a Figura 52).

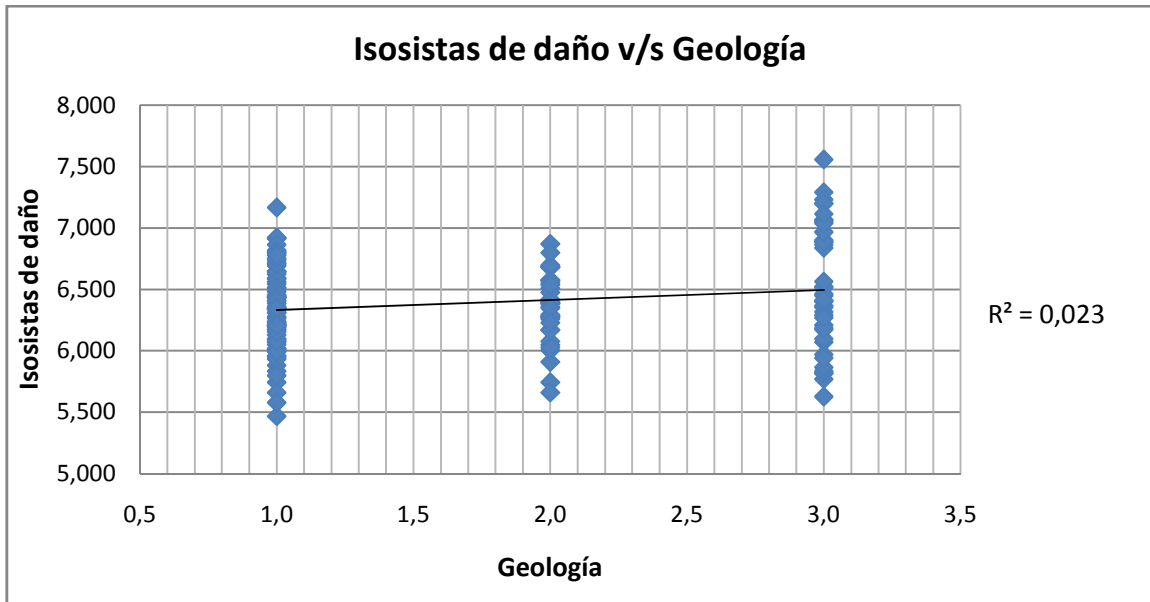


Figura 48: Correlación entre Isosistas de daño y Geología

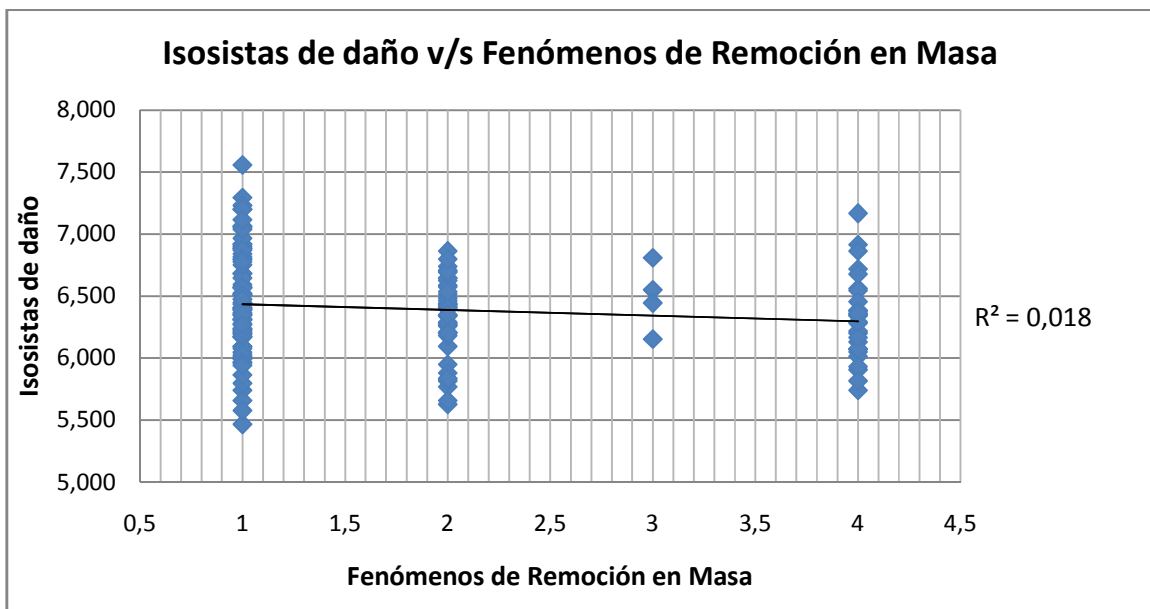


Figura 49: Correlación entre Isosistas de daño y Fenómenos de remoción en masa

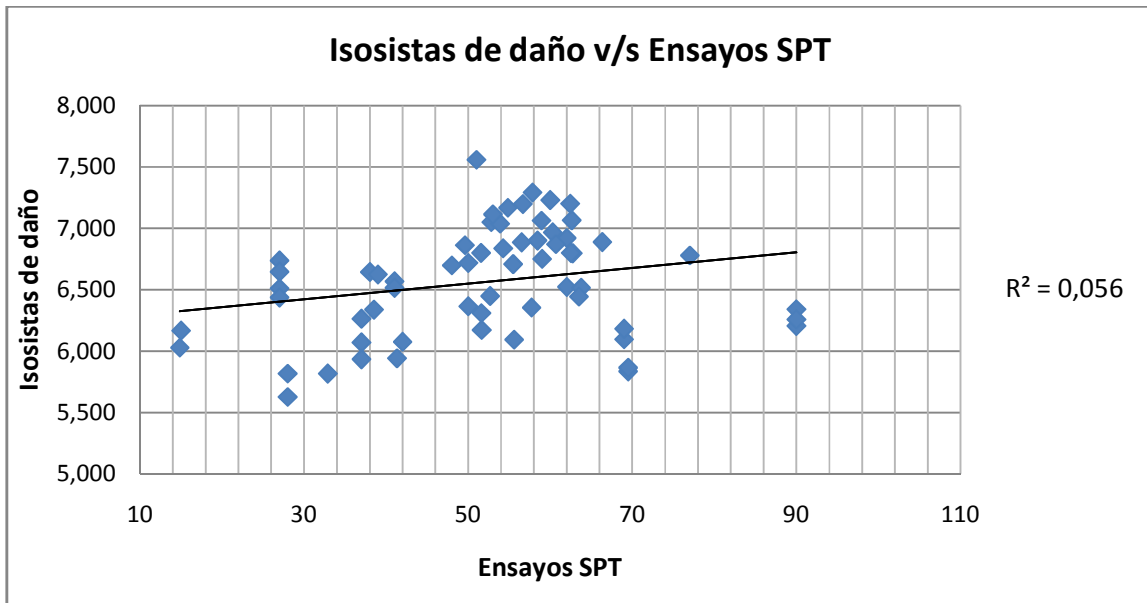


Figura 50: Correlación entre Isosistas de daño y Ensayos SPT

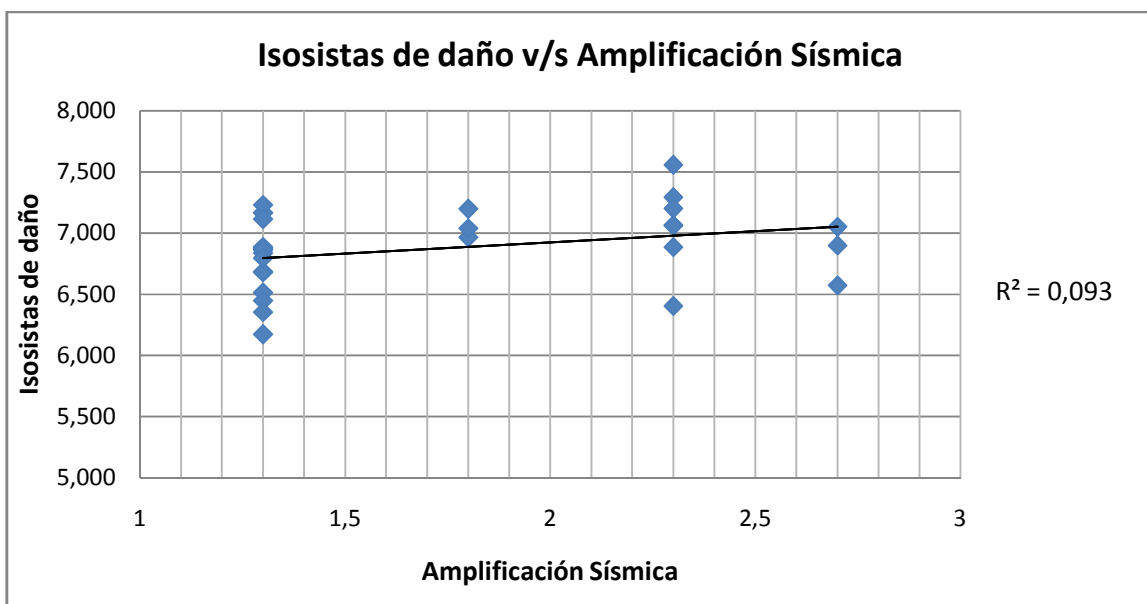


Figura 51: Correlación entre Isosistas de daño y Amplificación Sísmica

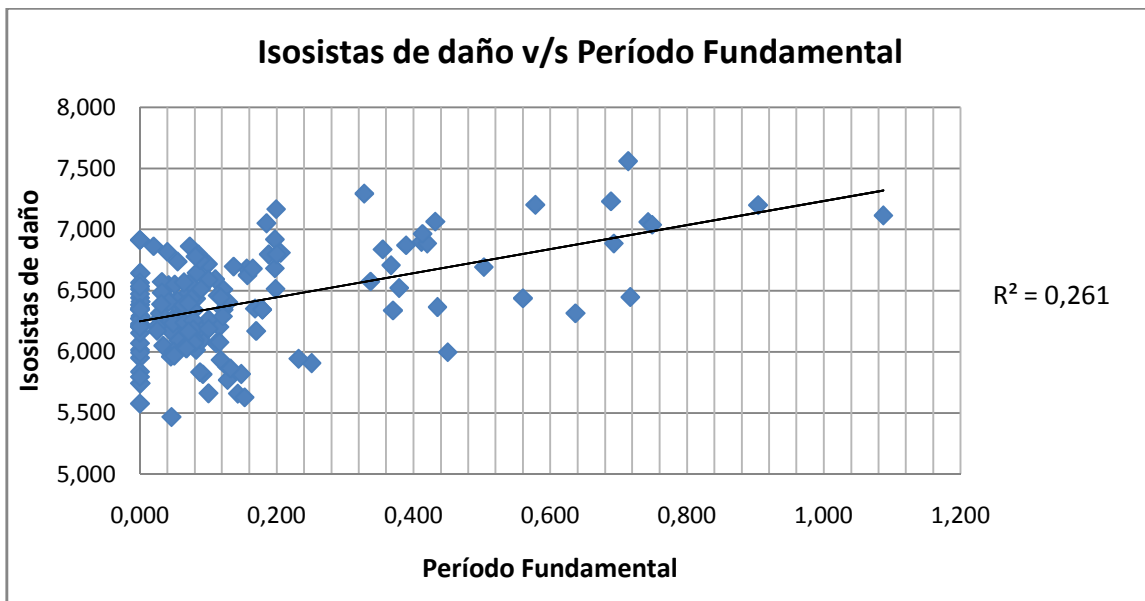


Figura 52: Correlación entre Isosistas de daño y Período fundamental

De acuerdo a los resultados obtenidos, el mapa de Isoperíodos fue considerado como la segunda variable más importante en el estudio, ya que utiliza valores medidos en terreno mediante un equipo de alta tecnología, arrojando resultados más similares a la intensidad de daño. Se consideró además que la Amplificación Sísmica es un buen indicador de las variaciones en el daño observado, puesto que si bien fue realizado a partir de modelos teóricos, utiliza registros de aceleraciones que entregan un valor real de lo ocurrido basados en suposiciones realistas de las condiciones sismogénicas.

Los ensayos SPT poseen la correlación más baja respecto a la intensidad de daños por lo que su ponderación en el resultado final será menor, esto se debe a que no se cuenta con un gran número de ensayos distribuidos en la zona de estudio y que la profundidad de los sondajes considerados no alcanza a llegar a los 30 metros como se estipula en la normativa sísmica vigente en el país. Sin embargo, a diferencia de otros mapas temáticos, estos ensayos fueron realizados en terreno a partir de un procedimiento normado.

La Geología, si bien no resultó tener el grado de correlación más bajo con la intensidad de daños, se le asignó un peso bastante menor en el modelo debido a que se utilizó una simplificación que clasifica los suelos en función de la edad geológica independiente del origen que éstos posean. Esto se debe a que a la fecha no existe algún estudio reciente que señale todas

las unidades geológicas existentes en la ciudad dentro de un mismo mapa, o en el caso de Grimme, K. y Álvarez, L. (1964), presentan discrepancias con los mapas más recientes realizados por SERNAGEOMIN.

Finalmente, la Geomorfología fue considerada como la variable con menor peso en el modelo, dentro de la cual se incorporó el estudio realizado por López *et al.* (2005) sobre el peligro de remoción en masa, a partir de un análisis de pendientes. Esta variable involucra otros fenómenos no relacionados con la actividad s mica, como lluvias y la actividad humana entre otros, lo cual hace que esta variable sea objetable desde cierto punto de vista, ya que además no señala las zonas de influencia que afectan cuando un fenómeno de remoción en masa se ha desarrollado, ni contempla la efectiva responsabilidad que tiene un sismo como agente causante.

6.3 Desarrollo análisis PAJ

Tras realizar 10 iteraciones variando los pesos de las diferentes variables (ver Anexo J), la matriz de comparación obtenida de acuerdo al procedimiento mencionado en el capítulo 6.1 junto a los parámetros calculados, se muestran en la Tabla 20 y Tabla 21 respectivamente.

Tabla 20: Matriz de comparación

	ID	GE	FR	PF	AS	GT
ID	1	4	7	8	9	2
GE	1/4	1	4	3	6	1/2
FR	1/7	1/4	1	2	2	1/6
PF	1/8	1/3	1/2	1	2	1/7
AS	1/9	1/6	1/2	1/2	1	1/8
GT	1/2	2	6	7	8	1

Tabla 21: Parámetros $\lambda_{máx}$ e índice de Consistencia

Parámetros	
$\lambda_{máx}$	6,185
CI	0,04
CI _{random}	0,99
CR	0.04

A partir de los resultados obtenidos, es posible señalar que la clasificación es consistente, por lo tanto a través del vector propio se obtienen los pesos que cada variable poseerá en análisis final. Los pesos están descritos según señala la Tabla 22.

Tabla 22: Pesos de variables según análisis PAJ

Variable	Vector propio normalizado
ID	0,43
PF	0,28
AS	0,15
GT	0,06
GE	0,05
FR	0,03

Una vez obtenidos los pesos de las variables involucradas en el análisis, es necesario identificar claramente las subcategorías que cada una comprende. De esta forma es posible asignar a cada una de ellas sus respectivos pesos dentro del modelo a utilizar, a las cuales se les otorgaron valores comprendidos dentro del rango de 0 a 1, en cuanto a su menor o mayor contribución a la vulnerabilidad sísmica respectivamente. Dado que las subcategorías se encuentran en un rango de valores continuos, se decidió clasificarlos en rangos discretos. A su vez, cada normalización se realizó en forma proporcional al número de subcategorías que posee cada variable asignándoles a todas el mismo peso relativo, ver Tabla 23.

Tabla 23: Variables con categorías normalizadas

Variable	Categoría	Valores	Normalización	Peso
ID	1	5,5 – 6,0	0	0,43
	2	6,1 – 6,5	0,33	
	3	6,6 – 7,0	0,66	
	4	7,1 – 7,6	1	
PF	1	<0,2	0	0,28
	2	0,2 – 0,4	0,2	
	3	0,4 – 0,6	0,4	
	4	0,6 – 0,8	0,6	
	5	0,8 – 1,0	0,8	
	6	>1,0	1	
AS	1	1,0	0	0,15
	2	1,0 – 1,5	0,25	
	3	1,6 – 2,0	0,5	
	4	2,1 – 2,4	0,75	
	5	2,5 – 2,8	1	
GT	1	A	0	0,06
	2	B	0,2	
	3	C	0,4	
	4	D	0,6	
	5	E	0,8	
	6	F	1	
GE	1	Rocas intrusivas	0	0,05
	2	Sedimento semiconsolidado	0,5	
	3	Sedimento no consolidado	1	
FR	1	< 15°	0	0,03
	2	15° – 40°	0,5	
	3	>40°	1	

Una vez realizada la normalización de los pesos de cada variable y sus respectivas subcategorías, se calcula el valor de Microzonificación Sísmica (*MS*). *MS* se obtiene a partir de la unificación de las diferentes regiones conformadas por la superposición de todas las variables graficadas, es decir, la suma de las diferentes variables en el espacio según la siguiente ecuación:

$$MS_k = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m P_j * N_{ij} \quad (39)$$

Donde MS_k es el valor obtenido de la región k que se genera al superponer los mapas, P_j es el peso de la variable j , N_{ij} es el valor de la clasificación i según la variable j . El valor de j va de 1 a 6, y el valor de i depende de la variable en análisis.

Este procedimiento se realiza en el programa *ARCGIS 10*, utilizando el comando combinación de superficies que opera como muestra la Figura 53.

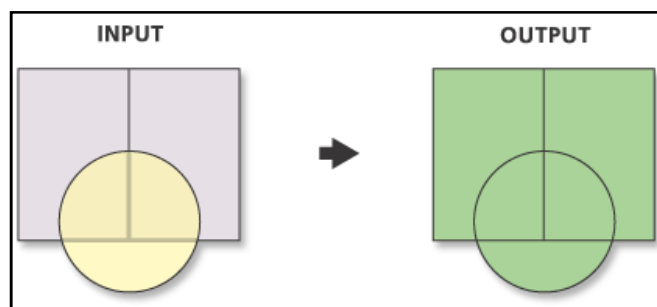


Figura 53: Combinación de superficies
Fuente: ArcGIS Help Center

Al realizar la superposición de los mapas (ver Figura 54), las regiones obtenidas tendrán la cantidad de información según la cantidad de mapas que se intercepten. Así por ejemplo, la región que mayor información posea será la zona que intercepte las seis variables y la de menor información la zona donde exista sólo una variable.

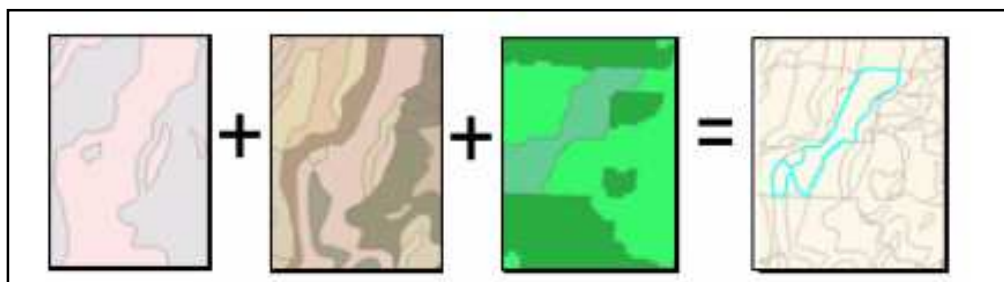


Figura 54: Esquema de obtención de regiones
Fuente: ArcGIS Help Center

Mediante este comando, se obtiene una combinación geométrica de todas las entidades o variables de entrada, las cuales generan una nueva variable de salida que incorpora toda la información de las variables superpuestas. Para poder utilizar esta técnica, es necesario tener todas las variables expresadas como geometría de polígono. Finalmente se utiliza la ecuación (39) para poder obtener el valor de MS en una nueva columna de la variable de salida.

El análisis de sensibilidad arrojó resultados bastante similares al variar los valores de la matriz de comparación, es decir, asignar distintos pesos (considerando siempre un $CR < 0,1$) a los mapas. Esto indica que la tolerancia de 10 % de error es aceptable y se obtiene un resultado final fidedigno.

6.4 Análisis y Resultados

La intensidad mínima de daños observada para la ciudad fue de 5,5 grados en escala MSK, la cual fue asociada al valor mínimo de MS obtenido a partir del análisis ya descrito, que corresponde a 0. Dicho valor se adoptó como base para la clasificación de intensidades dentro de la zona estudiada, representado con la letra *I*, la cual se usó como referencia para cuantificar la diferencia de intensidades independientemente de la magnitud del terremoto ocurrido.

Por otro lado, el valor máximo de intensidad observada fue de 7,6 grados en escala MSK (2,1 grados sobre el mínimo observado), el cual fue asignado al valor máximo de MS estimado a través de este modelo multivariado, correspondiente a 1. Sin embargo, el valor máximo obtenido de MS fue de 0,94, el cual mediante una interpolación lineal representa en la escala de intensidades un valor de 7,47. Es por este motivo que el máximo valor de MS ha sido adoptado a su vez como $I + 2$, debido a la diferencia de prácticamente 2 grados por sobre la intensidad mínima observada *I*.

Siguiendo con esta metodología, se decidió clasificar el mapa de Isosistas en 3 rangos, cuyas intensidades difieren una de la otra en un grado MSK. El primero comprende los valores de MS entre 0 y 0,313, el segundo entre 0,313 y 0,626, y finalmente el último entre 0,626 y 0,94. A continuación se muestra en la Figura 55 el mapa de Isosistas obtenido:

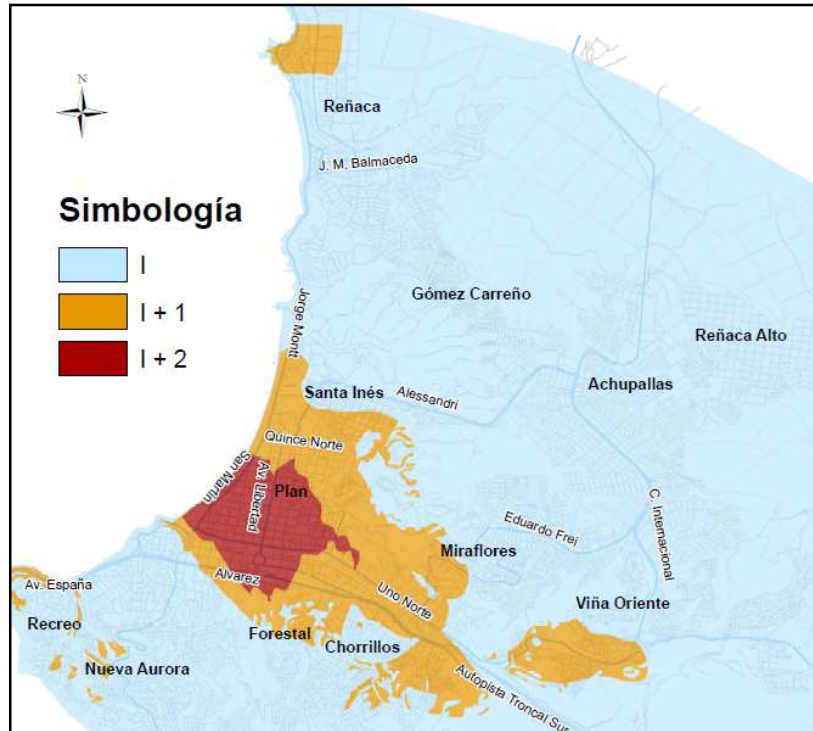


Figura 55: Mapa de Isosistas según PAJ

Como se observa en la Figura 55, existen sectores que presentan una diferencia de intensidad de daño significativamente considerable, llegando incluso a variar en 2 grados en escala MSK. Específicamente en el sector Plan de la ciudad se encuentra la mayor concentración de daño acotado a las calles 1 Norte por el Sur, Avenida Los Castaños por el Este, 12 Norte por el Norte y toda la costa por el Oeste. Por otra parte, los sectores aledaños al Plan de la ciudad, junto con el sector de las dunas cercanas a Reñaca, presentan una disminución de la intensidad en un grado, comprendiendo los sectores de Chorrillos, Forestal, Miraflores Bajo, Santa Inés y Viña Oriente. Finalmente en las partes altas de los sectores Achupallas, Gómez Carreño, Miraflores Alto, Recreo, parte de Reñaca y Reñaca alto, presentan el valor más bajo de intensidad dentro de la ciudad.

Comparando el mapa de Isosistas propuesto en este estudio con el realizado por Pérez, L. E. (1988), ver Figura 56, y pensando en una zonificación más práctica de aplicar en una futura Normativa Comunal, se decidió modificar las tres zonas a partir de calles principales que las dividan. Se realizó una simplificación del trazado de curvas para facilitar su interpretación, todo bajo un marco de criterio conservador que considere la situación más desfavorable. Finalmente se obtiene el mapa final de Microzonificación sísmica propuesto en este estudio (ver Figura 57).

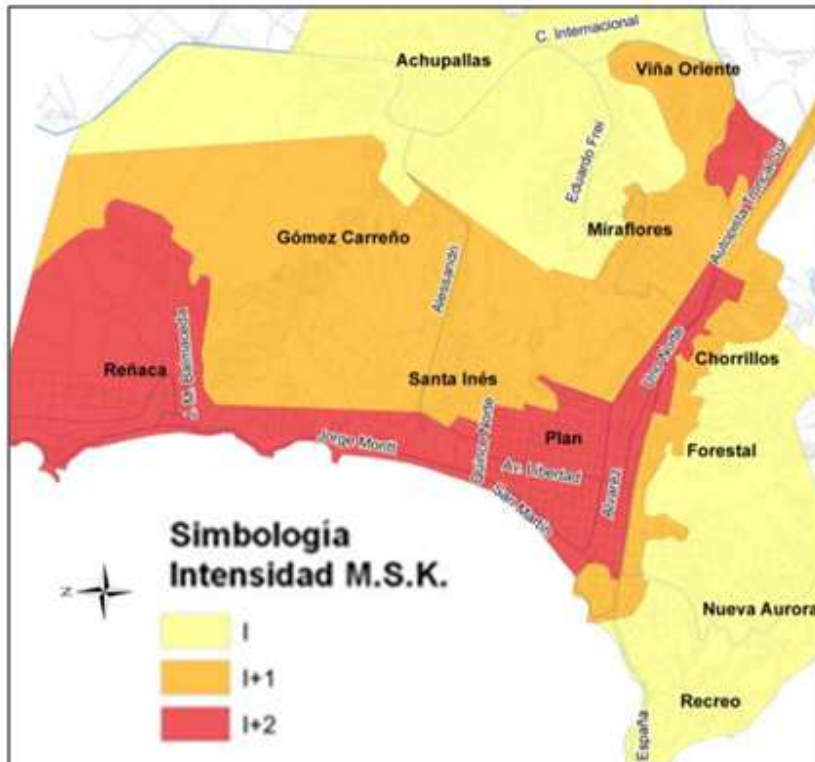


Figura 56: Mapa de Microzonificación Sísmica
Fuente: Adaptación de Pérez, L. E. (1988)

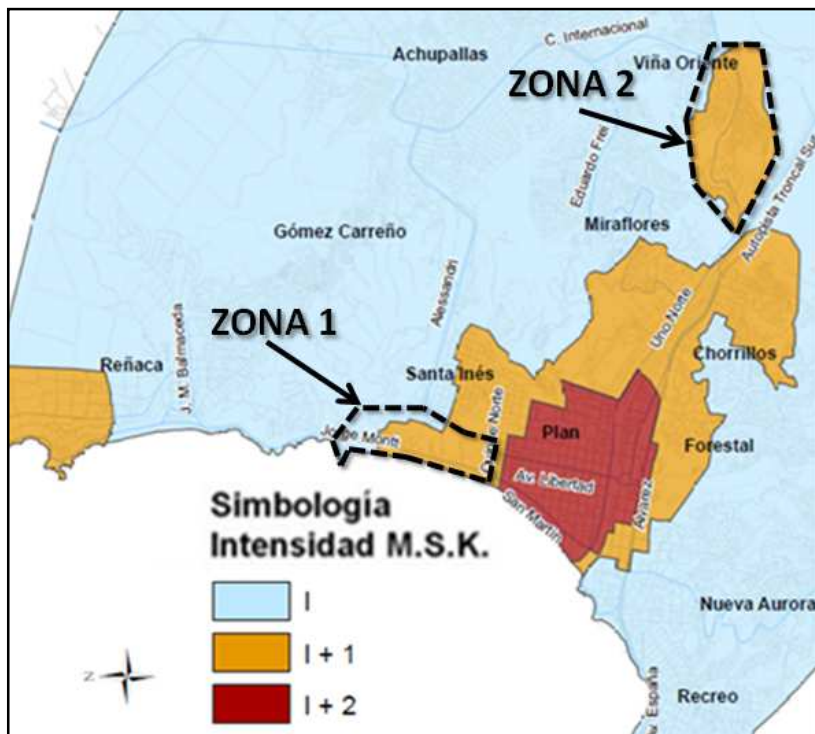


Figura 57: Mapa final de Microzonificación Sísmica propuesto

Debe considerarse que en el mapa propuesto de Microzonificación Sísmica no considera el daño en viviendas para la Zona 1 (complejo de la Armada de Chile) puesto que es una zona de acceso restringido. Por otra parte, la superposición de los diferentes mapas temáticos, particularmente la incidencia en primera instancia del mapa de intensidades y en segunda del mapa de Isoperíodos producen un efecto de disminución de las intensidades en el sector Canal Beagle, que se manifiesta en una intensidad menor a lo observado. Este efecto local de amplificación topográfica no es bien representado en el mapa final de isosistas, razón por la cual se delimitó la zona mencionada (Zona 2) indicándose para ella un aumento mayor de intensidad. Es recomendable el desarrollo futuro de nuevas mediciones que permitan validar esta proposición.

Es posible identificar que la Microzonificación Sísmica realizada por Pérez, L.E. (1988) (Figura 56) presenta algunos sectores de la ciudad con distinta intensidad de daño que el mapa final propuesto en este estudio (Figura 57). Luego, y utilizando la misma metodología que en el capítulo 6.2 para estimar un grado de correlación entre ambos mapas, se utilizó la grilla definida en el capítulo 3.1 (ver Figura 12) y se le asignó el valor correspondiente a cada nodo para ambos mapas finales de Microzonificación sísmica (ver Anexo K). Para ambos casos se clasificó la intensidad de daño en grado I , $I+1$ e $I+2$.

De acuerdo a esto, se calculó la correlación y covarianza existente entre el mapa de Microzonificación sísmica propuesto por Pérez, L.E. (1988) y el realizado en este estudio, el resultado se muestra en la Tabla 24. El grado de correlación entre ambos mapas mostrado de forma gráfica se presenta en la Figura 58.

Tabla 24: Nivel de correlación entre mapas de Microzonificación sísmica.

	Correlación	Covarianza
	Microzonificación Sísmica propuesta	Microzonificación Sísmica propuesta
Microzonificación Sísmica propuesta	1,0000	-
Microzonificación Sísmica Pérez, L.E. (1988)	0,5595	0,2731

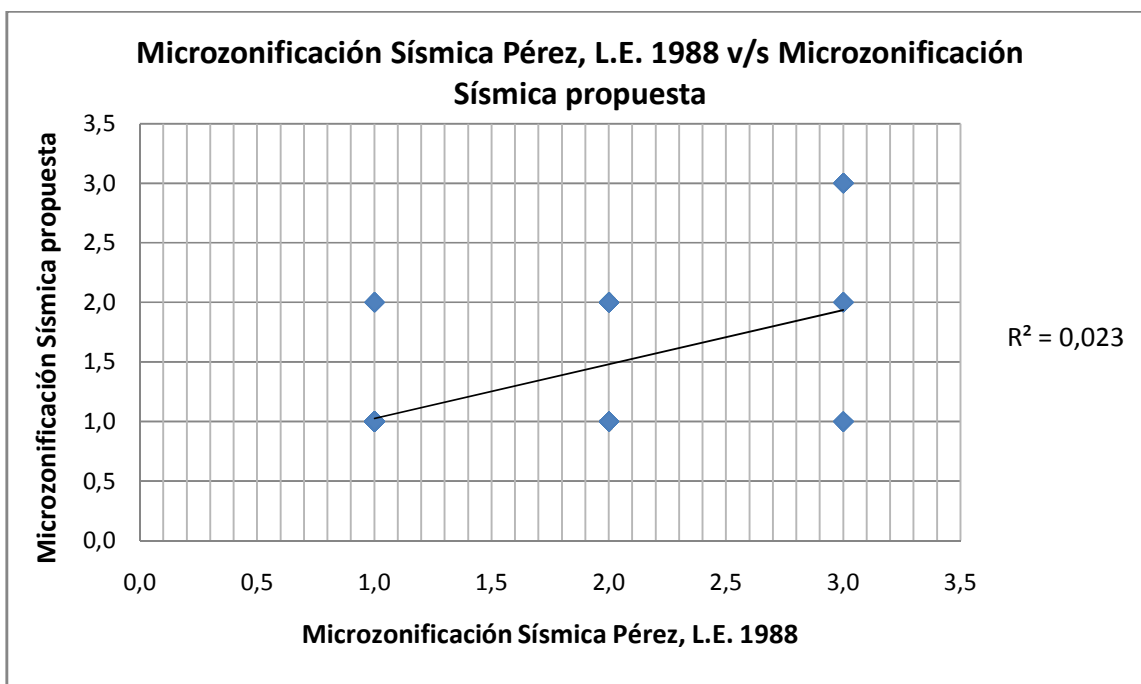


Figura 58: Correlación entre mapas de Microzonificación Sísmica.

De acuerdo a lo mostrado en la Figura 58, cabe mencionar que ambos mapas comparados (Microzonificación sísmica realizada por Pérez, L.E. (1988) y la Microzonificación sísmica propuesta), poseen una clasificación que comprende 3 categorías (intensidad de daño I , $I+1$ e $I+2$), por lo que no se logra apreciar una dispersión de los puntos y éstos quedan superpuestos entre sí.

El grado de correlación existente entre ambos mapas es de 0.55, reflejando que existe una correlación positiva pero no lo suficientemente buena, debido a que ambos estudios presentan diferencias en las variables y metodología de análisis. Las principales semejanzas y diferencias se presentan a continuación:

- Los sectores bajos de Chorrillos, Forestal, Miraflores y el sector de Santa Inés presentan una intensidad de daño de un grado menor que el sector Plan de la ciudad en ambos estudios.
- Los sectores de Achupallas, Miraflores Alto, Recreo y Reñaca Alto, poseen la menor escala de intensidad, con una diferencia de 2 grados de daño respecto al sector Plan, según los distintos autores.

- Según este estudio, el sector de Gómez Carreño, Reñaca y Viña Oriente presentan diferencias de un grado menos de intensidad con respecto a lo presentado por Pérez L. E. (1988). Por otro lado, Pérez, L.E. (1988) propone que el sector costero de Las Salinas posee en toda su extensión una intensidad de daño similar al sector Plan, un criterio conservador que se diferencia del propuesto en este trabajo.

7 CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos muestran claramente un fuerte contraste en el comportamiento sísmico para distintos sectores de la ciudad de Viña del Mar. Esto recalca la importancia de realizar estudios de Microzonificación Sísmica que permitan determinar las zonas más propensas a sufrir daño con un sismo.

Es fundamental contar con la mayor cantidad de información posible para realizar estudios de esta índole, especialmente obtenida en terreno a partir de ensayos sumado a antecedentes históricos, ya que no existe una metodología única para realizar una Microzonificación Sísmica, quedando a criterio de los investigadores en función de los datos recopilados. Para efectos de esta memoria se optó por utilizar parámetros determinísticos que permiten estimar el comportamiento futuro a partir de datos reales observados.

Como consecuencia del sismo ocurrido el 27 de Febrero de 2010 la ciudad sufrió daños de consideración aún cuando el epicentro no fue cercano a la zona de estudio. La distribución de daños observado tras el reciente terremoto no cambió mucho respecto a lo ocurrido el año 1985, ya que los sectores más afectados volvieron a ser los mismos a pesar de que la intensidad haya sido menor. Cabe mencionar que el daño fue estimado a partir de un catastro realizado a viviendas unifamiliares y no contempla el efecto del terremoto en edificios.

El parámetro que mejor describe las consecuencias provocadas por la ocurrencia de un terremoto es la escala de intensidad de daño MSK, dejando de manifiesto en forma clara los daños ocurridos a partir del tipo de construcción existente, y permitiendo la comparación de experiencias con eventos sísmicos pasados donde no se contaban con registros de intensidad. Sin embargo, aún cuando esta escala de intensidades es una manera práctica de obtener la intensidad de daño promedio, debido a que considera curvas de fragilidad para los distintos tipos de estructuras, éstas deben quedar sujetas a posibles modificaciones futuras considerando que con el tiempo se han definido nuevas y mejores tipologías estructurales.

Para efectos de esta memoria se consideró apropiado realizar simplificaciones a los estudios de Rivano *et al.* (1993) y Gana *et al.* (1996), en lo que respecta a la clasificación de suelos por su edad geológica, debido a las discrepancias en algunos sectores descritas por los distintos autores. Cabe mencionar que dicha propuesta no debe ser utilizada como referencia futura ya que

fue realizada como simplificación en el análisis final para poder incorporar los distintos estudios geológicos y que está sujeta a próximas modificaciones, esto explica el por qué de su baja ponderación en el análisis final.

Además, dentro de los parámetros geomorfológicos existentes, se ha considerado la Remoción en Masa debido a que involucra un estudio topográfico, de pendientes y daños asociados. Este parámetro considera fenómenos tanto exógenos como endógenos, tomando en cuenta que una de las principales causas de remociones en masas después de la actividad sísmica y las grandes lluvias, es la alteración natural del terreno ocasionada por el ser humano. La incorporación de esta variable pone énfasis en la existencia de zonas en donde debiesen existir obras de contención asociadas a potenciales deslizamientos o flujos de terreno (pendientes sobre 40°), independientemente de no estar dentro de las zonas con mayor vulnerabilidad dentro de la Microzonificación Sísmica propuesta. Al igual que en el caso de la geología, y debido a la poca influencia que tiene este fenómeno debido a eventos sísmicos, es su baja ponderación en el análisis final.

En cuanto a los parámetros geotécnicos, es posible señalar que la información recopilada no fue suficiente para clasificar las propiedades de los suelos de fundación según la norma NCh 433 DS 61, debido a que requiere, para el caso de arenas, profundidades de 30 m para ensayos SPT y Down-hole. Además, es necesario recalcar que el suelo de fundación es aquel que influye en la respuesta sísmica por completo, es decir, la totalidad del depósito junto con la roca debajo de él, por lo que realizar estudios que entreguen una descripción completa de los sedimentos, principalmente de los sectores aledaños a los esteros Marga-Marga y Reñaca, es de gran importancia. Otra dificultad dentro de la clasificación de suelos en función de los parámetros geotécnicos, es que la información proporcionada por cada ensayo corresponde única y exclusivamente al punto en donde se realizó, encontrando notorias diferencias en la clasificación del tipo de suelo a medida que se aleja un ensayo de otro. Esto implica que en zonas donde no se cuenta con información, resulta poco riguroso realizar métodos de interpolación espacial con áreas de influencia muy grandes.

De manera tal de incorporar la mayor cantidad de variables posibles para lograr un mapa final de intensidades, se consideró además la Amplificación Sísmica, debido a que se cuenta con estimaciones a partir de las propiedades geotécnicas y geométricas propuestas por distintos autores, las cuales se ajustan bastante bien a los daños observados en los sismos del año 1985 y

2010, esto quedó demostrado con su alta correlación con la intensidad de daño MSK y su alta ponderación en el análisis final. Además y gracias a modelos analíticos, se logró encontrar una relación entre el valor de la Razón Espectral Media y la Razón de Aceleración Máxima en la superficie. Esta última debe ser actualizada y validada con ensayos y registros mediante acelerómetros en distintos puntos de la ciudad, principalmente en aquellos en donde se conoce que existen fenómenos de amplificación, como el caso de los sectores Plan y Canal Beagle.

El avance tecnológico permite utilizar otras técnicas para determinar las propiedades del suelo a la hora de realizar un estudio de Microzonificación Sísmica, tal ha sido el caso del uso de vibraciones ambientales que permiten definir un suelo de fundación a partir del período fundamental que posee dicho estrato, ya sea a través de estimaciones superficiales o con sondajes en profundidad. Para efectos de este estudio se utilizó el análisis de microvibraciones mediante la técnica de Nakamura; un método rápido, económico, de fácil análisis y que ha recibido gran aceptación a nivel mundial, principalmente por ser utilizado en zonas con baja o nula actividad sísmica. No se recomienda realizar estudios de mecánica de suelos para edificaciones con este sistema, pero para efectos de microzonificación sísmica, si es un método válido siempre y cuando se haga con rigurosidad, tanto en la toma de registros como su posterior análisis e interpretación.

Finalmente, todos los parámetros que permitan realizar el mapa final de Microzonificación Sísmica deben ser ponderados de acuerdo a la implicancia que tengan en el resultado esperado. Conforme a aquello, se ha observado que la escala de intensidades MSK ha sido el mejor indicador de daños puesto que refleja de mejor manera lo ocurrido durante un terremoto, cuyos resultados se utilizan como patrón de comparación con las demás variables para asignarles sus respectivas ponderaciones. De acuerdo a esto, y mediante análisis de correlación, se observó que existen otras variables como los Isoperiodos o estudios de Amplificación Sísmica que se asemejan más a los mapas de Isosistas, pero cuya correlación no alcanzaría para generar un mapa final por sí solo, sino que deberían ser analizados en conjunto para validar su información.

Los resultados obtenidos señalan que los sectores que presentaron una mayor intensidad de daño producto del terremoto recién pasado fueron casi los mismos que durante el año 1985 (L. E. Pérez, 1988), a diferencia de algunos cuyas intensidades fueron un grado menor en escala MSK. Esta diferencia se debe a las distintas metodologías empleadas para llevar a cabo el mapa final de Isosistas, los criterios de seguridad adoptado por los distintos autores y a la magnitud de los sismos ocurridos. Por esta razón se deben efectuar periódicamente actualizaciones conforme

vayan ocurriendo eventos sísmicos de gran envergadura, de esta forma se podrán validar o corregir trabajos anteriores en función de los cambios que ha sufrido la ciudad con el paso del tiempo y gracias al uso de nuevas y mejores técnicas.

8 REFERENCIAS

- AKI, K. (1957). Space and time spectra of stationary stochastic waves with special reference to microtremors. En: Bulletin of Earthquake. Res. Inst. Tokyo Univ (1957). Vol. 25. p. 415 – 457.
- ALONSO J. A., LAMATA, M.A. (2006). Consistency in the Analytic Hierarchy Process: A new approach. En: International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems. Vol. 14, No. 4.
- ARCGIS RESOURCE CENTER [en línea] (2011):
<<http://help.arcgis.com/es/arcgisdesktop/10.0/help/> >
- ARCGIS RESOURCE CENTER [en línea] (2011):
<<http://webhelp.esri.com/arcgisDEsktop/9.3/index.cfm?TopicName=How%20Kriging%20works>>
- ASTM D4428/D 4428M - 00, Standard Test Methods for Cross-hole Seismic Testing.
- ASTM D7400-08, Standard Test Methods for Down-hole Seismic Testing.
- ASTROZA, M., MATUS, F. y MUSIC, J. (2010). Microzonificación sísmica de la ciudad de Tocopilla. En: Congreso Chileno de sismología e ingeniería antisísmica (10ª, 2010, Valdivia, Chile).
- BONNEFOY-CLAUDET, S., CORNOU, C., y BARD, P. Y. (2006). The nature of noise wavefield and its application for sites studies. A literature review. En: Earth Sci.-Rev., 98. p. 288-300.
- DOBRY, R. y LAI, S. (2000). Recent developments in the understanding of earthquake site response and associated seismic code implementation, Key note paper. Proc. International Conference on Geotechnical and Geological Engineering, Vol.1, pp. 186-219. Australia.
- EUROCODE 8 Design of structures for earthquake resistance – Part 1: General rules seismic actions and rules for buildings, BS EN 1998-1:2004.
- GANÁ, P., WALL, R. y GUTIÉRREZ, A. (1996). Mapa Geológico del Área de Valparaíso – Curacaví (Escala 1:100.000). SERNAGEOMIN.

- GARRIDO Carvajal, Livio Alejandro (1988). Estudio de amplificación de ondas sísmicas en suelos: análisis unidimensional y formulación tridimensional en elementos finitos". Memoria (Ingeniero Civil). Valparaíso. UTFSM, Departamento de Obras Civiles.
- GIRALDO, V., ALFARO, A., PUJADES, L.G. y CAÑAS, J.A. (1999). Estimación de efectos locales con movimientos sísmicos y microtemblores. Monografías de Ingeniería Sísmica. A.H. Barbat, Editor. Monografía CIMNE IS-36, Barcelona, España (1999). 77p.
- GRIMME, Kurt y ÁLVAREZ, Leonardo (1964). El suelo de fundación de Valparaíso y Viña del Mar, provincia de Valparaíso. En: Boletín N° 16, Instituto de Investigaciones Geológicas, 1964.
- KANAI, K & TANAKA T. (1954). Measurement of microtremor. En: Bulletin of Earthquake Response. Vol. 32. Universidad de Tokio (1954). p. 199 –209.
- KANAI, K. (1957). The requisite conditions for the predominant vibration of ground. En: Bulletin of the earthquake research institute, Vol 35. Universidad de Tokyo (1957) p. 457-470.
- KAUSEL, E. (1986). Proceso Sísmico, Parámetros Focales y Réplicas del terremoto del 3 de marzo de 1985. En: El sismo del 3 de Marzo de 1985-Chile (1986), ACERO COMERCIAL S. A. Capítulo nº2.
- KIM, D., BANG, E. and KIM, W. (2004). Evaluation of Various Down-hole Data Reduction Methods for Obtaining Reliable Vs Profiles. En: Geotechnical Testing Journal, Vol. 27, No. 6, pp. 585-597.
- KONNO, K. (1996). Amplification factor estimated from spectral ratio between horizontal and vertical components of microtremor. Paper 1247 En: Eleventh world conference of earthquake engineering. Acapulco.
- KONNO, K. y OHMACHI, T. (1998). Ground-Motion Characteristics Estimated from Spectral Ratio between Horizontal and Vertical Components of Microtremor. En: Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 88, No.1. p. 228-241.
- KOVACS, W., y Salomone, L. (1982). The determination of thermal soil properties for energy transfer modeling of buildings.
- LAY, T. & T. WALLACE (1995). Modern global seismology. Int. Geoph. Series. Academic Press:521 p.

- LÉPEZ, M., WALL, R. y PRAT, M. (2005). Peligro de Remociones en Masa e Inundaciones de las ciudades de Valparaíso, Viña del Mar y Concón. Región de Valparaíso. Servicio Nacional de Geología y Minería. Informe Registrado. IR-05-29, 24p, 1 anexo, 2 mapas en 3 hojas escala 1:10.000.
- LEYTON, F. SEPÚLVEDA, S.A., ASTROZA, M., REBOLLEDO, S., GONZÁLEZ, L., RUIZ, S., FONCEA, C., HERRERA, M. y LAVADO, J. (2010). Zonificación sísmica de la cuenca de Santiago, Chile. En: Congreso Chileno de sismología e ingeniería antisísmica (10ª, 2010, Valdivia, Chile).
- LIAO, S. y WHITMAN, R. (1986). Overburden Correction Factors for SPT in Sand. En: Journal of Geotechnical Engineering. ASCE, Vol 112, No. 3.
- LUENGO Núñez, Roberto Patricio (1986). Actualización de zonificación de suelos en Viña del Mar. Memoria (Constructor Civil). UTFSM, Departamento de Obras Civiles. Valparaíso, Chile.
- MCGREGOR, J.A. Y DUNCAN, J.M. (1998). Performance and Use of the Standard Penetration Test in Geotechnical Engineering Practice. Center for Geotechnical Practice and Research, Virginia Tech.
- MEDVEDEV, S.V., SPONHEUR, W. y KÁRNIK, V. (1964). Neue Seismische Skala. Deutsch Akademie der Wissenschaften zu Berlin, Heft 77, Akademik Verla.
- MONGE, J. y ASTROZA, M. (1989). Metodología para determinar el grado de intensidad a partir de los daños. En: 5ª Jornada Chilena de Sismología e Ingeniería Antisísmica, Vol. 1, Santiago, Chile (1989). pp 483-492.
- MUCCIARELLI, M. (1998). Reliability and applicability of Nakamuras technique using microtremors: an experimental approach. En: J. of Earth. Eng. Vol 2, No. 4, Imperial College Press. p. 525-638.
- NAKAMURA, Y. and SAITO, A. (1983). Estimations of Seismic Response Characteristics and Maximum Acceleration of Surface Ground using Strong Motion Records (in Japanese). En: Proc. 17th JSCE Earthquake Eng. Symposium. p. 25-28.
- NAKAMURA, Yutaka. (1989). A method for dynamic characteristics estimations of subsurface using microtremors on the ground surface. Q. Rep. Railway Tech. Res. Inst. Japan.

- NAKAMURA, Yutaka. (2000). Clear identification of Nakamura's technique and its application. En: World Conference on Earthquake Engineering (12^a, 2000, Auckland, New Zealand).
- NCh 433 DS 61 (2011). Ministerio de Vivienda y Urbanismo MINVU. Santiago de Chile.
- NOGOSHI, M. e IGARASHI, T. (1971). On the amplitude characteristics of microtremor (Part 2). Resumen en ingles. En: Jour. Seism. Soc. Japan, Vol. 24. p. 26 – 40.
- OMORI, F. (1908). On microtremors. Boletín del Eartquake Investigation Committee, Vol 2. 1908. p.1-9.
- PEARCE, J.T. y BALDWIN, J.N. (2005). Liquefaction Susceptibility Mapping ST. Louis, Missouri and Illinois-Final Technical Report. U.S. Geological Survey 03HQGR0029.
- PECK, L. (2008). Overview of Seismic Noise and its Relevance to Personnel Detection. US Army Corps of Engineers, Engineer Research and Development Center. ERDC/CRREL TR-08-05.
- PÉREZ Castro, Luis Eduardo (1988). Microzonificación Sísmica de la Ciudad de Viña del Mar. Memoria (Ingeniero Civil). UTFSM, Departamento de Obras Civiles. Valparaíso, Chile.
- PÉREZ Espinoza, Pamela Lorena (2003). Amplificación sísmica en suelos y microzonificación de los sectores planos de Viña del Mar y Valparaíso. Memoria (Ingeniero Civil). UTFSM, Departamento de Obras Civiles. Valparaíso, Chile.
- RIVANO S., SEPÚLVEDA, P., BORIC, R. (1993). Mapa Geológico de las Hojas Quillota y Portillo (Escala 1:250.000). SERNAGEOMIN.
- SAATY, T. L. (1980). The Analytic Hierarchy Process. Nueva York, McGraw-Hill (1980).
- SAATY, T.L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. Int. J. Services Sciences, Vol. 1. P 83 – 98.
- SCHMITZ, M., ENOMOTO, T., AMPUERO, J.P., ROCABADO, V., KANTAK, P., SÁNCHEZ, J., RENDÓN, H., GONZÁLEZ, J., ABEKI, N., VILLOTTE, J.P., NAVARRO, M., DELGADO, J. (2002). Seismic Microzoning study in Chacao district, Caracas, Venezuela. En Elsevier Science Ltd. 12th European Conference on Earthquake Engineering, London.
- SEED H. B. e IDRIS I. M. (1971). Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential. En: Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division. ASCE, 97:SM9. p. 1249-1273.

- SITHARAM, T. G. y ANBAZHAGAN, P. (2008). Seismic Microzonation: Principles, Practices and Experiments. En: EJGE Special Volume Bouquet.
- SOTO, V., LEYTON, F. y MARIPANGUI, J. (2010). Consideraciones sobre la técnica de h/v en microvibraciones y resultados preliminares de mediciones en Curicó y Talca, Region del Maule. En: Congreso Chileno de sismología e ingeniería antisísmica (10ª, 2010, Valdivia, Chile).
- STÄL, F. y WESTBERG, G. (1996). Microzonation study in Managua. Manuscript of master of science thesis. Royal Institute of Technology. Stockholm (1996). 107p.
- THORSON, Robert M. (1999). La Falla "Marga-Marga". 1a. ed. Chile, UTFSM, Departamento de Obras Civiles. Valparaíso, Chile (1999).
- TOSHINAWA, T., TABER, J. y BERRILL, J. (1997). Distribution of ground motion intensity inferred from questionnaire survey, earthquake recording, and microtremor measurements – a case study in Christchurch, New Zealand, during the 1994 Arthurs Pass Earthquake. En : Bull. Seism Soc. Am. Vol. 87; p. 356 – 369.
- TSIGE, M. Y GARCÍA, I. (2006). Propuesta de clasificación geotécnica del "Efecto Sitio" (Amplificación Sísmica) de las formaciones geológicas de la Región de Murcia. Geogaceta. p. 39-42.
- VERDUGO, A. (1996). Estudio geofísico de los suelos de fundación para una zonificación sísmica de Valparaíso y Viña del Mar. Memoria (Ingeniero Civil). Universidad de Chile, Departamento de Ingeniería Civil. Santiago de Chile.

ANEXOS

A. Antecedentes generales de la ciudad de Viña del Mar

La ciudad de Viña del Mar, de acuerdo a cifras entregadas por la Secretaría Comunal de Planificación de la Municipalidad de Viña del Mar (SECPLA) y acorde al Censo 2002, se extiende en una superficie 4.915,43 Ha con una población de 286.931 habitantes (Ver Tabla 25, Tabla 26, Figura 59 y Figura 60). A su vez, la ciudad está conformada por doce sectores: Nueva Aurora, Recreo, Forestal, Chorrillos, Viña Oriente, Miraflores, Santa Inés, Plan, Achupallas, Gómez Carreño, Reñaca Alto y Reñaca.

Tabla 25: Superficie por Sector
Fuente: SECPLA Viña del Mar

N°	SECTORES	Hectáreas (HA)
1	Nueva Aurora	278,77
2	Recreo	342,33
3	Forestal	378,41
4	Chorrillos	245,32
5	Viña Oriente	440,87
6	Miraflores	419,76
7	Santa Inés	127,11
8	Plan	504,4
9	Achupallas	509,54
10	Gómez Carreño	185,37
11	Reñaca Alto	734,16
12	Reñaca	749,39
Total Comunal		4.915,43

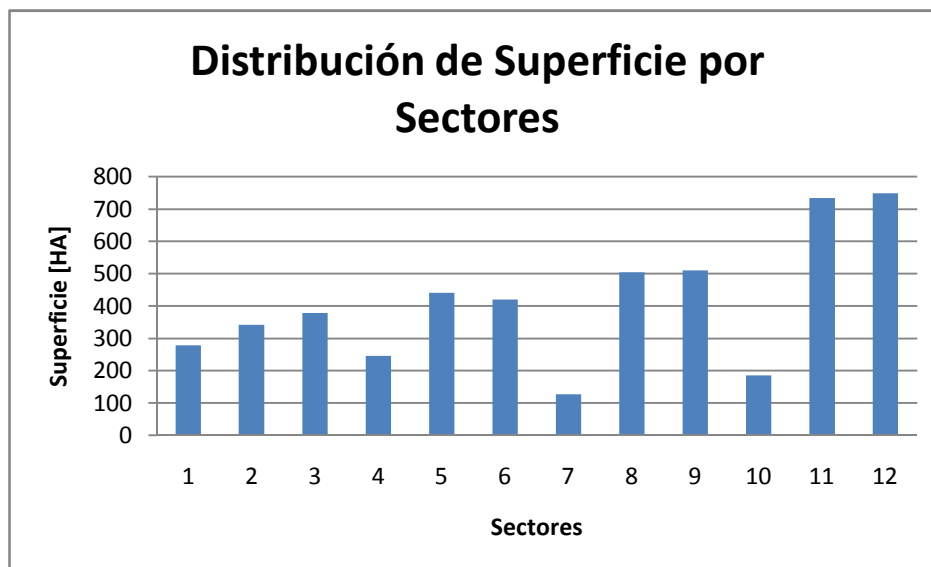


Figura 59: Distribución de Superficie por Sectores
Fuente: SECPLA Viña del Mar

Tabla 26: Población por Sector
Fuente: SECPLA Viña del Mar

N°	SECTORES	HABITANTES
1	Nueva Aurora	17.499
2	Recreo	27.514
3	Forestal	30.405
4	Chorrillos	7.654
5	Viña Oriente	26.316
6	Miraflores	27.092
7	Santa Inés	13.539
8	Plan	41.521
9	Achupallas	35.056
10	Gómez Carreño	19.504
11	Reñaca Alto	24.990
12	Reñaca	14.954
	Total Comunal	286.931

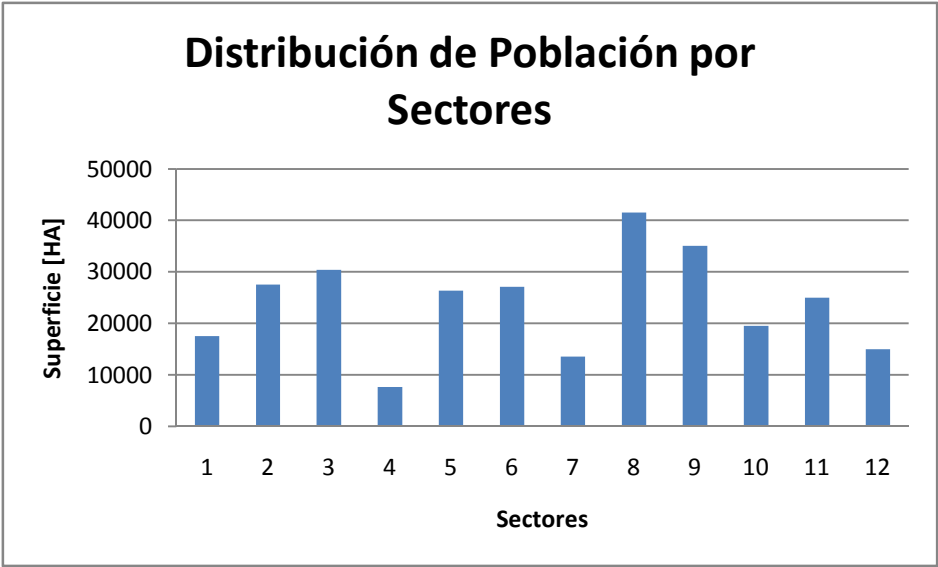


Figura 60: Distribución de Población por Sectores

Fuente: SECPLA Viña del Mar

El territorio urbano de la comuna de Viña del Mar es de carácter mixto, con excepción de las zonas industriales exclusivas. Sin embargo, la mezcla de usos que se ha ido conformando a través del tiempo es bastante heterogénea, pues existen sectores que presentan una notoria multiplicidad de usos con una variada jerarquía, en comparación a otros en donde la vivienda es predominante.

B. Encuesta de evaluación de daños

FECHA: _____

1. UBICACIÓN

CALLE : _____

DIRECCION : _____

2. TIPO DE VIVIENDA

	COMERCIO
	DEPORTE
	EDUCACIONAL
	HOTELERIA
	MUNICIPAL
	SALUD
	SERVICIO
	VIVIENDA

3. TIPO DE CONSTRUCCION

	ADOBE
	ALBAÑILERIA
	HORMIGON ARMADO
	MADERA
	MADERA Y ADOBE

4. NUMERO DE PISOS

	1 PISO
	2 PISOS
	3 PISOS

5. ESTADO INTERIOR

	DAÑO
	NO PRESENTA
	CIELO
	ENVIGADOS
	FISURA EN MUROS
	AGRIETAMIENTO EN MUROS
	MURO FUERA DE PLOMO
	MURO CAIDO

6. ESTADO EXTERIOR

	DAÑO
	NO PRESENTA
	TECHO
	FISURA EN MUROS
	AGRIETAMIENTO EN MUROS
	MURO FUERA DE PLOMO
	MURO CAIDO

7. RESUMEN DE DAÑO

	Grado 0:	Sin daños
	Grado 1:	Daños menores en estuco
	Grado 2:	Grietas horizontales en antetechos y chimeneas; grietas verticales en encuentros de muros, sin que aparezca separación; grietas finas en muros bajo el nivel del cielo
	Grado 3:	Caída de antetechos o partes de chimeneas; grietas verticales en encuentros de muros con separación, indicando desaplomo; grietas diagonales en muros bajo el nivel del cielo
	Grado 4:	Caída de un muro o parte de un muro bajo el nivel del cielo
	Grado 5:	Caída de más de un muro

C. Efectos asociados a la Intensidad Mercalli Modificada (IMM)

Tabla 27: Escala de Intensidad Mercalli Modificada

IMM	ESTRUCTURAS E INFRAESTRUCTURA	OTROS EFECTOS	ELEMENTOS DE CONSTRUCCION	PERSONAS
V			Objetos inestables se mueven o vuelcan.	De noche las personas despiertan.
VI	Grietas en algunos estucos.		Quiebre de vidrios de ventana y objetos, Desplazamiento o volcamiento de muebles.	Se atemorizan y huyen al exterior.
VII	Daños de consideración en estructuras de albañilería bien construida. Caen trozos de estuco, ladrillos, parapetos, cornisas y otros elementos arquitectónicos.	Terraplenes y taludes de arena o grava experimentan pequeños deslizamientos o hundimientos. Se dañan canales de hormigón de regadío.	Objetos colgantes se estremecen. Se dañan los muebles.	Dificultad para mantenerse en pie.
VIII	Daños de consideración y aun derrumbe parcial en estructuras de albañilería bien construidas. En estructuras bien proyectadas y construidas solo se producen daños leves, caen murallas de albañilería, chimeneas, monumentos, columnas y estanques elevados.	Aparecen grietas en el suelo húmedo especialmente en la superficie de pendientes escarpadas.		Difícil manejo de vehículos.
IX	Estructuras de albañilería mal proyectadas o construidas se destruyen. Estructuras corrientes de albañilería bien construidas se dañan y a veces se derrumban totalmente. Estructuras de albañilería bien construidas se dañan seriamente. Se dañan cimientos, daños de consideración en depósitos de agua, gas, etc. Quiebre de tuberías subterráneas.	Aparecen grietas aun en suelos secos en regiones aluviales, pequeñas cantidades de lodo y arena son expeditas del suelo.		Se produce pánico general.
X	Destrucción de gran parte de estructuras de albañilería de toda especie, cimientos de estructuras de madera, estructuras de madera bien construida incluyendo puentes. Grandes daños en represas, diques, malecones, rieles de vías férreas quedan ligeramente deformados.	Grandes desplazamientos del terreno en los taludes. Aguas de los canales y ríos salen proyectadas hacia las riberas. Cantidades apreciables de lodo y arena se desplazan horizontalmente sobre playas y terrenos planos.		

D. Resultados estadísticos de encuestas realizadas

Utilizando el Software de estadística *SPSS V18*, se procedió a analizar la información recopilada del catastro de daño y mediante un análisis descriptivo de frecuencia se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 28: Tabla de frecuencia de viviendas encuestadas por sector

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje acumulado
Válidos	ACHUPALLAS	119	12,8	12,8
	CHORRILLOS	17	1,8	14,6
	FORESTAL	49	5,3	19,8
	GOMEZ CARREÑO	86	9,2	29,0
	MIRAFLORES	113	12,1	41,2
	PLAN	216	23,2	64,3
	RECREO	94	10,1	74,4
	REÑACA	87	9,3	83,7
	REÑACA ALTO	77	8,3	92,0
	SANTA INES	29	3,1	95,1
	VIÑA ORIENTE	46	4,9	100,0
	Total	933	100,0	

Tabla 29: Tabla de frecuencia del tipo de vivienda encuestada

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje acumulado
Válidos	COMERCIO	69	7,4	7,4
	DEPORTE	1	,1	7,5
	EDUCACIONAL	17	1,8	9,3
	HOTELERIA	18	1,9	11,3
	MUNICIPAL	7	,8	12,0
	SALUD	5	,5	12,5
	SERVICIO	26	2,8	15,3
	VIVIENDA	790	84,7	100,0
	Total	933	100,0	

Tabla 30: Tabla de frecuencia del tipo de construcción encuestado

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje acumulado
Válidos	ALBAÑILERIA	552	59,2	59,2
	HORMIGON ARMADO	101	10,8	70,0
	MADERA	124	13,3	83,3
	MADERA Y ADOBE	156	16,7	100,0
	Total	933	100,0	

Tabla 31: Tabla de frecuencia del número de pisos encuestado

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje acumulado
Válidos 1	462	49,5	49,5
2	422	45,2	94,7
3	49	5,3	100,0
Total	933	100,0	

Tabla 32: Tabla de frecuencia del grado de daño observado

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje acumulado
Válidos 0	493	52,8	52,8
1	265	28,4	81,2
2	117	12,5	93,8
3	51	5,5	99,2
4	7	,8	100,0
Total	933	100,0	

Tabla 33: Tabla de frecuencia del tipo de estructura encuestada

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje acumulado
Válidos A	156	16,7	16,7
B	552	59,2	75,9
C	225	24,1	100,0
Total	933	100,0	

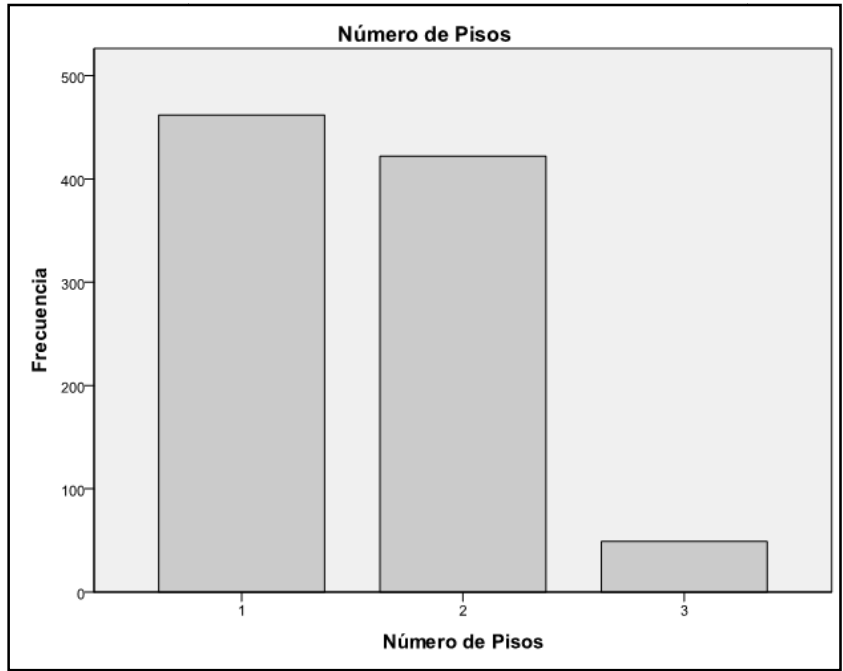


Figura 61: Histograma del Número de pisos de viviendas encuestadas

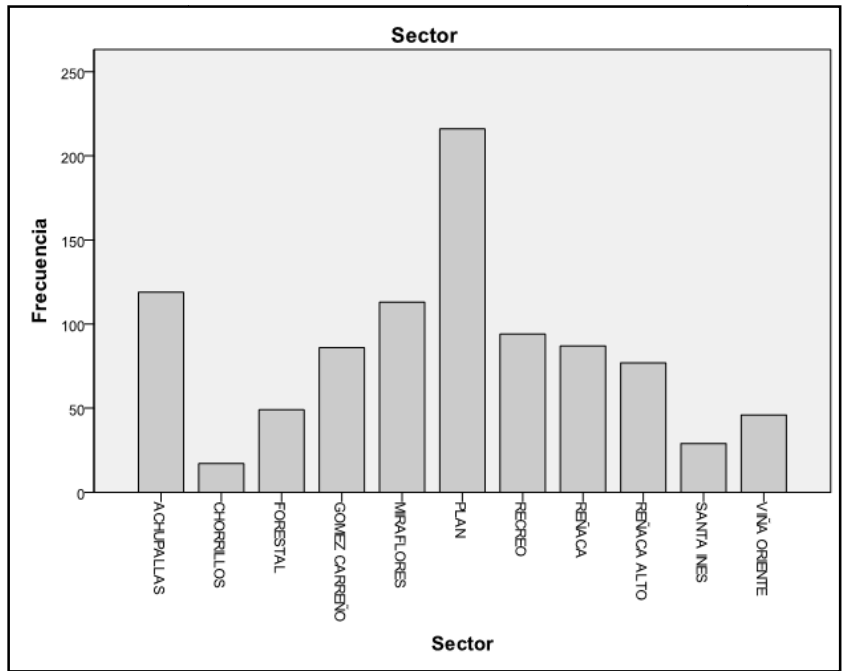


Figura 62: Histograma de Sectores encuestados

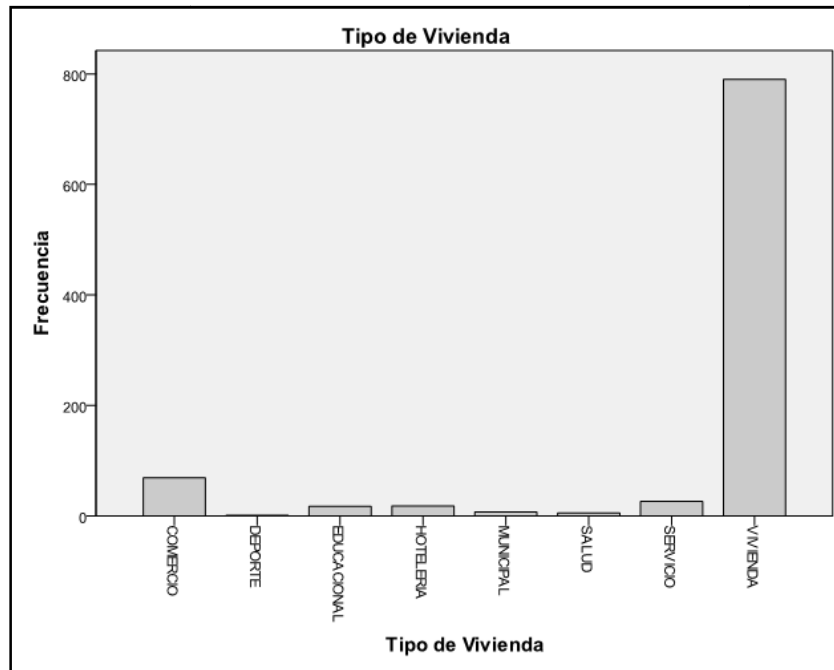


Figura 63: Histograma del Tipo de viviendas encuestadas

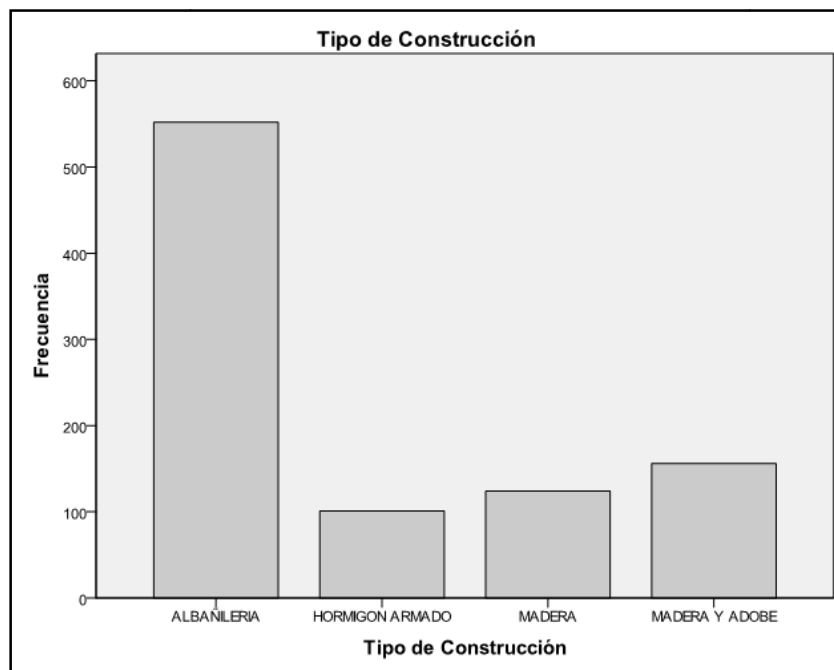


Figura 64: Histograma del Tipo de construcción de viviendas encuestadas

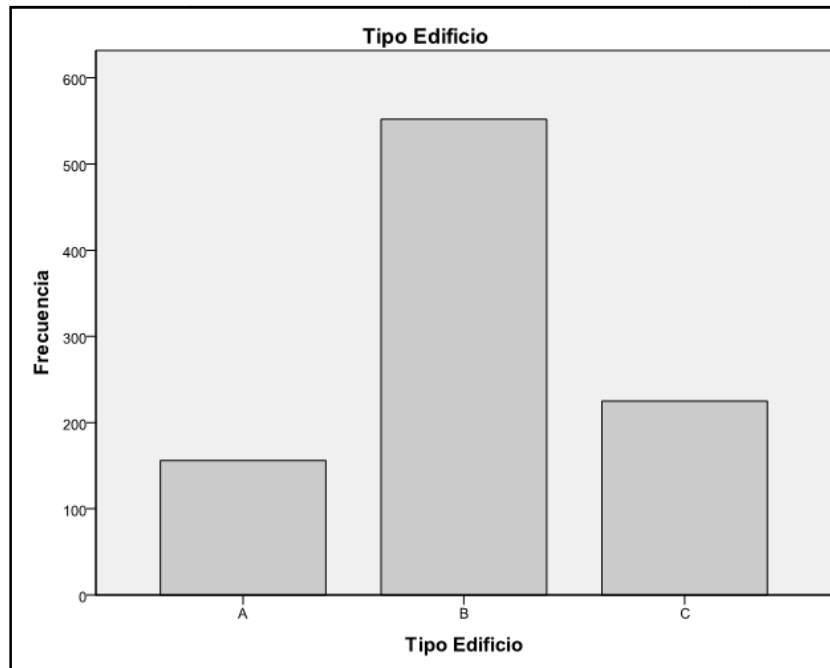


Figura 65: Histograma del Tipo de edificios encuestados

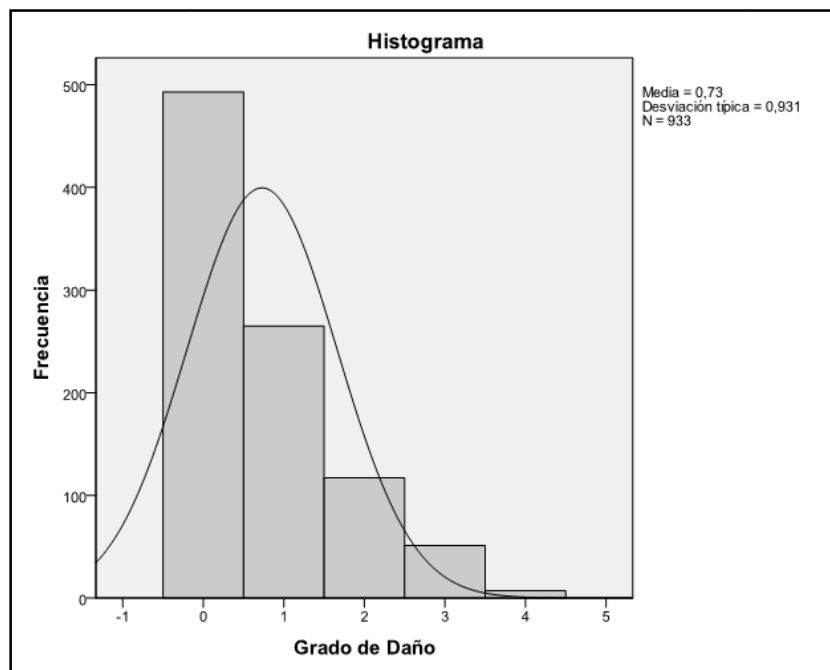


Figura 66: Histograma del Grado de daño de viviendas encuestadas

Tabla 34: Tabla de contingencia Sector v/s Tipo de construcción

Recuento	Tipo de Construcción				Total
	ALBAÑILERIA	HORMIGON ARMADO	MADERA	MADERA Y ADOBE	
SECTOR ACHUPALLAS	72	1	44	2	119
CHORRILLOS	7	4	0	6	17
FORESTAL	25	5	10	9	49
GOMEZ CARREÑO	80	4	1	1	86
MIRAFLORES	81	7	19	6	113
PLAN	74	28	12	102	216
RECREO	40	18	12	24	94
REÑACA	45	31	11	0	87
REÑACA ALTO	65	0	12	0	77
SANTA INES	17	3	3	6	29
VIÑA ORIENTE	46	0	0	0	46
Total	552	101	124	156	933

Tabla 35: Tabla de contingencia Sector v/s Tipo de edificio

Recuento	Tipo de Edificio			Total
	A	B	C	
SECTOR ACHUPALLAS	2	72	45	119
CHORRILLOS	6	7	4	17
FORESTAL	9	25	15	49
GOMEZ CARREÑO	1	80	5	86
MIRAFLORES	6	81	26	113
PLAN	102	74	40	216
RECREO	24	40	30	94
REÑACA	0	45	42	87
REÑACA ALTO	0	65	12	77
SANTA INES	6	17	6	29
VIÑA ORIENTE	0	46	0	46
Total	156	552	225	933

Tabla 36: Tabla de contingencia Sector v/s Grado promedio de daño

SECTOR	Grado de Daño	
	Desviación típica	Media
ACHUPALLAS	(,57)	,38
CHORRILLOS	(1,29)	1,18
FORESTAL	(,82)	,69
GOMEZ CARREÑO	(,50)	,34
MIRAFLORES	(,79)	,45
PLAN	(1,08)	1,56
RECRO	(,92)	,71
REÑACA	(,45)	,23
REÑACA ALTO	(,46)	,30
SANTA INES	(,74)	,76
VIÑA ORIENTE	(,66)	,72

Tabla 37: Tabla de contingencia Tipo de edificio v/s Grado de daño

		Grado de Daño					Total
		0	1	2	3	4	
Tipo de Edificio	A	10	40	59	41	6	156
	B	341	165	39	6	1	552
	C	142	60	19	4	0	225
Total		493	265	117	51	7	933

Tabla 38: Tabla de contingencia Tipo de edificio v/s Grado promedio de daño

		Grado de Daño	
		Desviación típica	Media
Tipo de Edificio	A	(,97)	1,96
	B	(,69)	,48
	C	(,73)	,49

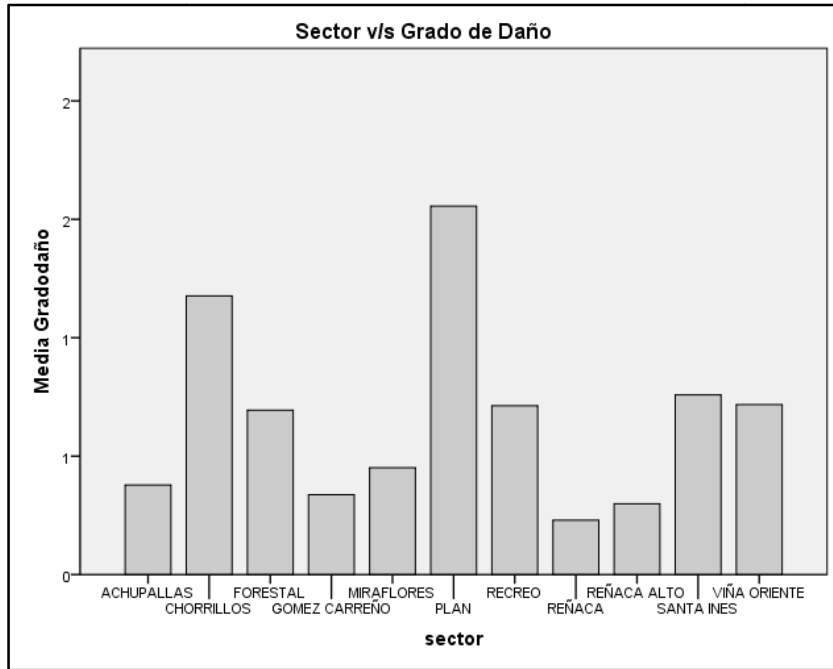


Figura 67: Gráfico Sector v/s Grado de daño observado

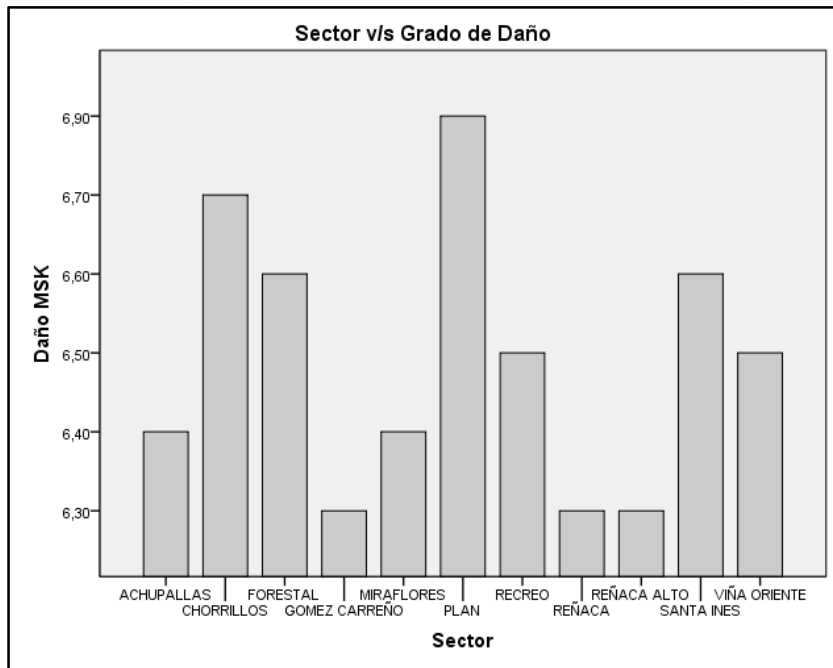


Figura 68: Gráfico Sector v/s Intensidad de daño MSK

F. Resumen método Kriging Exponencial

Tabla 39: Resumen método de interpolación Kriging para Intensidades MSK

Método	Kriging
Tipo	Ordinario
Tipo de Salida	Predicción
Tipo de Tendencia	Constante
Tendencia Exploratoria del Análisis Espacial	100
Búsqueda de vecinos	Estándar
Ancho de Banda	0,0049999
Función Kernel	Exponencial
Tipo de Sector	Cuatro y a 45°
Función de Regresión	$0,7789877 * x + 1,4104558$
Muestras	168 de 168
Media	0,0002536
Raíz cuadrada de media	0,1813656
Media estandarizada	0,0056057
Raíz cuadrada estandarizada de media	5,479917
Promedio estandar del error	0,0328607

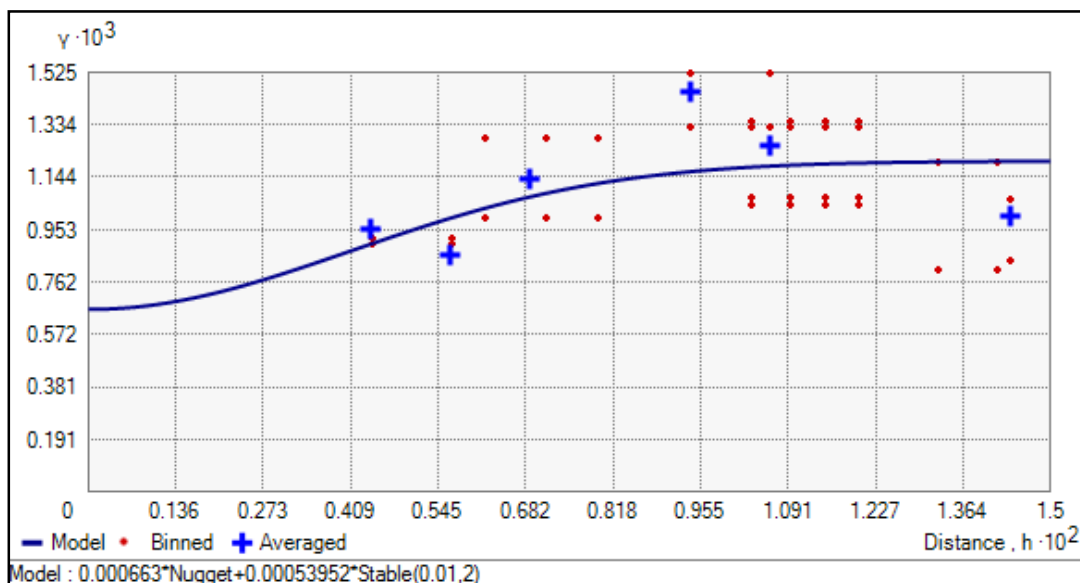


Figura 70: Semivariograma de análisis Kriging para Intensidades MSK

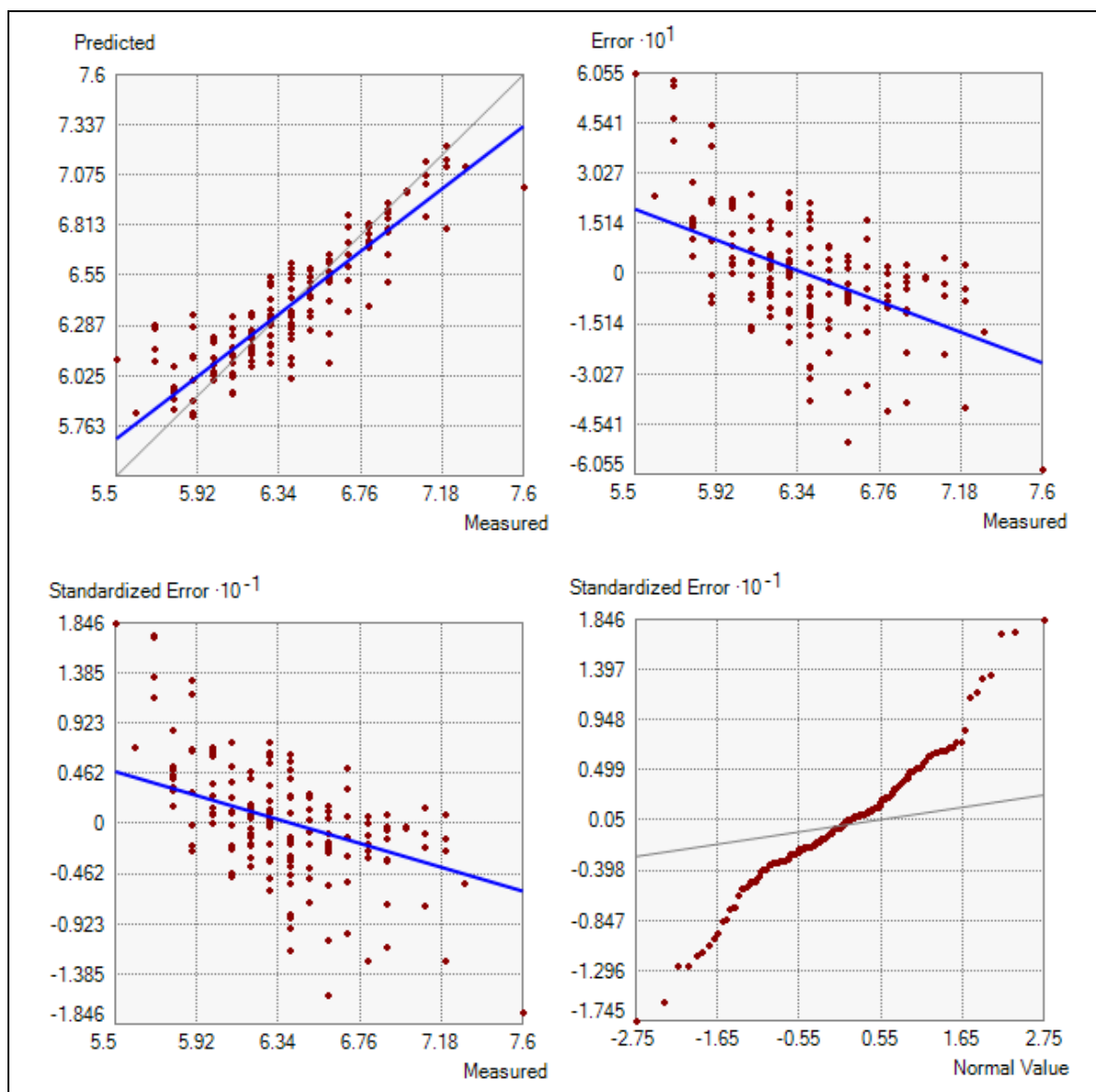


Figura 71: Errores de predicción análisis Kriging para Intensidades MSK

G. Ensayos de Penetración Estándar S.P.T

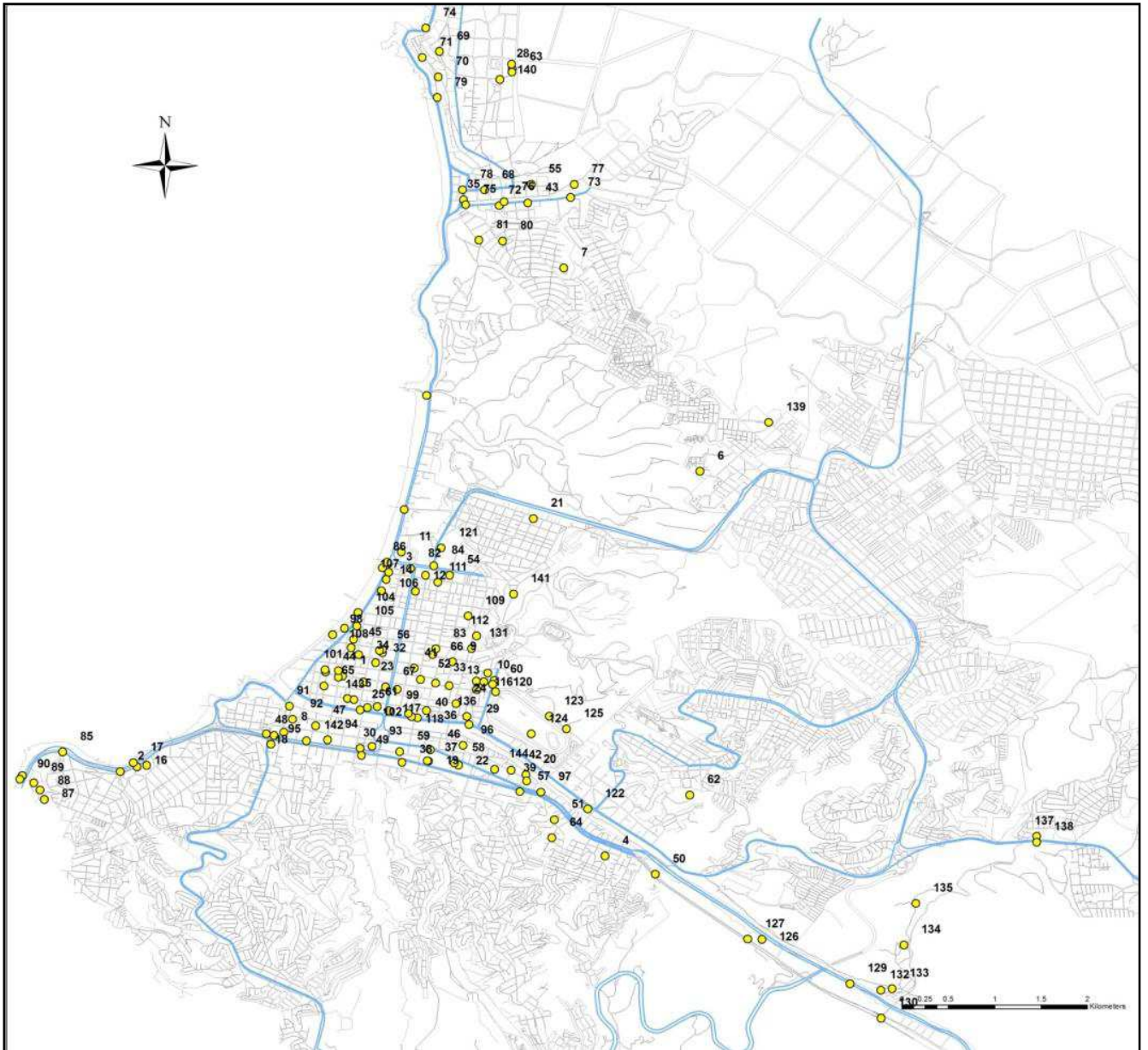
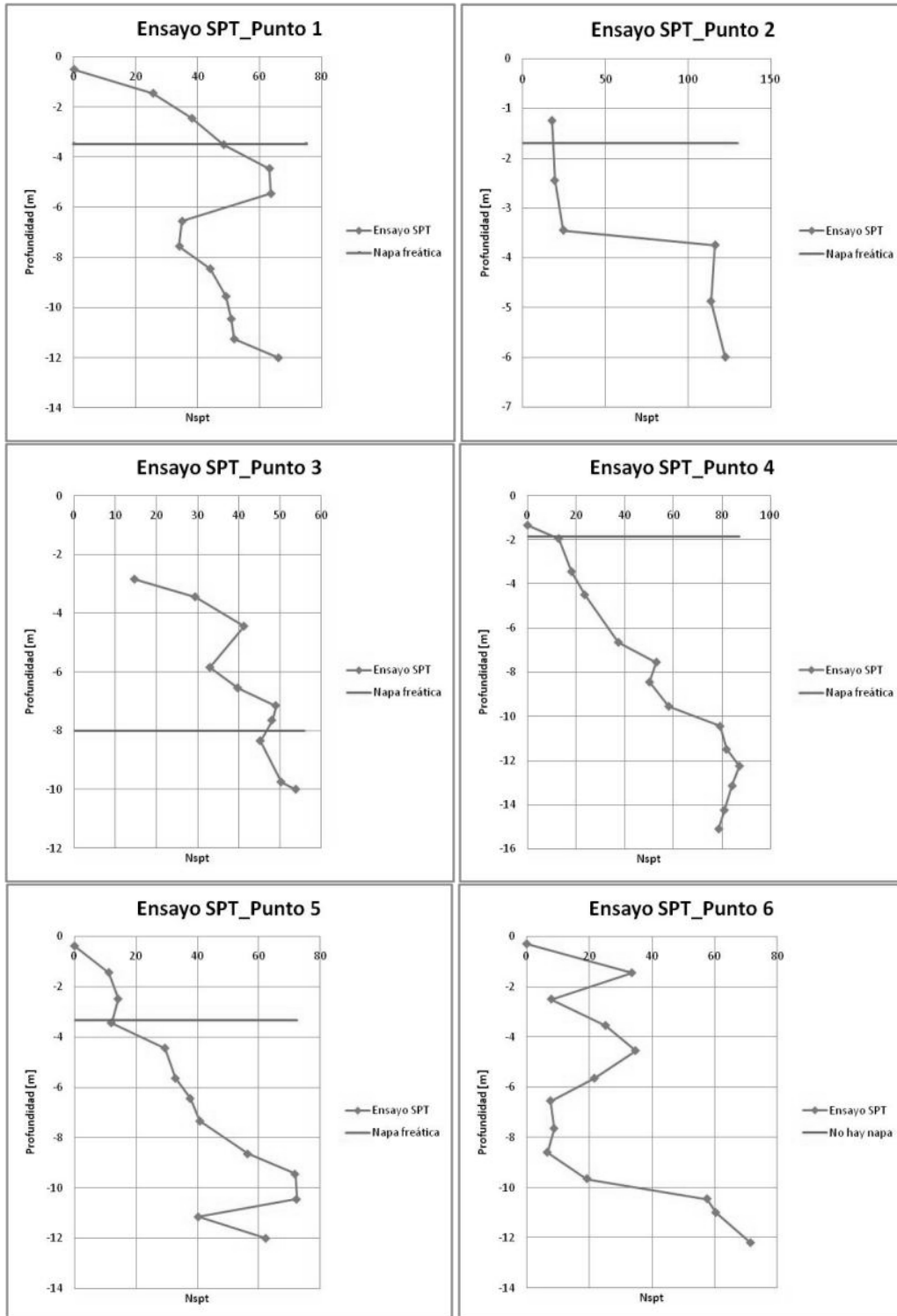
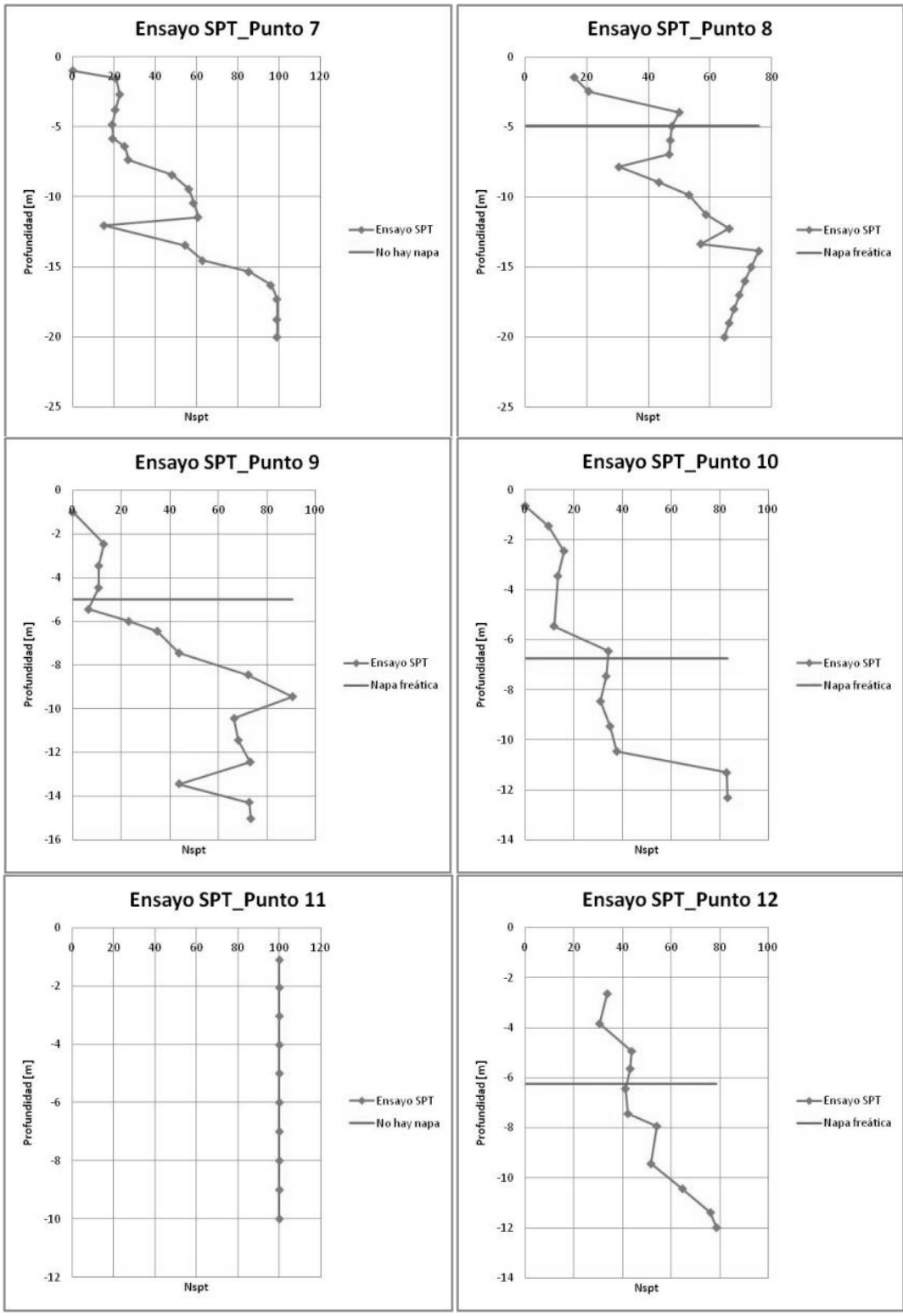
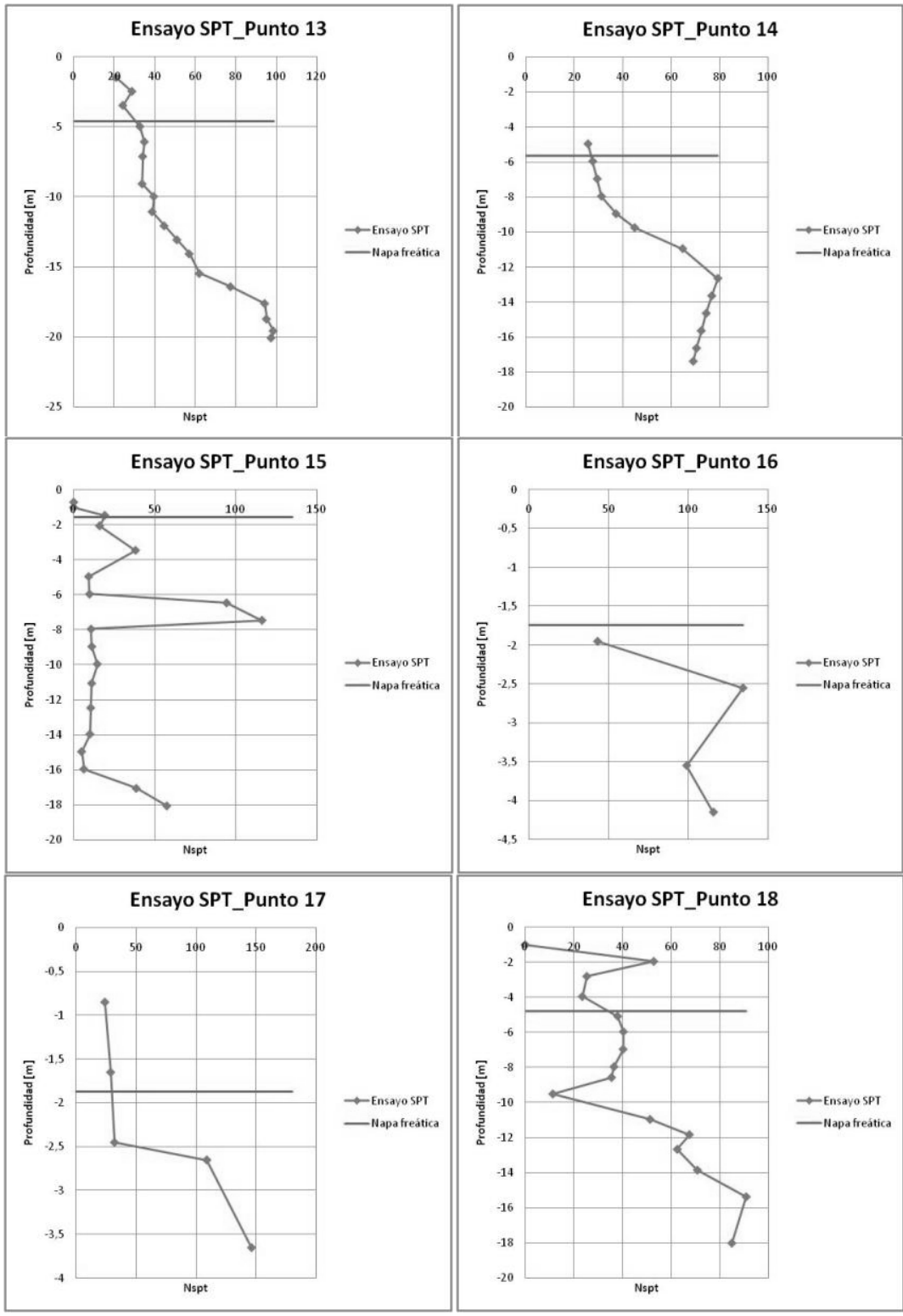


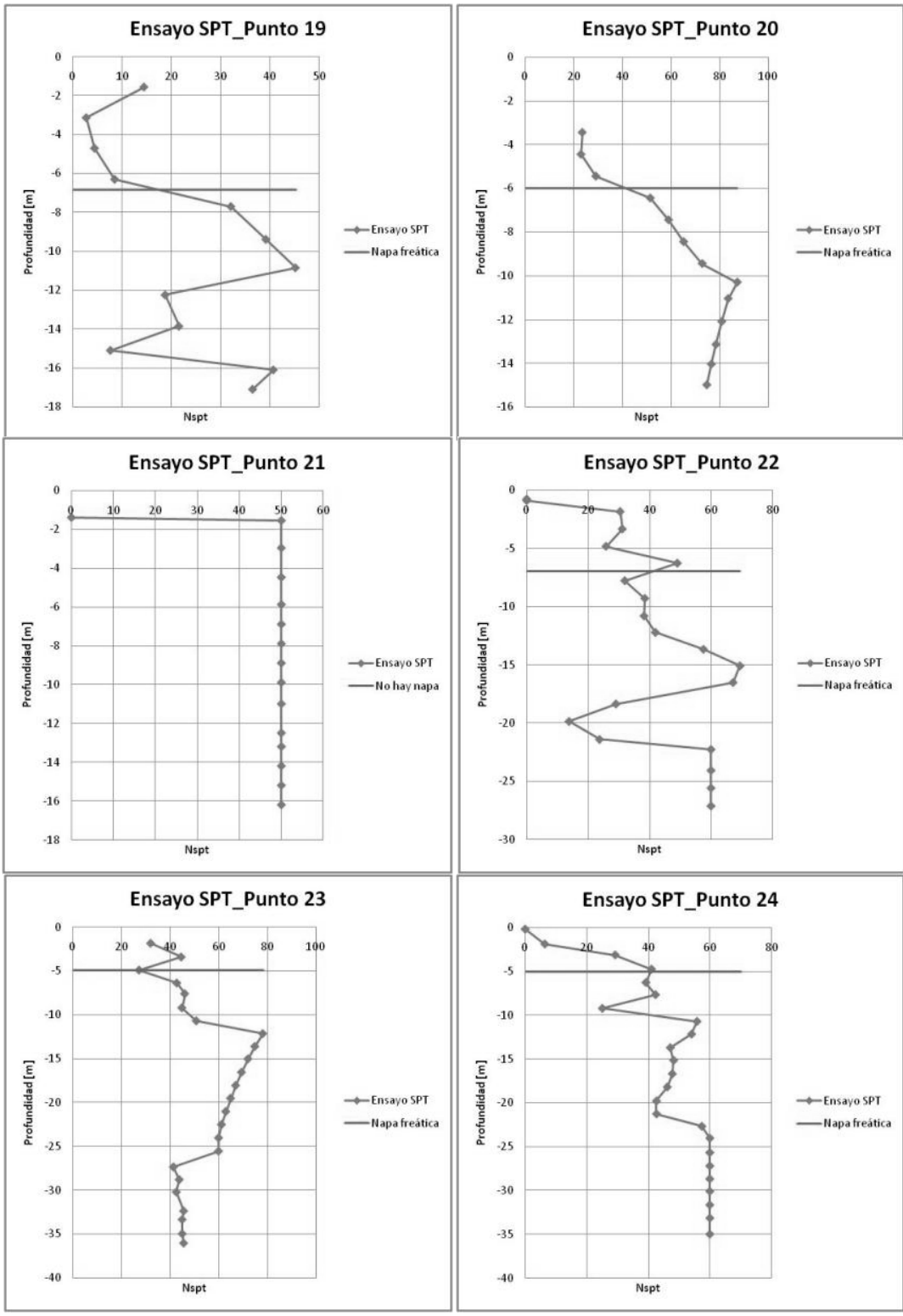
Figura 72: Ubicación Sondajes SPT

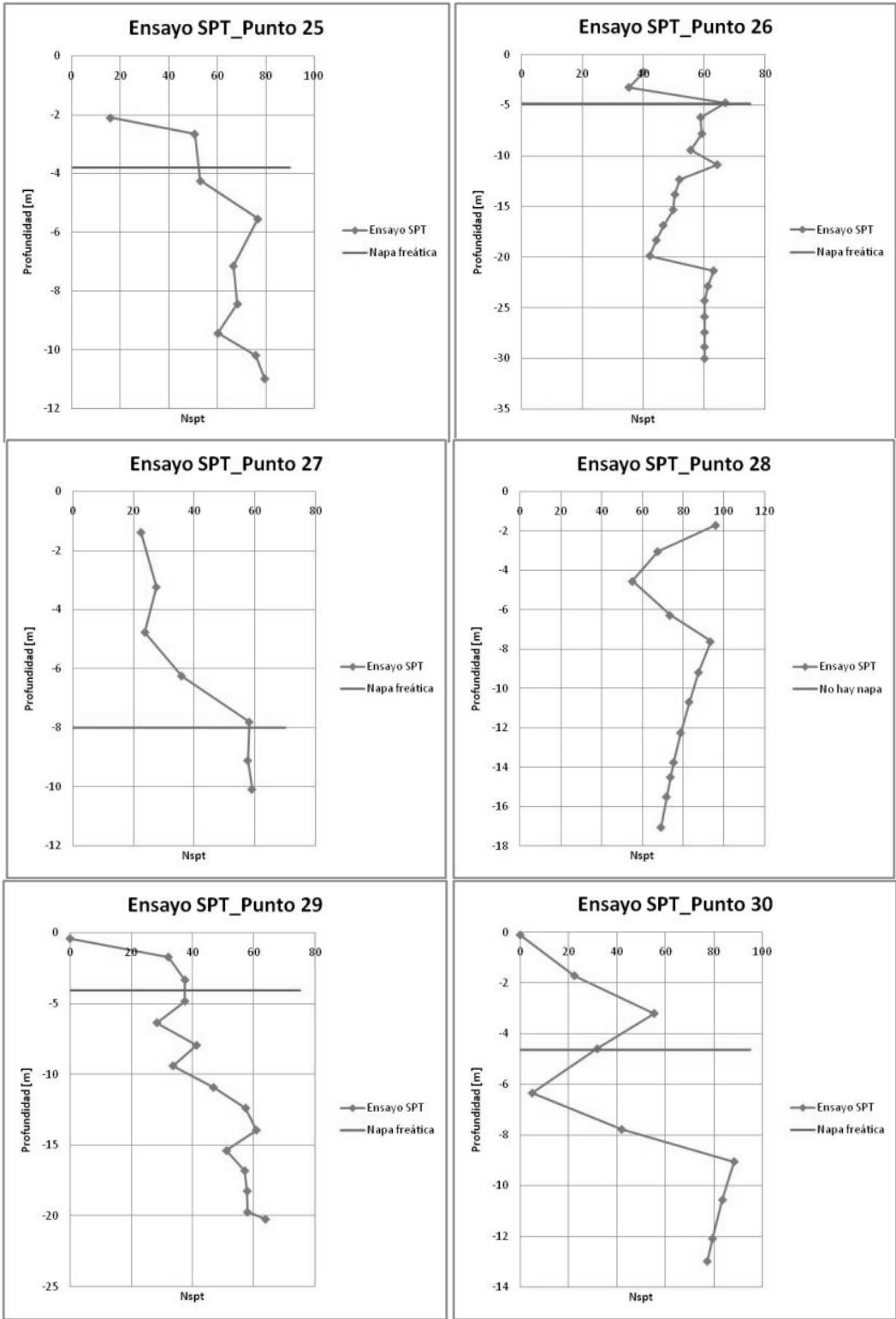
A continuación se presentan los gráficos de los respectivos ensayos S.P.T recopilados:

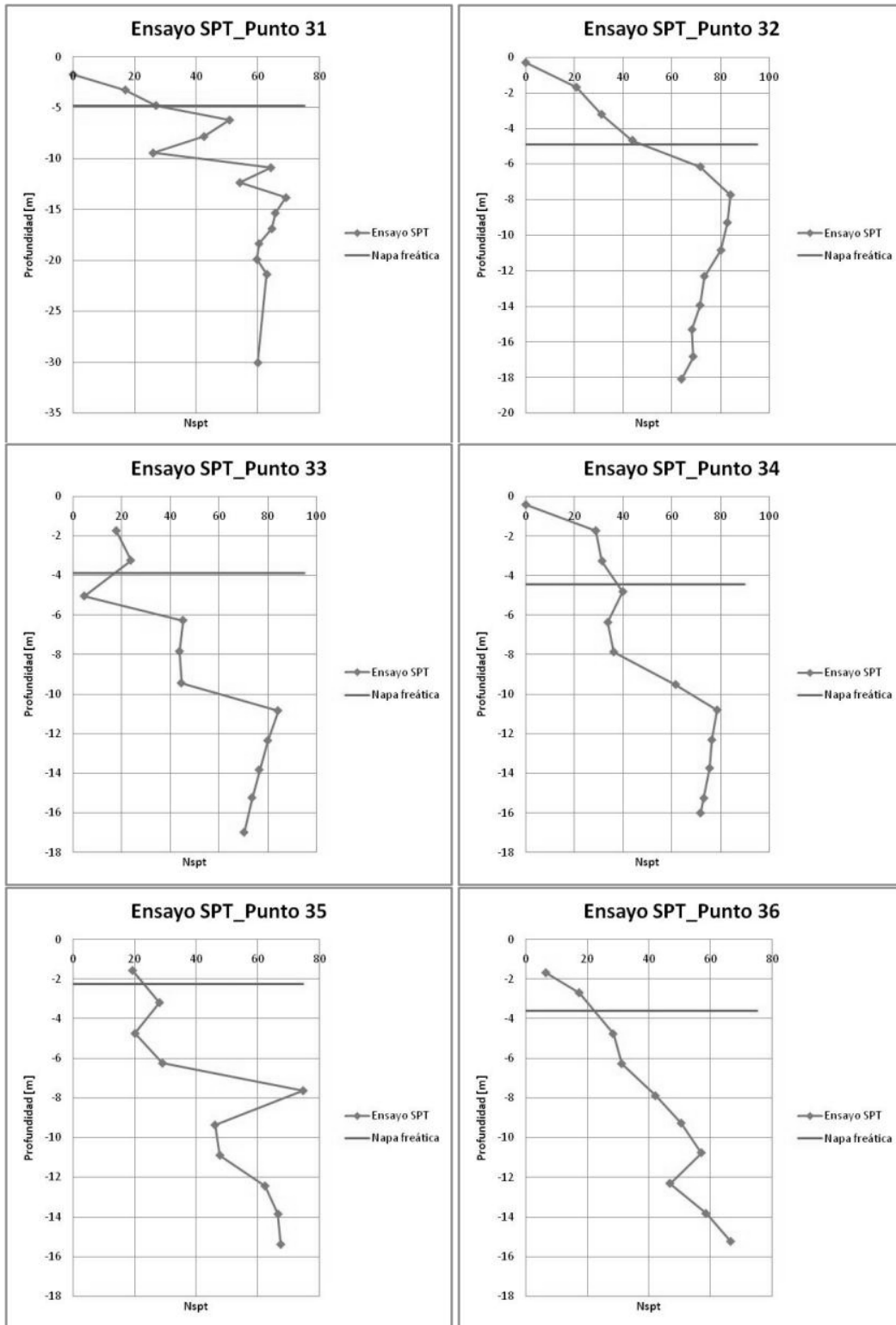


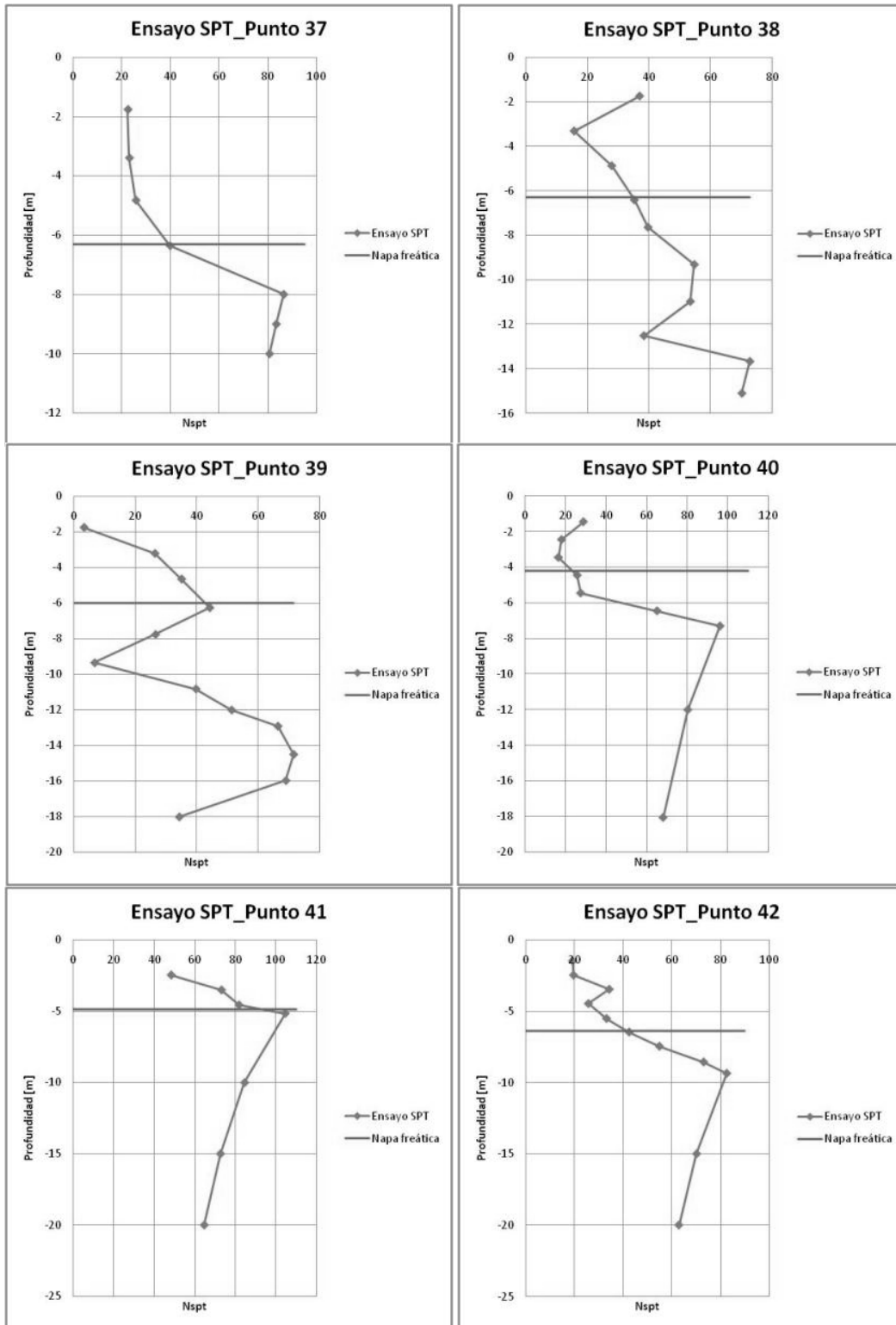


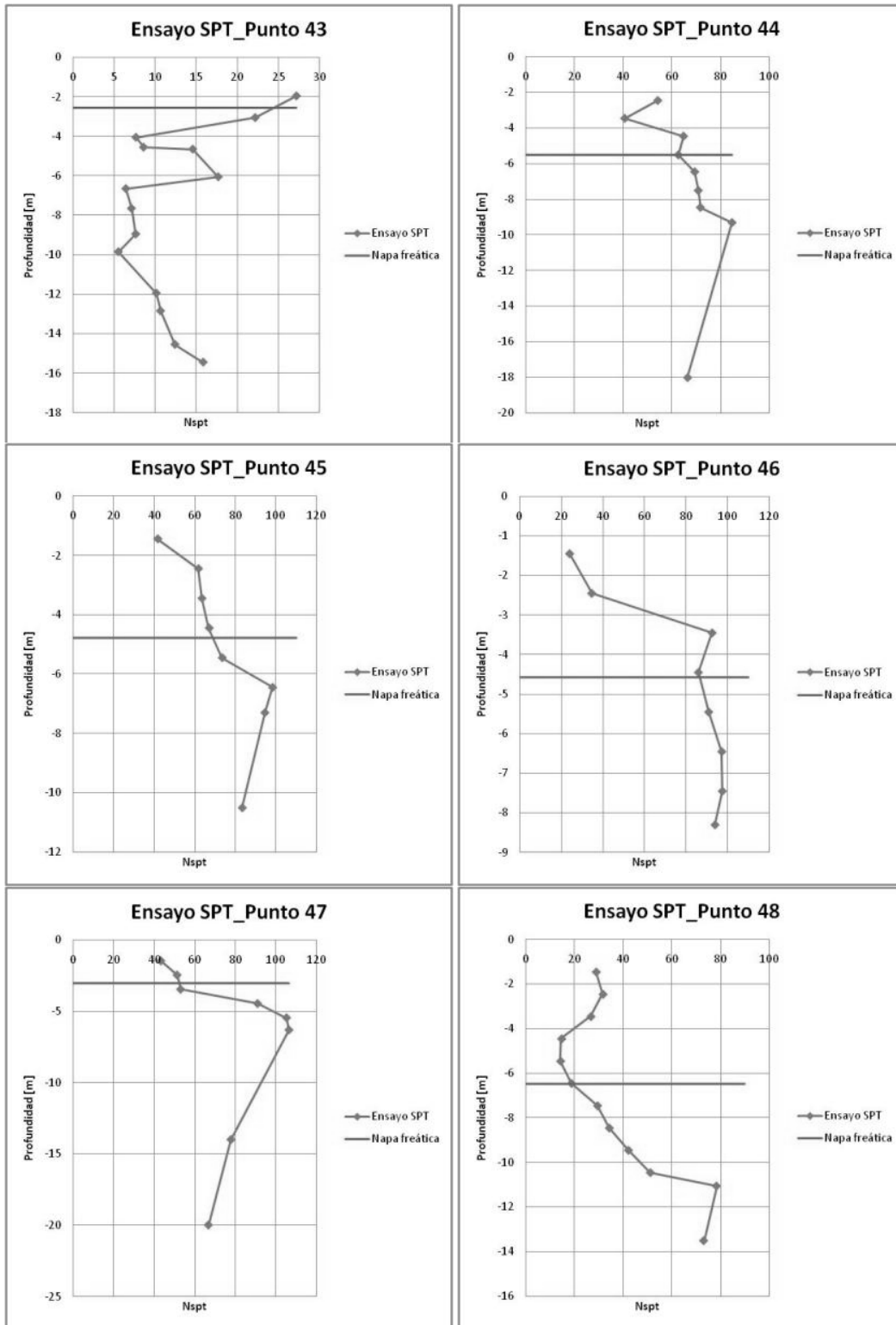


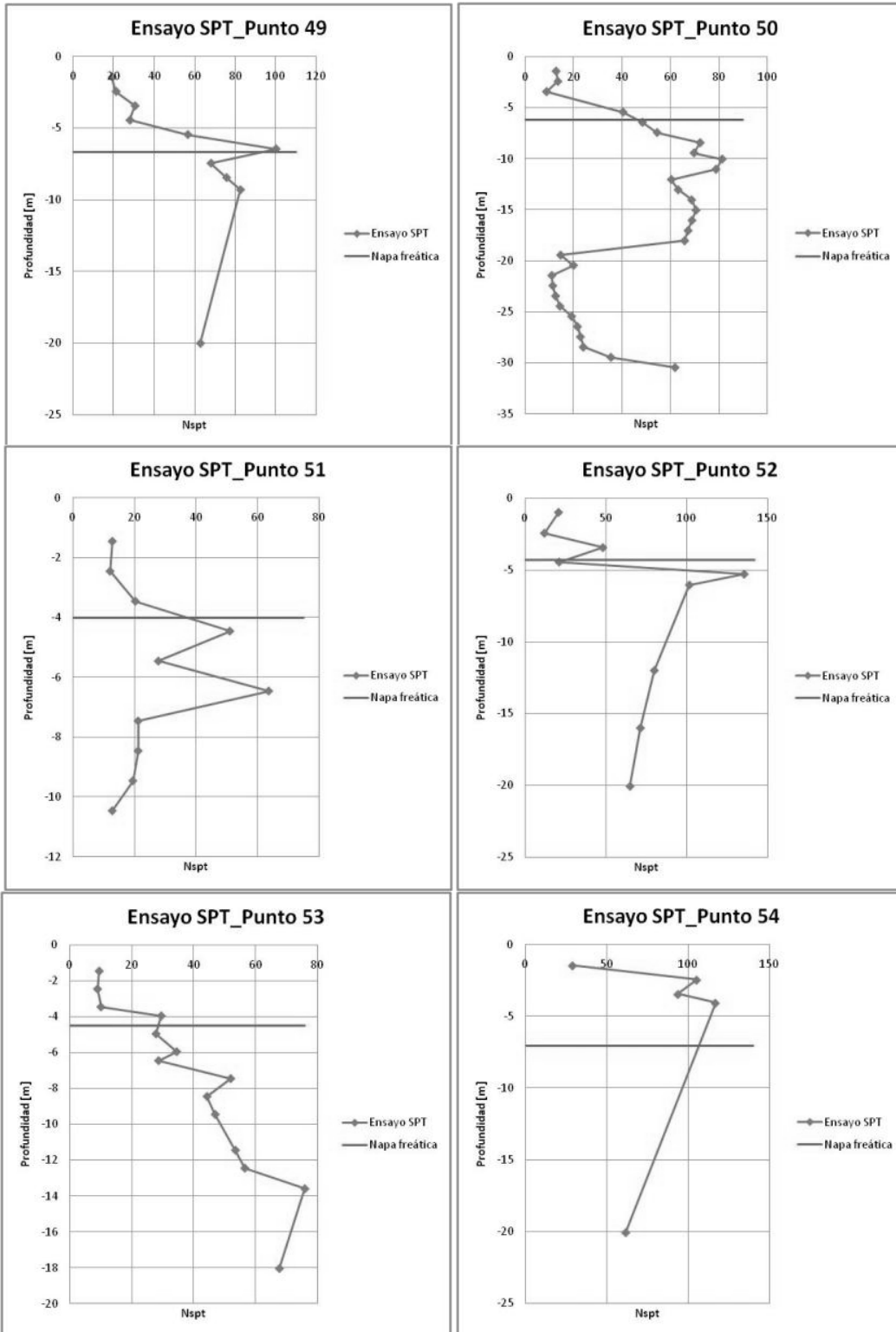


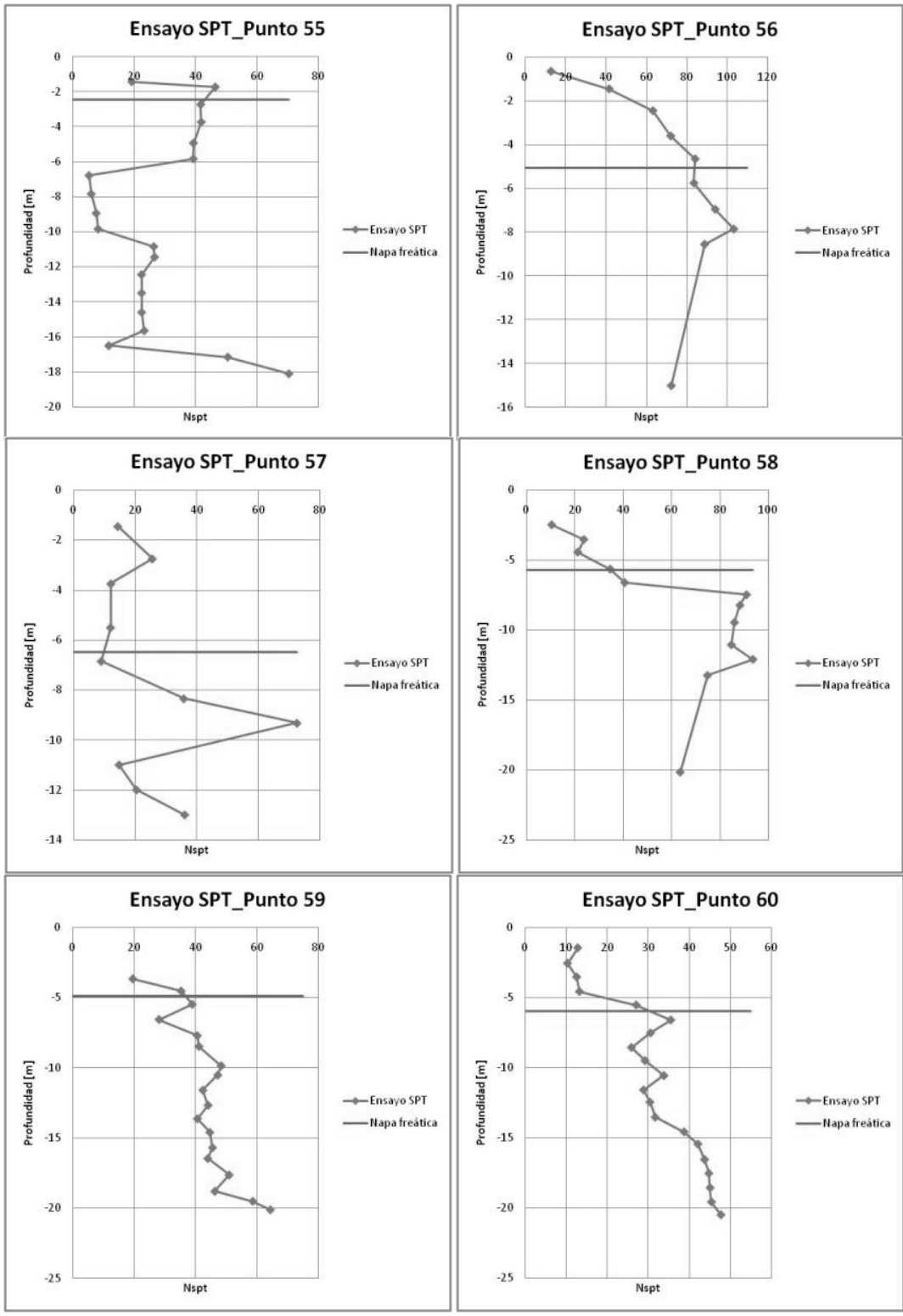


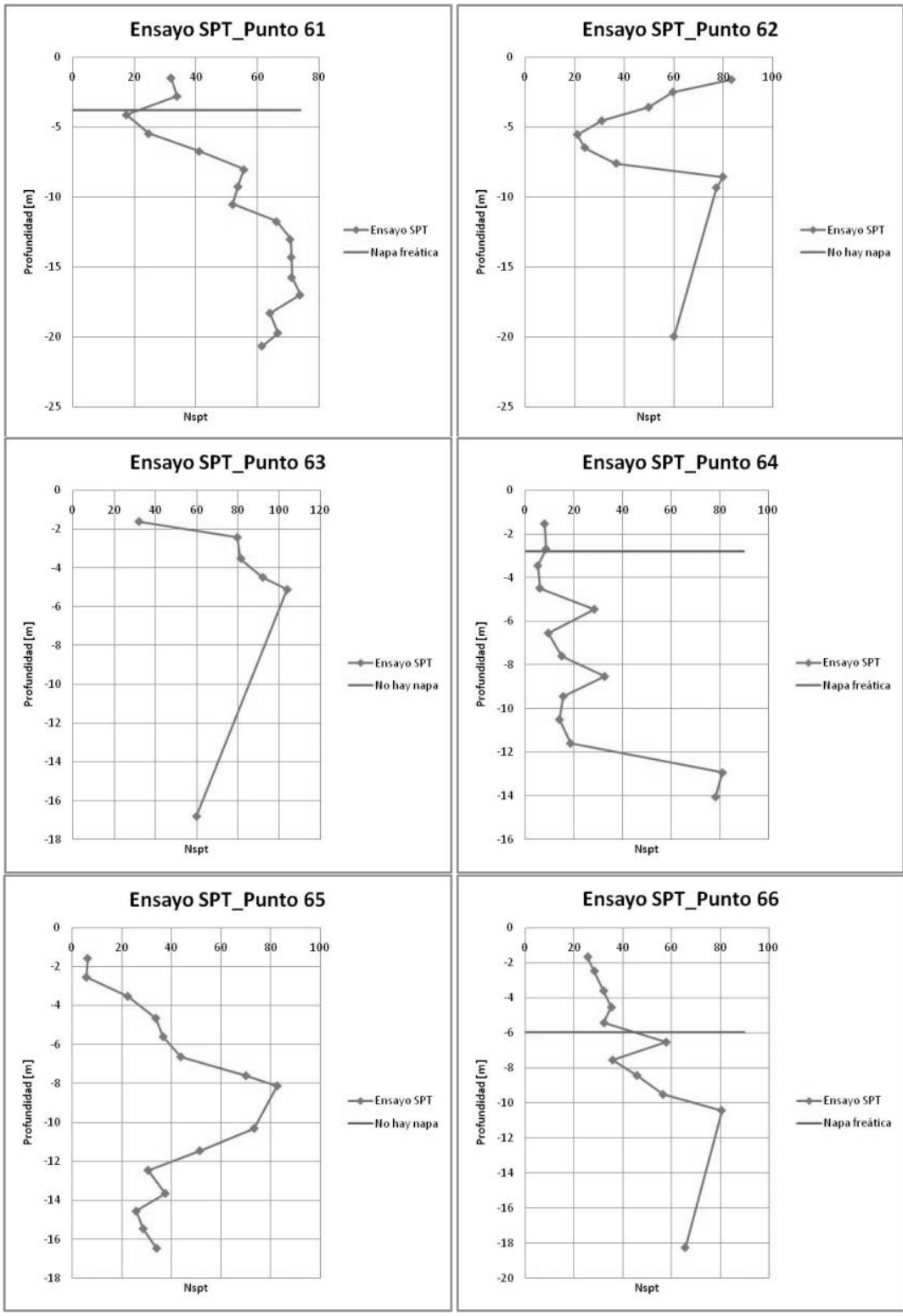


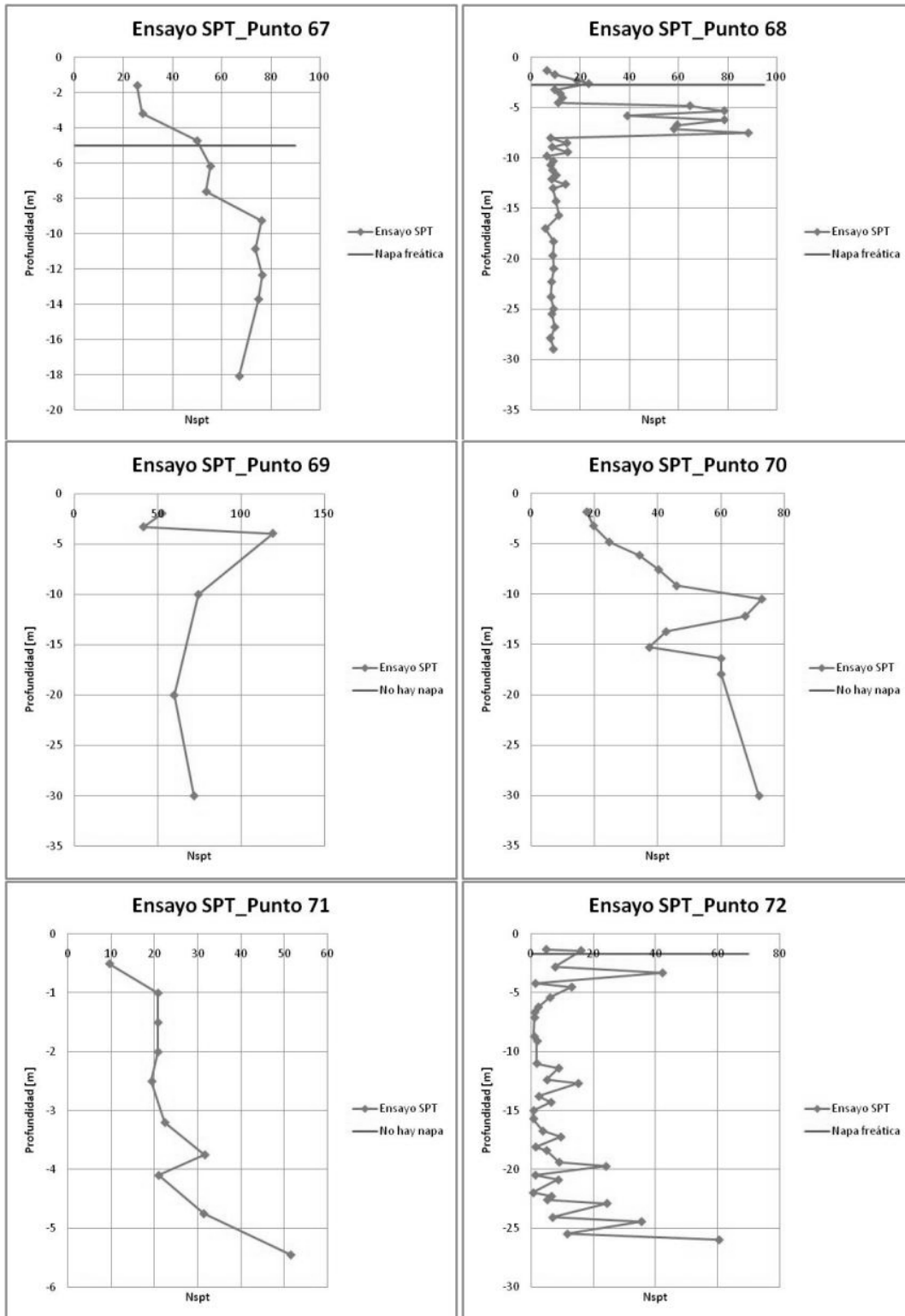


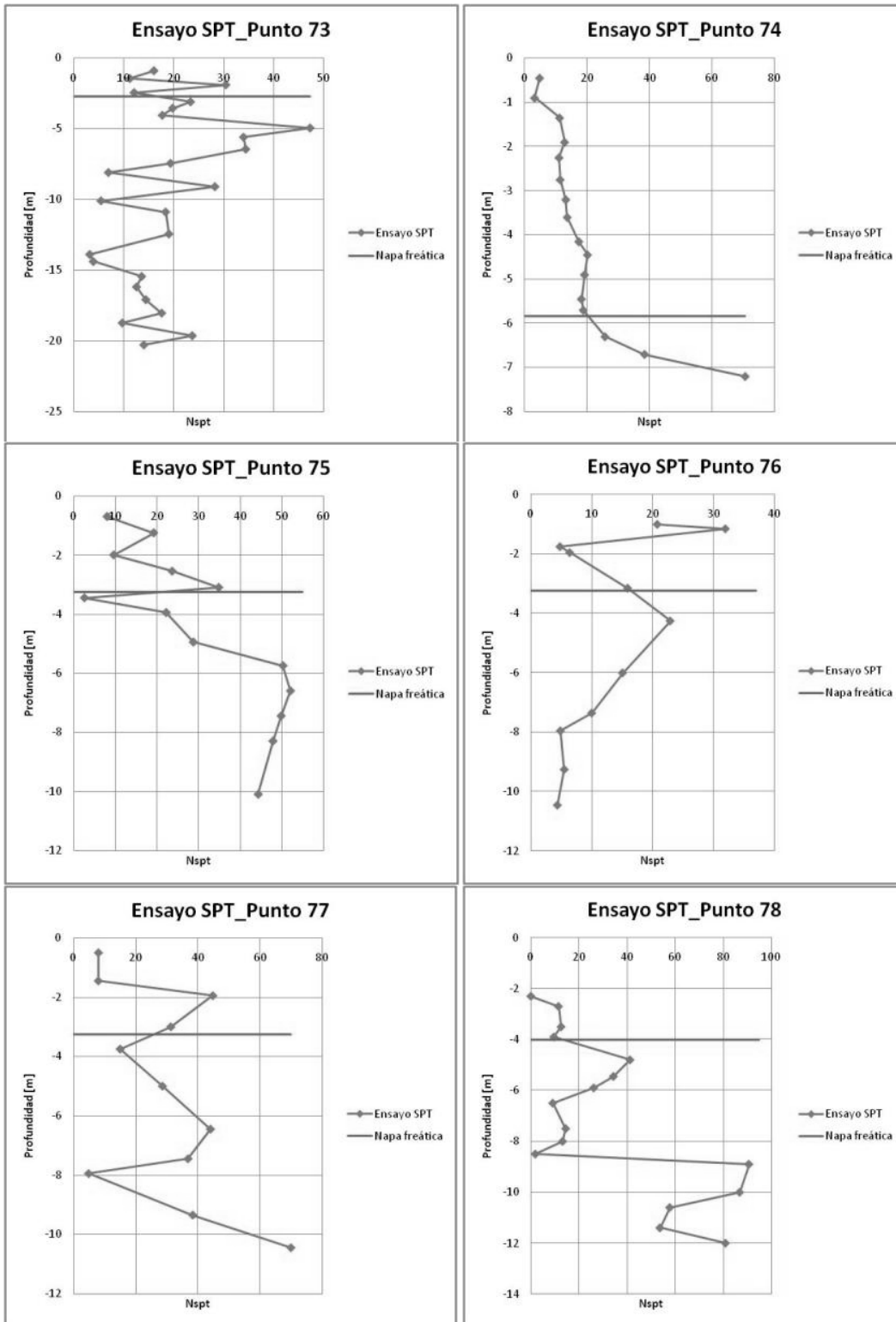


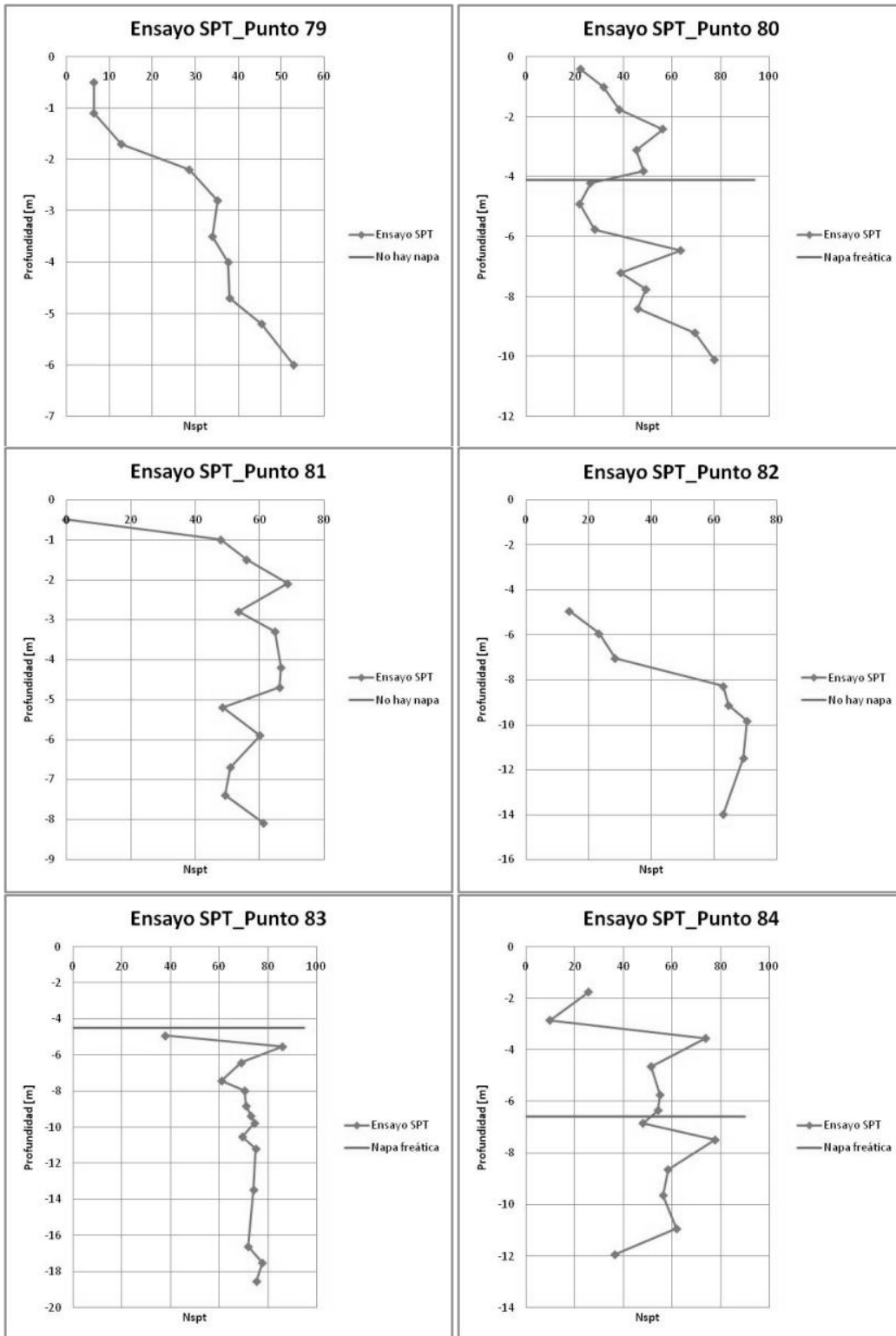


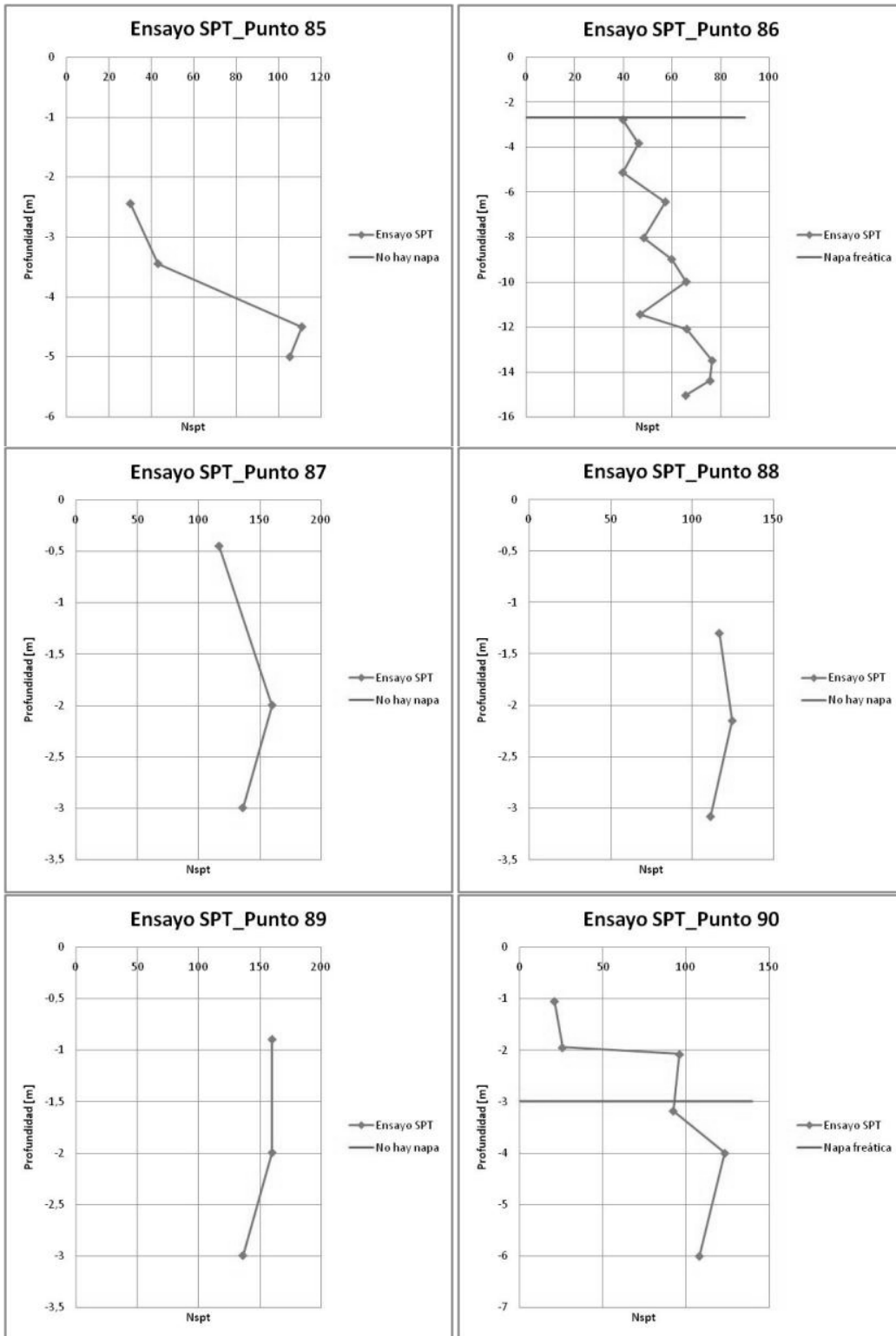


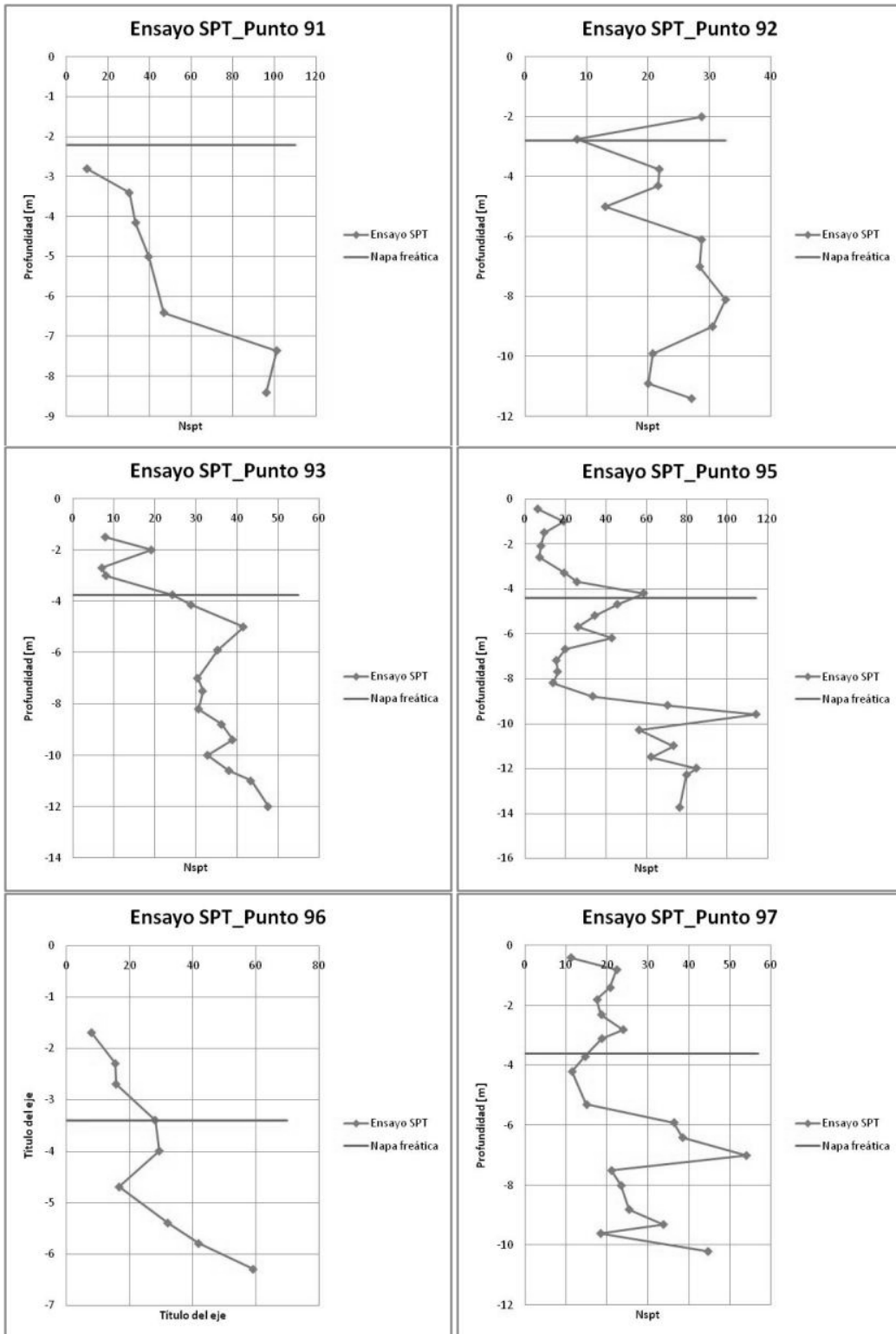


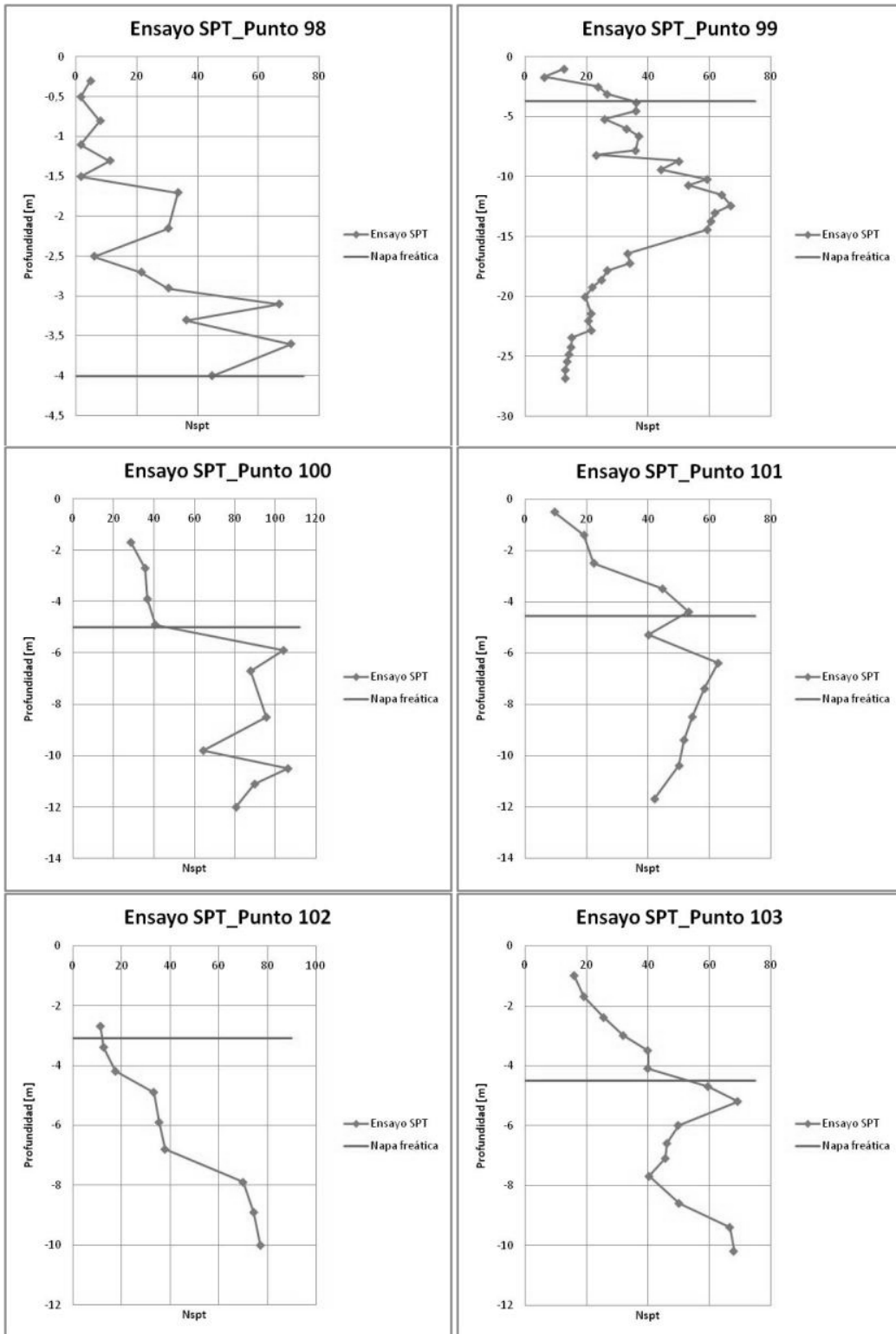


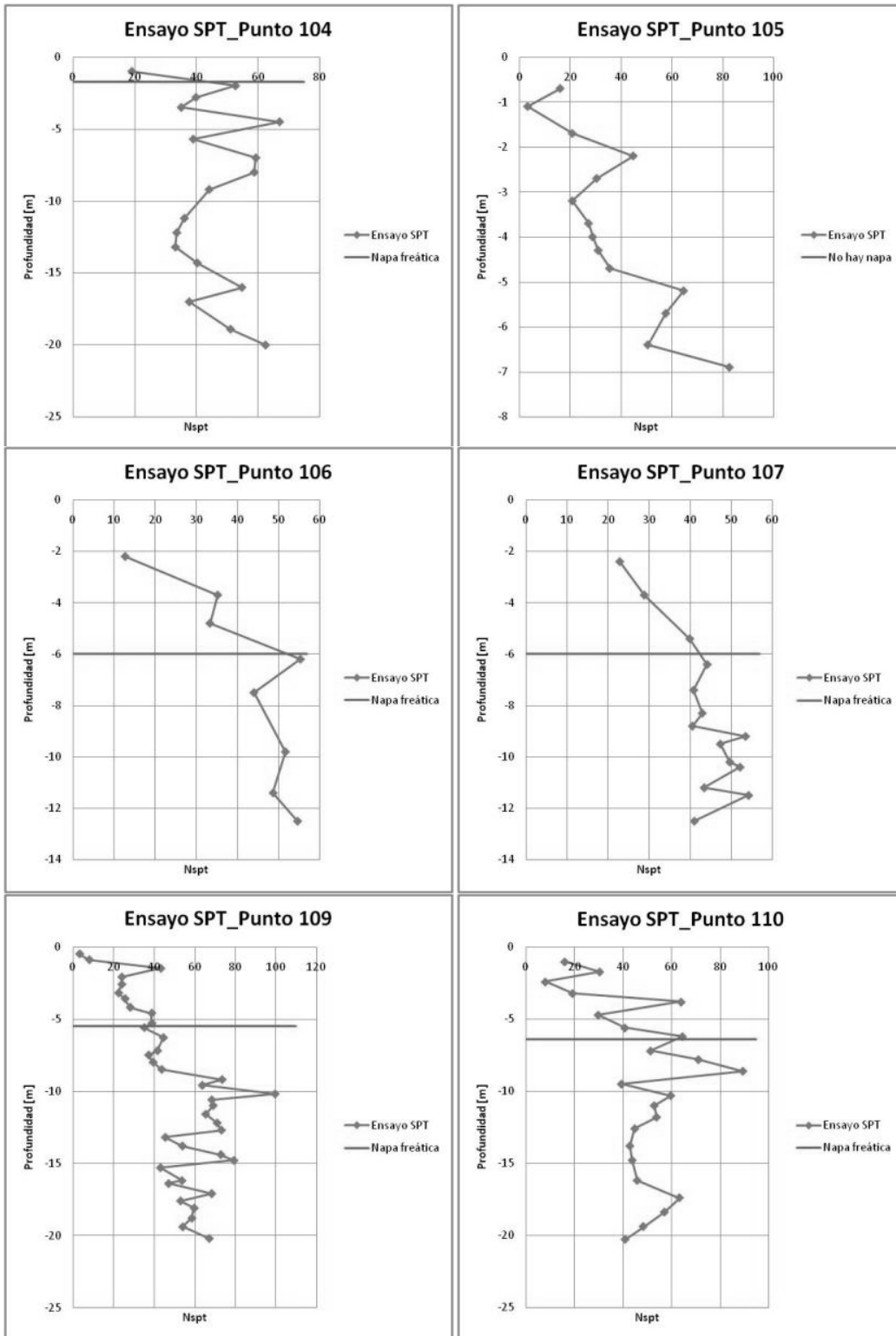


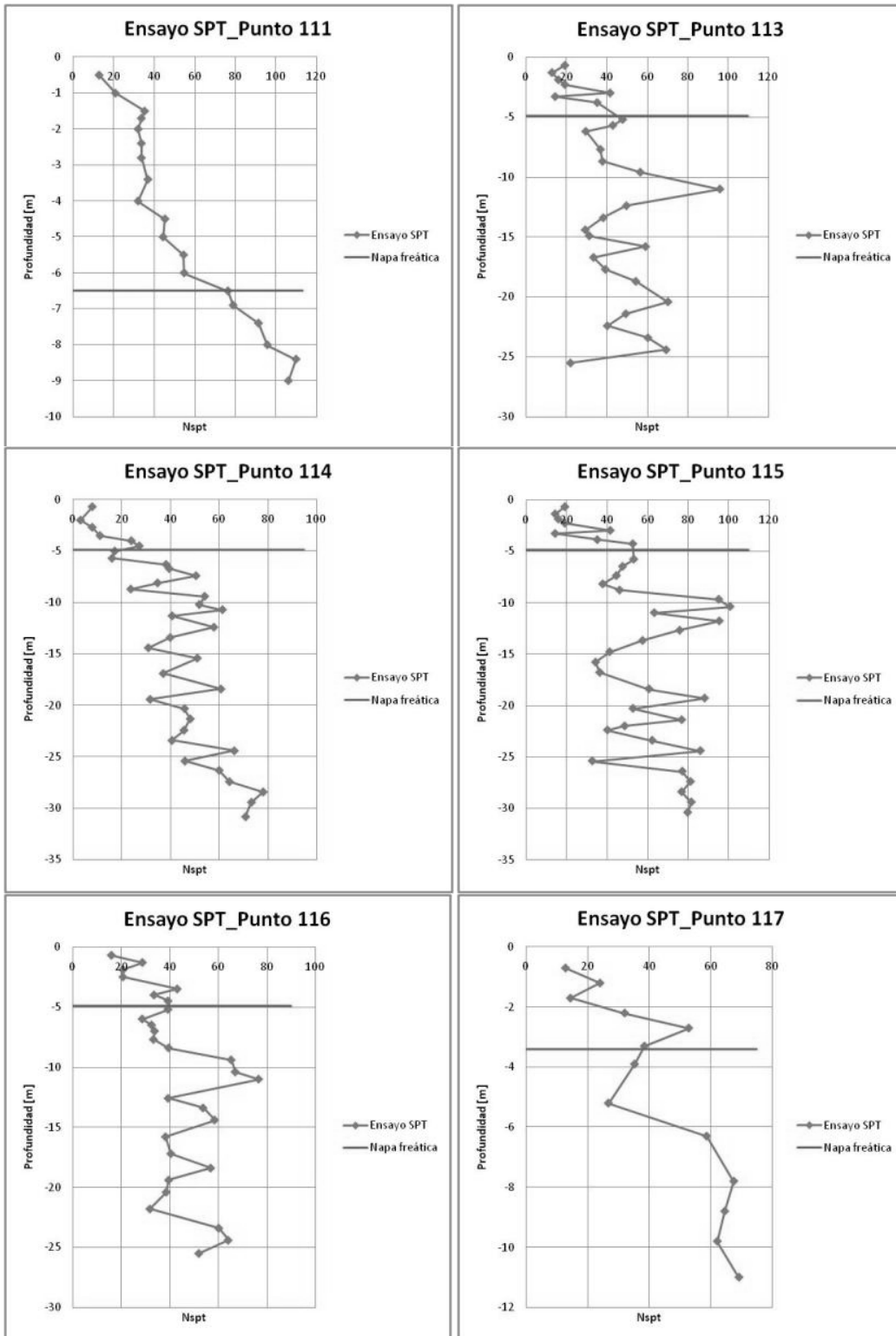


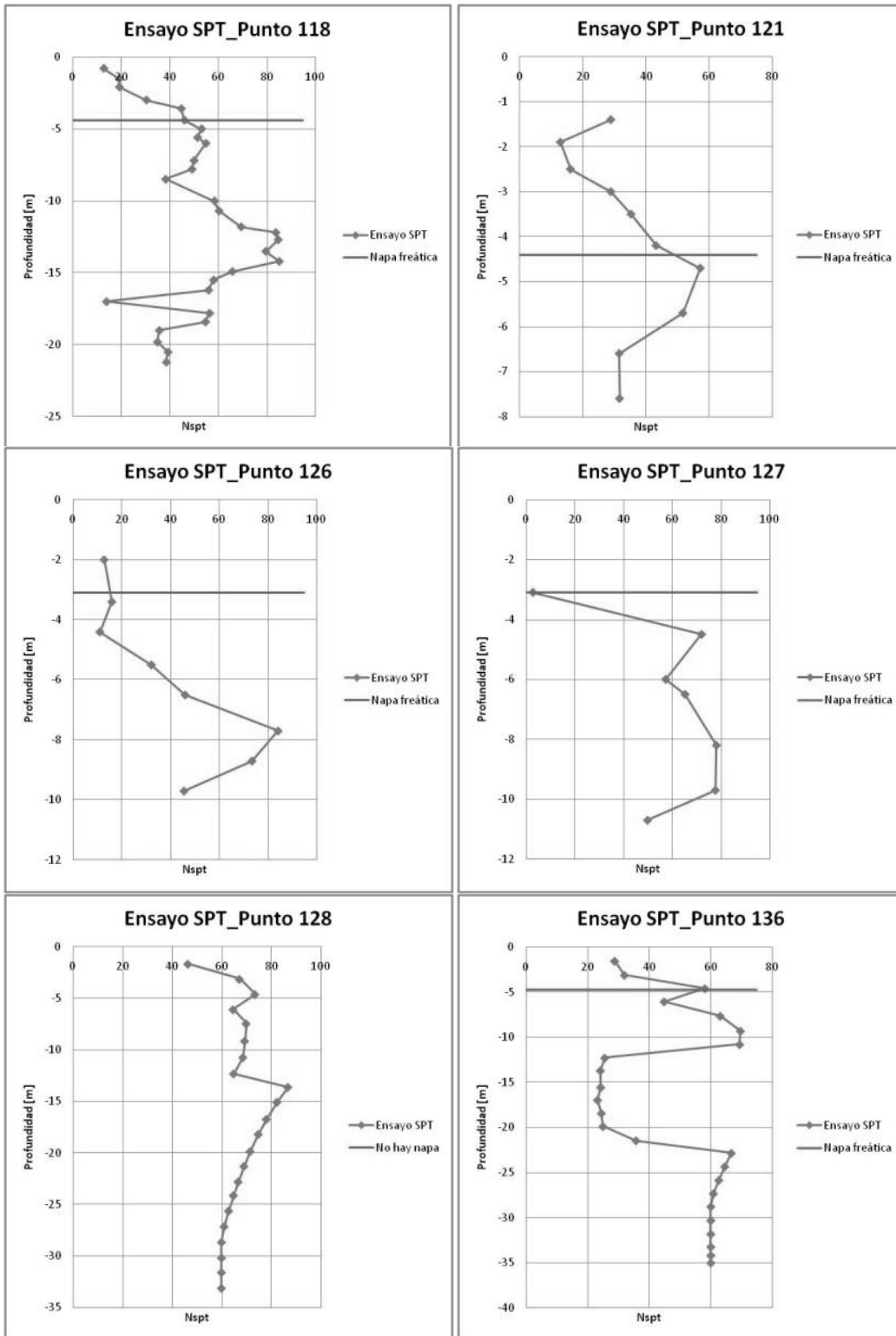


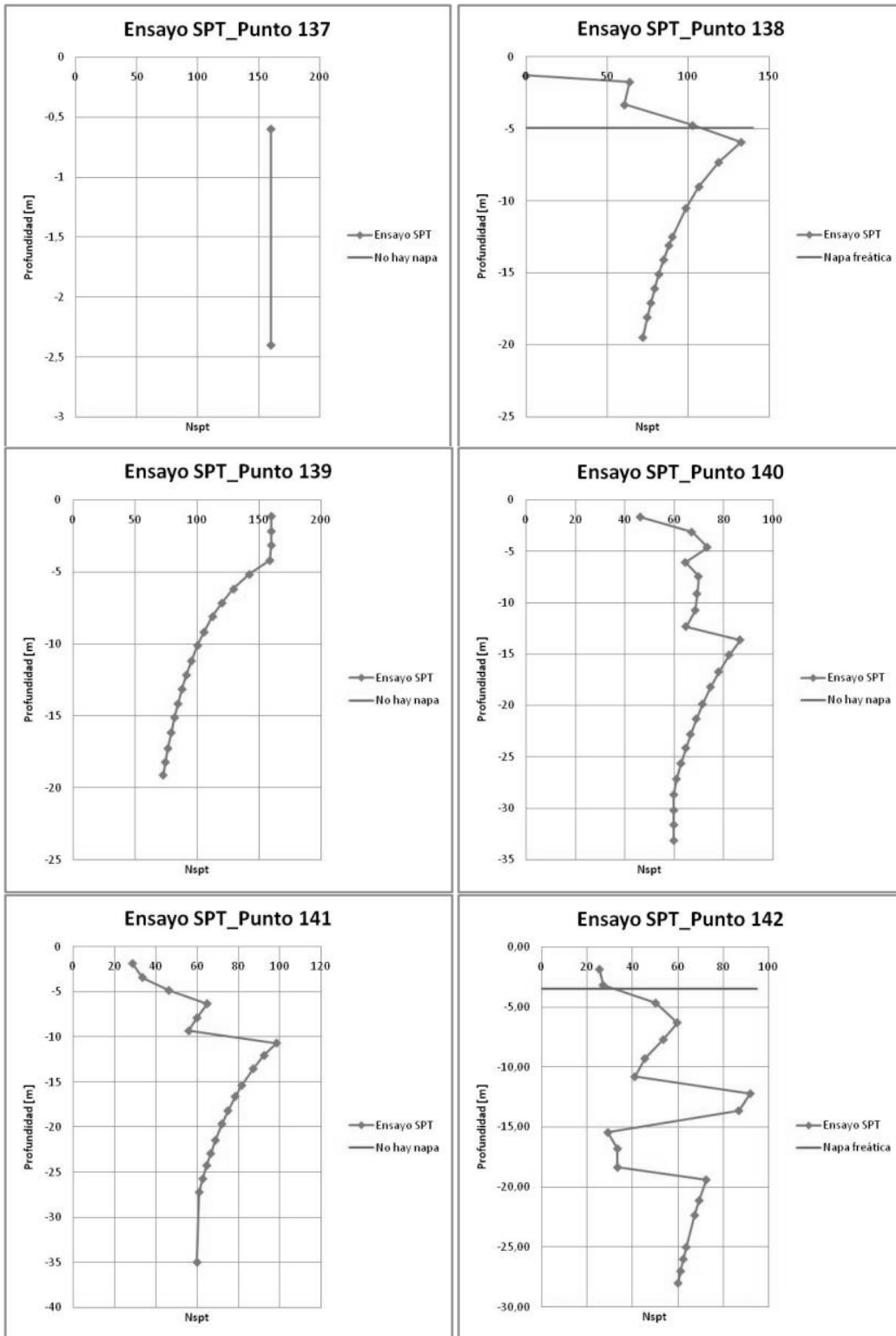


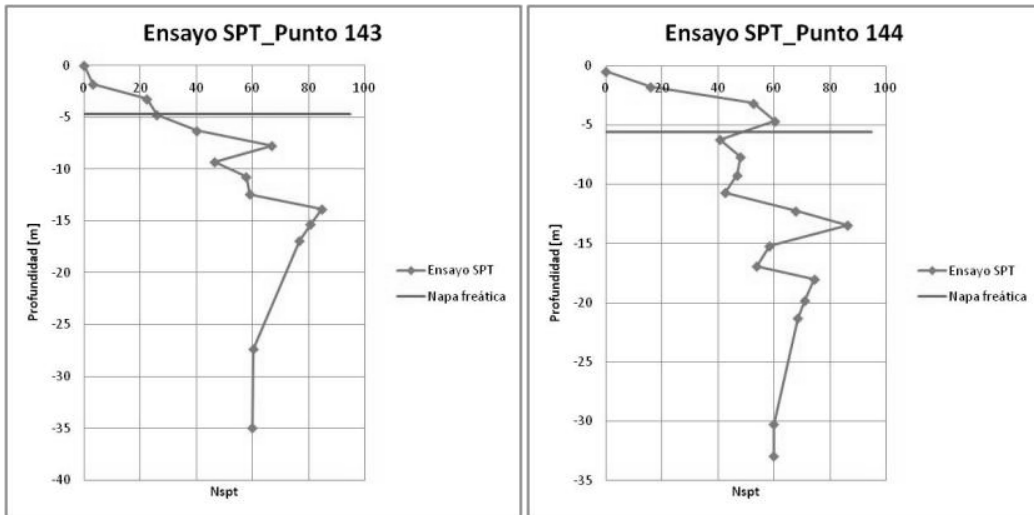












H. Registro de Microvibraciones

i. Microvibraciones con equipo GVB 316

Nombre Punto	Coordenada S	Coordenada W
VIN1	-33,020584	-71,559238
VIN2	-33,018182	-71,560425
VIN3	-33,012124	-71,553789
VIN4	-33,007161	-71,551063
VIN5	-32,998459	-71,548703
VIN6	-32,993898	-71,547832
VIN7	-33,021378	-71,556475
VIN8	-33,018631	-71,555816
VIN9	-33,015083	-71,551931
VIN10	-33,01188	-71,550725
VIN11	-33,009697	-71,547816
VIN12	-33,009129	-71,543657
VIN13	-33,011246	-71,541158
VIN14	-33,014068	-71,543207
VIN15	-33,019806	-71,546345
VIN16	-33,019864	-71,550261
VIN17	-33,01932	-71,546517
VIN18	-33,019464	-71,546642
VIN19	-33,014587	-71,54741
VIN20	-33,017799	-71,540064
VIN21	-33,023201	-71,544009
VIN22	-33,0267	-71,5377
VIN23	-33,02594	-71,53274
VIN24	-33,02845	-71,53022
VIN25	-33,0315	-71,53085
VIN26	-33,03348	-71,52657
VIN27	-33,03167	-71,52148
VIN28	-33,03638	-71,52222
VIN29	-33,03359	-71,56726
VIN30	-33,03127	-71,5655
VIN31	-33,02911	-71,56272
VIN32	-33,02774	-71,56642
VIN33	-33,02773	-71,56979

Nombre Punto	Coordenada S	Coordenada W
VIN34	-33,02592	-71,5603
VIN35	-33,02765	-71,55242
VIN36	-33,03621	-71,52995
VIN37	-33,03406	-71,53467
VIN38	-33,02966	-71,54282
VIN39	-33,02999	-71,54953
VIN40	-33,02176	-71,54868
VIN41	-32,97655	-71,5425
VIN42	-32,97987	-71,53943
VIN43	-32,979915	-71,53396
VIN44	-32,97566	-71,53483
VIN45	-32,98367	-71,53563
VIN46	-32,98119	-71,52885
VIN47	-32,98487	-71,53253
VIN48	-32,98637	-71,5274
VIN49	-32,98889	-71,52693
VIN50	-32,99311	-71,52104
VIN51	-32,99488	-71,51785
VIN52	-32,99672	-71,51426
VIN53	-32,99939	-71,52048
VIN54	-32,99961	-71,51639
VIN55	-33,00499	-71,51584
VIN56	-33,00045	-71,51083
VIN57	-33,00166	-71,51292
VIN58	-32,99765	-71,50813
VIN59	-33,00302	-71,50658
VIN60	-33,00634	-71,50478
VIN61	-33,02572	-71,52674
VIN62	-33,02744	-71,51907
VIN63	-33,02173	-71,52155
VIN64	-33,02163	-71,51429
VIN65	-33,0261	-71,51068
VIN66	-33,02297	-71,50451
VIN67	-33,01876	-71,50468
VIN68	-33,01727	-71,50118
VIN69	-33,01785	-71,49638
VIN70	-33,01112	-71,50076
VIN71	-33,00788	-71,50211

Nombre Punto	Coordenada S	Coordenada W
VIN72	-33,01086	-71,50784
VIN73	-33,00737	-71,51363
VIN74	-33,00446	-71,54415
VIN75	-33,0022	-71,54037
VIN76	-33,00487	-71,53668
VIN77	-33,0064	-71,53892
VIN78	-33,00552	-71,52922
VIN79	-33,03768	-71,51476
VIN80	-33,03947	-71,51157
VIN81	-33,03909	-71,50805
VIN82	-33,03485	-71,50698
VIN83	-33,03128	-71,50866
VIN84	-33,03491	-71,50214
VIN85	-33,03051	-71,49529
VIN86	-33,01246	-71,53795
VIN87	-33,01074	-71,53523
VIN88	-33,01394	-71,53252
VIN89	-33,01778	-71,52551
VIN90	-33,01758	-71,53238
VIN91	-33,0148	-71,536
VIN92	-33,00846	-71,52887
VIN93	-33,02068	-71,53616
VIN94	-32,97052	-71,5414
VIN95	-32,97227	-71,53156
VIN96	-32,96696	-71,52871
VIN97	-32,96618	-71,52139
VIN98	-32,96296	-71,5245
VIN99	-32,95962	-71,52999
VIN100	-32,95911	-71,53732
VIN101	-32,96411	-71,53427
VIN102	-32,96661	-71,54
VIN103	-32,95697	-71,54327
VIN104	-32,96336	-71,54241
VIN105	-32,98445	-71,54759
VIN106	-33,02167	-71,5639
VIN107	-33,02958	-71,57336
VIN108	-33,02998	-71,58115
VIN109	-33,03367	-71,57771

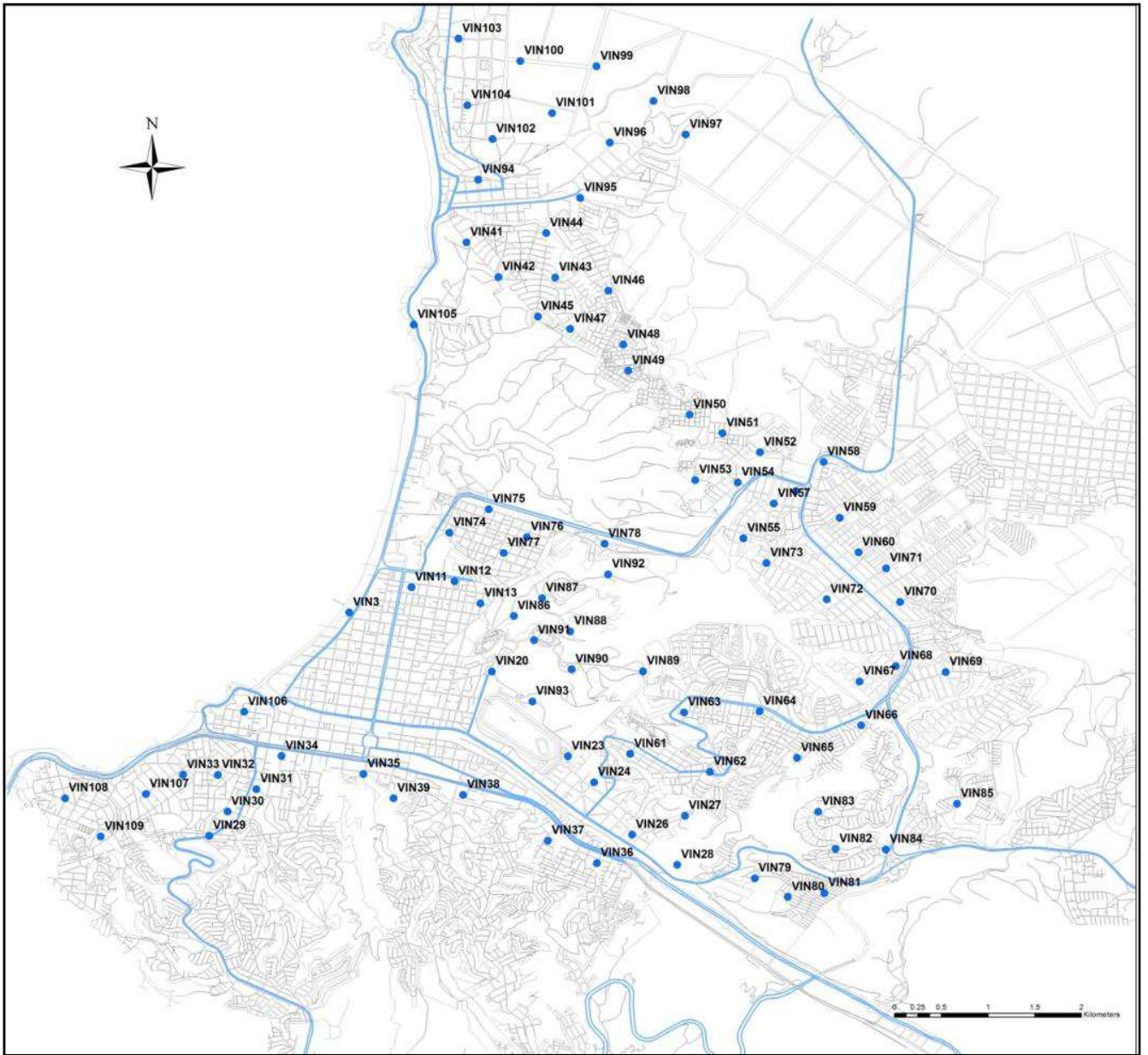
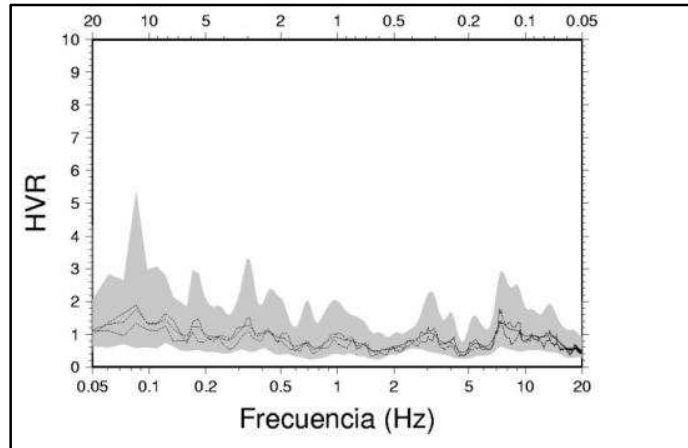
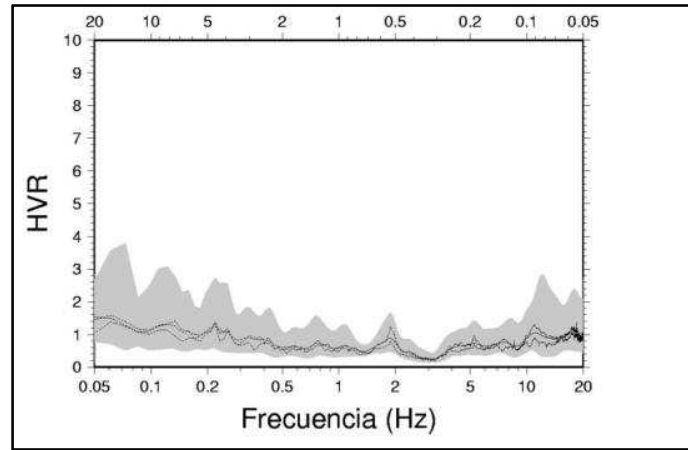


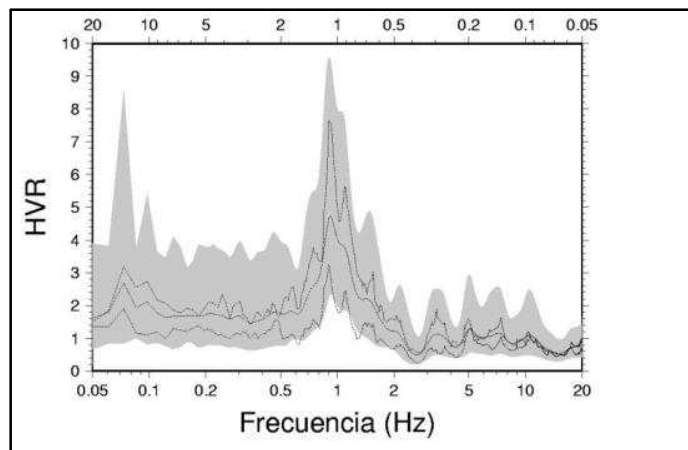
Figura 73: Ubicación registros GVB 316



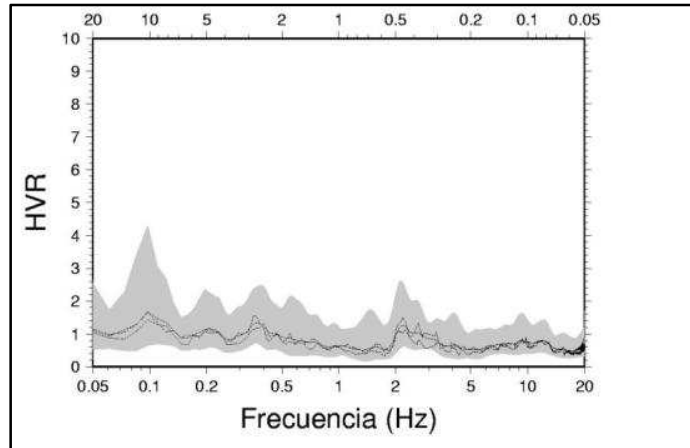
VIN 1



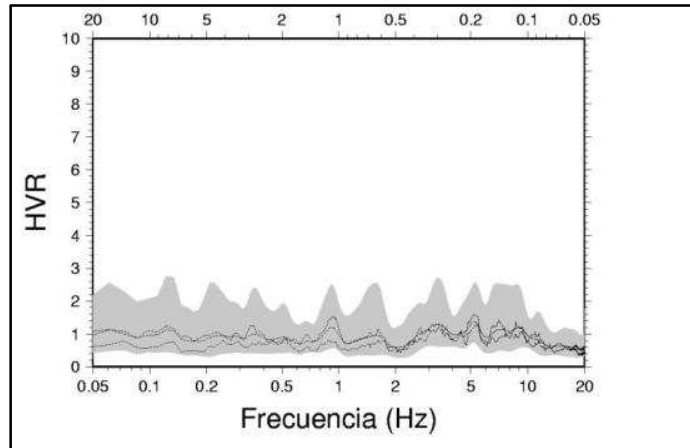
VIN 2



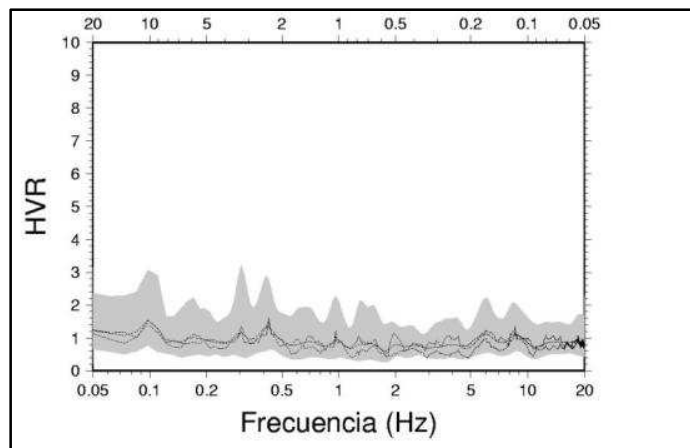
VIN 3



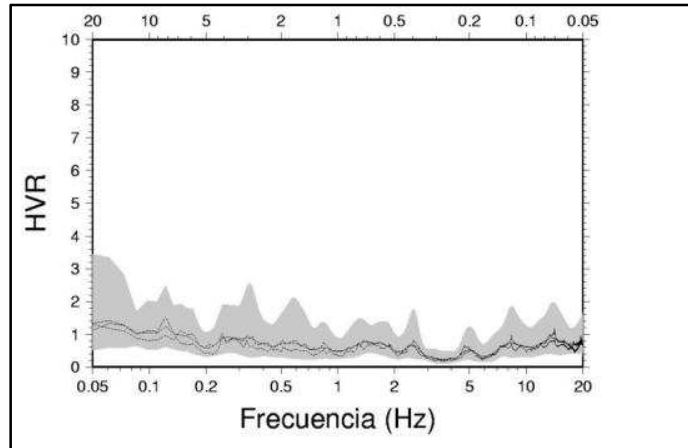
VIN 4



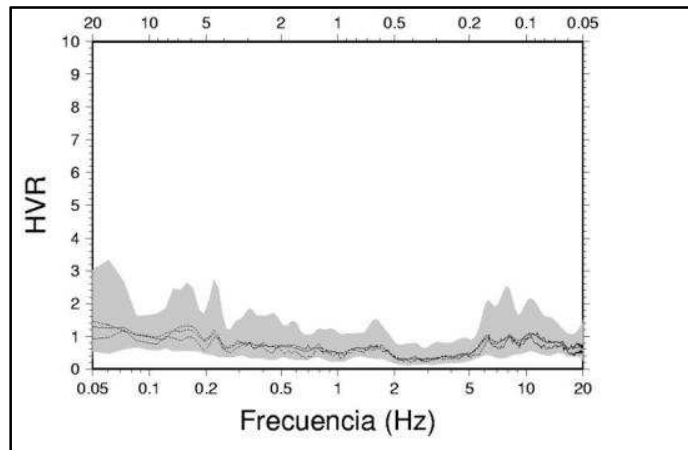
VIN 5



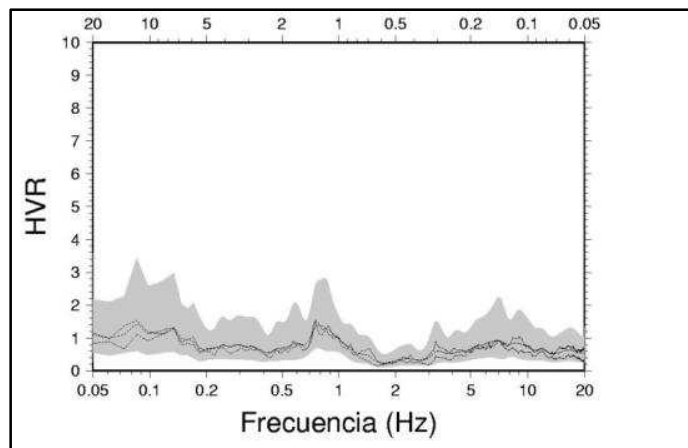
VIN 6



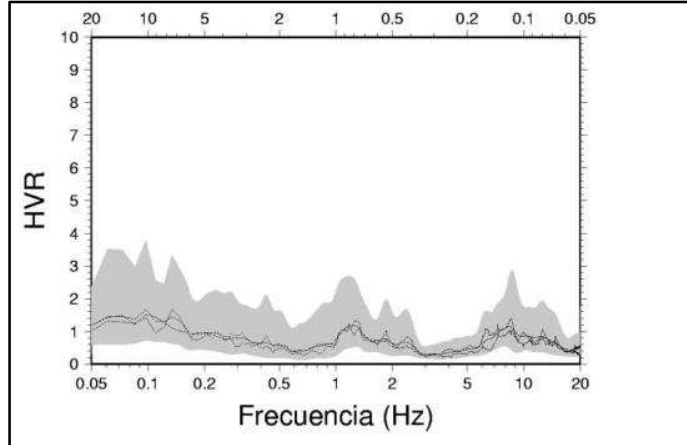
VIN 7



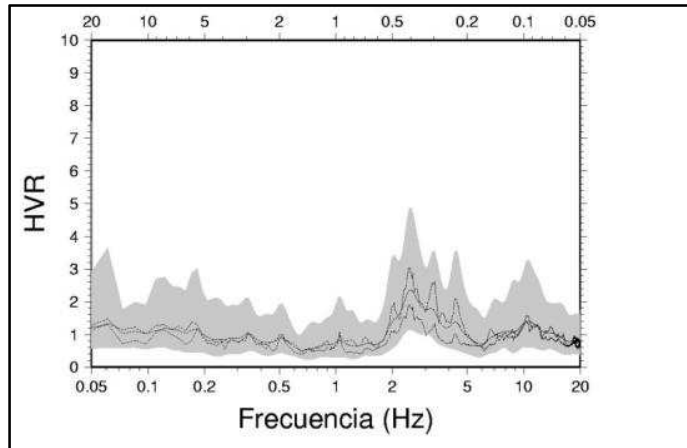
VIN 8



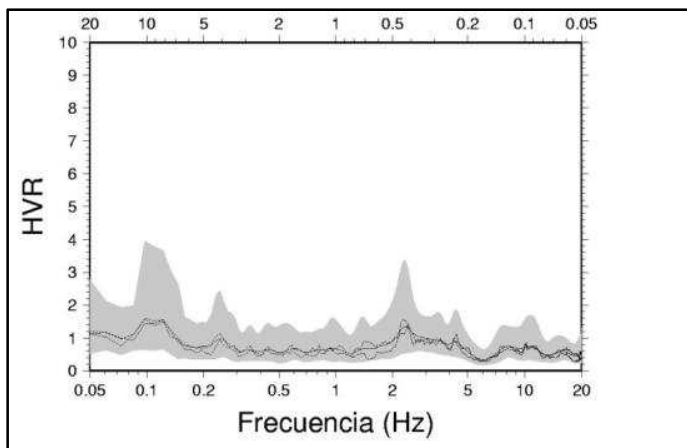
VIN 9



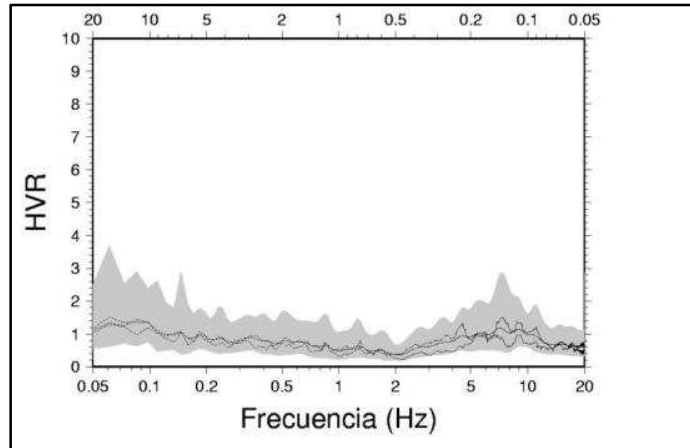
VIN 10



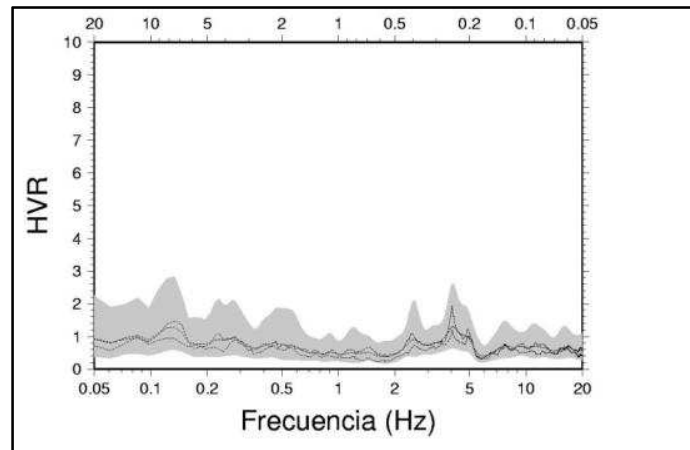
VIN 11



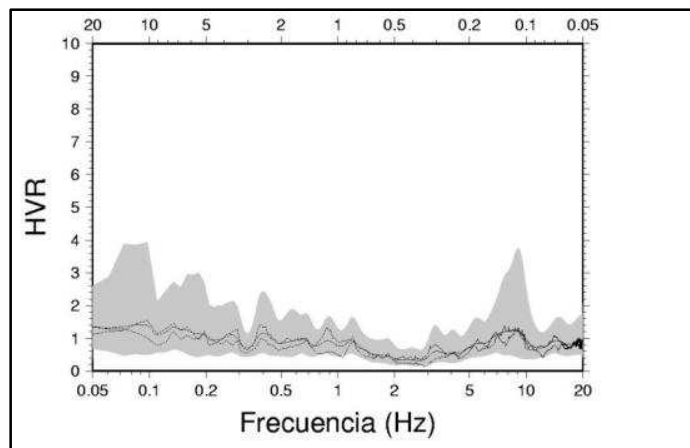
VIN 12



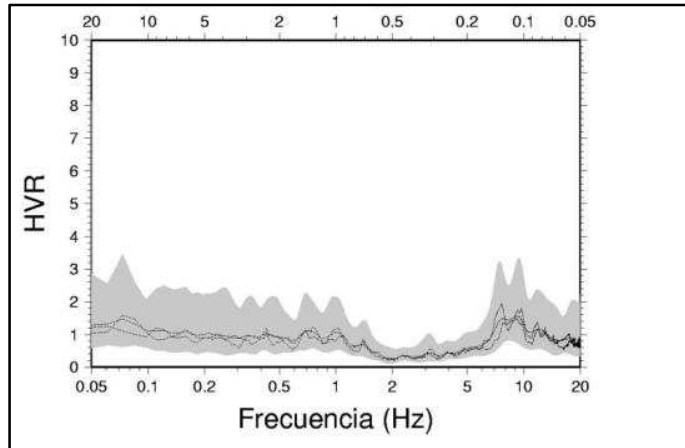
VIN 13



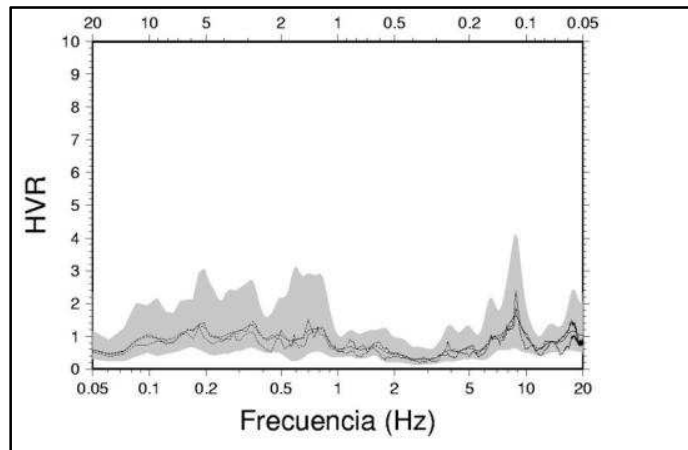
VIN 14



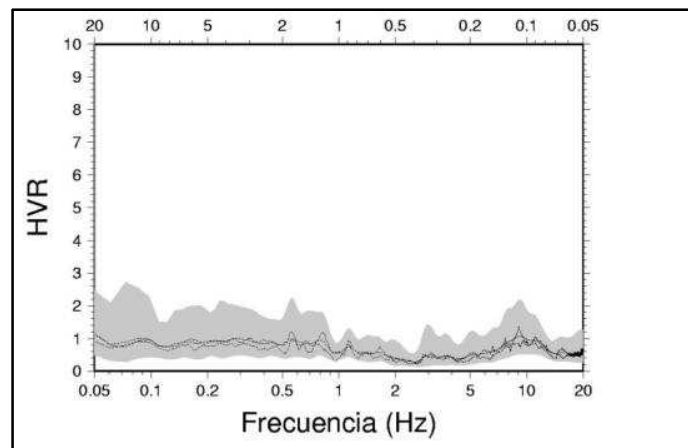
VIN 15



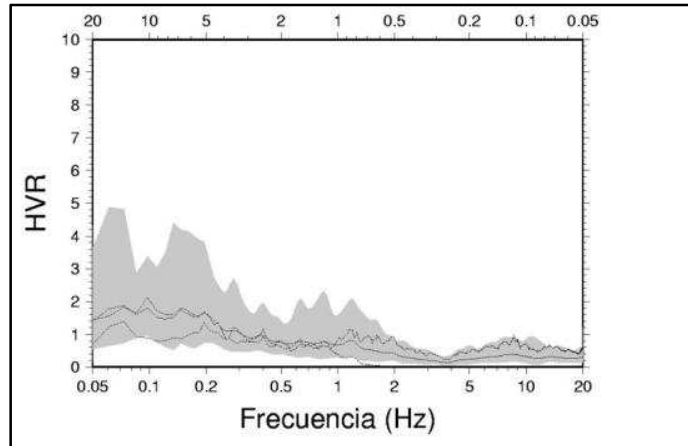
VIN 16



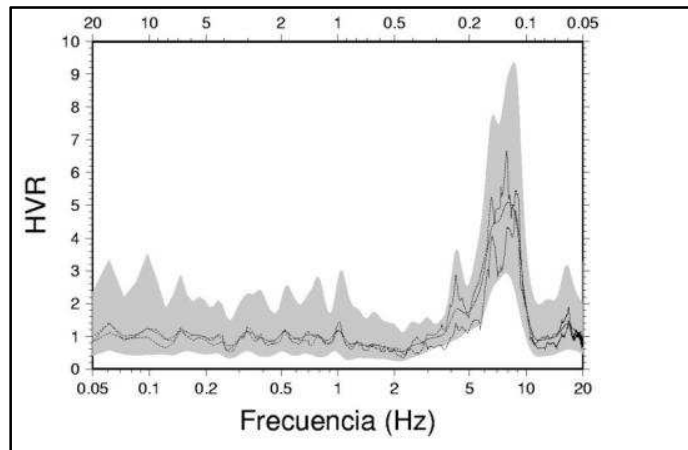
VIN 17



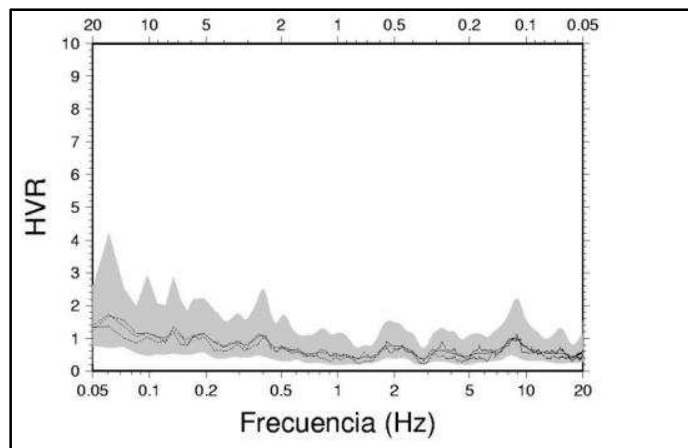
VIN 18



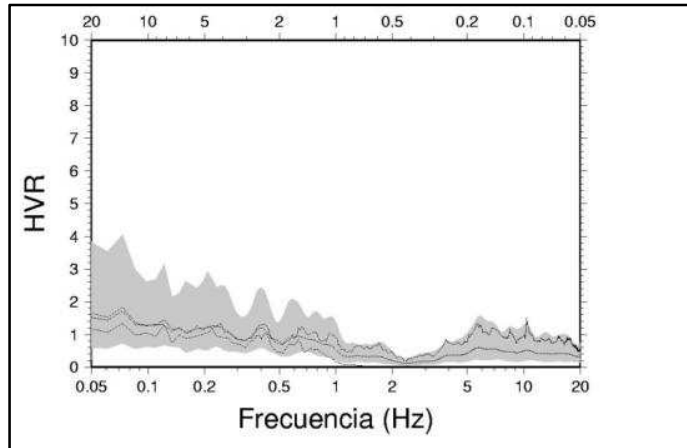
VIN 19



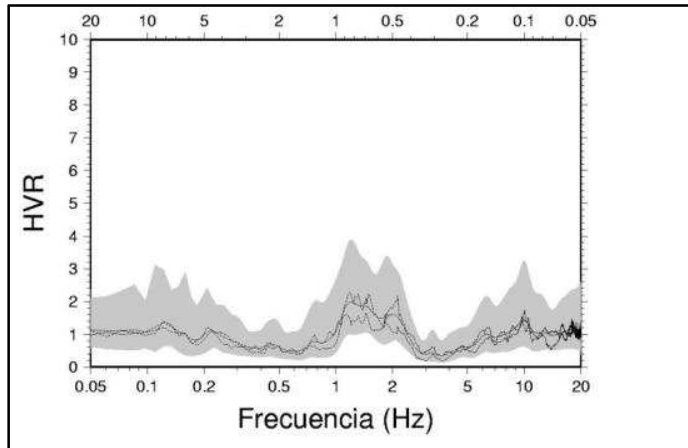
VIN 20



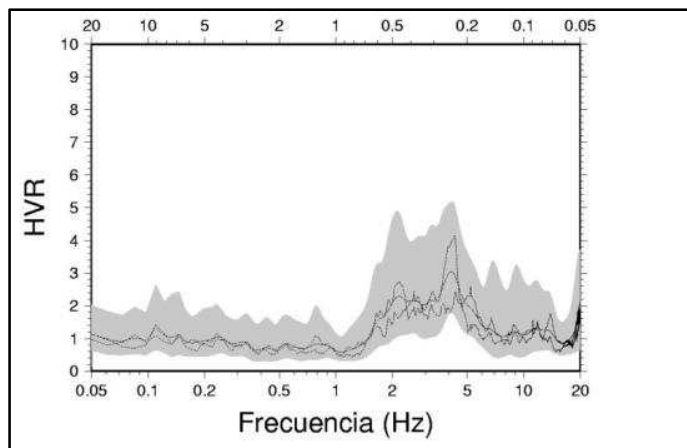
VIN 21



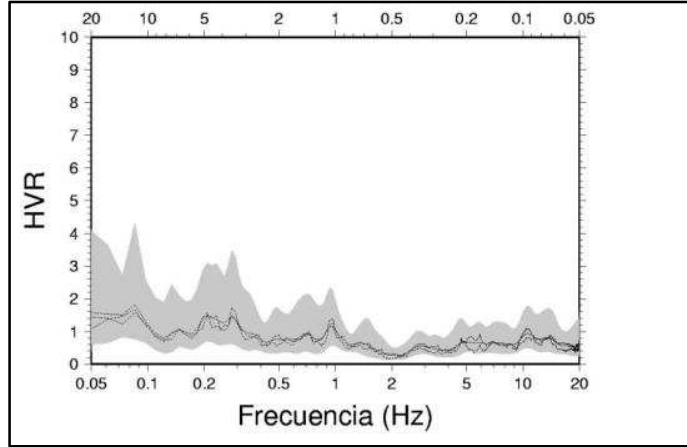
VIN 22



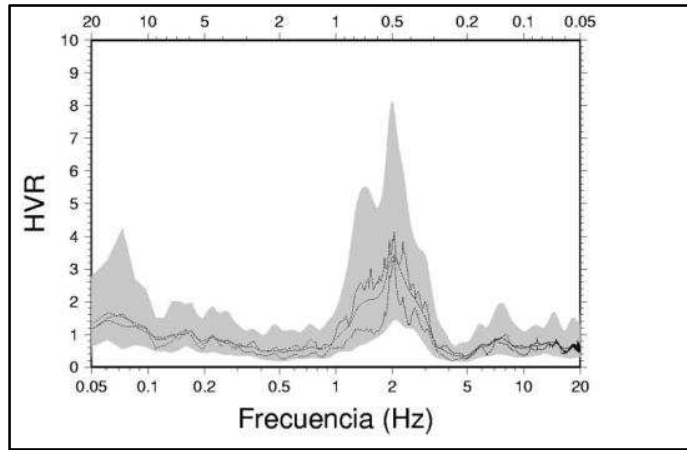
VIN 23



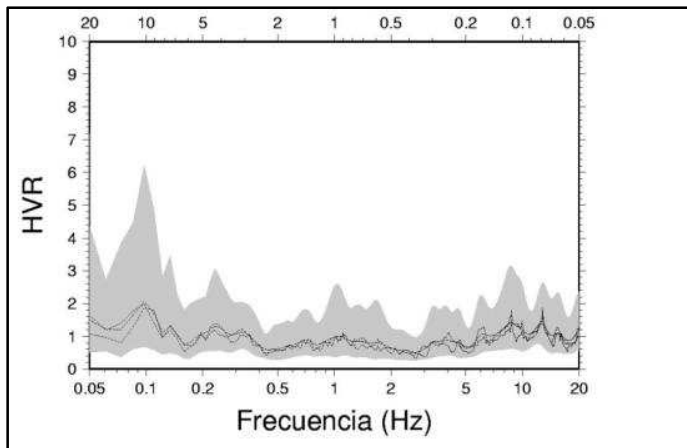
VIN 24



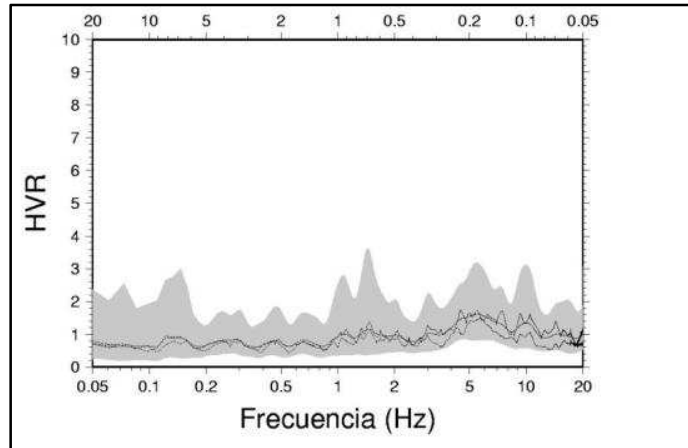
VIN 25



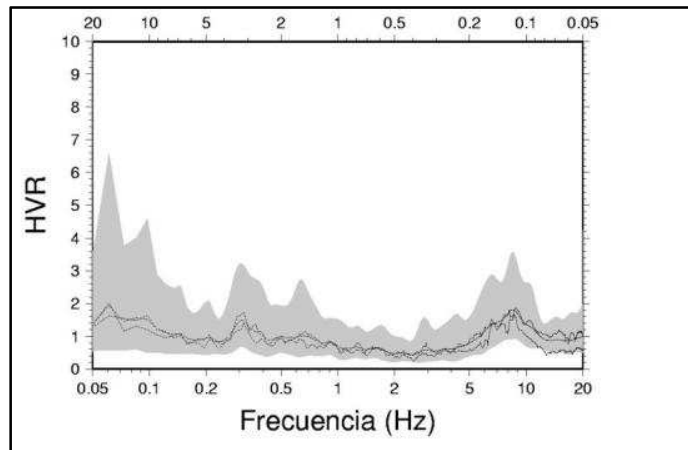
VIN 26



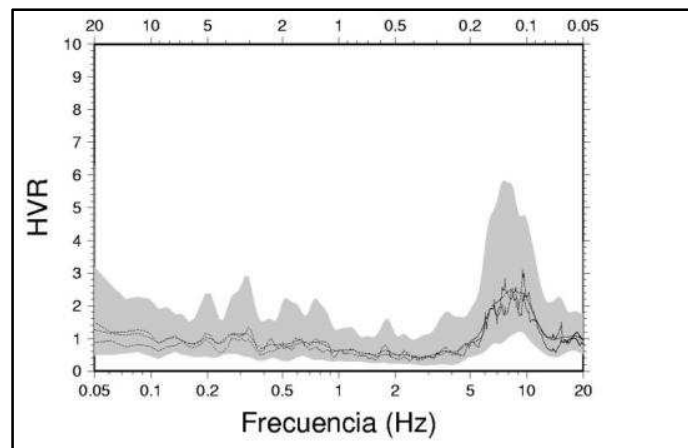
VIN 27



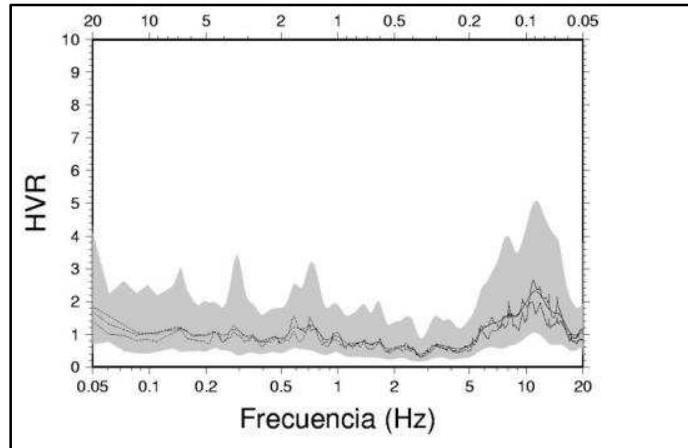
VIN 28



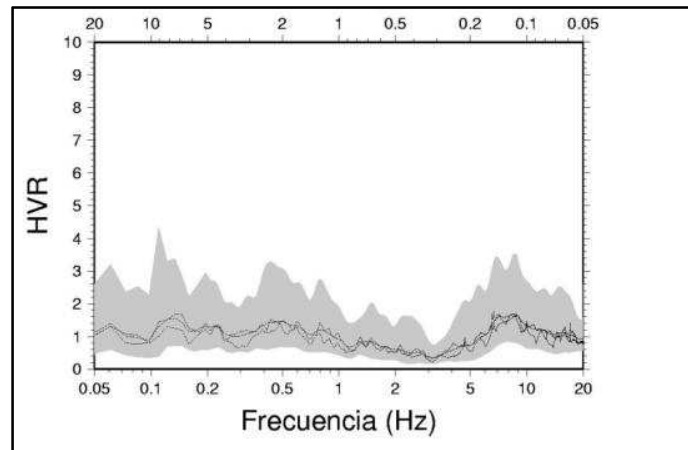
VIN 29



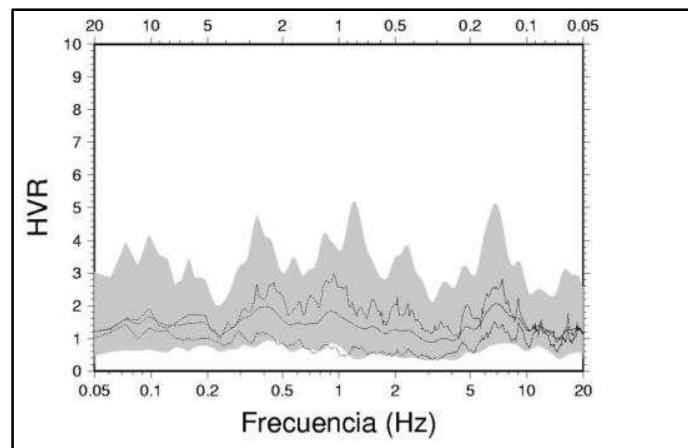
VIN 30



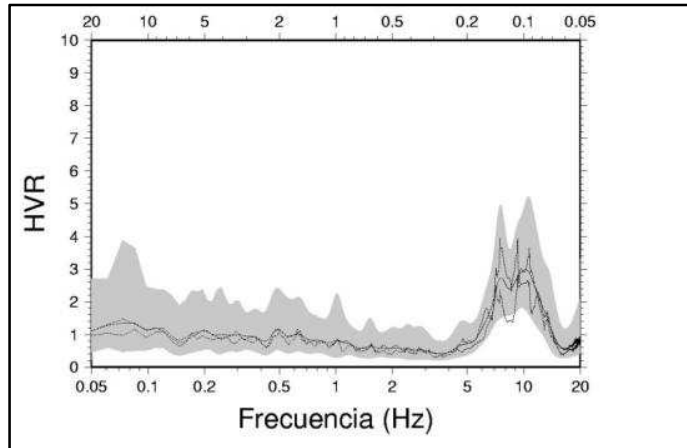
VIN 31



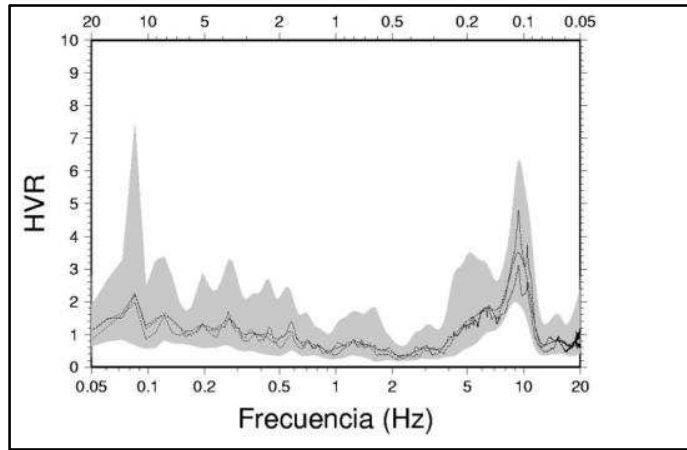
VIN 32



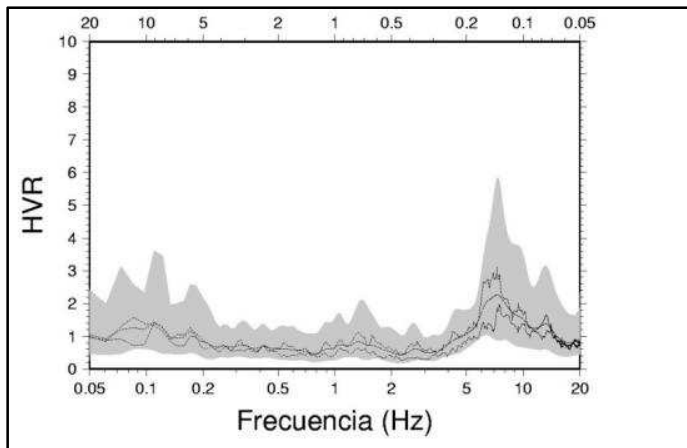
VIN 33



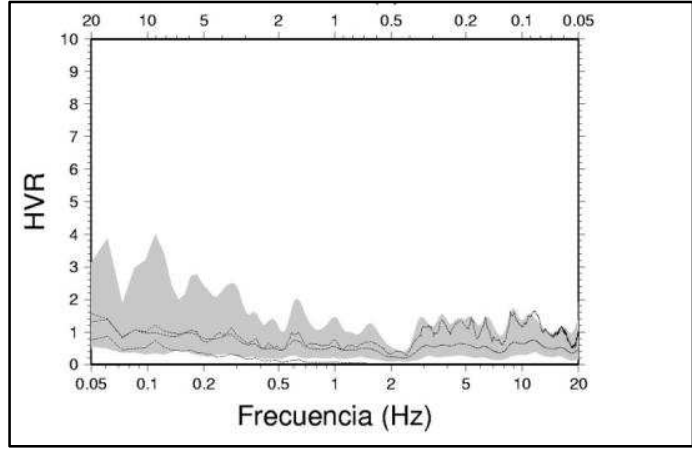
VIN 34



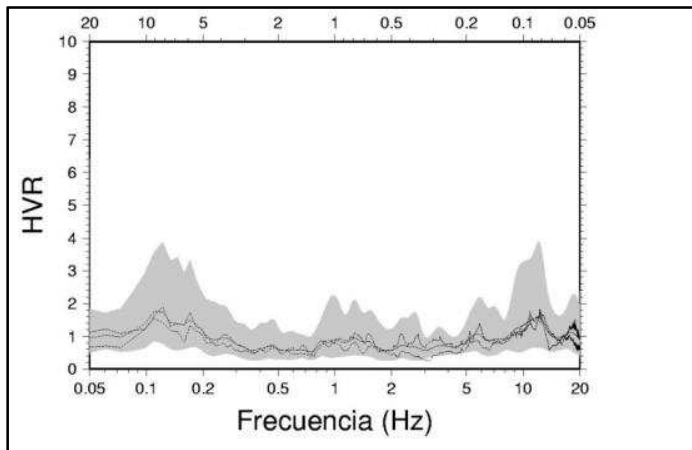
VIN 35



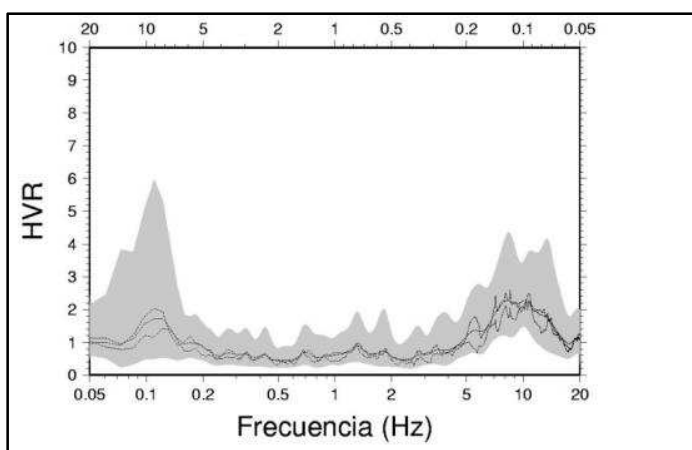
VIN 36



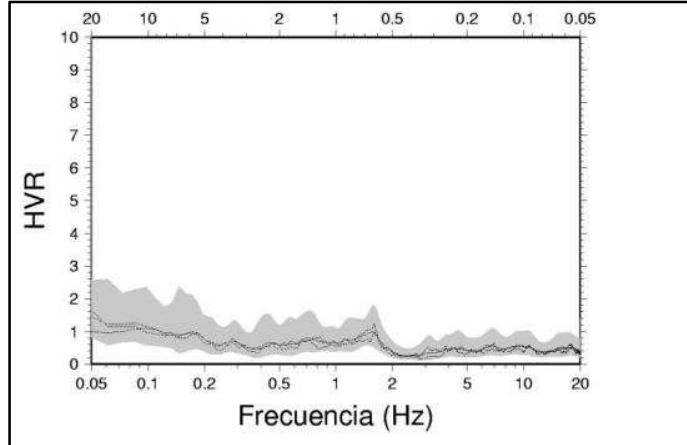
VIN 37



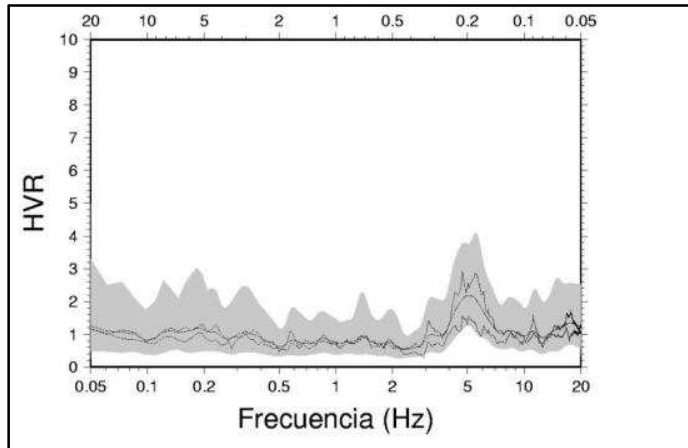
VIN 38



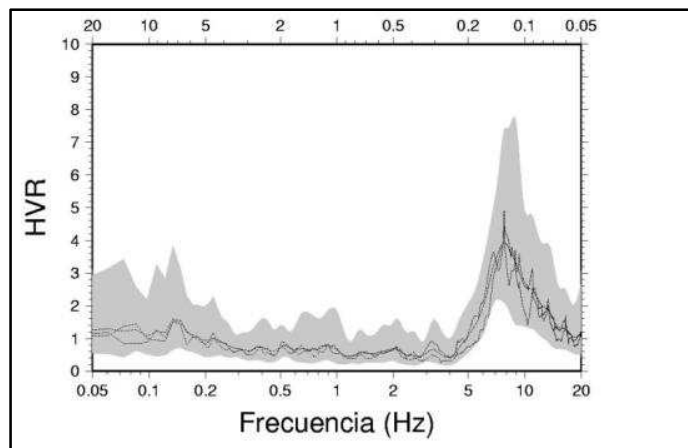
VIN 39



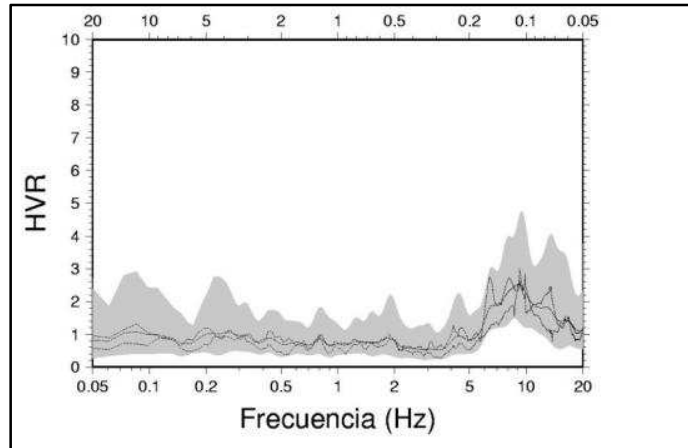
VIN 40



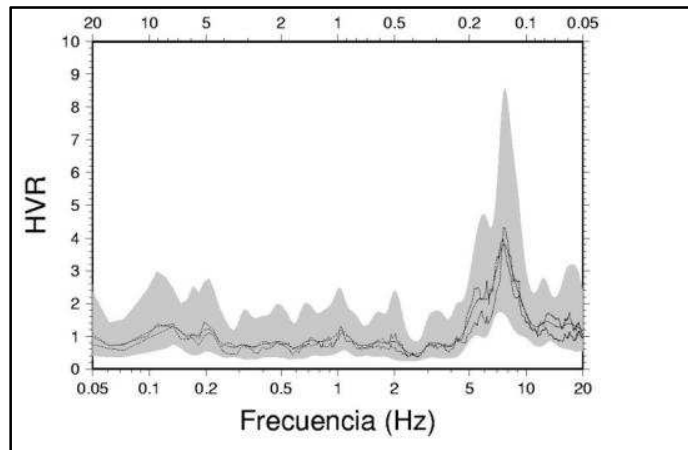
VIN 41



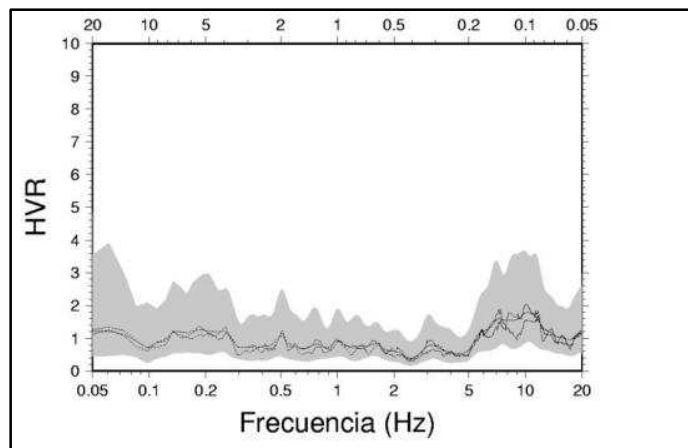
VIN 42



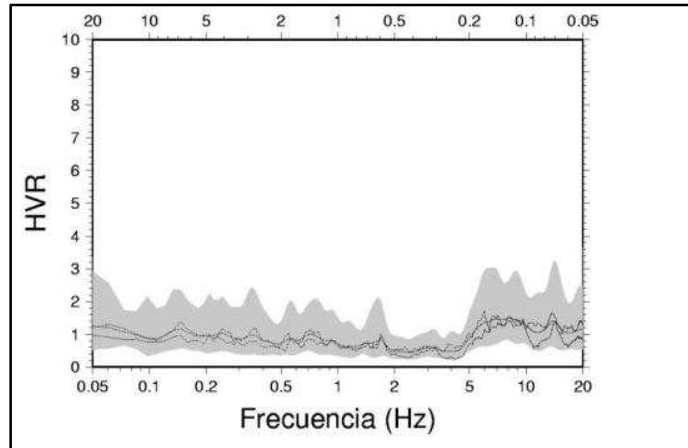
VIN 43



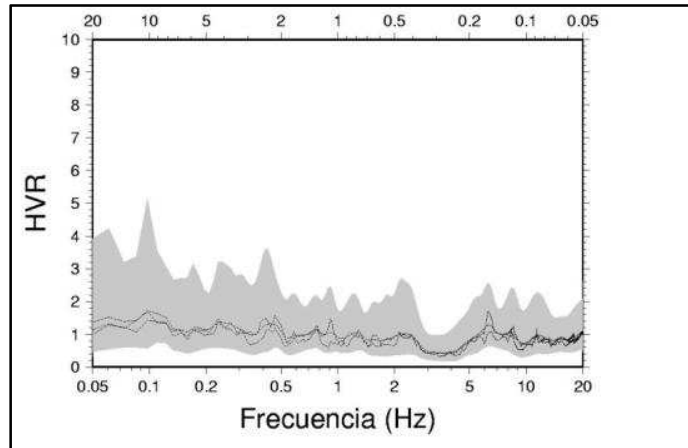
VIN 44



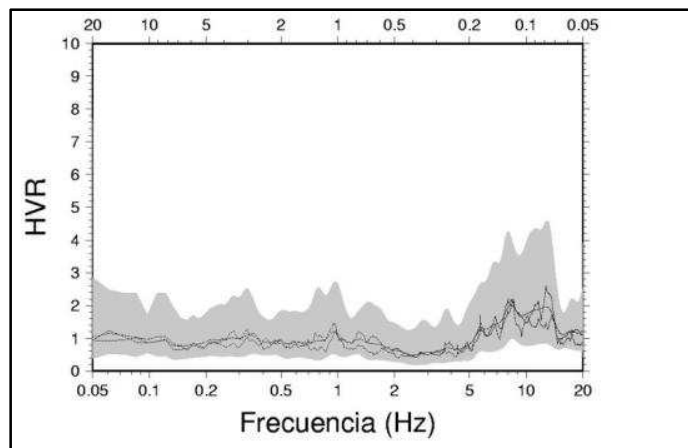
VIN 45



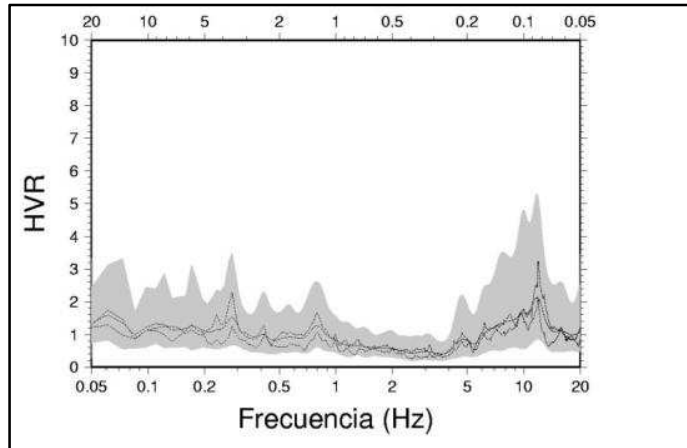
VIN 46



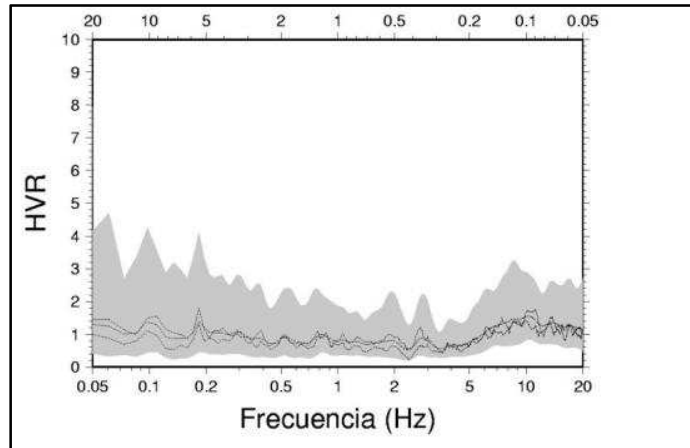
VIN 47



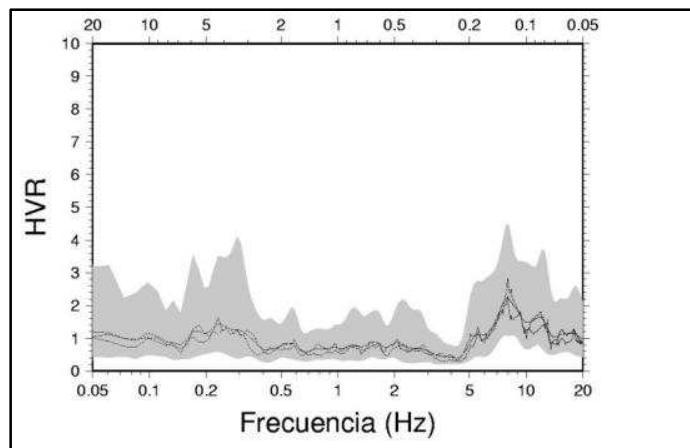
VIN 48



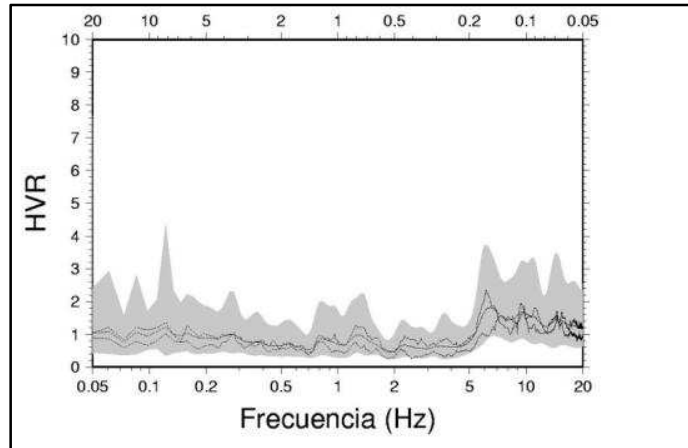
VIN 49



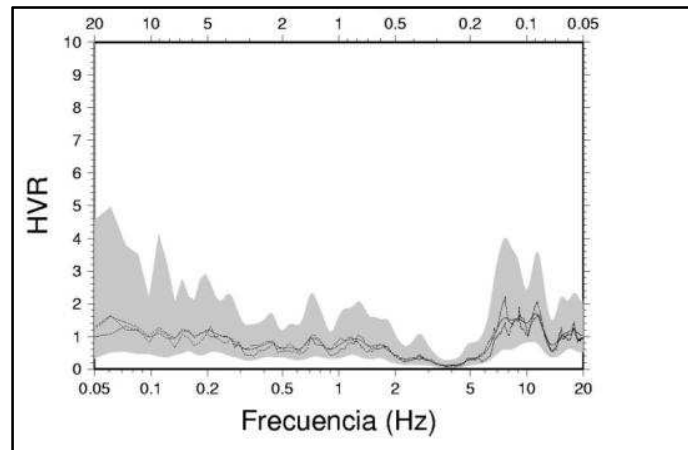
VIN 50



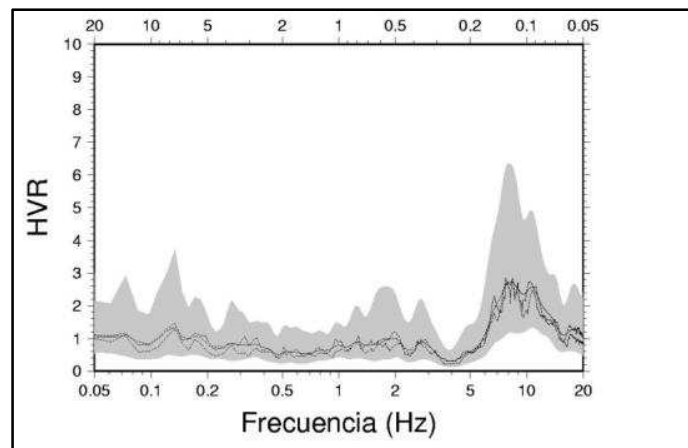
VIN 51



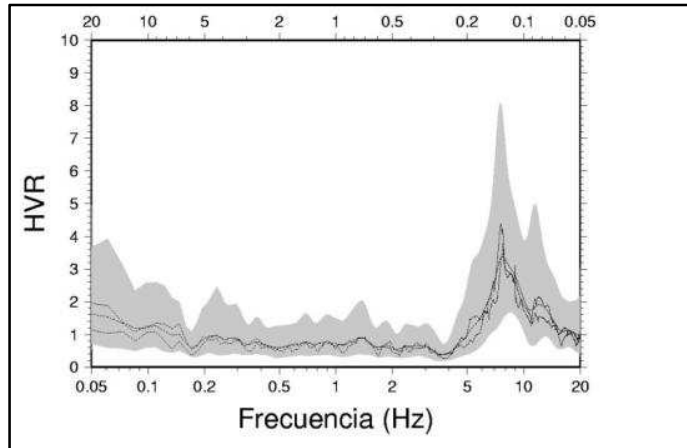
VIN 52



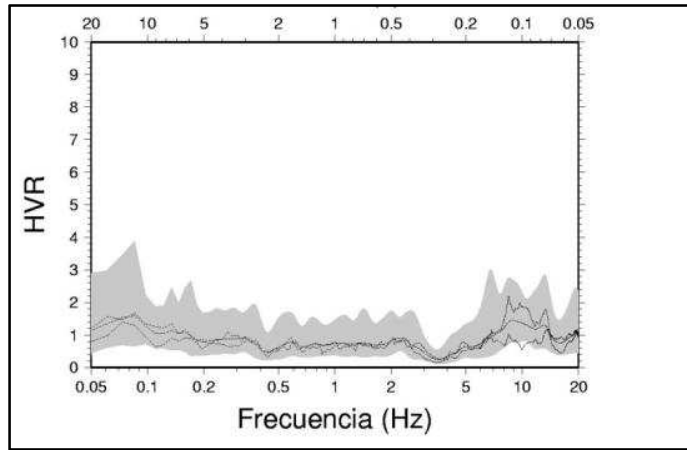
VIN 53



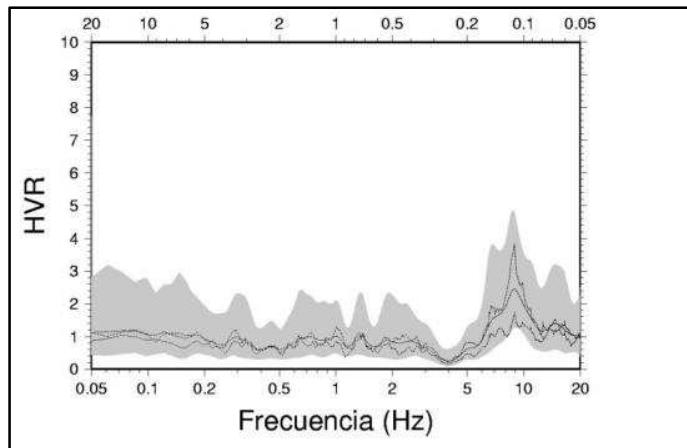
VIN 54



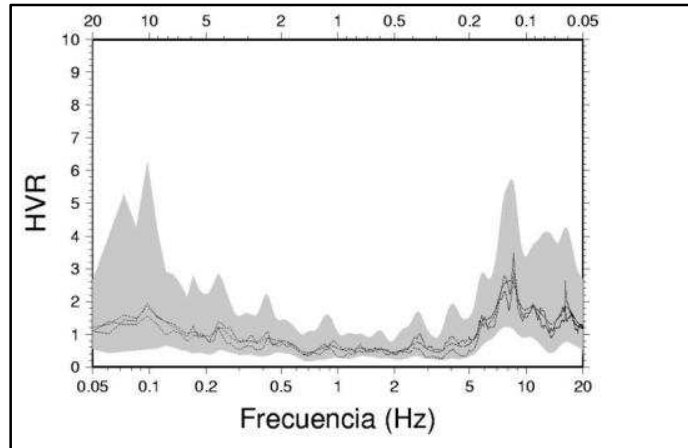
VIN 55



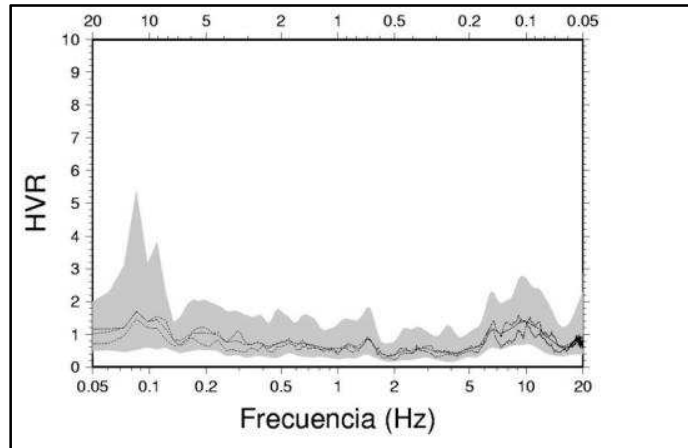
VIN 56



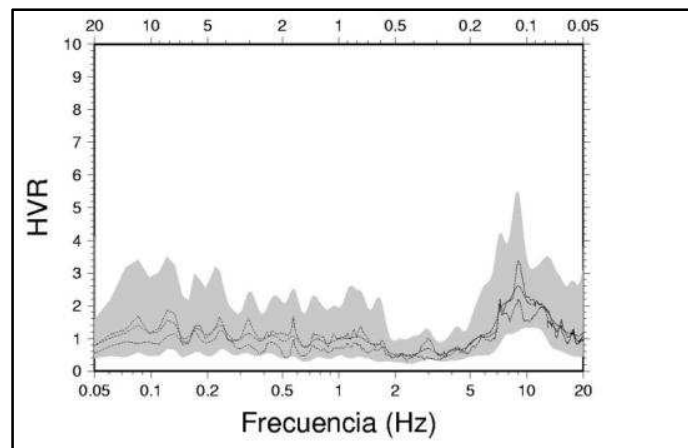
VIN 57



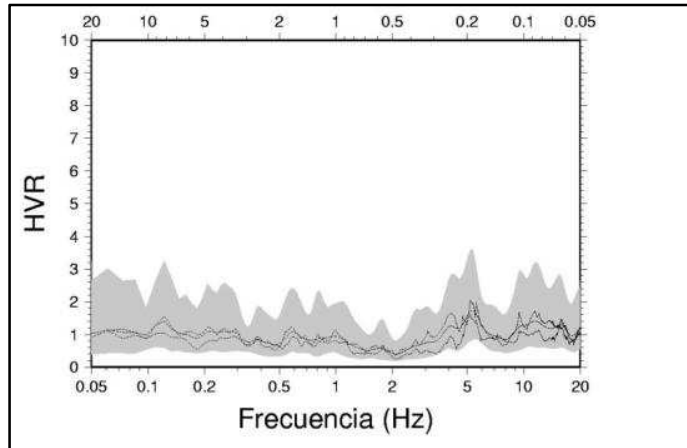
VIN 58



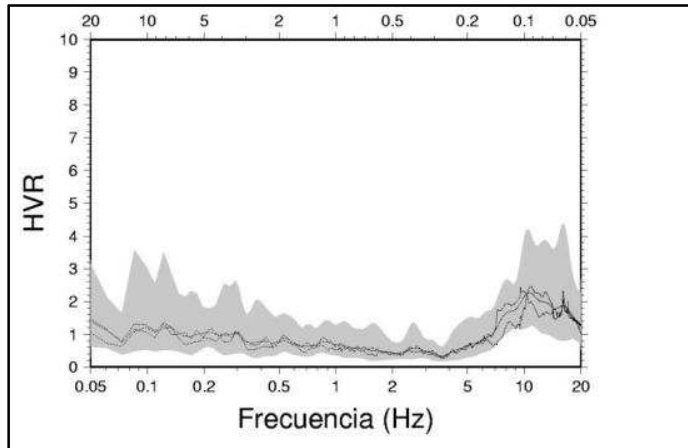
VIN 59



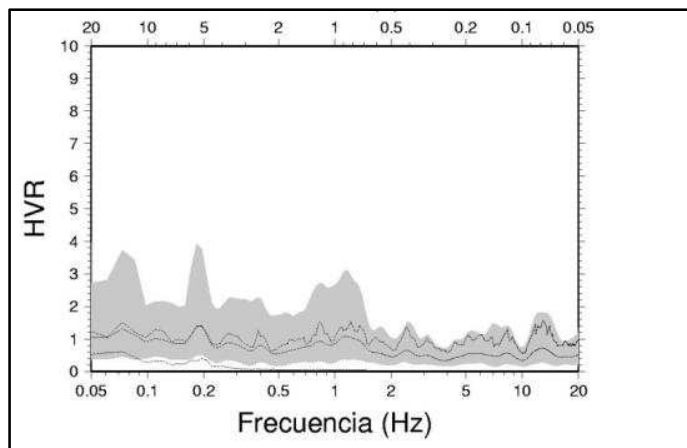
VIN 60



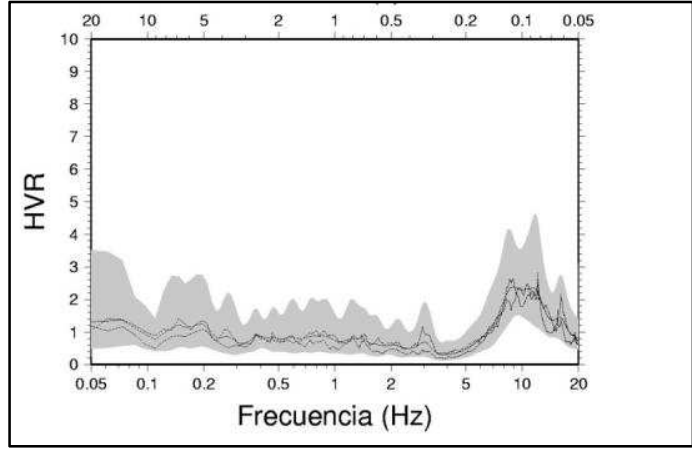
VIN 61



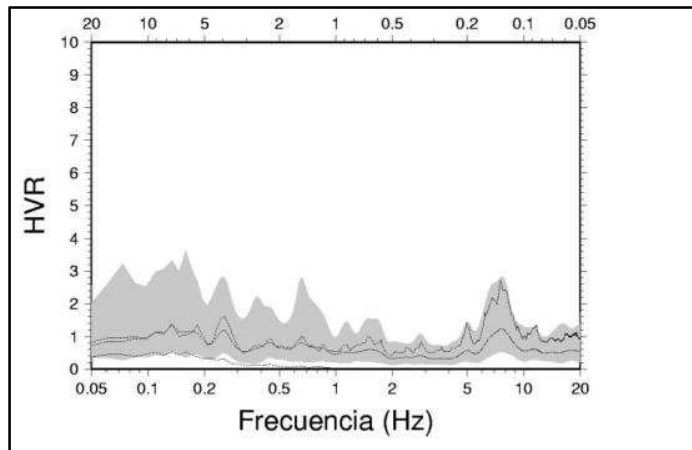
VIN 62



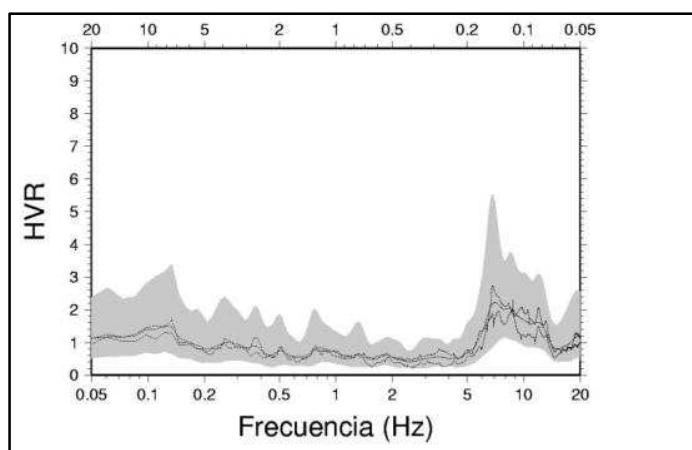
VIN 63



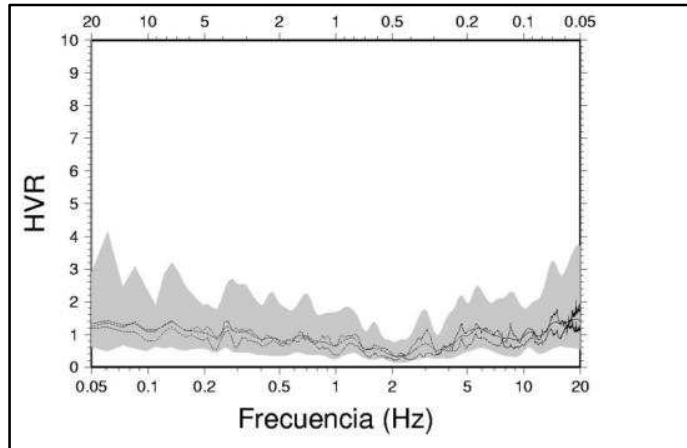
VIN 64



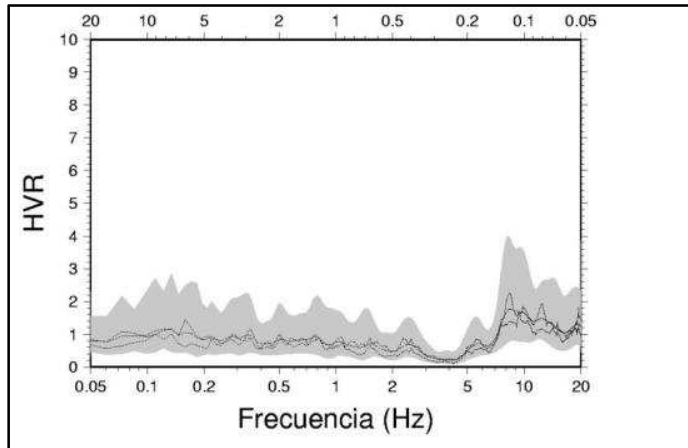
VIN 65



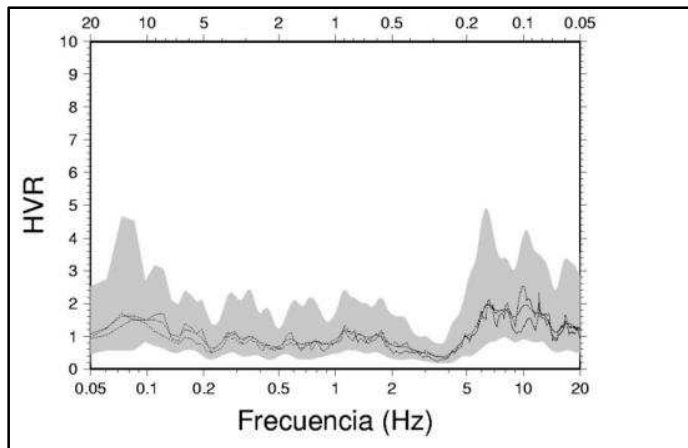
VIN 66



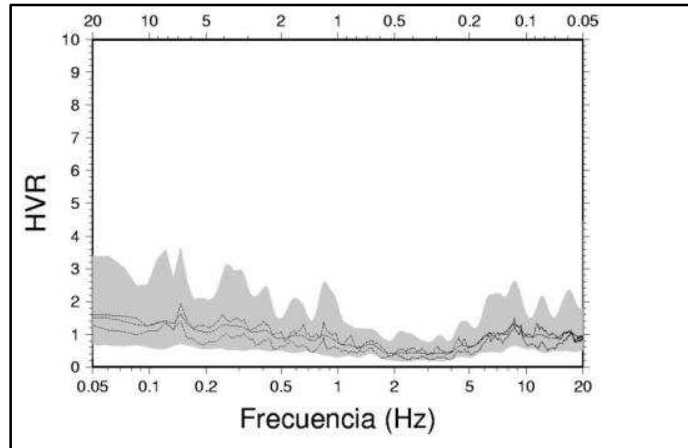
VIN 67



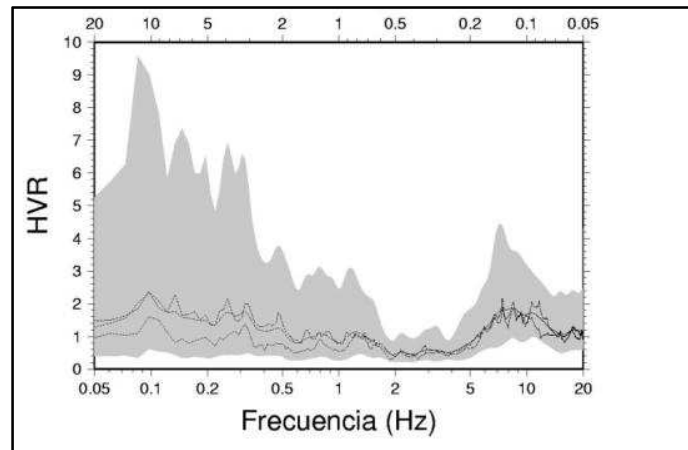
VIN 68



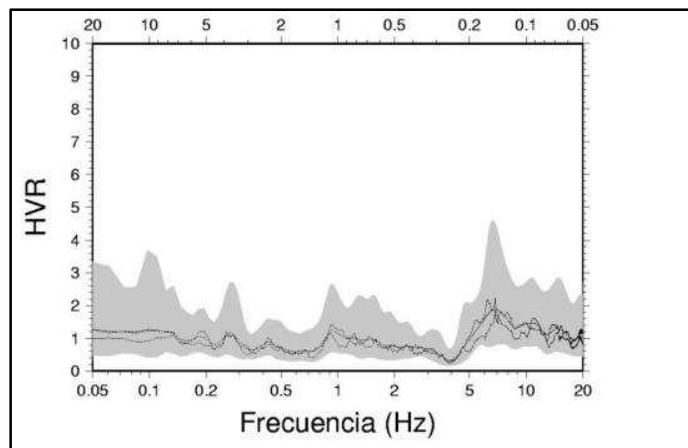
VIN 69



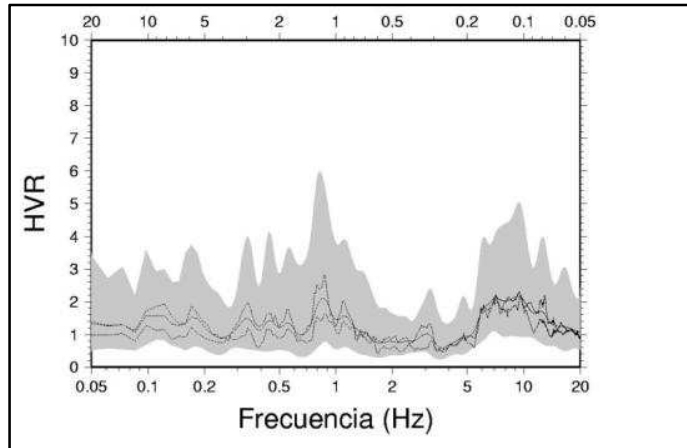
VIN 70



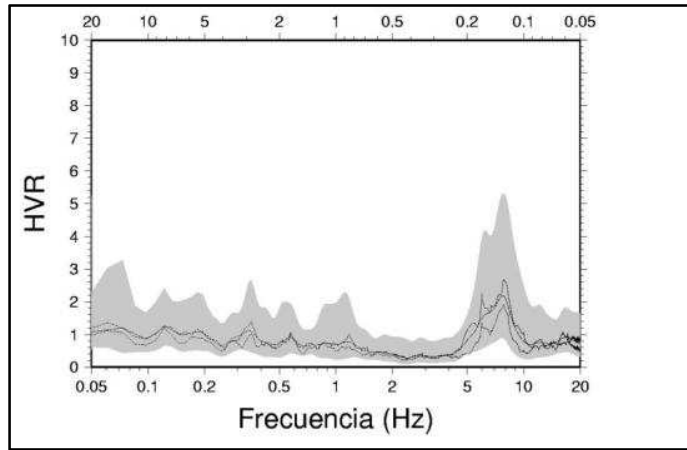
VIN 71



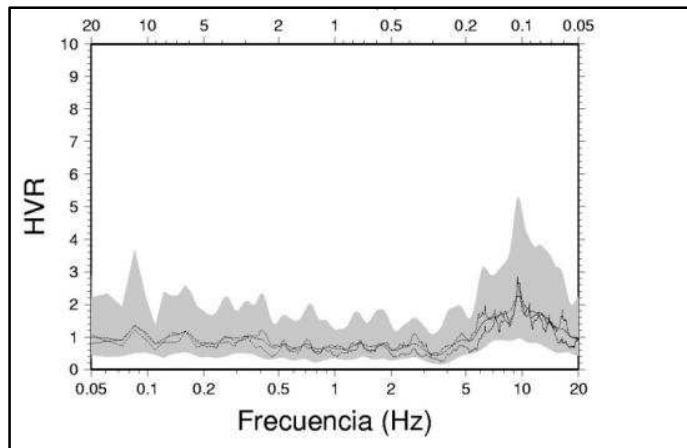
VIN 72



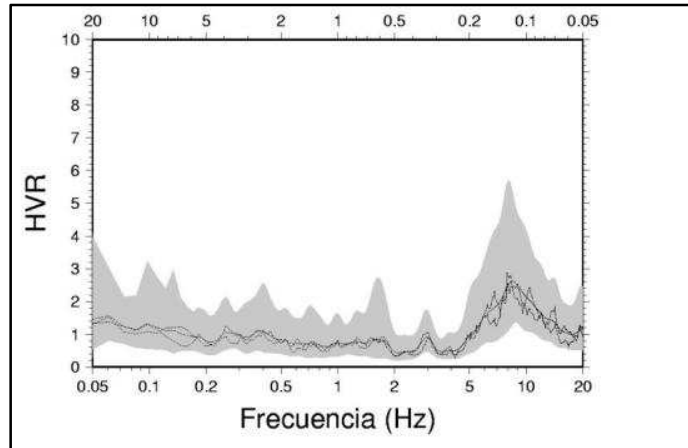
VIN 73



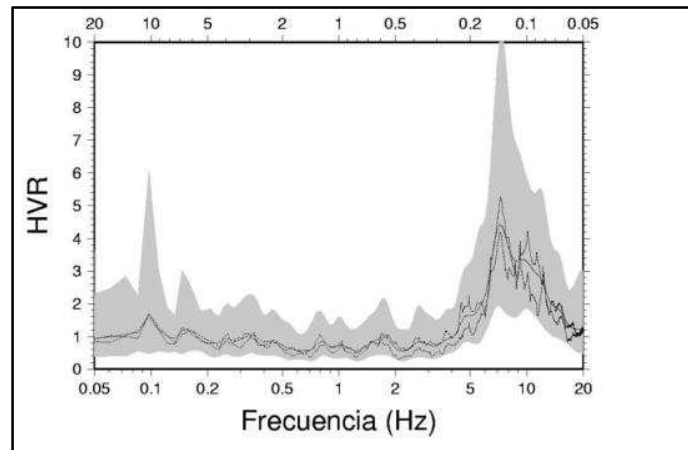
VIN 74



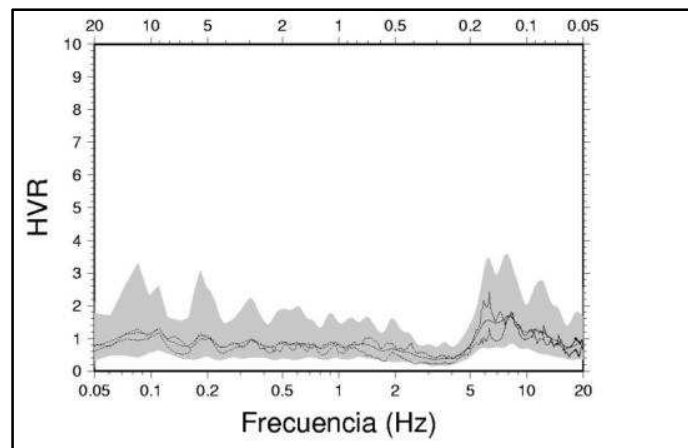
VIN 75



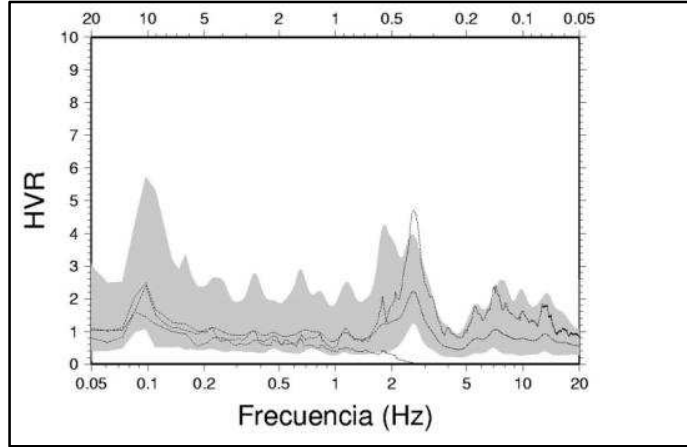
VIN 76



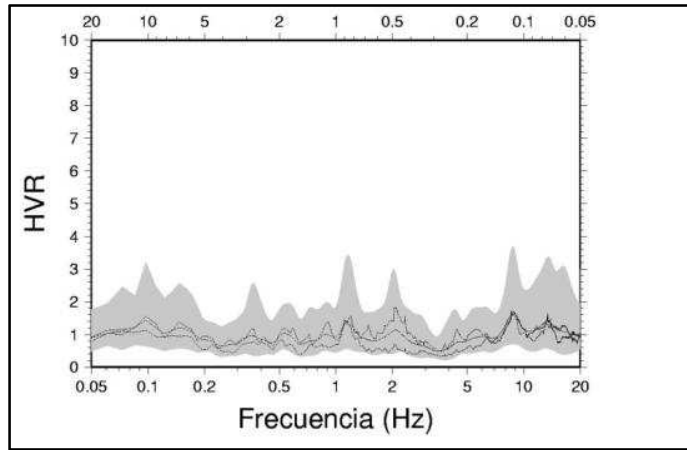
VIN 77



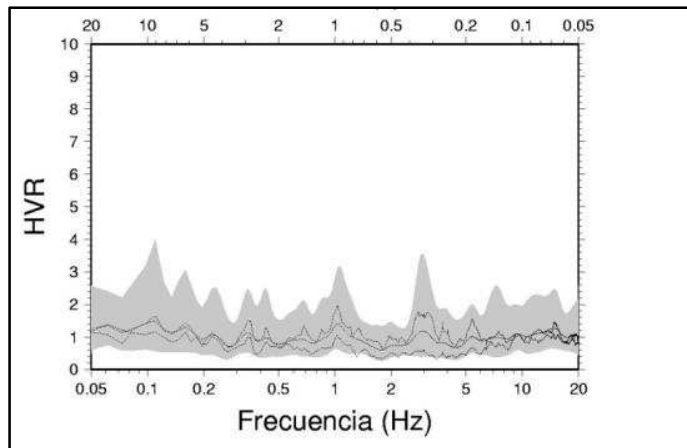
VIN 78



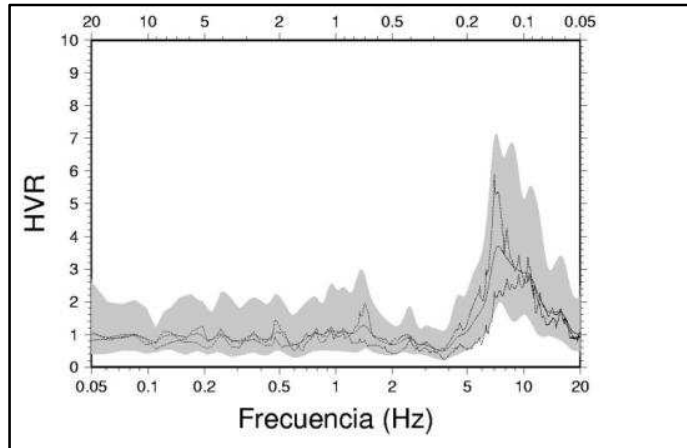
VIN 79



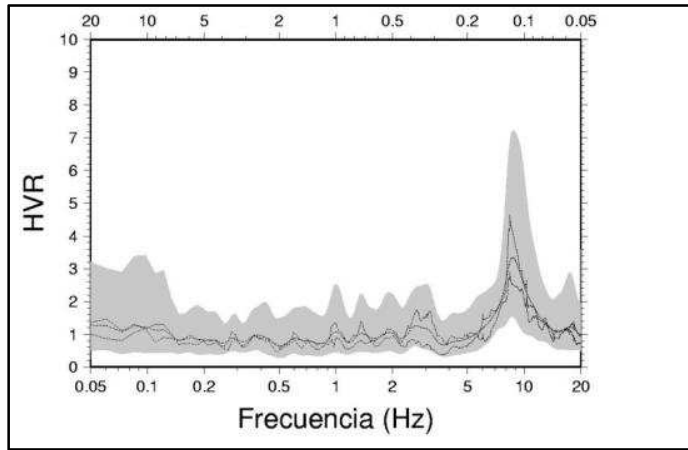
VIN 80



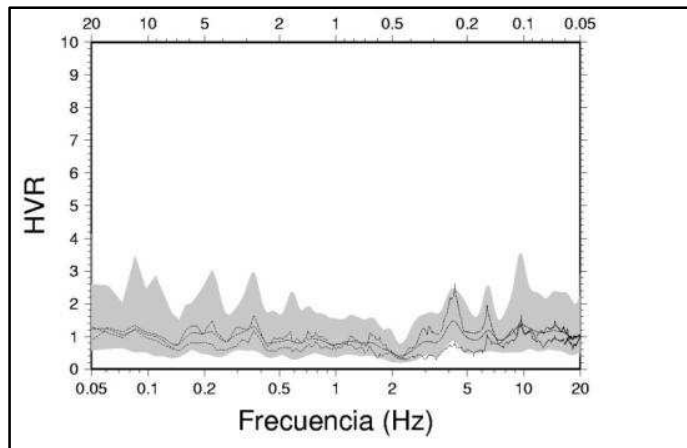
VIN 81



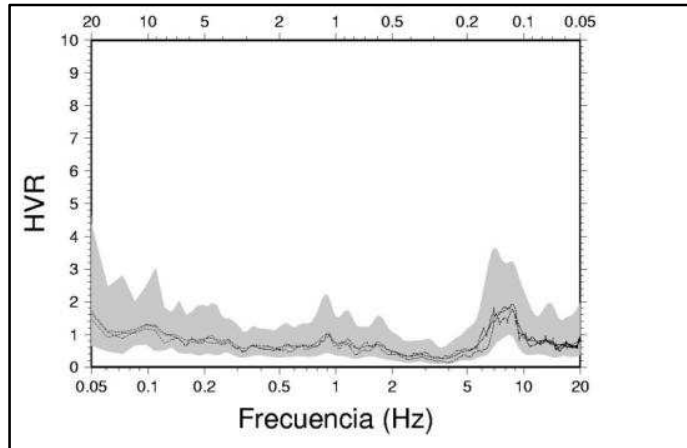
VIN 82



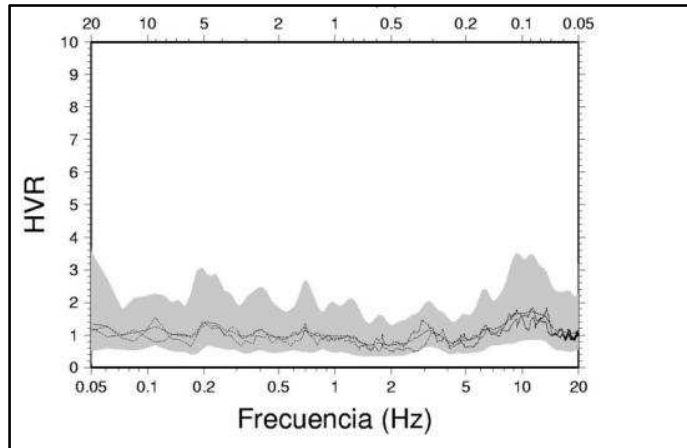
VIN 83



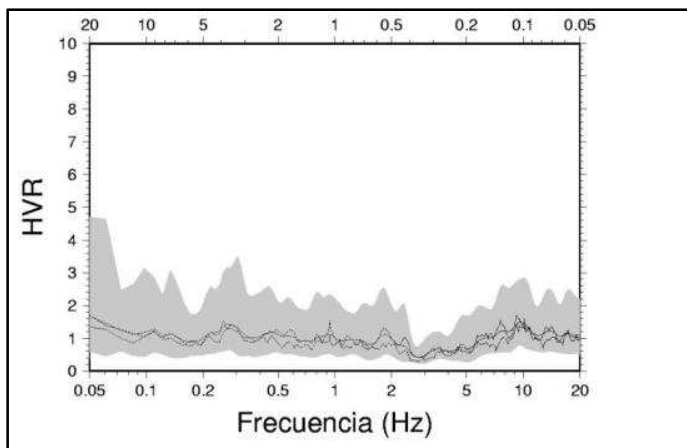
VIN 84



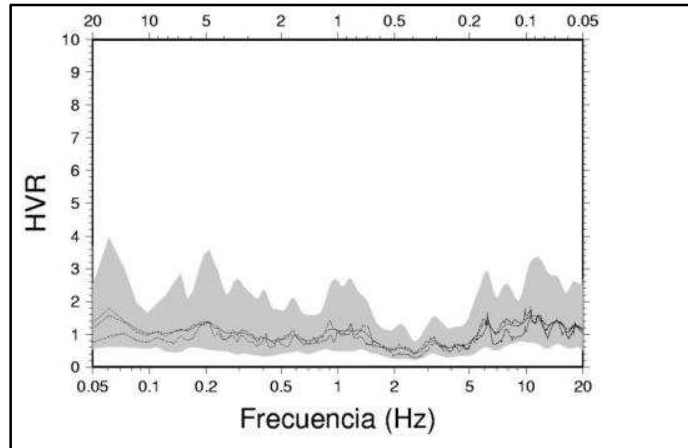
VIN 85



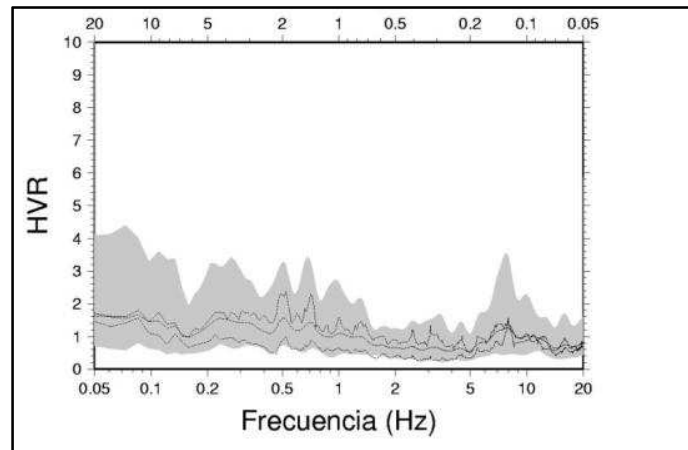
VIN 86



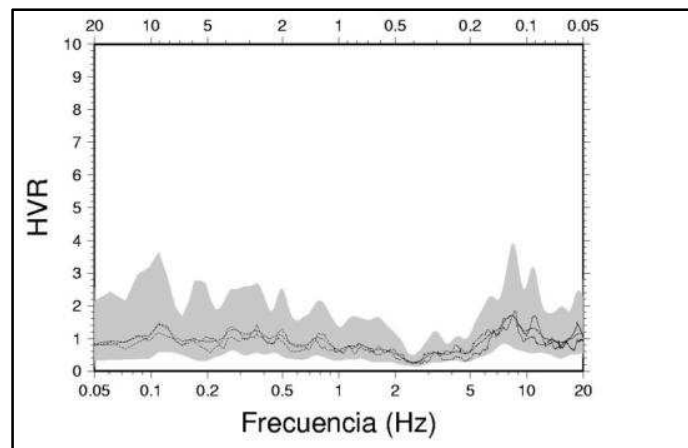
VIN 87



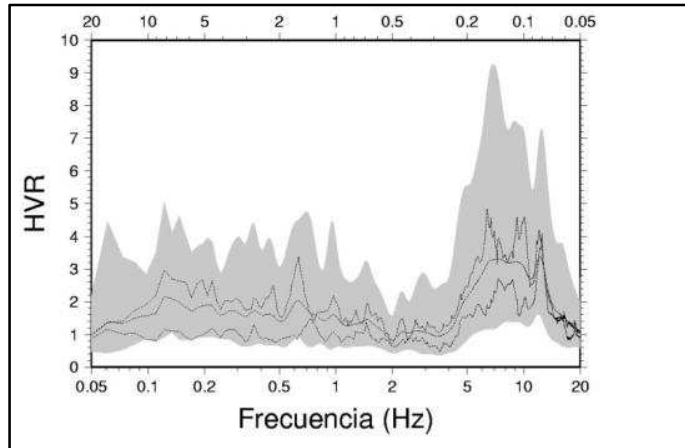
VIN 88



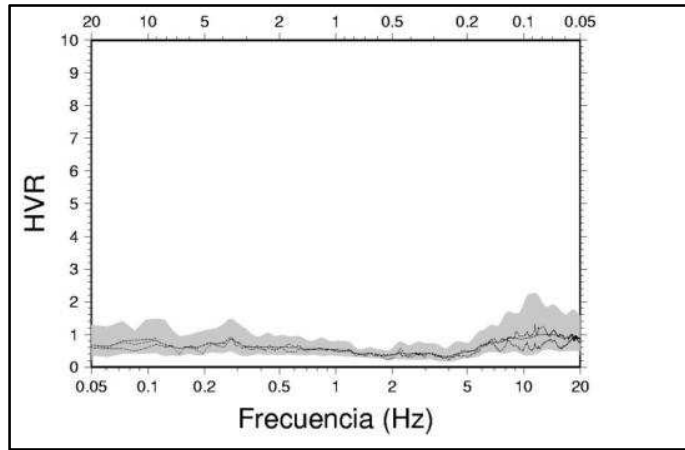
VIN 89



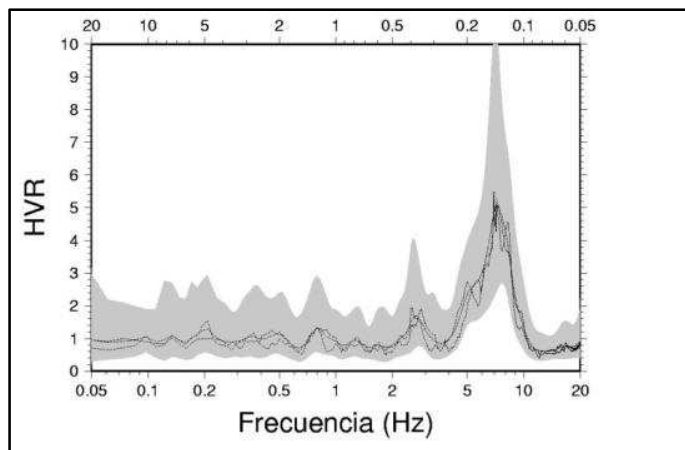
VIN 90



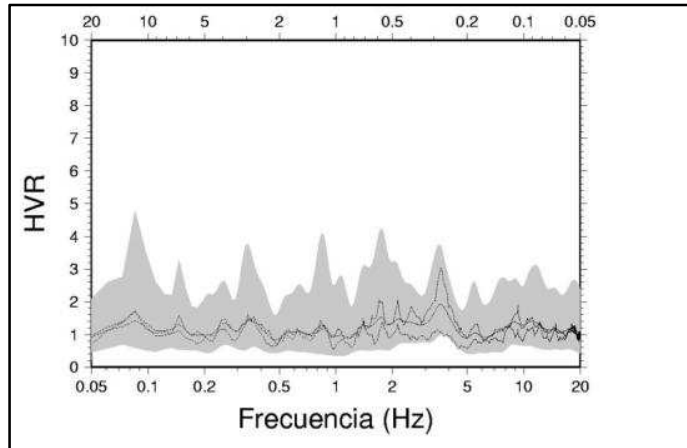
VIN 91



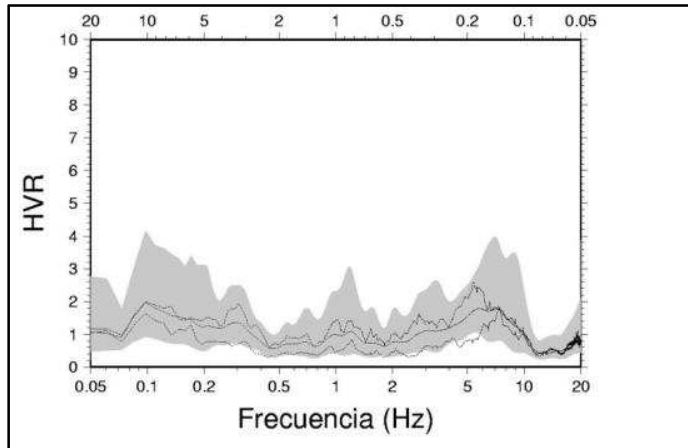
VIN 92



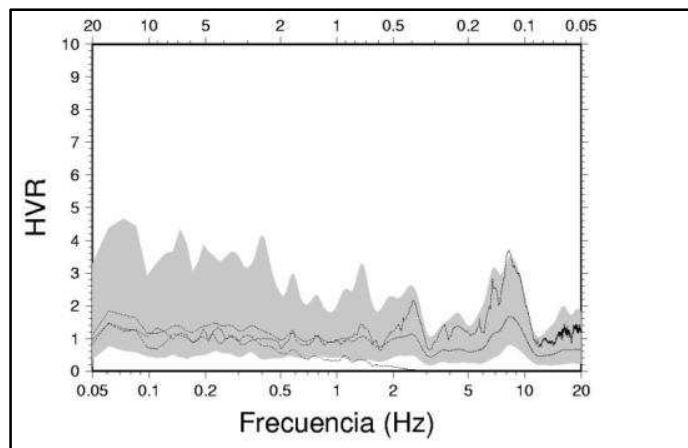
VIN 93



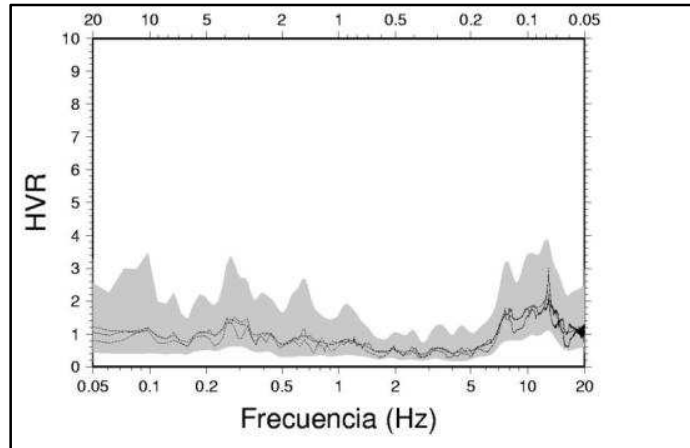
VIN 94



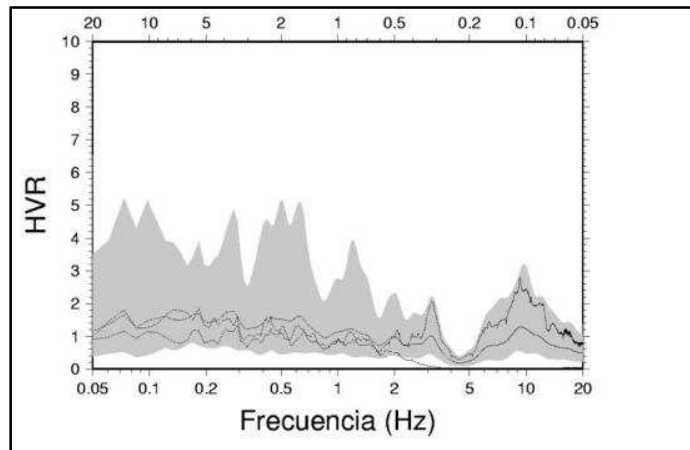
VIN 95



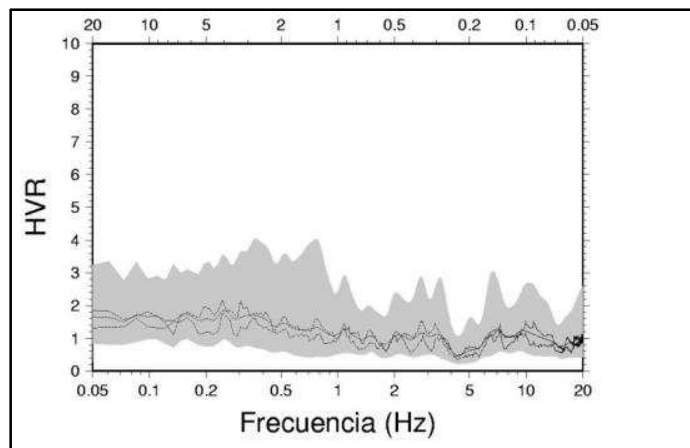
VIN 96



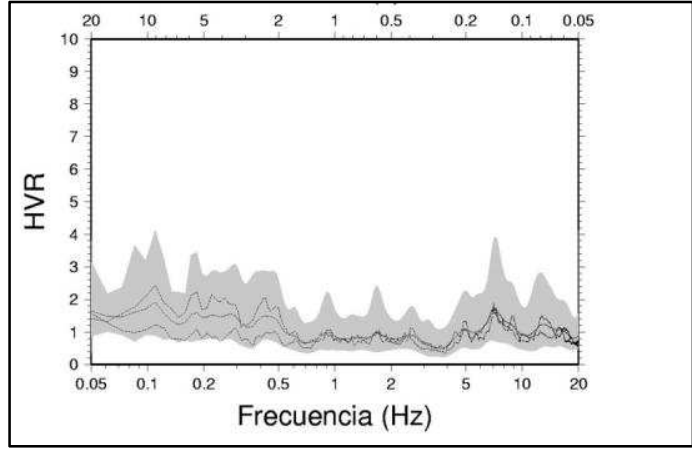
VIN 97



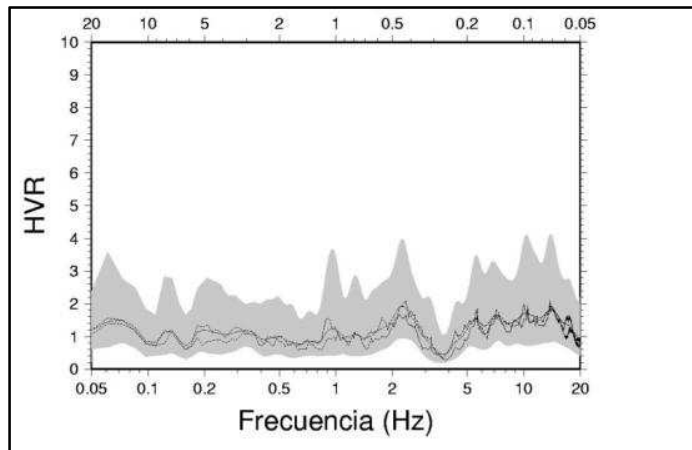
VIN 98



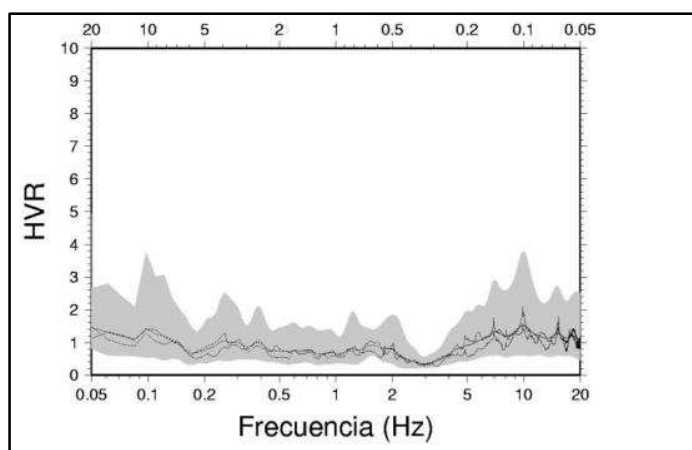
VIN 99



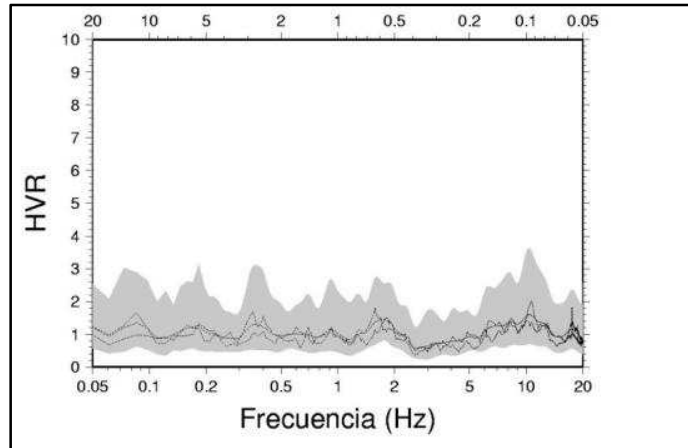
VIN 100



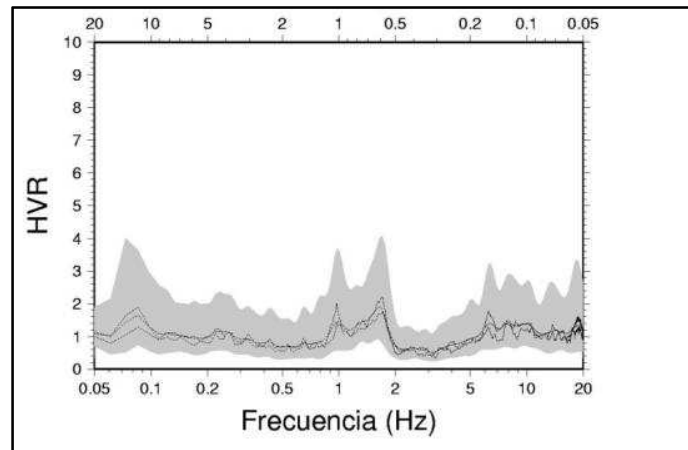
VIN 101



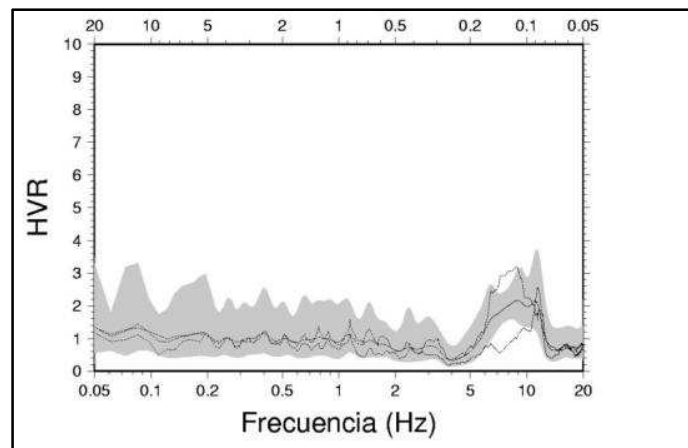
VIN 102



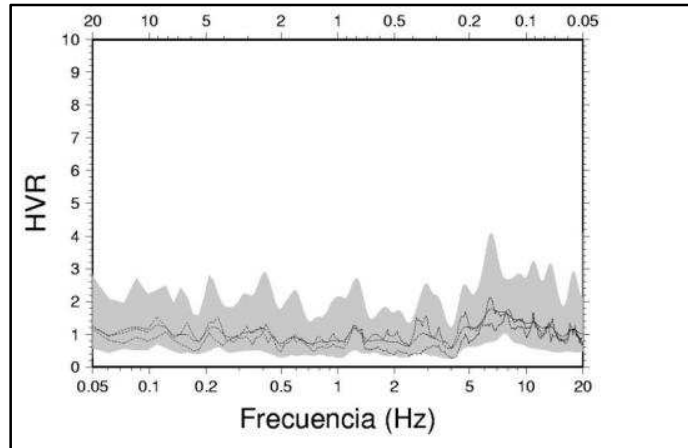
VIN 103



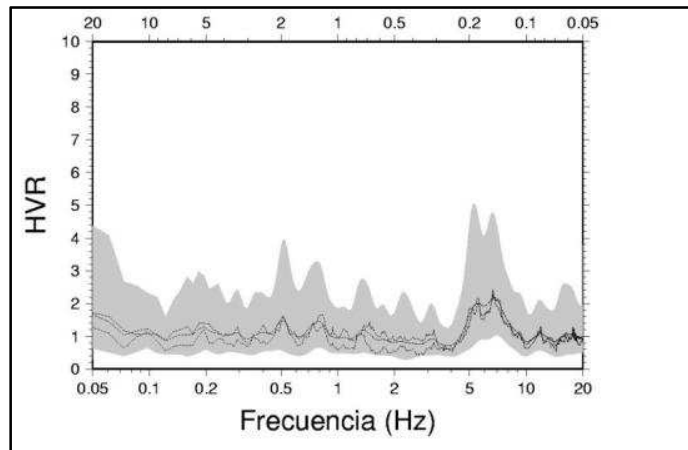
VIN 104



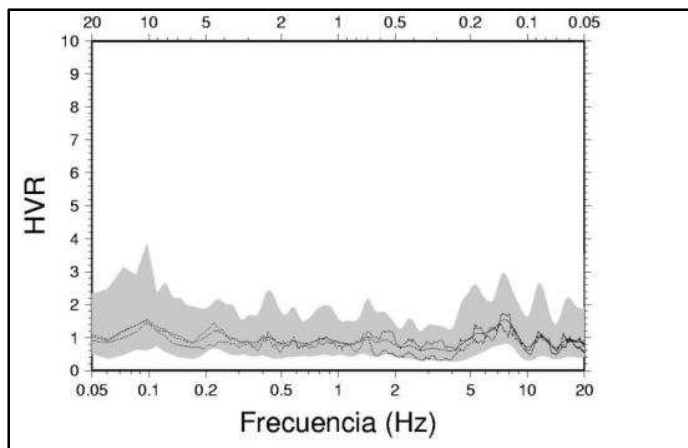
VIN 105



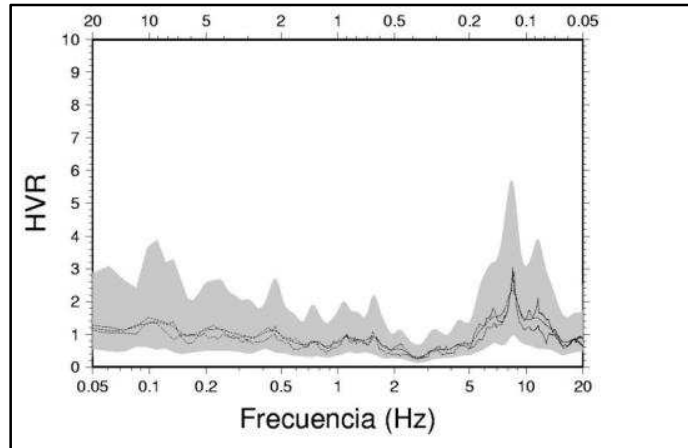
VIN 106



VIN 107

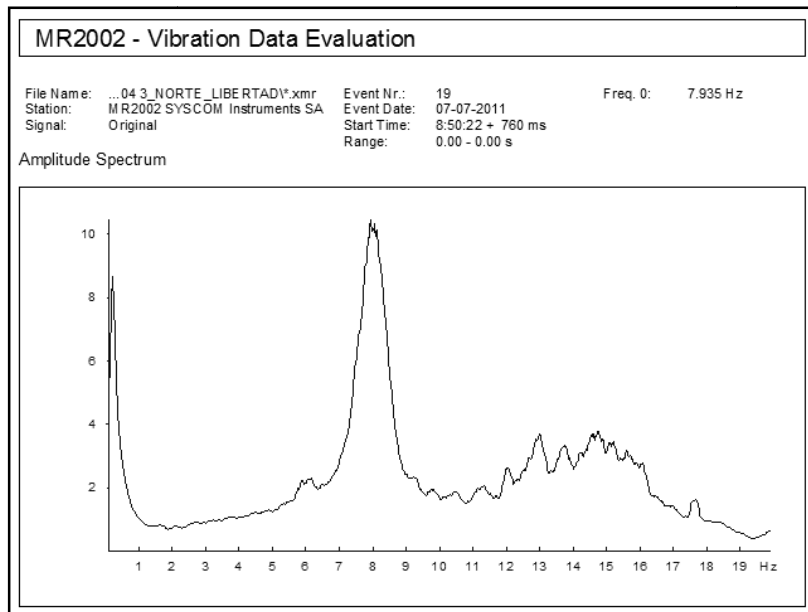


VIN 108

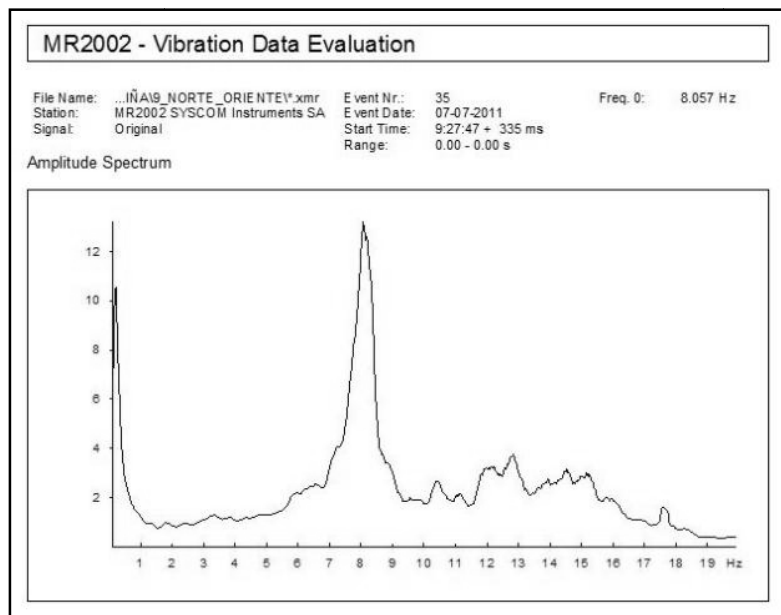


VIN 109

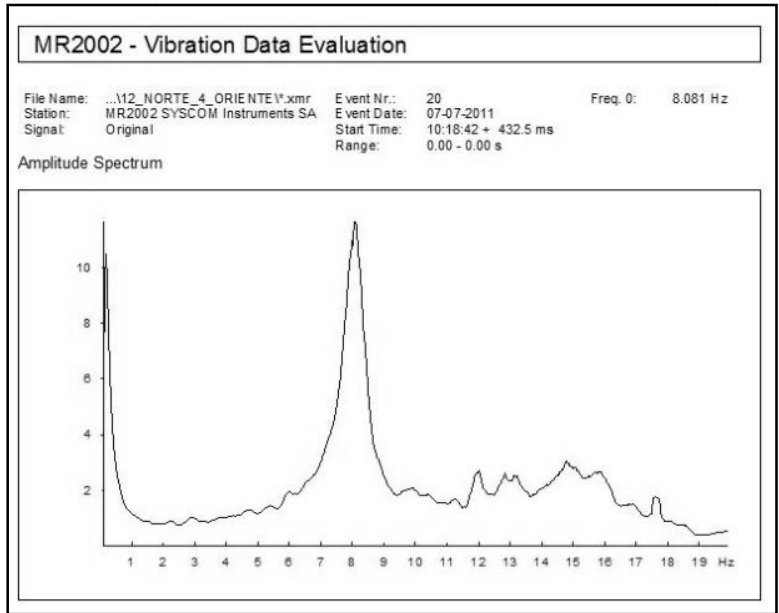
ii. Microvibraciones con equipo SYSCOM MR2002



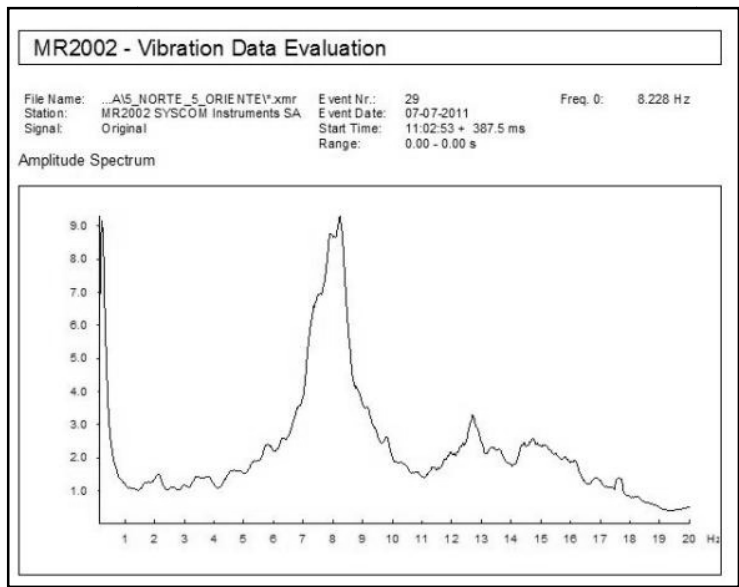
SYSCOM 1



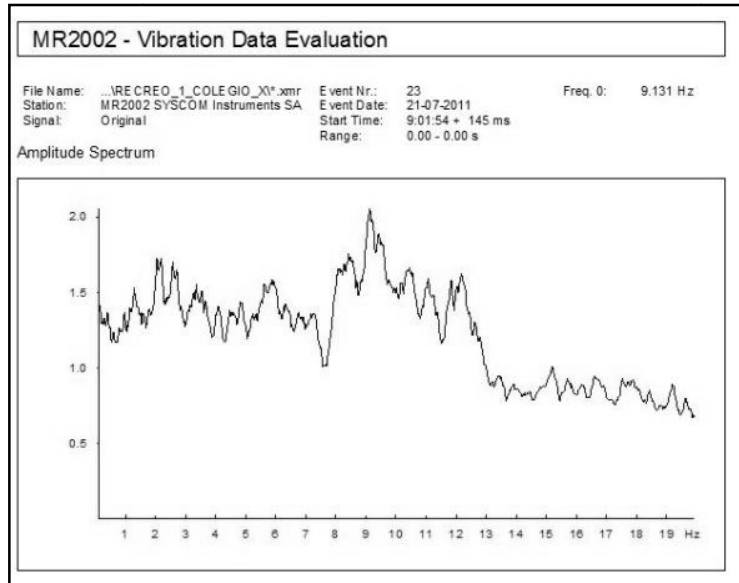
SYSCOM 2



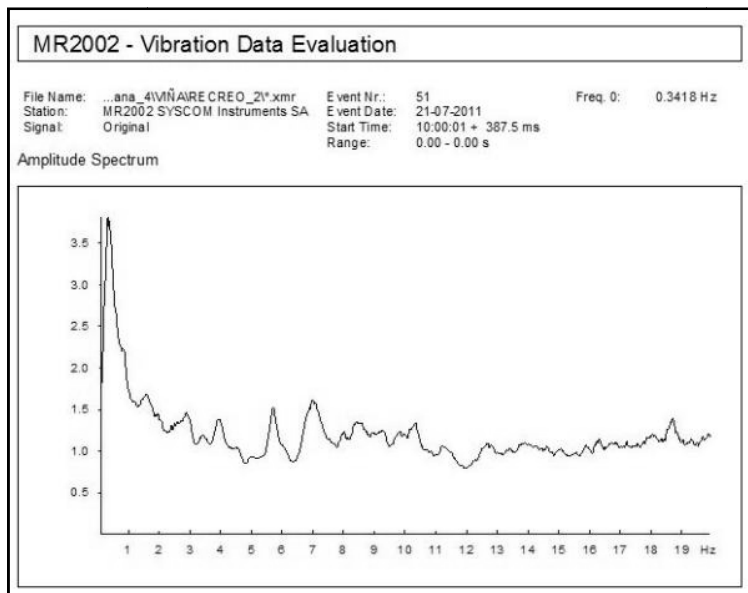
SYSCOM 3



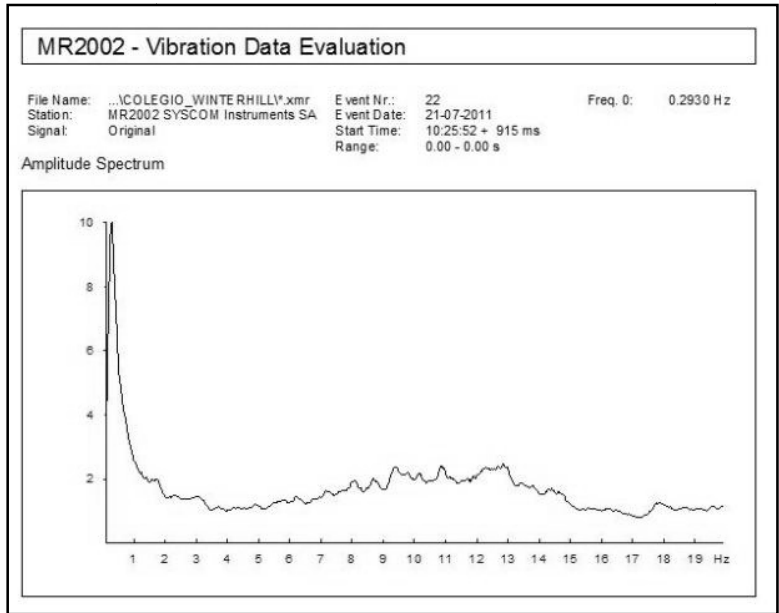
SYSCOM 4



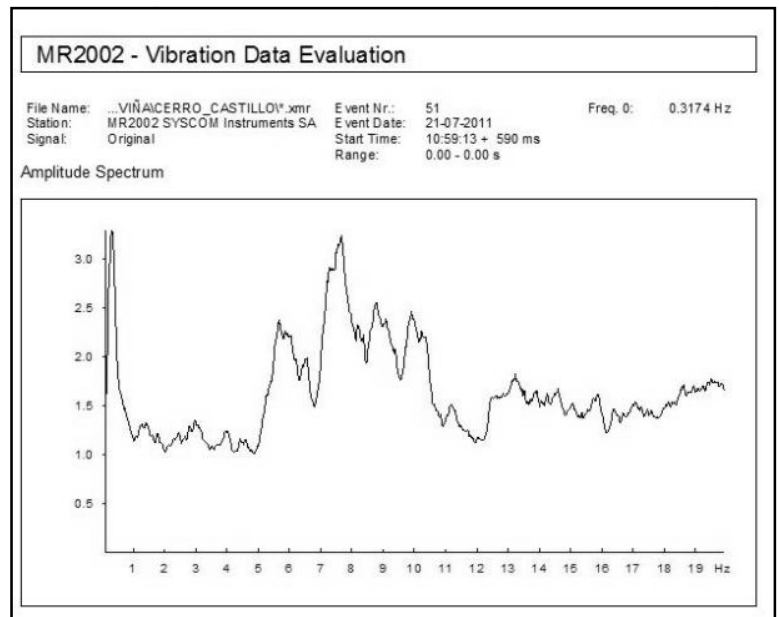
SYSCOM 5



SYSCOM 6



SYSCOM 7

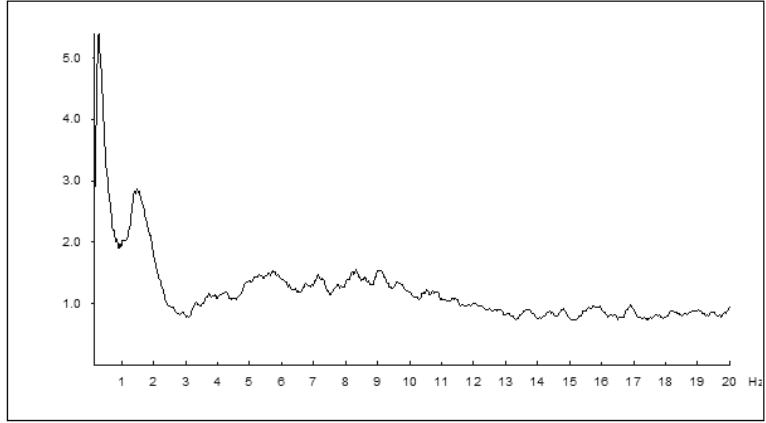


SYSCOM 8

MR2002 - Vibration Data Evaluation

File Name: ...SYSCOM\Semana_5\UNOV.xmr Event Nr.: 8 Freq. 0: 0.2930 Hz
Station: MR2002 SYSCOM Instruments SA Event Date: 08-09-2011
Signal: Original Start Time: 10:11:17 + 390 ms
Range: -0.01 - 30.98 s

Amplitude Spectrum

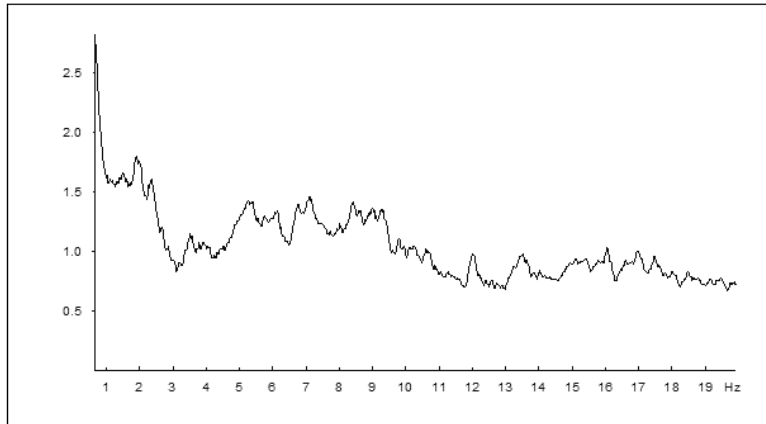


SYSCOM 9

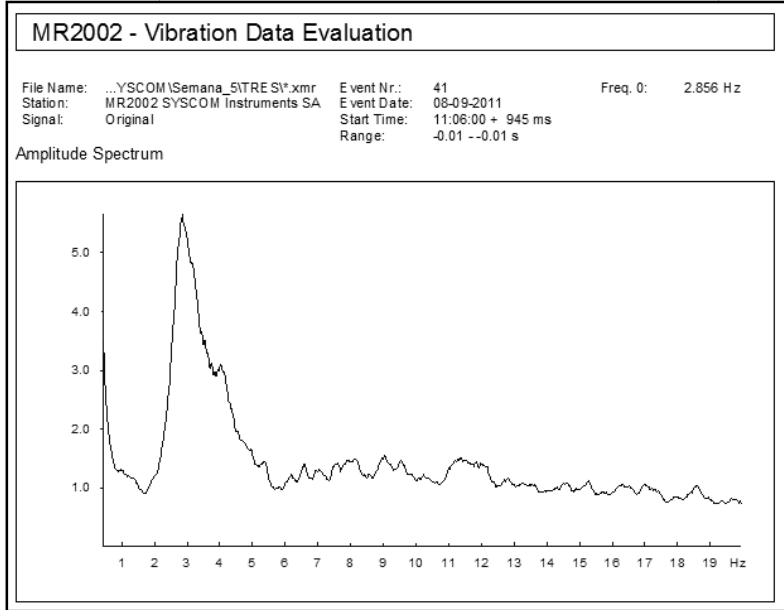
MR2002 - Vibration Data Evaluation

File Name: ...Semana_5\DO\Slins01016.XMR Event Nr.: 16 Freq. 2: 0.6592 Hz
Station: MR2002 SYSCOM Instruments SA Event Date: 08-09-2011
Signal: Baseline corrected Start Time: 10:20:47 + 215 ms
Range: 0.00 - 30.99 s

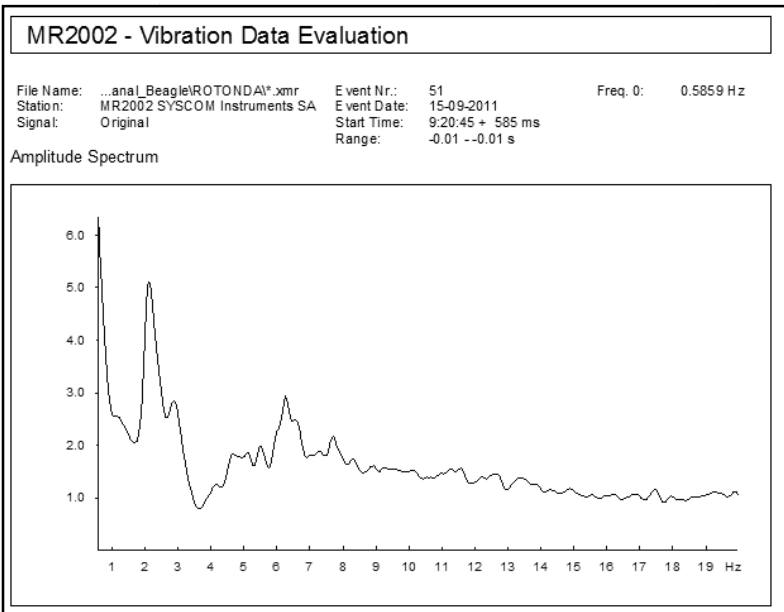
Amplitude Spectrum



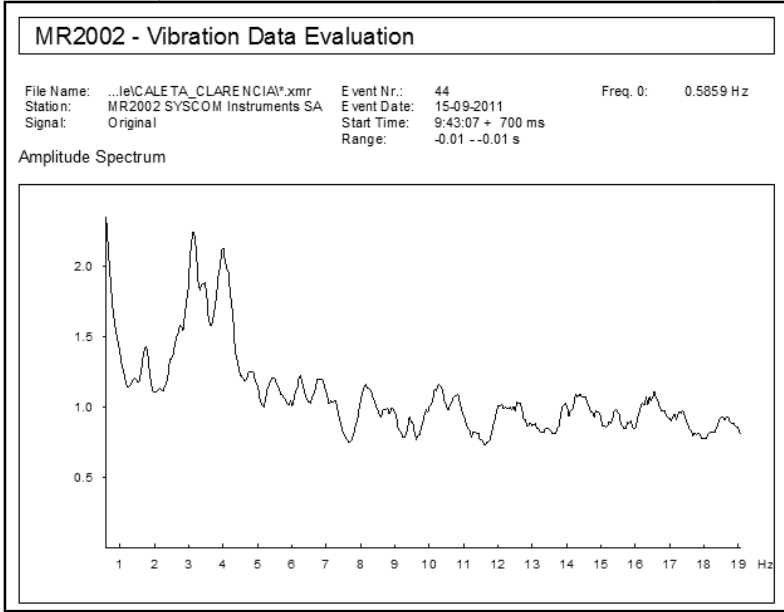
SYSCOM 10



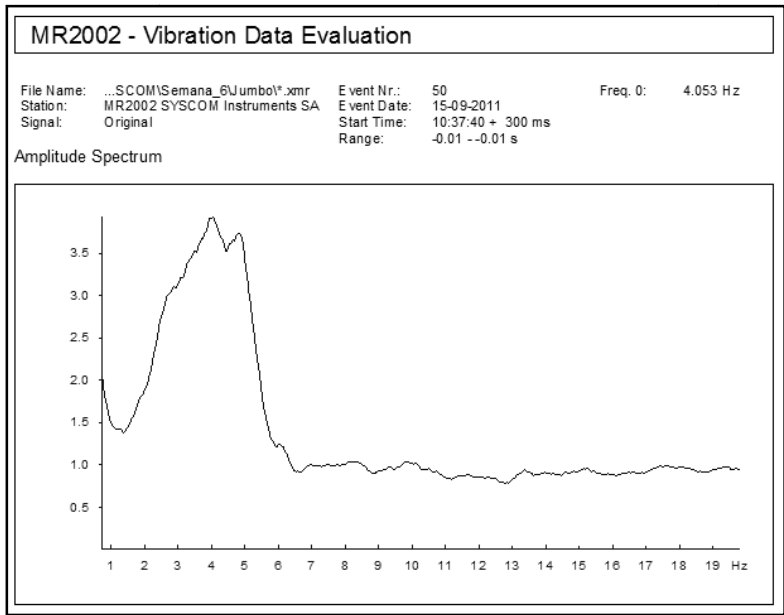
SYSCOM 11



SYSCOM 12



SYSCOM 13

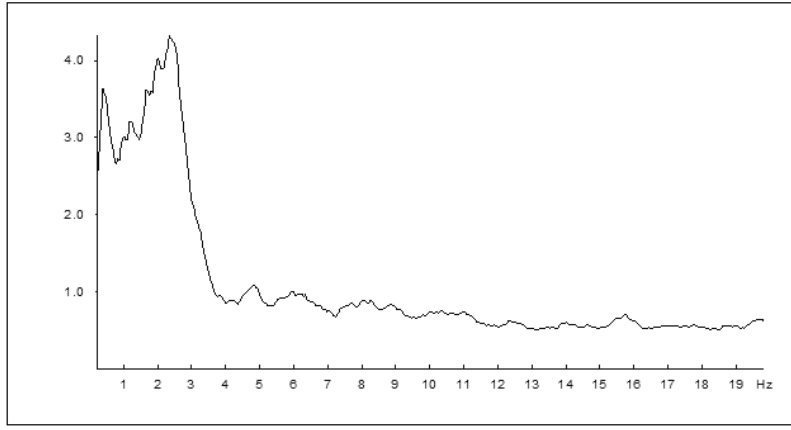


SYSCOM 14

MR2002 - Vibration Data Evaluation

File Name: ...IPO_SYSCOM\Semana_6*.xmr Event Nr.: 38 Freq. 0: 2.344 Hz
Station: MR2002 SYSCOM Instruments SA Event Date: 23-09-2011
Signal: Original Start Time: 11:01:20 + 585 ms
Range: -0.01 - -0.01 s

Amplitude Spectrum

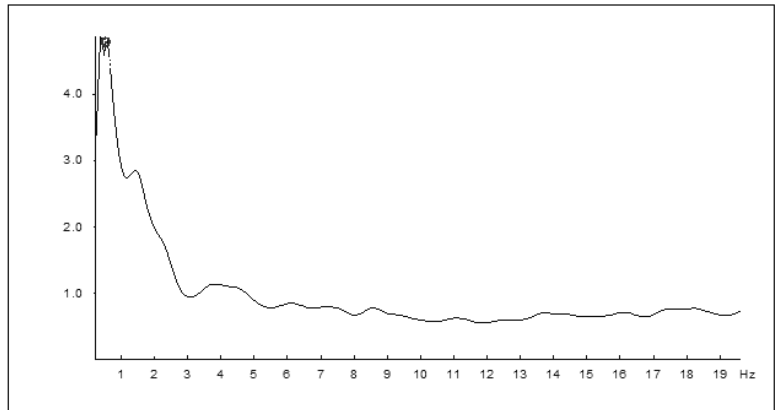


SYSCOM 15

MR2002 - Vibration Data Evaluation

File Name: ...norte_con_quillota*.xmr Event Nr.: 82 Freq. 0: 0.3906 Hz
Station: MR2002 SYSCOM Instruments SA Event Date: 23-09-2011
Signal: Original Start Time: 10:23:01 + 685 ms
Range: -0.01 - -0.01 s

Amplitude Spectrum

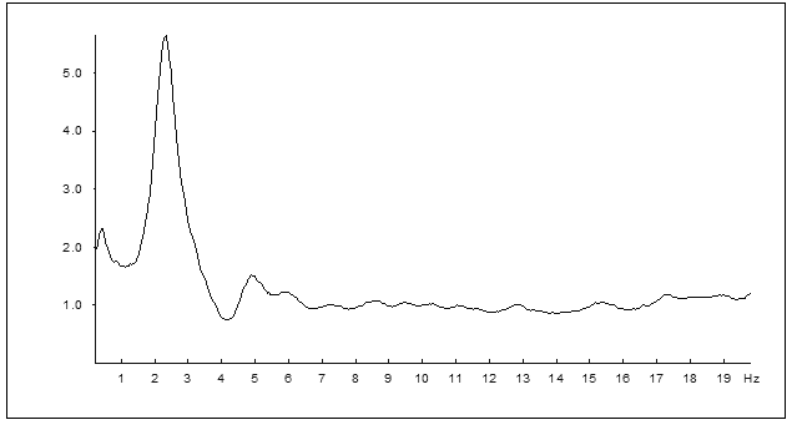


SYSCOM 16

MR2002 - Vibration Data Evaluation

File Name: ...ana_6PLAZA_DE_VINALA*.xmr Event Nr.: 45 Freq. 0: 2.344 Hz
Station: MR2002 SYSCOM Instruments SA Event Date: 23-09-2011
Signal: Original Start Time: 9:48:00 + 120 ms
Range: -0.01 - -0.01 s

Amplitude Spectrum

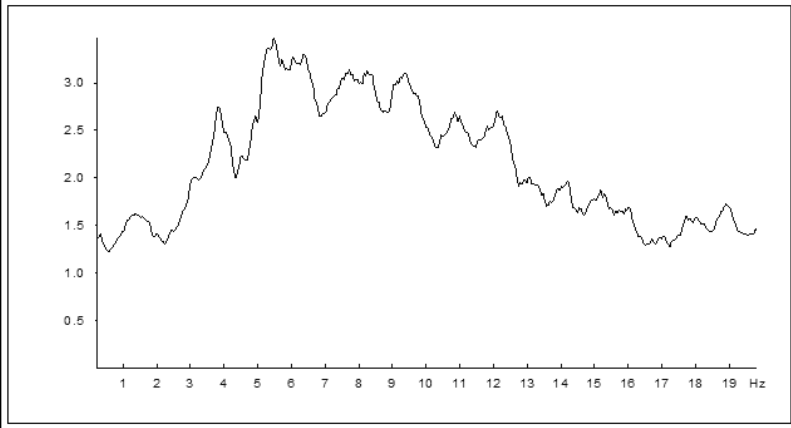


SYSCOM 17

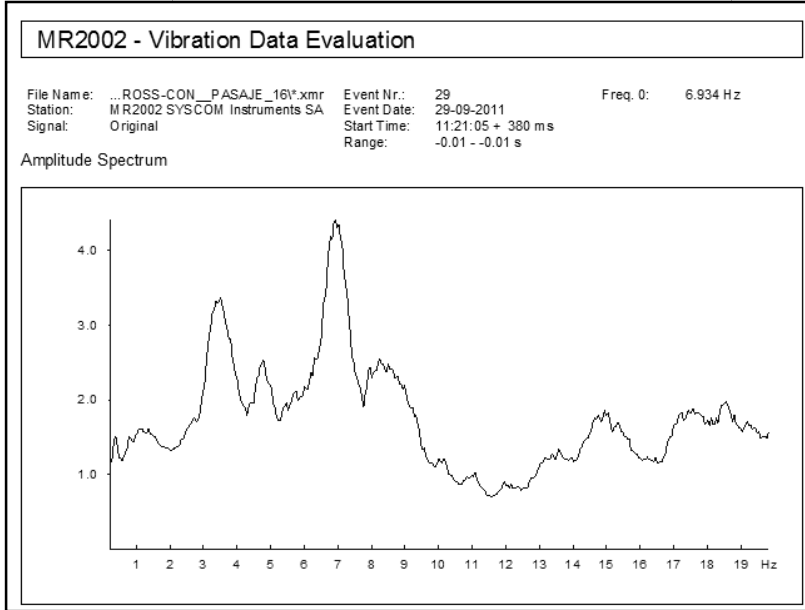
MR2002 - Vibration Data Evaluation

File Name: ...mana_7Isia_melinka*.xmr Event Nr.: 53 Freq. 0: 5.469 Hz
Station: MR2002 SYSCOM Instruments SA Event Date: 29-09-2011
Signal: Original Start Time: 10:05:22 + 415 ms
Range: -0.01 - -0.01 s

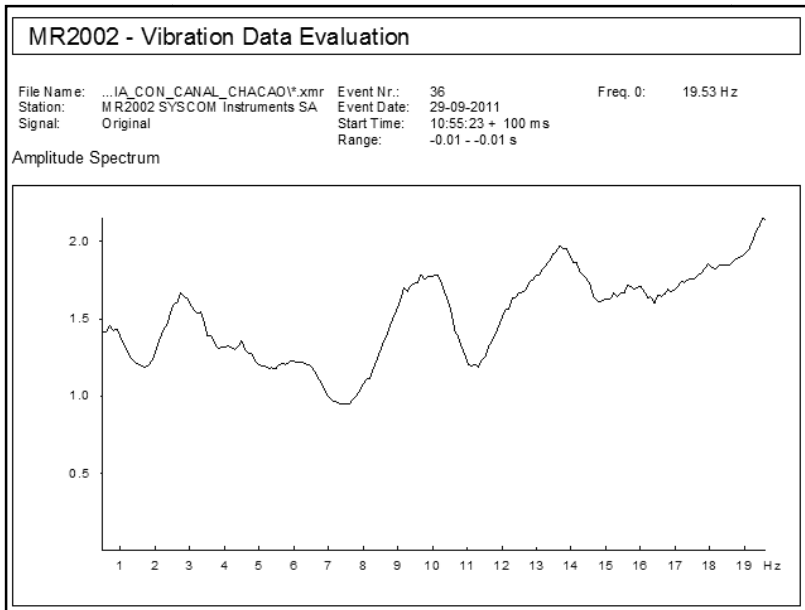
Amplitude Spectrum



SYSCOM 18



SYSCOM 19

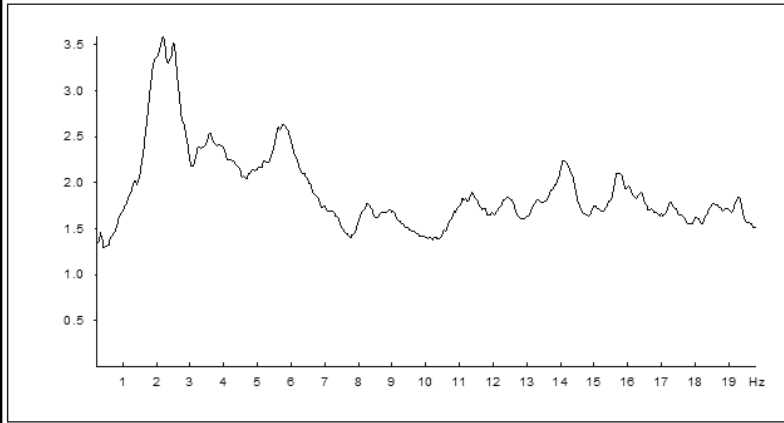


SYSCOM 20

MR2002 - Vibration Data Evaluation

File Name: ...con_puerto_natales!*.xmr Event Nr.: 38 Freq. 0: 2.197 Hz
Station: MR2002 SYSCOM Instruments SA Event Date: 29-09-2011
Signal: Original Start Time: 10:28:06 + 645 ms
Range: -0.01 - -0.01 s

Amplitude Spectrum

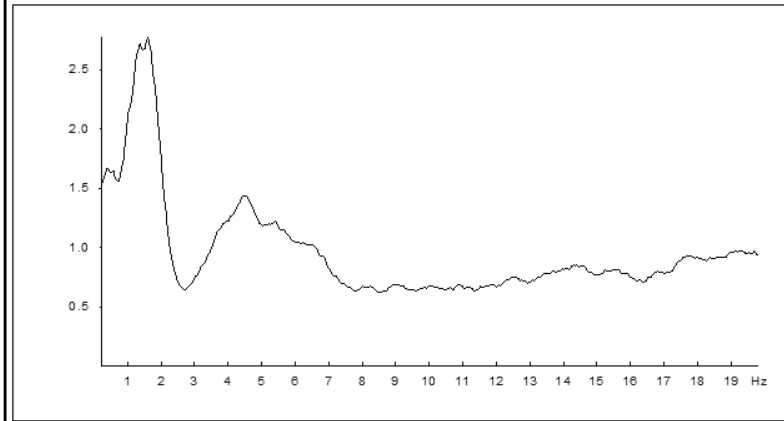


SYSCOM 21

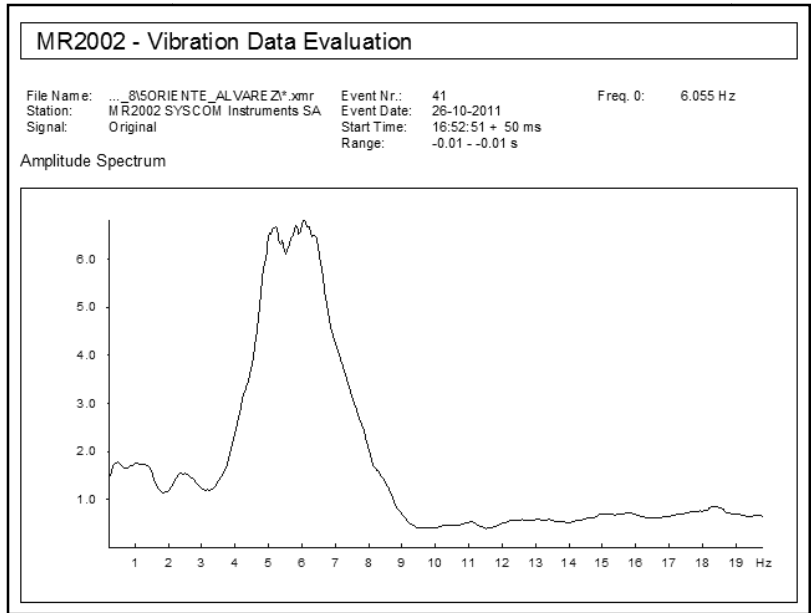
MR2002 - Vibration Data Evaluation

File Name: ...erinari_santo_tomas!*.xmr Event Nr.: 44 Freq. 0: 1.611 Hz
Station: MR2002 SYSCOM Instruments SA Event Date: 26-10-2011
Signal: Original Start Time: 14:21:11 + 950 ms
Range: -0.01 - -0.01 s

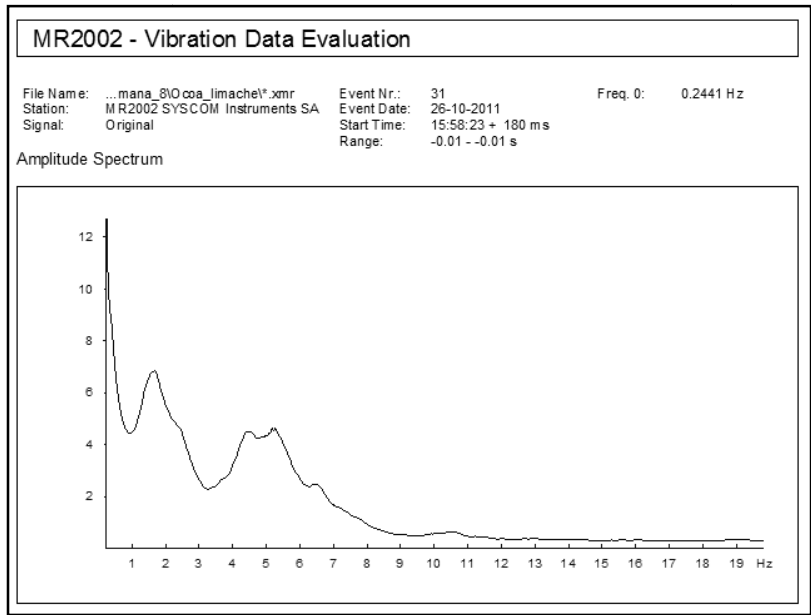
Amplitude Spectrum



SYSCOM 22



SYSCOM 23

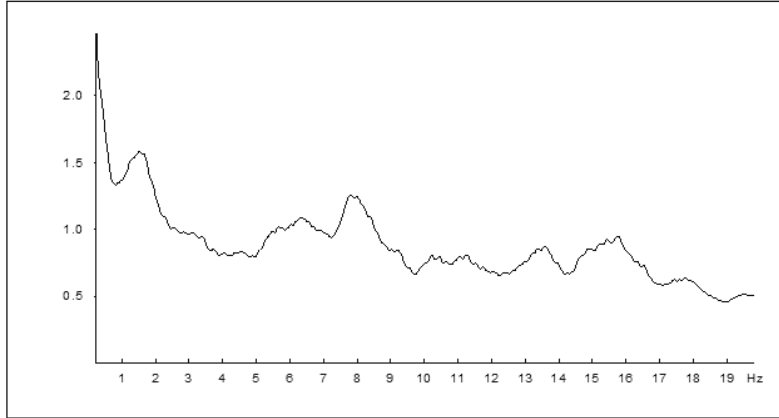


SYSCOM 24

MR2002 - Vibration Data Evaluation

File Name: ...ana_8\SIMON_BOLIVAR1*.xmr Event Nr.: 35 Freq. 0: 0.2441 Hz
Station: MR2002 SYSCOM Instruments SA Event Date: 26-10-2011
Signal: Original Start Time: 16:21:42 + 875 ms
Range: -0.01 - -0.01 s

Amplitude Spectrum

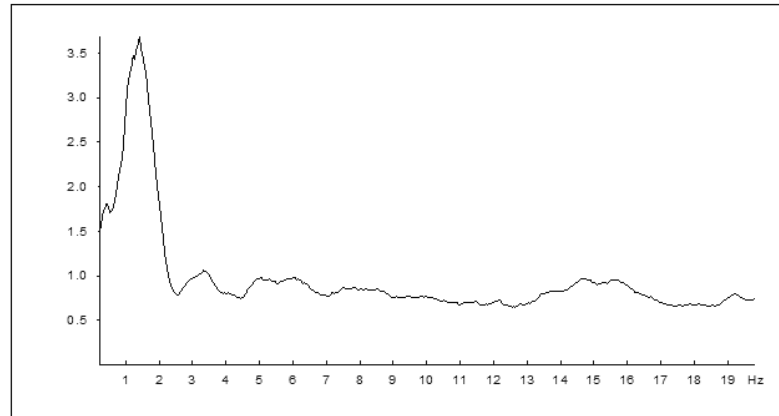


SYSCOM 25

MR2002 - Vibration Data Evaluation

File Name: ...orte_con_2_poniente1*.xmr Event Nr.: 44 Freq. 0: 1.416 Hz
Station: MR2002 SYSCOM Instruments SA Event Date: 03-11-2011
Signal: Original Start Time: 15:37:55 + 635 ms
Range: -0.01 - -0.01 s

Amplitude Spectrum

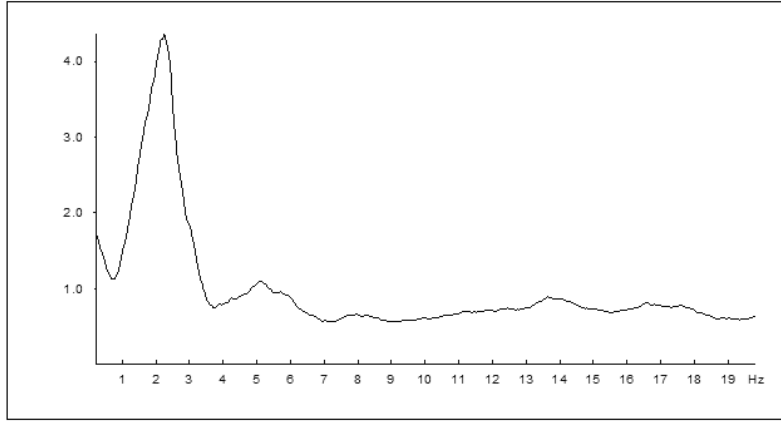


SYSCOM 26

MR2002 - Vibration Data Evaluation

File Name: ...astanos_con_4_norte*.xmr Event Nr.: 44 Freq. 0: 2.246 Hz
Station: MR2002 SYSCOM Instruments SA Event Date: 03-11-2011
Signal: Original Start Time: 16:10:02 + 120 ms
Range: -0.01 - -0.01 s

Amplitude Spectrum

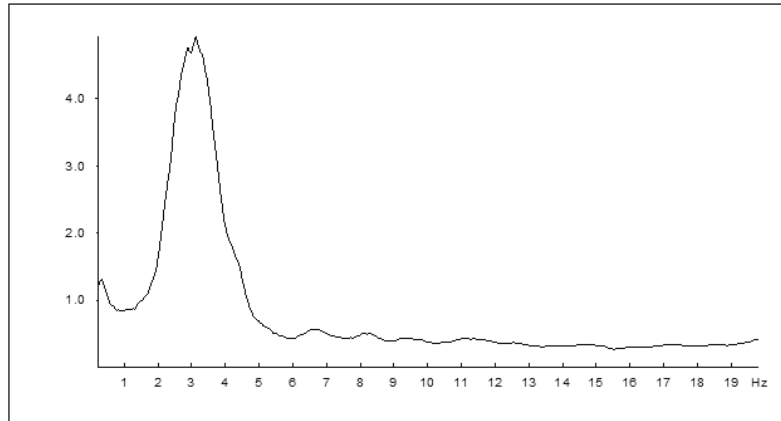


SYSCOM 27

MR2002 - Vibration Data Evaluation

File Name: ...Norte_con_Quillota*.xmr Event Nr.: 40 Freq. 0: 3.125 Hz
Station: MR2002 SYSCOM Instruments SA Event Date: 14-11-2011
Signal: Original Start Time: 17:09:05 + 130 ms
Range: -0.01 - -0.01 s

Amplitude Spectrum

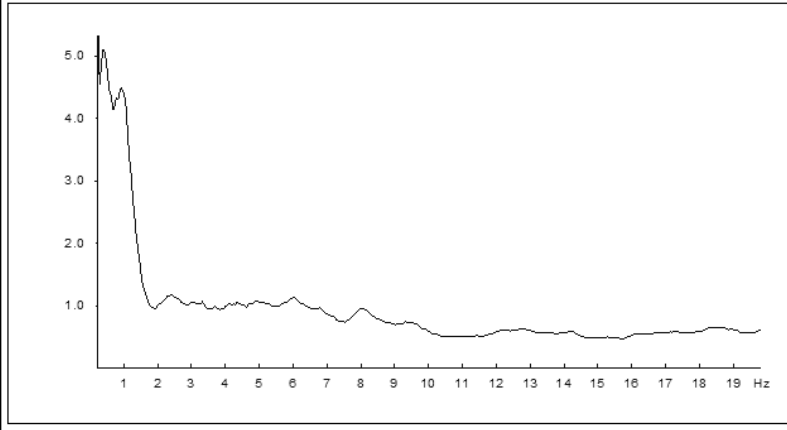


SYSCOM 28

MR2002 - Vibration Data Evaluation

File Name: ...ntre_1_y_2_PonienteV*.xmr Event Nr.: 35 Freq. 0: 0.2441 Hz
Station: MR2002 SYSCOM Instruments SA Event Date: 14-11-2011
Signal: Original Start Time: 16:08:48 + 725 ms
Range: -0.01 - -0.01 s

Amplitude Spectrum

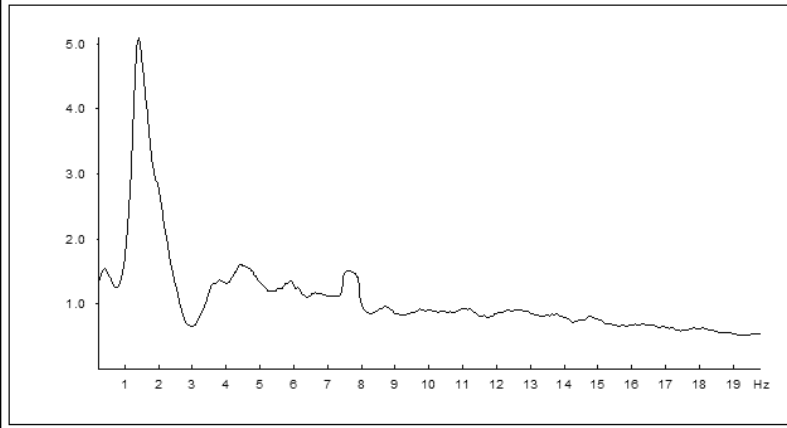


SYSCOM 29

MR2002 - Vibration Data Evaluation

File Name: ...laza_costado_casinoV*.xmr Event Nr.: 36 Freq. 0: 1.416 Hz
Station: MR2002 SYSCOM Instruments SA Event Date: 14-11-2011
Signal: Original Start Time: 15:34:47 + 475 ms
Range: -0.01 - -0.01 s

Amplitude Spectrum

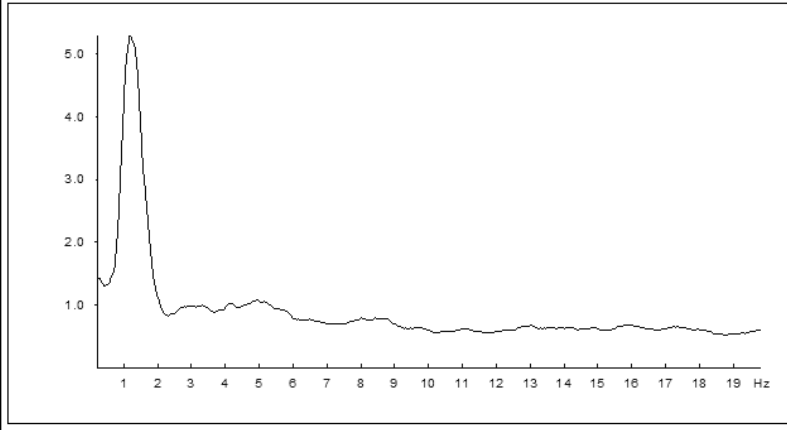


SYSCOM 30

MR2002 - Vibration Data Evaluation

File Name: ...a_11\platanos_pinos*.xmr Event Nr.: 39 Freq. 0: 1.172 Hz
Station: MR2002 SYSCOM Instruments SA Event Date: 28-11-2011
Signal: Original Start Time: 15:07:38 + 920 ms
Range: -0.01 - -0.01 s

Amplitude Spectrum

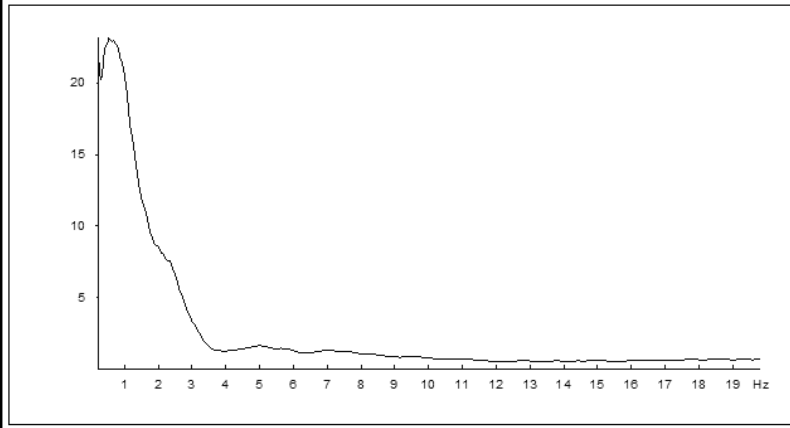


SYSCOM 31

MR2002 - Vibration Data Evaluation

File Name: ...1\PLATANOS-LIGUSTRO*.xmr Event Nr.: 31 Freq. 0: 0.5371 Hz
Station: MR2002 SYSCOM Instruments SA Event Date: 28-11-2011
Signal: Original Start Time: 15:30:18 + 490 ms
Range: -0.01 - -0.01 s

Amplitude Spectrum

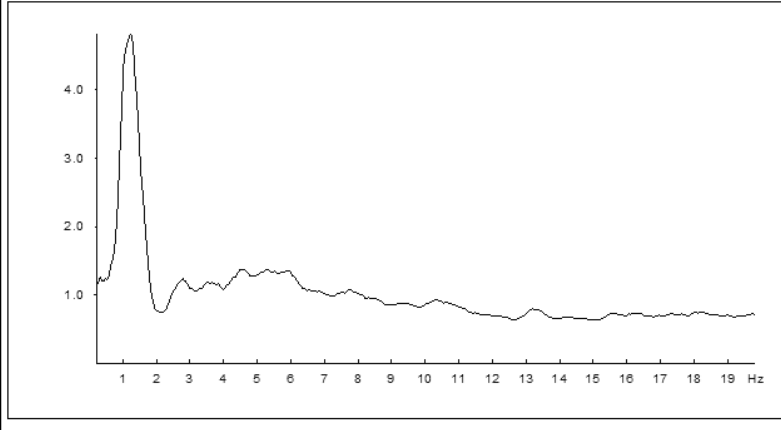


SYSCOM 32

MR2002 - Vibration Data Evaluation

File Name: ...11\plaza-miraflores!*.xmr Event Nr.: 41 Freq. 0: 1.221 Hz
Station: MR2002 SYSCOM Instruments SA Event Date: 28-11-2011
Signal: Original Start Time: 15:58:25 + 235 ms
Range: -0.01 - -0.01 s

Amplitude Spectrum

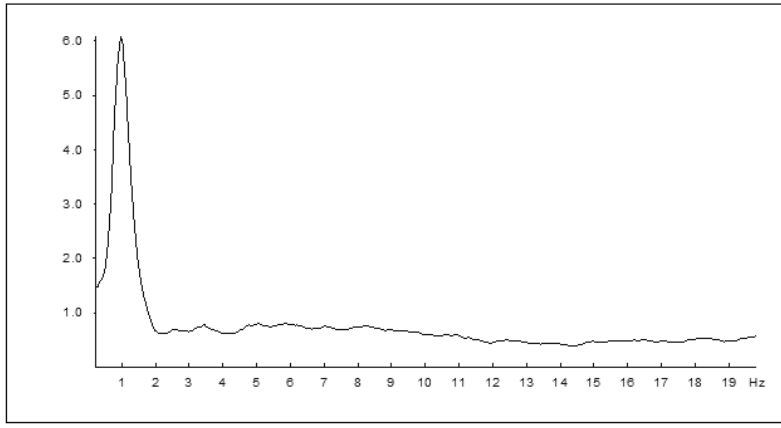


SYSCOM 33

MR2002 - Vibration Data Evaluation

File Name: ...orte-con_san_martin!*.xmr Event Nr.: 56 Freq. 0: 0.9766 Hz
Station: MR2002 SYSCOM Instruments SA Event Date: 29-11-2011
Signal: Original Start Time: 16:46:53 + 640 ms
Range: -0.01 - -0.01 s

Amplitude Spectrum

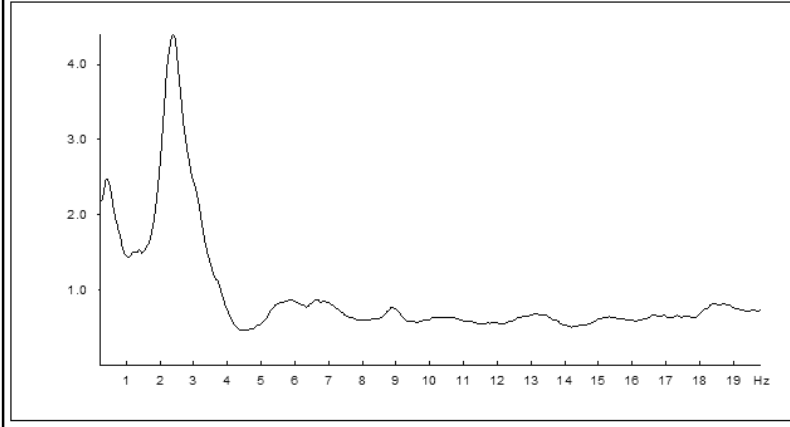


SYSCOM 34

MR2002 - Vibration Data Evaluation

File Name: ...a_12\Plaza_Mexico*.xmr Event Nr.: 37 Freq. 0: 2.393 Hz
Station: MR2002 SYSCOM Instruments SA Event Date: 29-11-2011
Signal: Original Start Time: 16:11:02 + 685 ms
Range: -0.01 - -0.01 s

Amplitude Spectrum

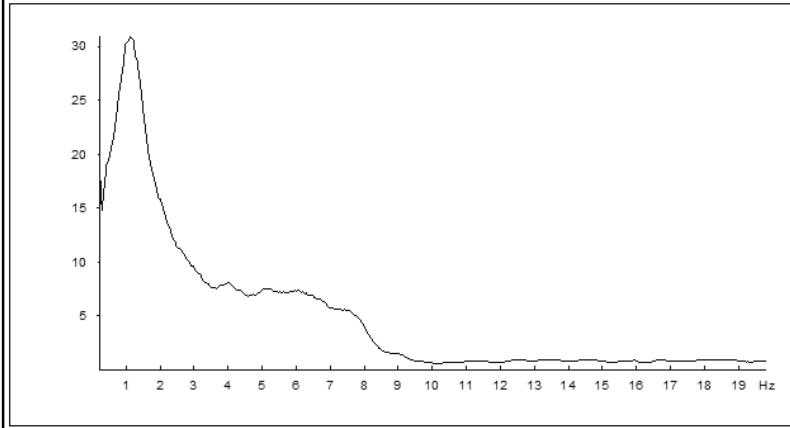


SYSCOM 35

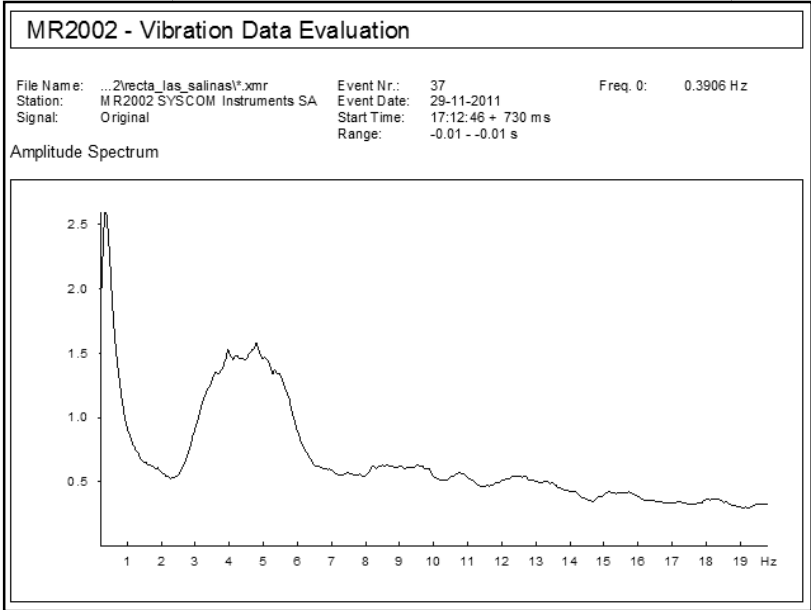
MR2002 - Vibration Data Evaluation

File Name: ...a_12\Quinta_Vergara*.xmr Event Nr.: 35 Freq. 0: 1.123 Hz
Station: MR2002 SYSCOM Instruments SA Event Date: 29-11-2011
Signal: Original Start Time: 15:33:05 + 430 ms
Range: -0.01 - -0.01 s

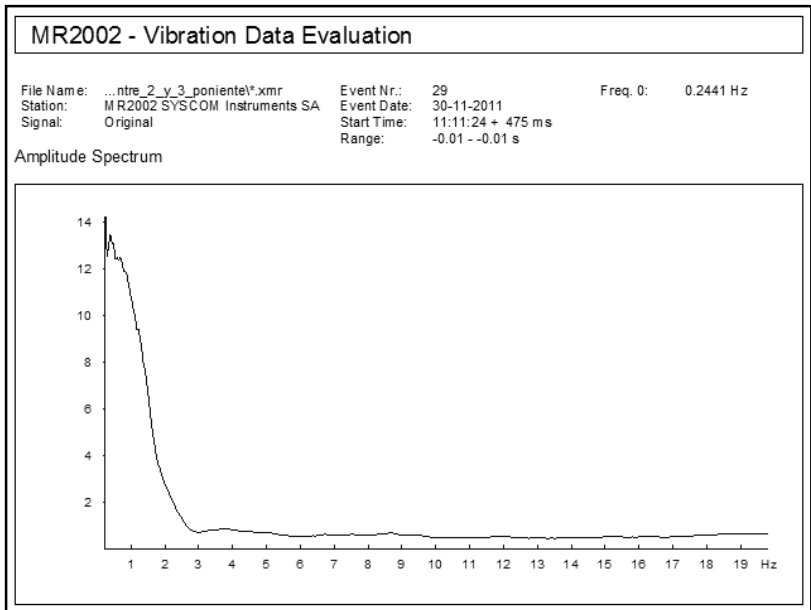
Amplitude Spectrum



SYSCOM 36



SYSCOM 37

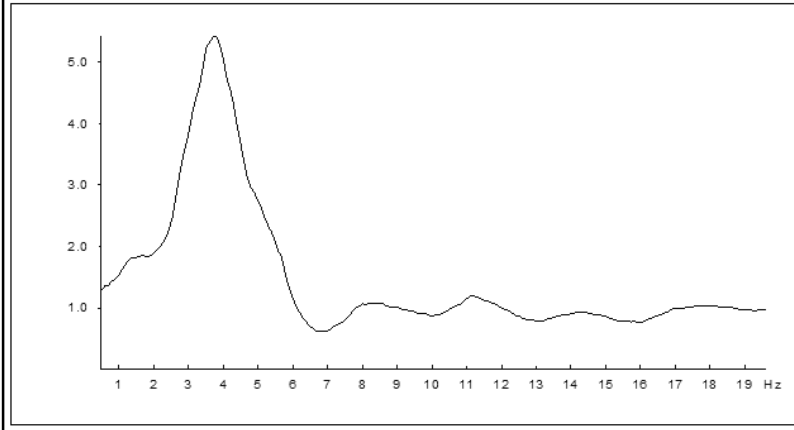


SYSCOM 38

MR2002 - Vibration Data Evaluation

File Name: ...13\Via_nuova_traslavina*.xmr Event Nr.: 44 Freq. 0: 3.711 Hz
Station: MR2002 SYSCOM Instruments SA Event Date: 30-11-2011
Signal: Original Start Time: 10:26:11 + 975 ms
Range: -0.01 - 0.01 s

Amplitude Spectrum



SYSCOM 39

I. Grilla de mapas temáticos

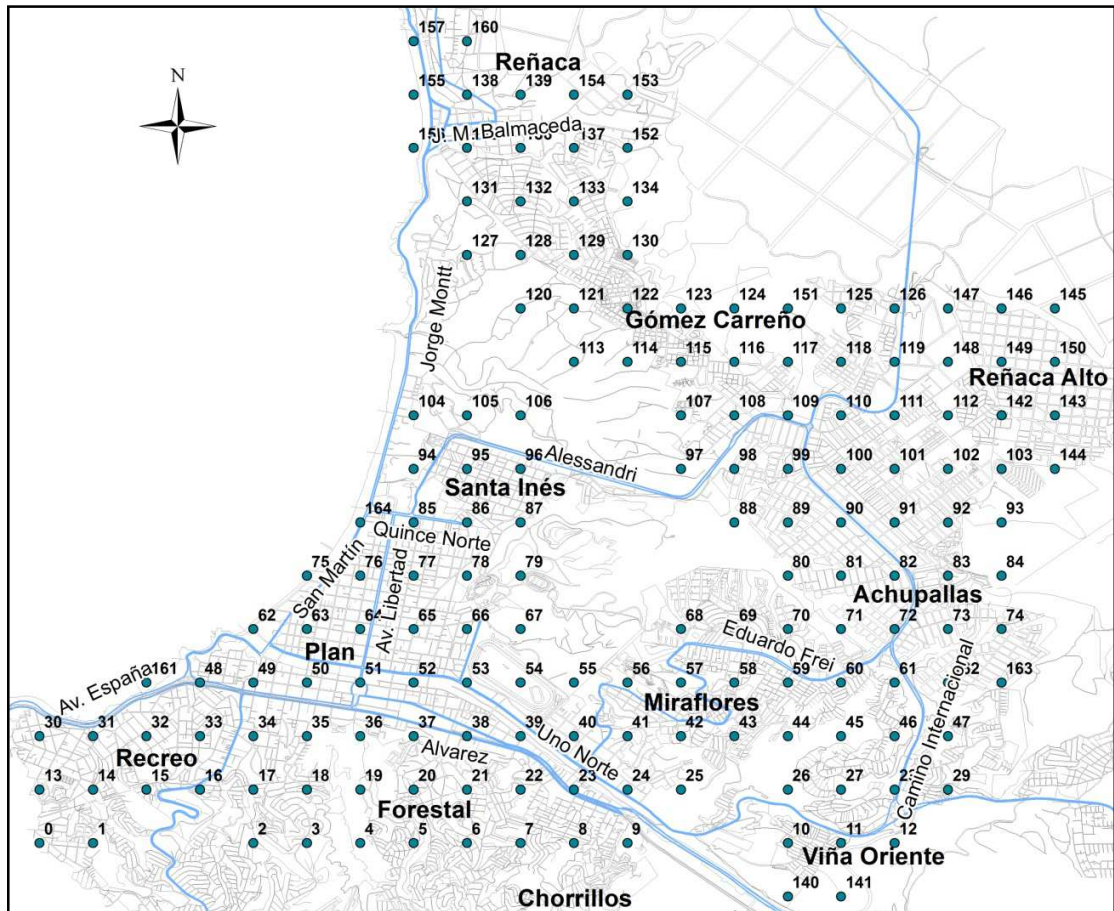


Figura 74: Grilla con nodos enumerados.

i. ID: Isosistas de daño

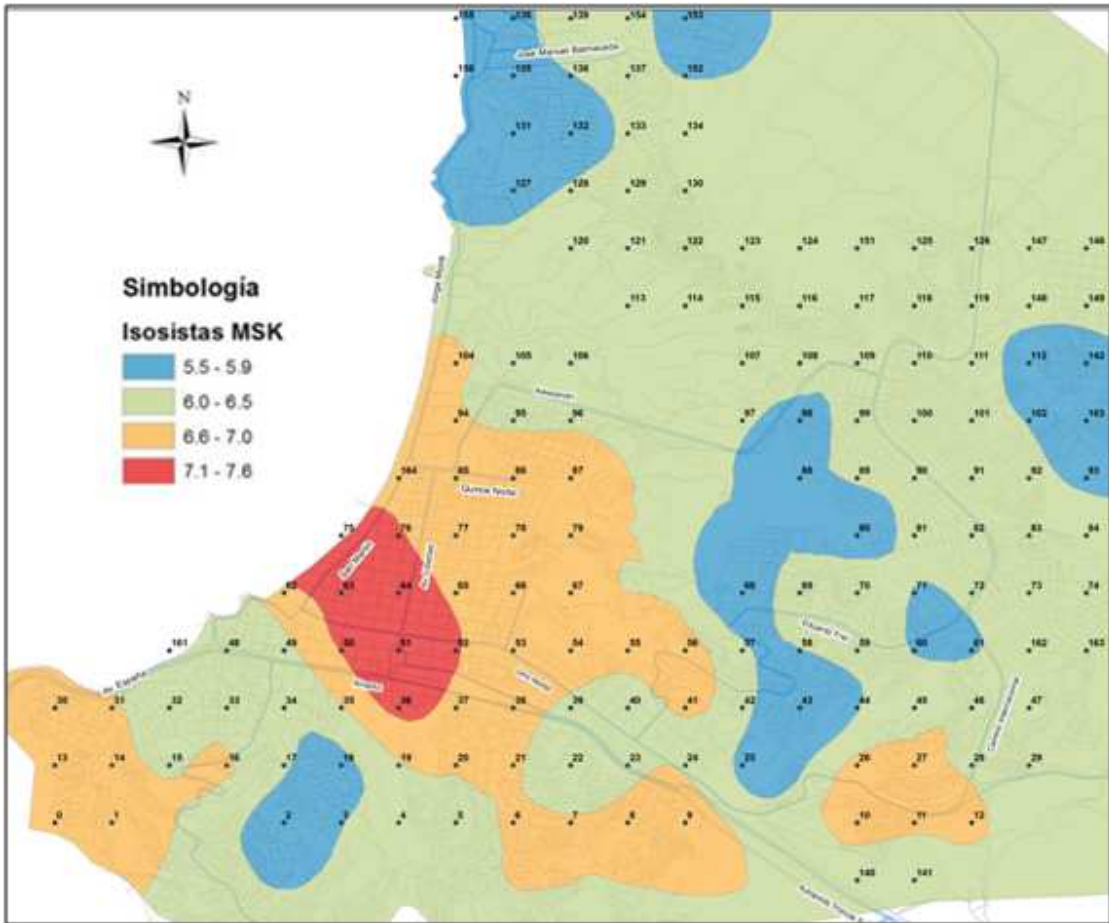


Figura 75: Mapa de isosistas con grilla numerada.

ii. GE: Geología

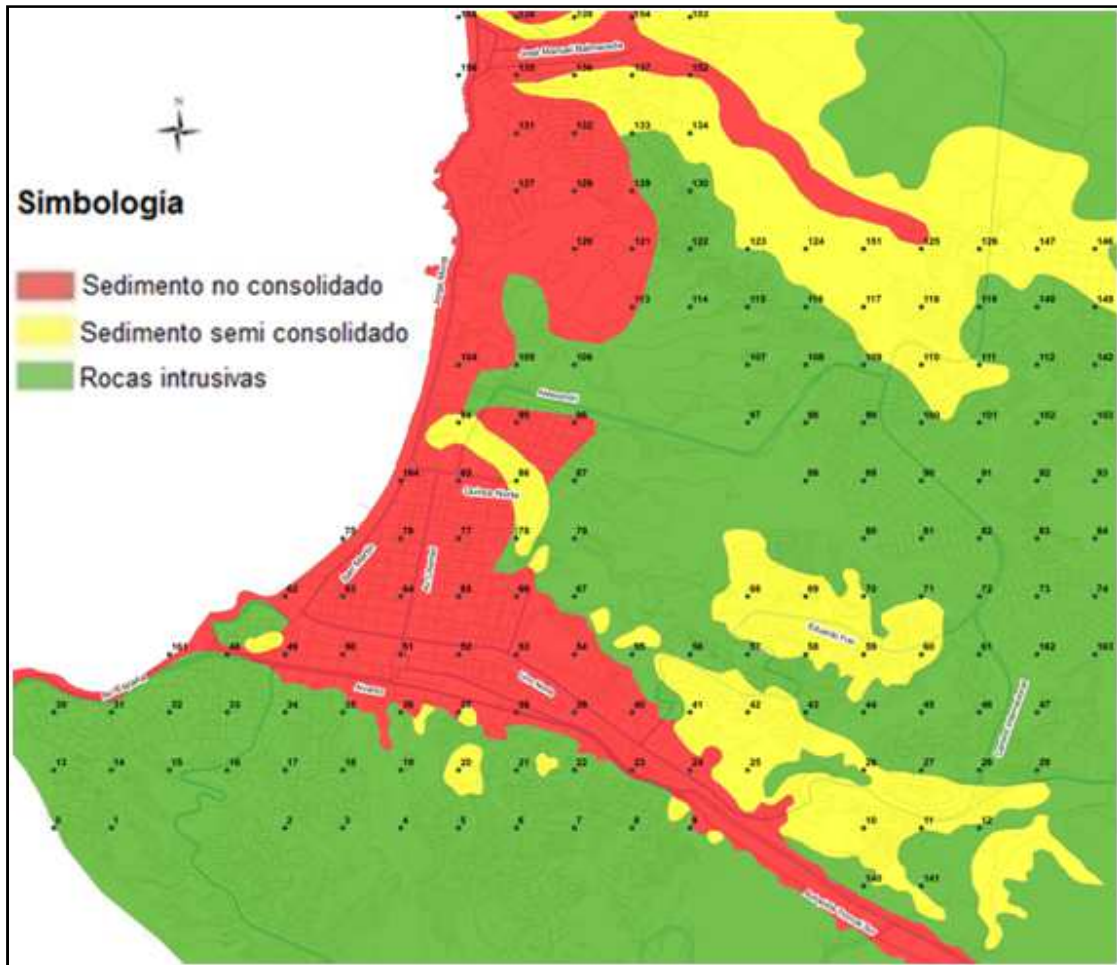


Figura 76: Mapa geológico propuesto con grilla enumerada.

iii. FR: Fenómenos de Remoción en Masa

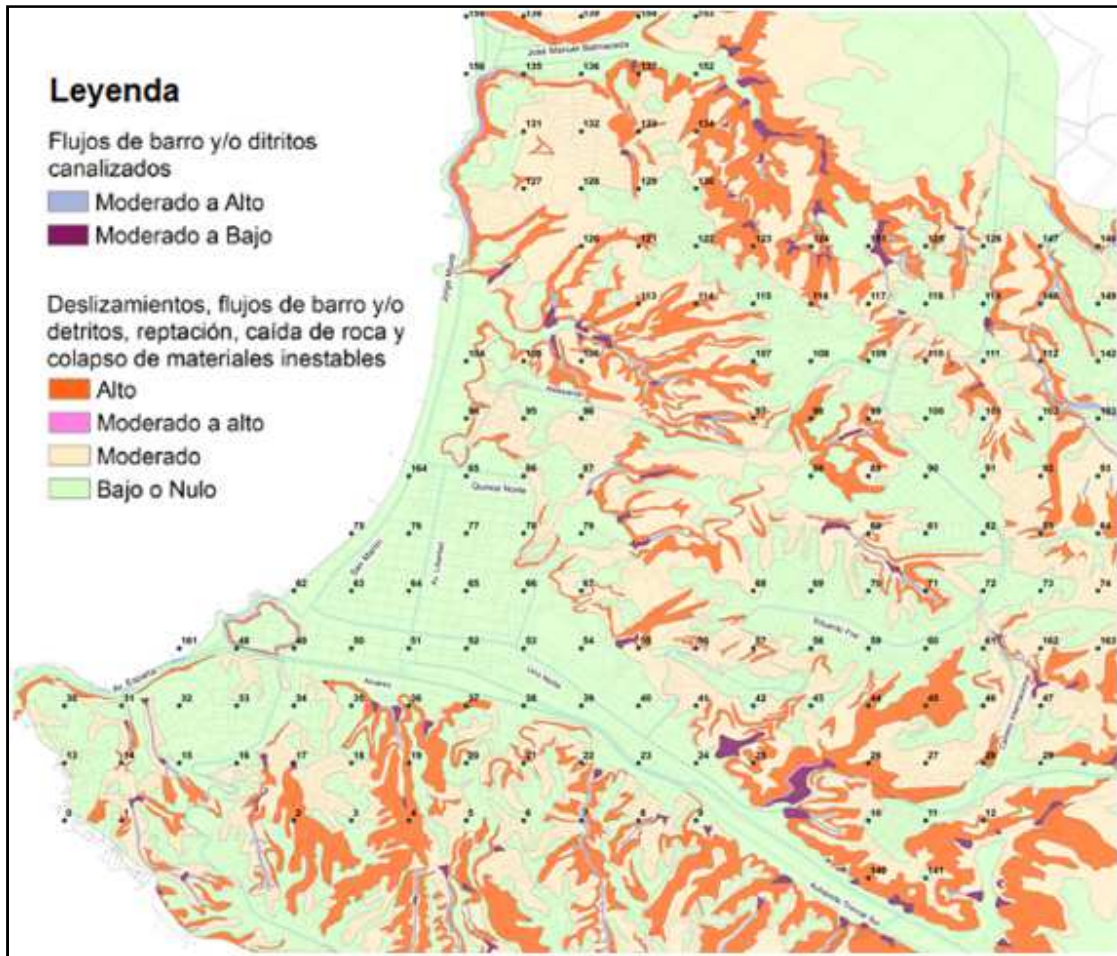


Figura 77: Mapa de Fenómeno de Remoción en Masa con grilla enumerada.

iv. GT: Ensayos SPT

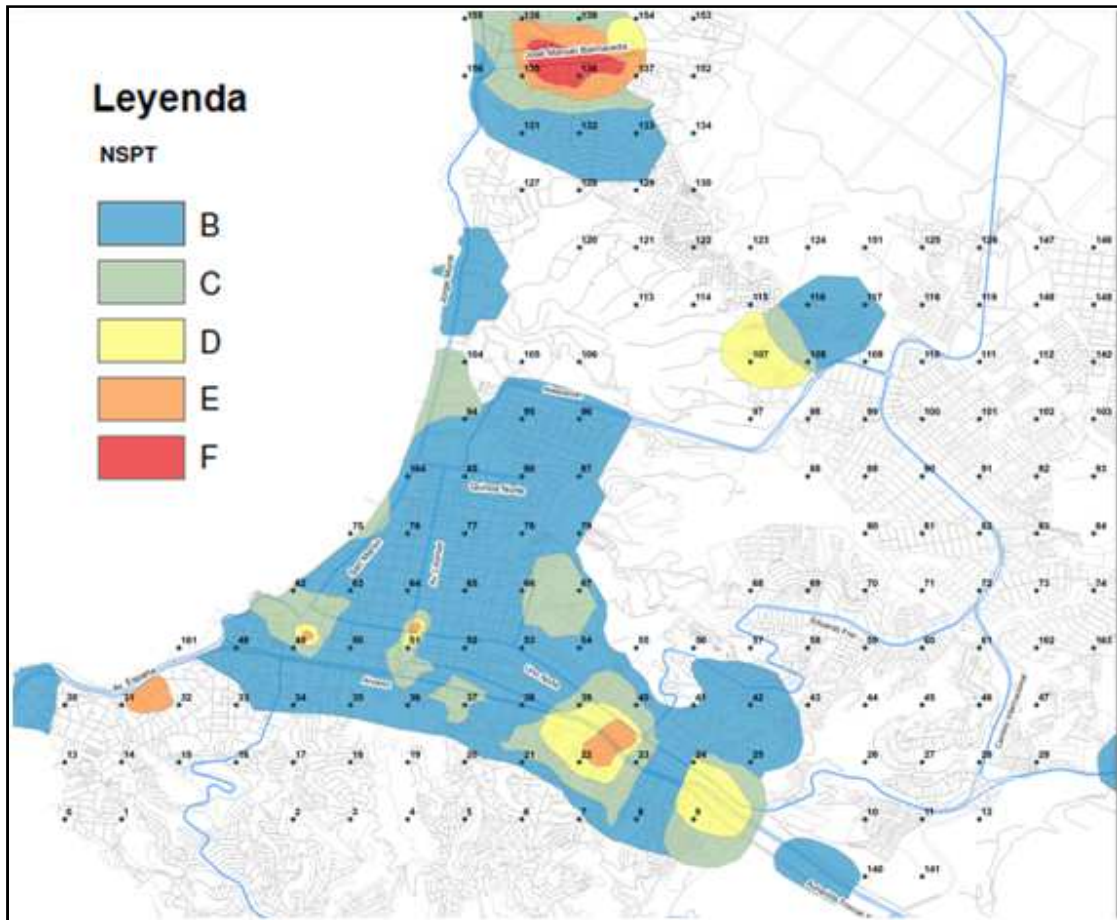


Figura 78: Mapa de ensayos SPT con grilla enumerada.

v. AS: Amplificación Sísmica

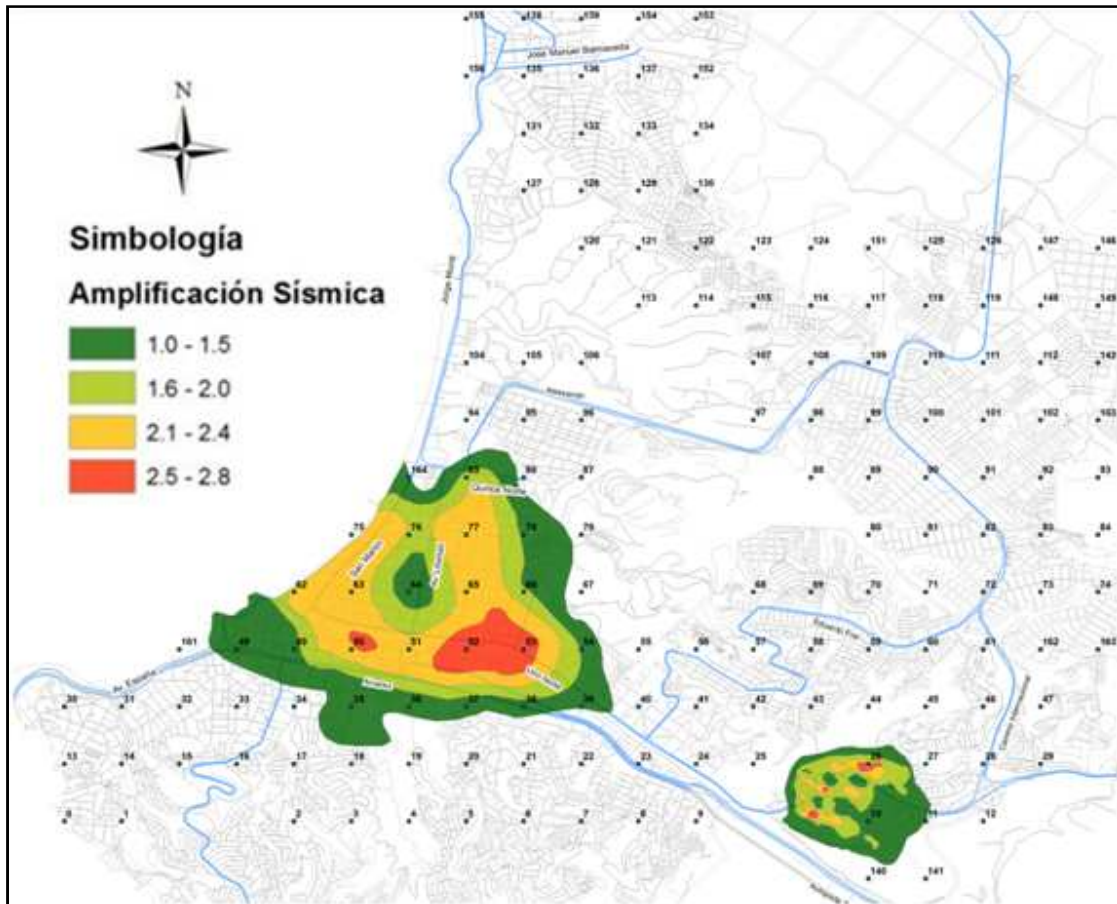


Figura 79: Mapa de Amplificación Sísmica con grilla enumerada.

vi. PF: Período fundamental

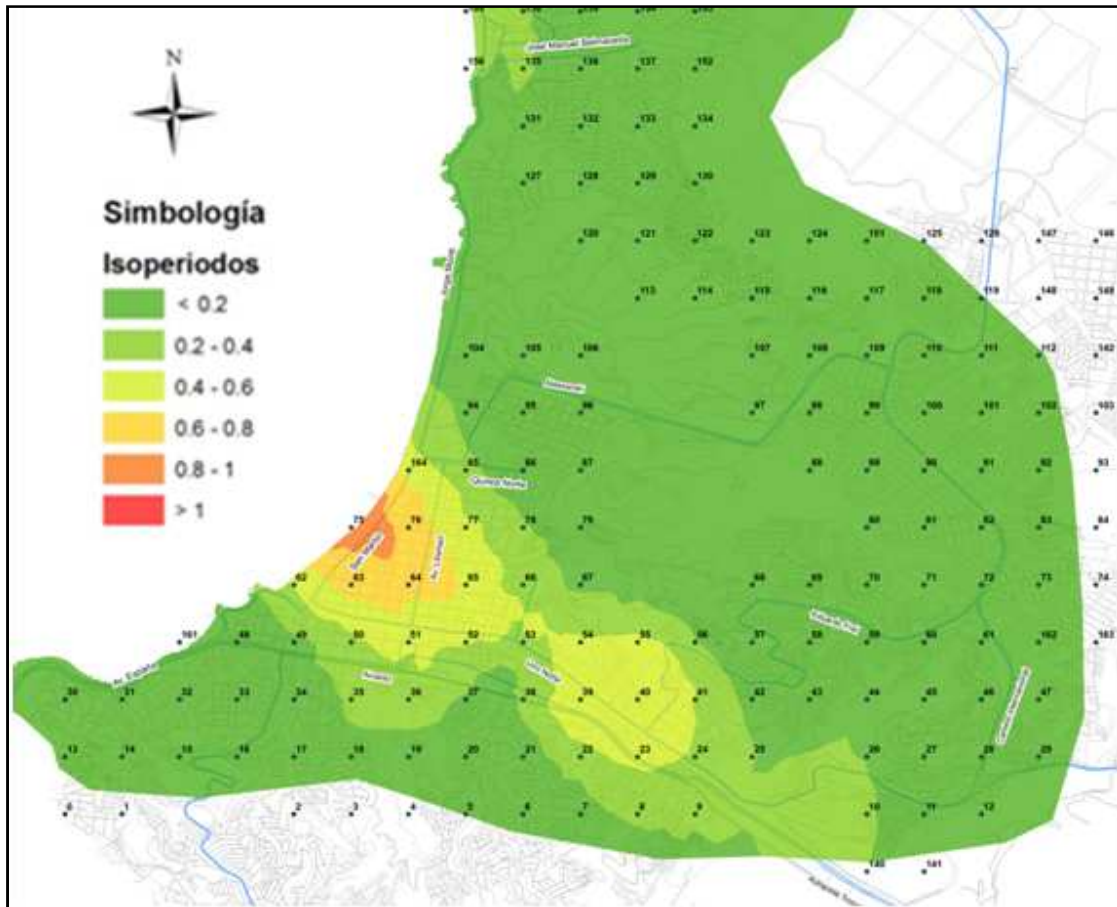


Figura 80: Mapa de Isoperiodos con grilla enumerada.

vii. Tabla resumen de asignación de datos a grilla

De acuerdo al criterio empleado en el capítulo 6.1 para re-clasificar las variables y su posterior asignación de datos a los nodos de la grilla, los resultados obtenidos se encuentran en la Tabla 40.

Tabla 40: Asignación de datos (variables) a nodos de grilla preestablecida

Nodo	ID	GE	FR	GT	AS	PF
0	6,915	1	1			0,000
1	6,915	1	4			0,000
2	5,742	1	4			0,000
3	6,014	1	1			0,000
4	6,385	1	4			0,000
5	6,442	1	2			0,000
6	6,643	1	2			0,000
7	6,645	1	2	3		0,001
8	6,719	1	4	1		0,099
9	6,920	1	1	1		0,197
10	6,683	2	1		1,3	0,197
11	6,683	2	1		1,3	0,156
12	6,560	1	4			0,072
13	6,863	1	2			0,020
14	6,739	1	2	4		0,055
15	6,510	1	1	4		0,122
16	6,592	1	1			0,110
17	6,051	1	4			0,034
18	5,950	1	2			0,000
19	6,544	1	4			0,042
20	6,573	2	1		2,7	0,032
21	6,625	1	2	3		0,157
22	6,338	1	2	3		0,370
23	6,365	3	1	1		0,435
24	6,522	3	1	1		0,379
25	5,907	2	4			0,251
26	6,679	2	4			0,165
27	6,587	1	2			0,100
28	6,454	1	4			0,065
29	6,346	1	1			0,122
30	6,817	1	1			0,040
31	6,646	1	1	4		0,083
32	6,435	1	1	4		0,082
33	6,309	1	1	1		0,055
34	6,094	1	1	1		0,056
35	6,514	1	1	1	1,3	0,198
36	7,167	1	4	1	1,3	0,199
37	6,863	3	4	2	1,3	0,073

38	6,838	3	1	1	1,3	0,355
39	6,448	3	1	1	1,3	0,717
40	6,316	3	1			0,637
41	6,575	2	2			0,337
42	6,170	2	1			0,170
43	5,467	1	1			0,046
44	6,015	1	4			0,082
45	6,360	1	4			0,062
46	6,430	1	2			0,041
47	6,346	1	2			0,122
48	6,172	3	1	1	1,3	0,044
49	6,354	3	1	1	1,3	0,168
50	7,065	3	1	1	2,3	0,432
51	7,293	3	1	1	2,3	0,328
52	7,051	3	1	1	2,7	0,185
53	6,900	3	1	1	2,7	0,412
54	6,887	3	1	1	1,3	0,693
55	6,692	1	2			0,503
56	6,809	1	3			0,206
57	6,130	1	4			0,087
58	6,003	2	1			0,049
59	6,276	2	1			0,059
60	6,048	2	1			0,067
61	5,997	1	1			0,450
62	6,404	3	1		2,3	0,129
63	6,885	3	1	1	2,3	0,420
64	7,230	3	1	1	1,3	0,689
65	7,201	3	1	1	2,3	0,578
66	6,966	3	1	1	1,8	0,413
67	6,707	1	2	1		0,367
68	6,698	2	2	2		0,137
69	5,742	2	1			0,001
70	6,389	2	1			0,051
71	6,550	2	3			0,051
72	5,960	1	1			0,045
73	6,219	1	1			0,065
74	6,437	1	2			0,560
75	7,558	3	1	1	2,3	0,714
76	7,199	3	1	1	1,8	0,904
77	7,063	3	1	1	2,3	0,743

78	6,871	2	1	1	1,3	0,389
79	6,796	1	1	1		0,188
80	6,798	1	2	1		0,085
81	5,659	1	1			0,143
82	6,233	1	1			0,048
83	6,483	1	2			0,032
84	6,432	1	2			0,075
85	7,039	3	1	1	1,8	0,749
86	6,798	2	1	1	1,3	0,200
87	6,750	1	1	1		0,088
88	6,779	1	1	1		0,081
89	5,880	1	2			0,127
90	6,093	1	1			0,090
91	6,239	1	1			0,065
92	6,275	1	2			0,029
93	6,209	1	2			0,000
94	6,567	2	1	2		0,064
95	6,514	3	2	2		0,089
96	6,461	3	2			0,114
97	6,071	1	4	3		0,111
98	5,933	1	4	3		0,118
99	6,201	1	4			0,089
100	6,407	1	1			0,057
101	6,312	1	1			0,029
102	5,993	1	1			0,000
103	5,577	1	1			0,000
104	6,564	3	1			0,000
105	6,402	3	2			0,050
106	6,264	1	2	3		0,100
107	6,444	1	3	1		0,118
108	6,204	1	1	1		0,116
109	6,078	1	1			0,116
110	6,418	2	2			0,055
111	6,272	2	2			0,000
112	5,836	1	2			0,000
113	6,071	3	4			0,000
114	6,218	1	4			0,000
115	6,408	1	1			0,042
116	6,341	1	4	1		0,079
117	6,258	2	2	1		0,078

118	6,388	2	1			0,031
119	6,202	1	1			0,000
120	6,410	3	2			0,001
121	6,209	3	2			0,025
122	6,171	1	1			0,025
123	6,282	2	4			0,001
124	6,291	2	4			0,001
125	6,510	2	1			0,000
126	6,474	2	1			0,000
127	5,769	3	2			0,128
128	6,096	3	2	1		0,080
129	6,182	3	2	1		0,078
130	6,188	1	1			0,100
131	5,628	3	2	4		0,153
132	5,816	3	2	3		0,092
133	6,074	2	4	2		0,079
134	6,381	2	4			0,063
135	5,817	3	4	4		0,148
136	6,027	2	1	5		0,068
137	6,166	2	4	5		0,071
138	5,833	3	2	1		0,088
139	6,397	2	2			0,071
140	6,346	1	4			0,179
141	6,346	1	1			0,179
142	5,796	1	1			0,000
146	6,358	2	4			0,000
147	6,346	2	2			0,000
148	6,154	1	3			0,000
149	6,228	2	1			0,000
151	6,534	2	2			0,000
152	5,968	3	1			0,050
153	5,659	2	2			0,100
154	6,290	3	2			0,121
155	5,865	3	1	1		0,132
156	5,942	3	1	2		0,232
161	6,269	3	1			0,001
162	6,202	1	2			0,000
163	6,346	1	2			0,000
164	7,115	3	1	1	1,3	1,087

J. Análisis Proceso Analítico Jerárquico

Tabla 41: Matriz de comparación Random, análisis PAJ

	ID	AS	GT	GE	FR	PF	λ
ID	1,00	0,13	0,33	5,00	0,33	2,00	12,69
AS	8,00	1,00	0,20	0,25	6,00	0,33	14,30
GT	3,00	5,00	1,00	2,00	0,33	0,33	8,45
GE	0,20	4,00	0,50	1,00	0,20	0,13	12,05
FR	3,00	0,17	3,00	5,00	1,00	0,11	9,86
PF	0,50	3,00	3,00	8,00	9,00	1,00	8,39
						λ_{max}	10,957
						CI random	0,99

Tabla 42: Iteración N°1, análisis PAJ

	ID	AS	GT	GE	FR	PF	λ
ID	1,00	4,00	7,00	8,00	9,00	2,00	6,21
AS	0,25	1,00	4,00	3,00	6,00	0,50	6,18
GT	0,14	0,25	1,00	2,00	2,00	0,17	6,22
GE	0,13	0,33	0,50	1,00	2,00	0,14	6,17
FR	0,11	0,17	0,50	0,50	1,00	0,13	6,18
PF	0,50	2,00	6,00	7,00	8,00	1,00	6,08
						6,173	λ_{max}
						CI	0,03
						CR	0,03

Tabla 43: Iteración N°2, análisis PAJ

	ID	AS	GT	GE	FR	PF	λ
ID	1,00	1,00	7,00	8,00	9,00	1,00	6,12
AS	1,00	1,00	4,00	3,00	6,00	1,00	6,20
GT	0,14	0,25	1,00	2,00	2,00	0,17	6,19
GE	0,13	0,33	0,50	1,00	2,00	0,14	6,30
FR	0,11	0,17	0,50	0,50	1,00	0,13	6,07
PF	1,00	1,00	6,00	7,00	8,00	1,00	6,07
						6,157	λ_{max}
						CI	0,03
						CR	0,03

En la Tabla 43 se consideró el mismo peso para la Intensidad de daños, la Amplificación sísmica y Período fundamental.

Tabla 44: Iteración N°3, análisis PAJ

	ID	AS	GT	GE	FR	PF	λ
ID	1,00	4,00	7,00	8,00	9,00	2,00	6,19
AS	0,25	1,00	4,00	3,00	6,00	0,50	6,16
GT	0,14	0,25	1,00	2,00	1,00	0,17	6,33
GE	0,13	0,33	0,50	1,00	2,00	0,14	6,27
FR	0,11	0,17	1,00	0,50	1,00	0,13	6,26
PF	0,50	2,00	6,00	7,00	8,00	1,00	6,05
						6,210	λ_{max}
						CI	0,04
						CR	0,04

En la Tabla 44 se consideró el mismo peso para la Geotecnia (ensayos SPT) y la Remoción en Masa.

Tabla 45: Iteración N°4, análisis PAJ

	ID	AS	GT	GE	FR	PF	λ
ID	1,00	4,00	7,00	8,00	9,00	2,00	6,25
AS	0,25	1,00	4,00	3,00	6,00	0,50	6,34
GT	0,14	0,25	1,00	2,00	2,00	0,11	6,29
GE	0,13	0,33	0,50	1,00	0,33	0,14	6,58
FR	0,11	0,17	0,50	3,00	1,00	0,13	6,74
PF	0,50	2,00	9,00	7,00	8,00	1,00	6,22
						6,403	λ_{max}
						CI	0,08
						CR	0,08

En la

Tabla 45 se consideró con mayor peso el Período fundamental que la Geotecnia y el Fenómeno de remoción en masa con más peso que la Geología.

Tabla 46: Iteración N°5, análisis PAJ

	ID	AS	GT	GE	FR	PF	λ
ID	1,00	4,00	7,00	8,00	9,00	2,00	6,08
AS	0,25	1,00	1,00	3,00	6,00	0,50	6,51
GT	0,14	1,00	1,00	1,00	1,00	0,17	6,49
GE	0,13	0,33	1,00	1,00	1,00	0,14	6,07
FR	0,11	0,17	1,00	1,00	1,00	0,13	6,29
PF	0,50	2,00	6,00	7,00	8,00	1,00	6,08
						6,254	λ_{max}
						CI	0,05
						CR	0,05

En la Tabla 46 se le asignó el mismo peso a la Geotecnia, Geología y Fenómeno de remoción en masa.

Tabla 47: Iteración N°6, análisis PAJ

	ID	AS	GT	GE	FR	PF	λ
ID	1,00	4,00	7,00	8,00	9,00	0,33	6,65
AS	0,25	1,00	4,00	3,00	6,00	0,50	6,32
GT	0,14	0,25	1,00	2,00	2,00	0,17	6,23
GE	0,13	0,33	0,50	1,00	2,00	0,14	6,18
FR	0,11	0,17	0,50	0,50	1,00	0,13	6,18
PF	3,00	2,00	6,00	7,00	8,00	1,00	6,70
						6,375	λ_{max}
						CI	0,08
						CR	0,08

En la Tabla 47 se le asignó más importancia al Período fundamental que a la Intensidad de daños.

Tabla 48: Iteración N°7, análisis PAJ

	ID	AS	GT	GE	FR	PF	λ
ID	1,00	4,00	7,00	8,00	9,00	2,00	6,16
AS	0,25	1,00	1,00	3,00	6,00	0,50	6,24
GT	0,14	1,00	1,00	2,00	2,00	0,17	6,30
GE	0,13	0,33	0,50	1,00	2,00	0,14	6,10
FR	0,11	0,17	0,50	0,50	1,00	0,13	6,25
PF	0,50	2,00	6,00	7,00	8,00	1,00	6,17
						6,204	λ_{max}
						CI	0,04
						CR	0,04

En la Tabla 48 se le asignó el mismo peso a la Amplificación sísmica y la Geotecnia.

Tabla 49: Iteración N°8, análisis PAJ

	ID	AS	GT	GE	FR	PF	λ
ID	1,00	4,00	7,00	8,00	9,00	2,00	6,20
AS	0,25	1,00	4,00	3,00	6,00	0,50	6,46
GT	0,14	0,25	1,00	2,00	2,00	1,00	6,97
GE	0,13	0,33	0,50	1,00	2,00	0,14	6,16
FR	0,11	0,17	0,50	0,50	1,00	0,13	6,20
PF	0,50	2,00	1,00	7,00	8,00	1,00	6,57
						6,428	λ_{max}
						CI	0,09
						CR	0,09

En la Tabla 49 se le asignó el mismo peso a la Geotecnia y el Período fundamental.

Tabla 50: Iteración N°9, análisis PAJ

	ID	AS	GT	GE	FR	PF	λ
ID	1,00	4,00	7,00	8,00	9,00	2,00	6,16
AS	0,25	1,00	4,00	3,00	6,00	0,50	6,21
GT	0,14	0,25	1,00	2,00	2,00	0,17	6,43
GE	0,13	0,33	0,50	1,00	2,00	0,50	6,52
FR	0,11	0,17	0,50	0,50	1,00	0,13	6,13
PF	0,50	2,00	6,00	2,00	8,00	1,00	6,35
						6,302	λ_{max}
						CI	0,06
						CR	0,06

En la Tabla 50 se le asignó ligeramente más peso al Período Fundamental que a la Geología.

Tabla 51: Iteración N°10, análisis PAJ

	ID	AS	GT	GE	FR	PF	λ
ID	1,00	4,00	7,00	8,00	9,00	2,00	6,07
AS	0,25	1,00	4,00	3,00	1,00	0,50	6,73
GT	0,14	0,25	1,00	2,00	2,00	0,17	6,42
GE	0,13	0,33	0,50	1,00	2,00	0,14	6,35
FR	0,11	1,00	0,50	0,50	1,00	0,13	6,97
PF	0,50	2,00	6,00	7,00	8,00	1,00	6,10
						6,439	λ_{max}
						CI	0,09
						CR	0,09

En la Tabla 51 se le asignó el mismo peso a la Amplificación Sísmica y el Fenómeno de remoción en masa.

K. Análisis correlación Microzonificación Sísmica Pérez, L.E. (1988)

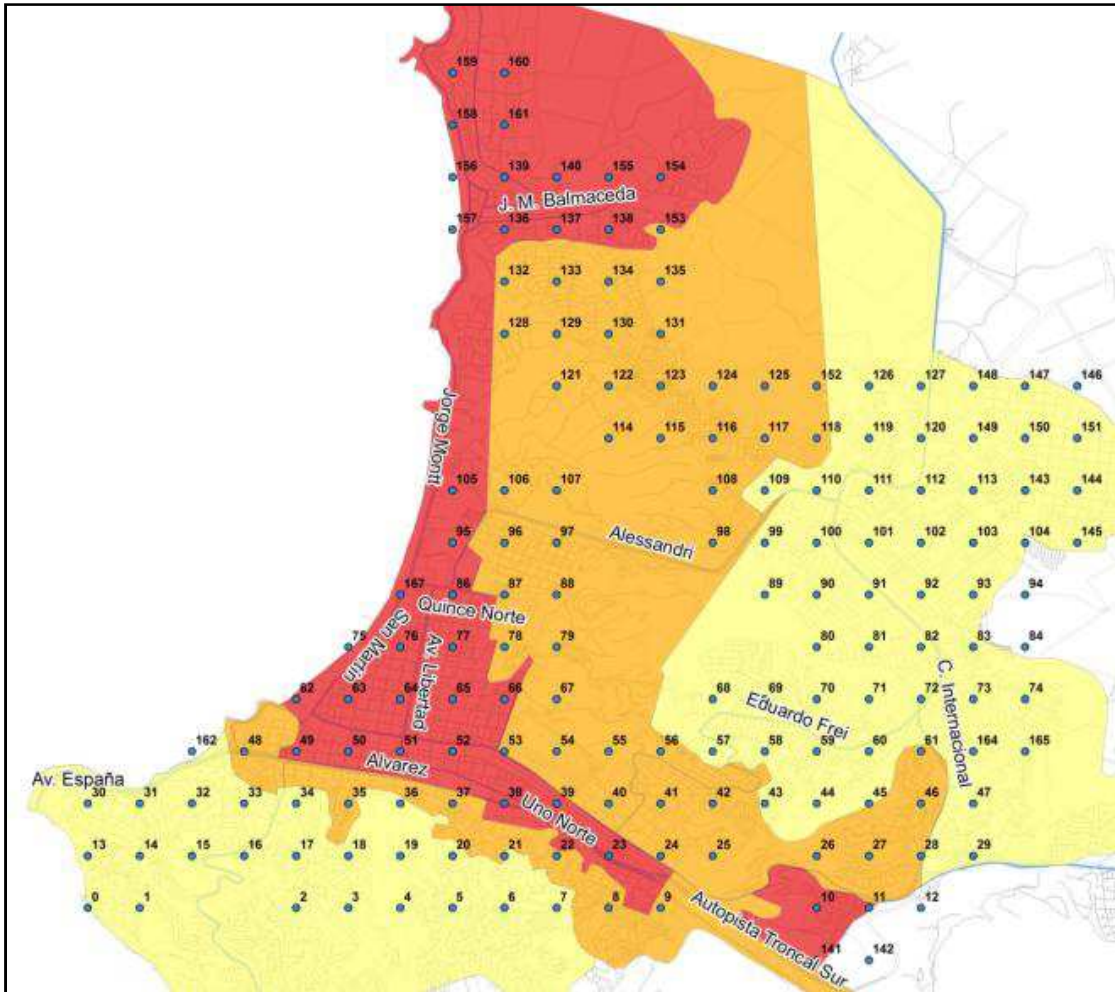


Figura 81: Mapa Microzonificación (Pérez, L.E., 1988) con grilla enumerada.

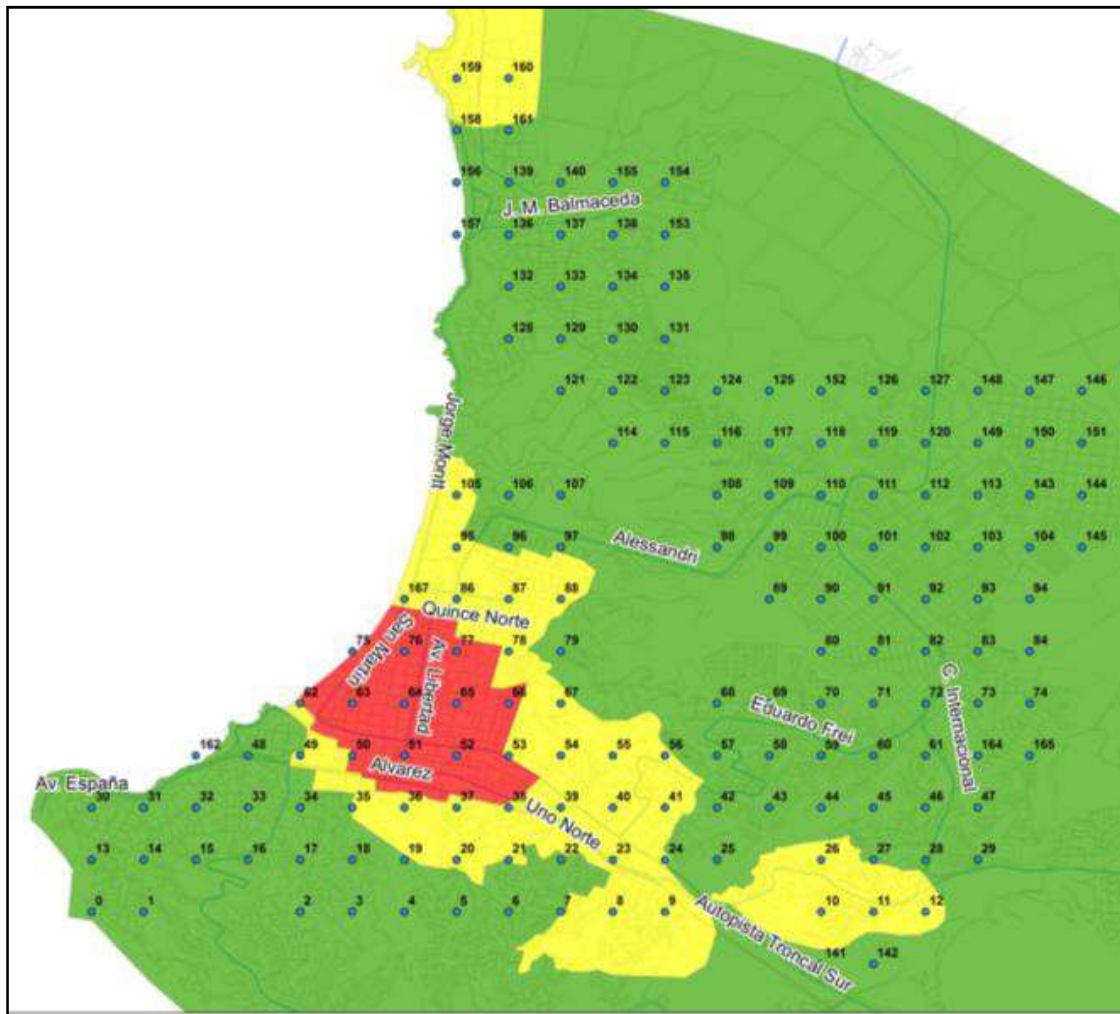


Figura 82: Mapa Microzonificación Sísmica propuesto con grilla enumerada.

De acuerdo al criterio empleado en el capítulo 6.1 para re-clasificar las variables y su posterior asignación de datos a los nodos de la grilla, los resultados obtenidos se encuentran en la Tabla 52.

Tabla 52: Asignación de datos a nodos de grilla preestablecida (Mapas finales)

Nodo	Microzonificación Sísmica (Pérez, L.E., 1988)	Microzonificación Sísmica propuesta
0	1	1
1	1	1
2	1	1
3	1	1
4	1	1
5	1	1
6	1	1
7	1	2
8	2	2
9	2	2
10	3	1
11	3	1
12	1	1
13	1	1
14	1	1
15	1	1
16	1	1
17	1	1
18	1	1
19	1	1
20	1	2
21	2	2
22	2	2
23	3	2
24	2	2
25	2	1
26	2	2
27	2	2
28	2	1
29	1	1
30	1	1
31	1	1
32	1	1
33	1	1
34	1	1
35	2	1
36	1	2
37	2	2

38	3	2
39	3	2
40	2	2
41	2	2
42	2	1
43	1	1
44	1	1
45	1	1
46	2	1
47	1	1
48	2	1
49	3	2
50	3	3
51	3	3
52	3	3
53	3	3
54	2	2
55	2	2
56	2	2
57	1	1
58	1	1
59	1	1
60	1	1
61	2	1
62	3	3
63	3	3
64	3	3
65	3	3
66	3	3
67	2	2
68	1	1
69	1	1
70	1	1
71	1	1
72	1	1
73	1	1
74	1	1
75	3	3
76	3	3
77	3	3
78	2	2

79	2	1
80	1	1
81	1	1
82	1	1
83	1	1
84	1	1
85	3	3
86	3	2
87	2	2
88	2	2
89	1	1
90	1	1
91	1	1
92	1	1
93	1	1
94	1	1
95	3	2
96	2	2
97	2	2
98	2	1
99	1	1
100	1	1
101	1	1
102	1	1
103	1	1
104	1	1
105	3	2
106	2	1
107	2	1
108	2	1
109	1	1
110	1	1
111	1	1
112	1	1
113	1	1
114	2	1
115	2	1
116	2	1
117	2	1
118	2	1
119	1	1

120	1	1
121	2	1
122	2	1
123	2	1
124	2	1
125	2	1
126	1	1
127	1	1
128	2	1
129	2	1
130	2	1
131	2	1
132	2	1
133	2	1
134	2	1
135	2	1
136	3	1
137	3	1
138	3	1
139	3	1
140	3	1
141	3	1
142	3	1
146	1	1
147	1	1
148	1	1
149	1	1
151	1	1
152	2	1
153	2	1
154	3	1
155	3	1
156	3	1
161	1	2
162	1	2
163	2	1
164	1	1

L. Mapas temáticos

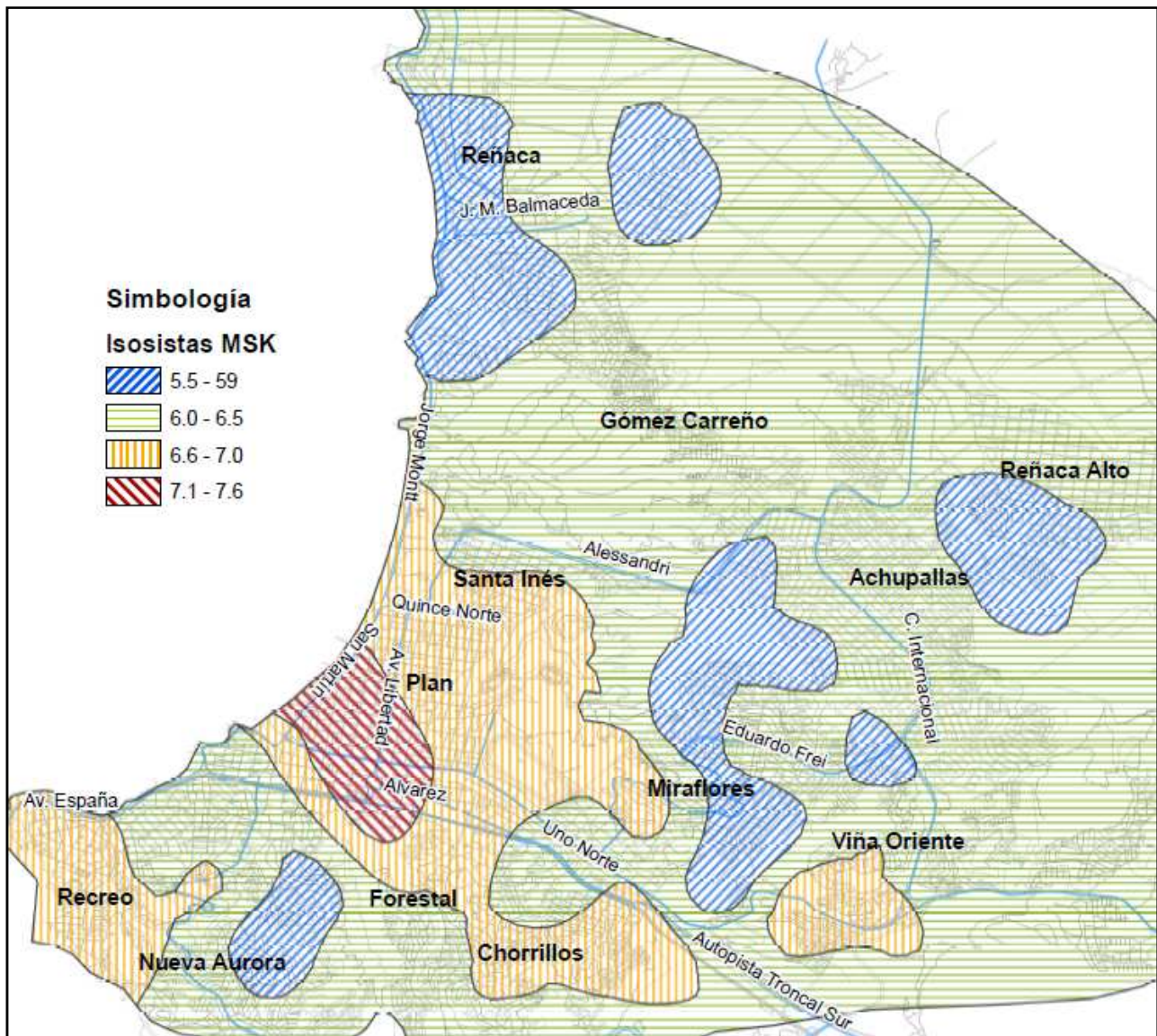


Figura 83: Mapa Isosistas en escala MSK

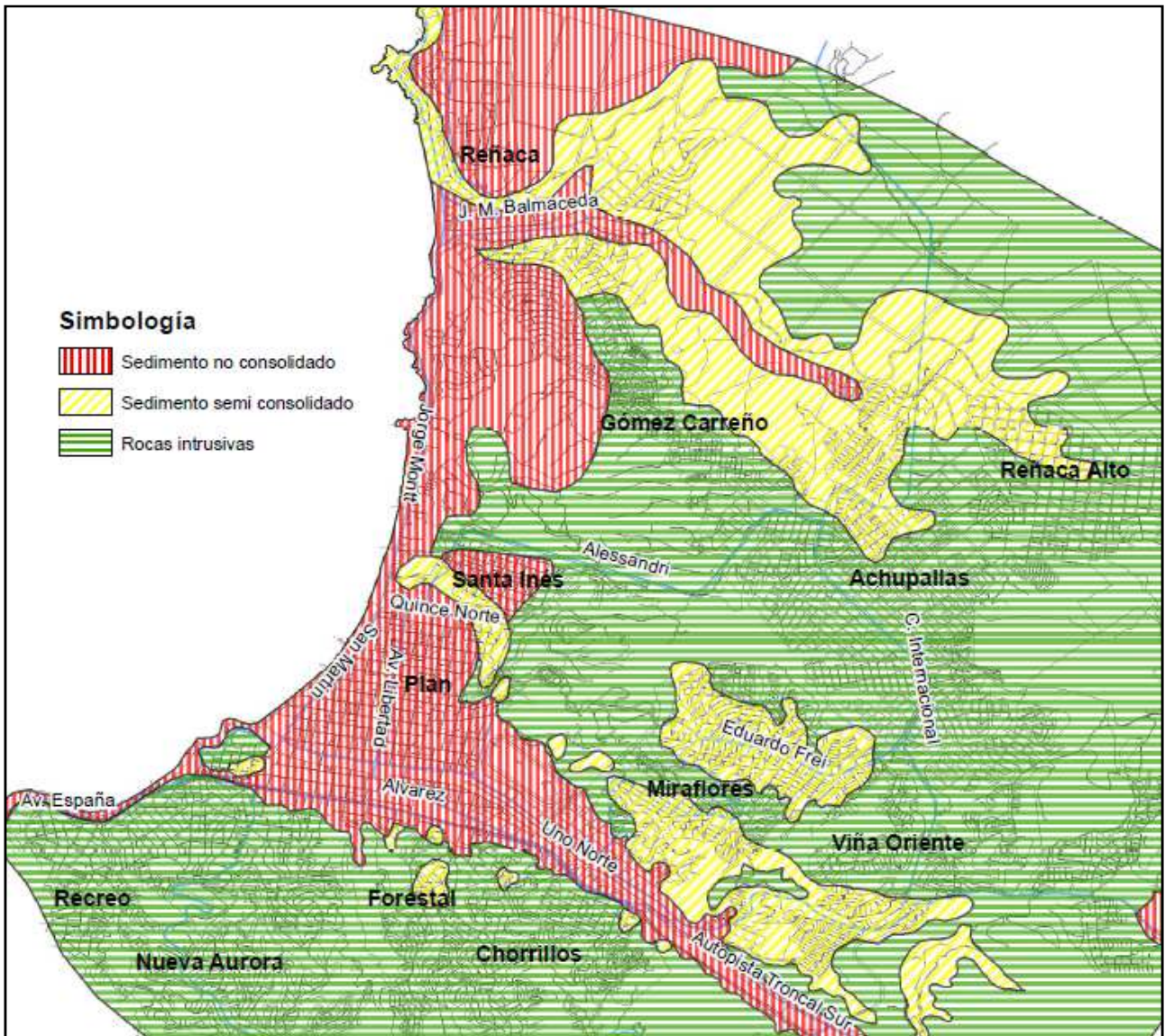


Figura 84: Mapa Geológico propuesto para Viña del Mar

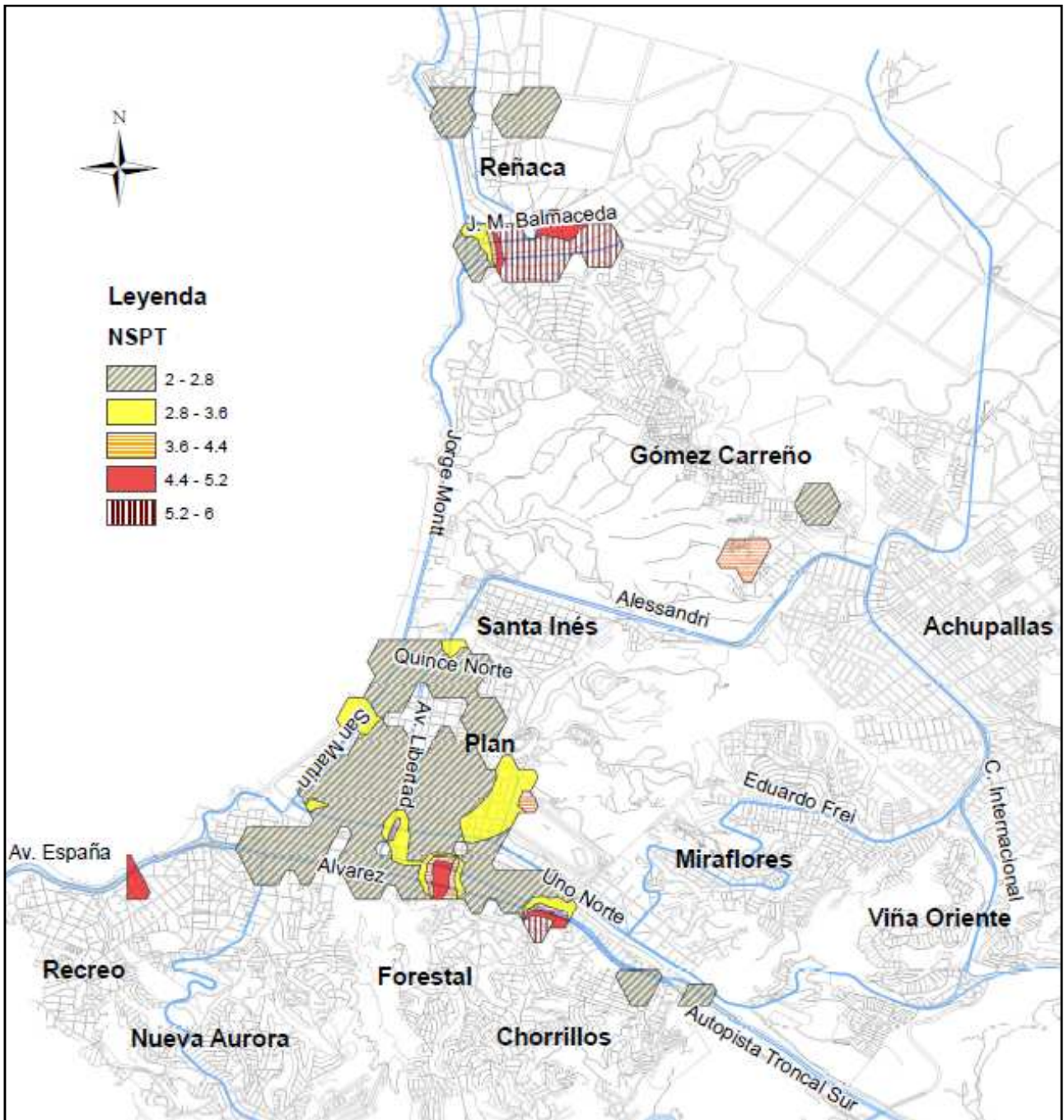


Figura 85: Clasificación final a partir de ensayos SPT

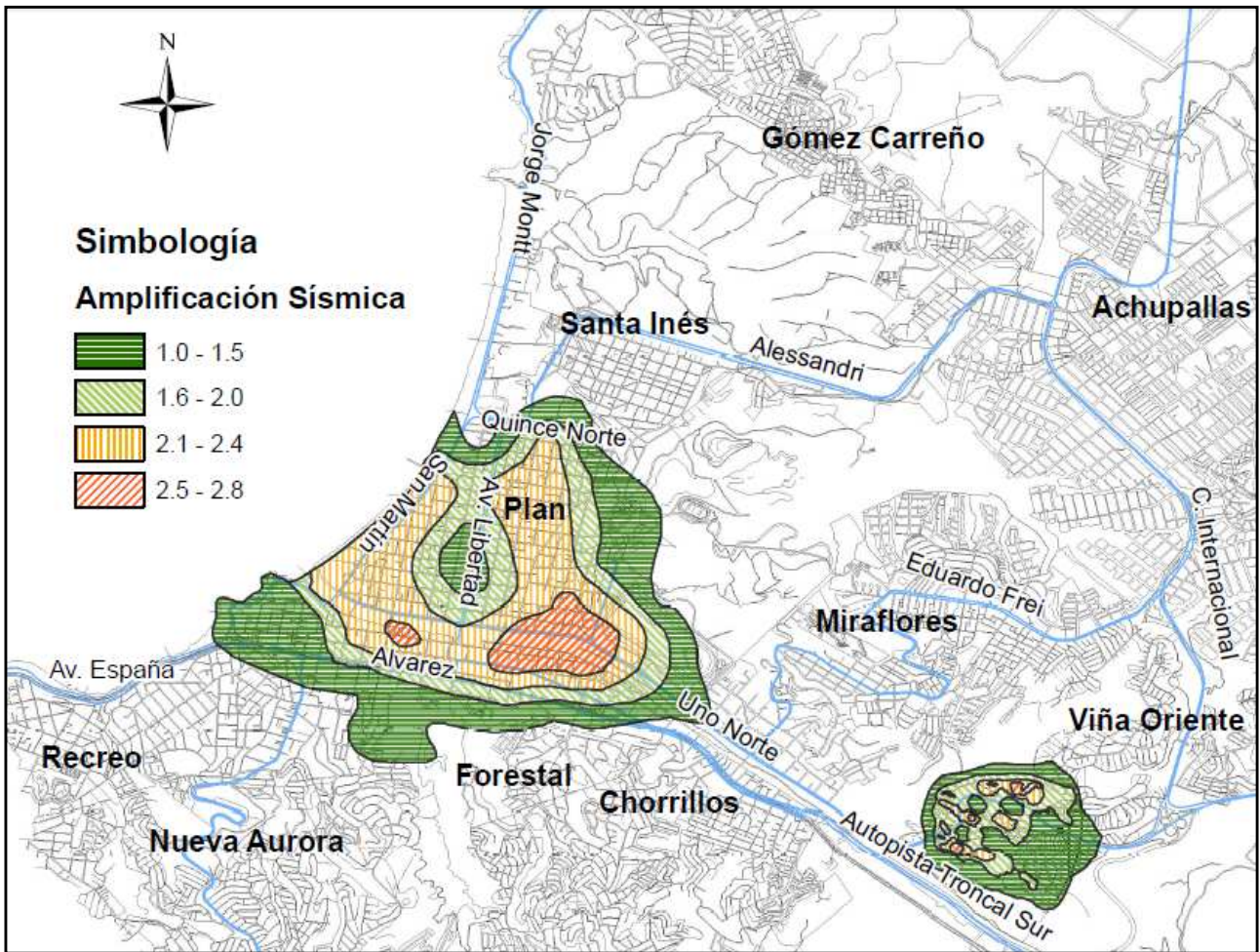


Figura 86: Mapa de Amplificación Sísmica
 Fuente: Adaptación de Pérez, P. (2003) y Garrido, L. (1988)

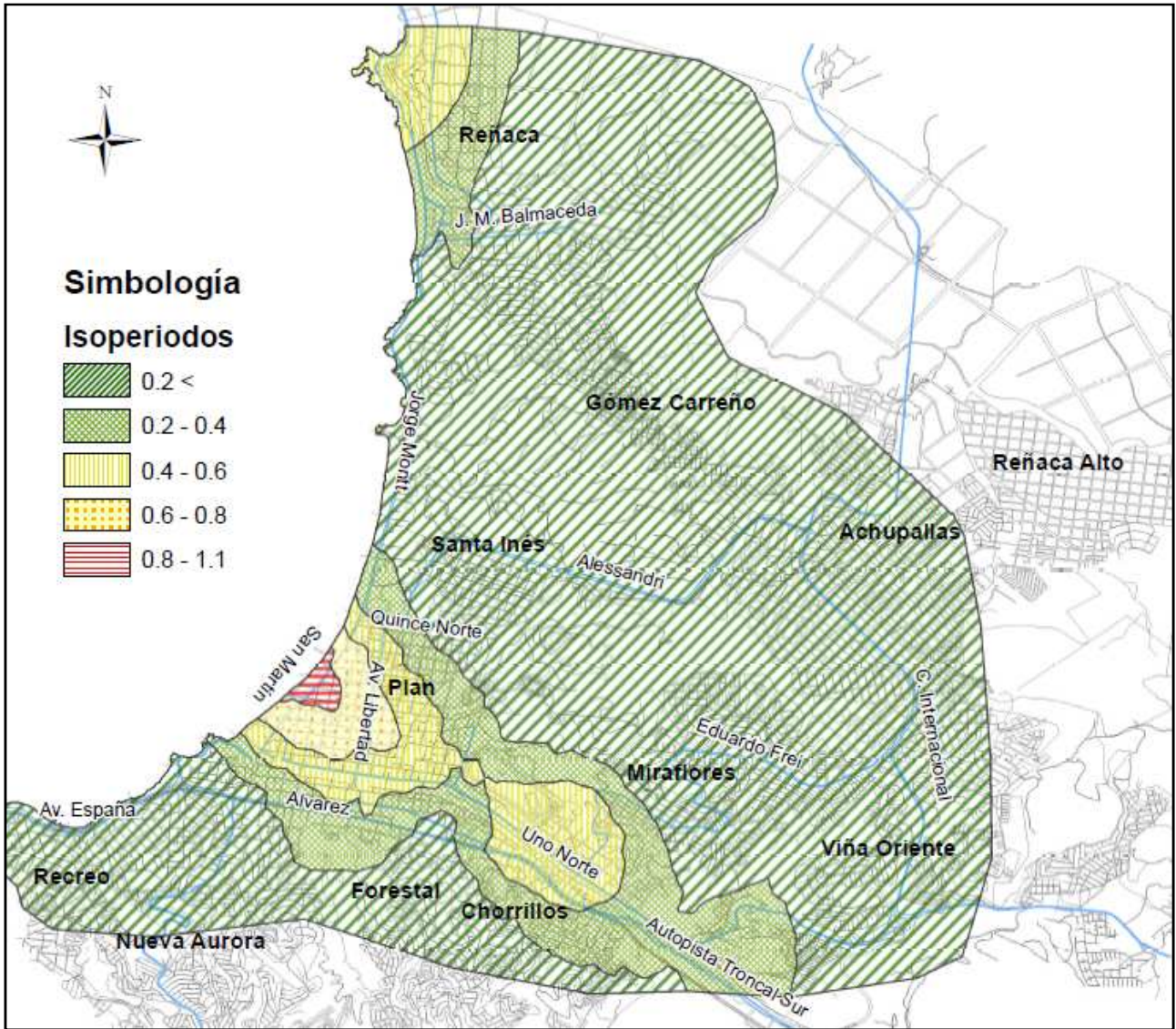


Figura 87: Mapa de Isoperíodos propuesto