

UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA

DEPARTAMENTO DE OBRAS CIVILES

VALPARAISO – CHILE



**APORTES PARA UNA ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA DE
VIÑA DEL MAR: ESTIMACIÓN DE RIESGO
GEOTÉCNICO EN LA CUENCA DEL MARGA–MARGA**

FERNANDA IVETTE BARRIENTOS BOJANIC

Memoria para optar al Título de
Ingeniero Civil

Profesor Guía
Gonzalo Suazo Fuentealba

Agosto de 2019

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



APORTES PARA UNA ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA DE
VIÑA DEL MAR: ESTIMACIÓN DE RIESGO GEOTÉCNICO EN LA CUENCA
DEL MARGA–MARGA

Memoria de titulación presentada por
FERNANDA IVETTE BARRIENTOS BOJANIC

Como requisito parcial para optar al título de
Ingeniero Civil

Profesor Guía
Gonzalo Suazo Fuentealba

Mayo de 2019

AGRADECIMIENTOS

Agradezco profundamente a mi familia la oportunidad que tuve de estudiar fuera de mi región y en esta prestigiosa Universidad. Si bien el camino ha sido mucho más largo y difícil de lo esperado, ha sido un tiempo lleno de momentos increíbles de: ideas, reflexión, aprendizaje, experiencias y personas maravillosas. La persona que soy actualmente se lo debo a cada uno de ellos, que fueron de alguna manera mis maestros para crecer y ser mejor.

También agradezco a mis profesores guía, Gonzalo Suazo y Gabriel Villavicencio, que estuvieron con su buena onda y sabiduría apoyándome en la elaboración de esta memoria.

RESUMEN

Chile es un país que se ha desarrollado a gran velocidad en las últimas décadas, lo que ha generado una necesidad de crecimiento de las ciudades en todas direcciones, incluso hacia el Mar. Esto sucedió en la ciudad de Viña del Mar, donde el plan es producto de rellenos artificiales ubicados sobre una antigua playa constituida por arenas no cementadas. Lo que agregado a la sismicidad de nuestro país genera una gran variabilidad e incertidumbre en las características geomecánicas de los suelos.

La zonificación del riesgo sísmico para zonas urbanas, es una herramienta de gran importancia debido a que permite la elaboración de estrategias de mitigación del riesgo, una de ellas es, mejorar la planificación urbana futura según la vulnerabilidad de los sectores por medio de un adecuado plan regulador.

El plan de Viña del Mar es una zona que ha recibido gran cantidad de atención por parte de ingenieros geotécnicos y estructurales debido a los efectos que se han observado luego de terremotos recientes (2010 y 1985) de epicentro cercano y la densidad poblacional que posee.

Dentro de los estudios en esta área, destacan zonificaciones geotécnicas y sísmicas para la cuenca del Marga–Marga, como: mapas de profundidad de basamento rocoso, mapas geológicos, amplificación sísmica, potencial de licuefacción y vulnerabilidad sísmica. También se cuenta en esta área con datos para la caracterización del subsuelo, como: sondajes, ensayos de penetración estándar (SPT), cono dinámico (DCPT), Down–Hole y ReMi.

Este trabajo de título busca mejorar y recopilar toda la información existente para poder realizar un mapa de riesgo geotécnico mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y basados en análisis de decisiones multicriterio. Los pesos de cada parámetro (estimados a partir de mapas de caracterización) se asignarán por medio del método de proceso jerárquico analítico por pares (AHP). Finalmente se discutirá sobre las condiciones locales del suelo con vista en la selección de parámetros y se presentará mapa del plan de Viña de Mar con zonas geotécnicas críticas de acuerdo a lo observado.

Esta memoria se realizará en colaboración con el Departamento de Ingeniería en Construcción de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.

ABSTRACT

Chile is a country that has developed at great speed in recent decades, which has generated a need for growth of cities in all directions, including the Sea. This happened in the city of Viña del Mar, where the plan is the product of artificial fillings located on an old beach made up of uncemented sands. What added to the seismicity of our country generates a great variability and uncertainty in the geomechanical characteristics of the soils.

The zoning of seismic risk for urban areas is a tool of great importance because it allows the development of risk mitigation strategies, one of them is to improve future urban planning according to the vulnerability of the sectors through an appropriate regulatory plan.

The Viña del Mar plan is an area that has received a great deal of attention from geotechnical and structural engineers due to the effects observed after recent earthquakes (2010 and 1985) of nearby epicenter and population density.

Studies in this area include geotechnical and seismic zoning for the Marga–Marga basin, such as: depth maps of rocky basement, geological maps, seismic amplification, liquefaction potential and seismic vulnerability. There are also data for the characterization of the subsoil in this area, such as: drill holes, standard penetration tests (SPT), dynamic cone (DCPT), Down–Hole and ReMi.

This titled work seeks to improve and compile all the existing information to be able to make a geotechnical risk map through the use of Geographic Information Systems (GIS) and based on multi–criteria decision analysis. The weights of each parameter (estimated from characterization maps) will be assigned by means of the hierarchical analytical process by pairs (AHP) method. Finally, the local soil conditions will be discussed with a view in the selection of parameters and a map of the Viña de Mar plan will be presented with critical geotechnical zones according to what has been observed.

This study will be carried out in collaboration with the Department of Engineering in Construction of the Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.

GLOSARIO

Amenaza: Fenómeno de origen natural (geológico, hidrometeorológico, otros), biológico o antrópico, que puede ocasionar pérdidas, daños y trastornos a la población, infraestructura, servicios, medios de vida o medio ambiente.

Capacidad: Se entenderá para los fines asociados a la Gestión del Riesgo de Desastres como aquella aptitud y potencialidad que posee para contribuir a la reducción del riesgo de desastres en todo el ciclo del riesgo.

CI: Índice de consistencia de la matriz de comparación.

CI_{random} : Índice de consistencia de la matriz de comparación aleatoria

CR: Razón de consistencia

DCPT: Ensayo de cono dinámico de penetración estándar.

LPI: Índice de potencial de licuefacción (liquefaction potential index)

Mitigación: Disminución o limitación de los impactos adversos de las amenazas y los desastres afines.

Mw: Escala sismológica de magnitud de momento.

n: Número de variables de la matriz de comparación.

$N_{in situ}$: Índice de penetración ensayo SPT o DCPT medido en terreno.

N_{60} : Índice de penetración ensayo SPT corregido por energía

$(N_1)_{60}$: Índice de penetración estándar normalizado por presión de confinamiento de 1 kgf/cm^2 y corregido al 60% de la energía normalizada.

ONEMI: Oficina nacional de emergencia

Resiliencia: Capacidad de reaccionar con efectividad y rapidez a los efectos de los desastres.

Riesgo: Es la potencialidad de experimentar daños, como consecuencia de la interacción dinámica entre alguna amenaza y la vulnerabilidad de los elementos expuestos a ésta.

RQD: Ensayo Rock Quality Designation, según norma ASTM D 6032.

SPT: Ensayo de penetración estándar.

T: Período fundamental del suelo [s]

Vulnerabilidad: Características o condiciones propias de la población, infraestructura, servicios, medios de vida o medio ambiente, que los hacen susceptibles a sufrir trastornos, daños o pérdidas, por el impacto de una determinada amenaza.

Vs: Velocidad de onda de corte [m/s]

V_{s30}: Velocidad de onda de corte en los 30 metros superficiales

27F: Referencia a terremoto con epicentro en el Maule el día 27 de febrero de 2010.

γ (h): Semivariograma empírico

$\lambda_{\text{máx}}$: Mayor valor propio matriz de comparación

Índice de Contenidos

1	INTRODUCCIÓN	18
1.1	Objetivos	19
1.1.1	Objetivo General	19
1.1.2	Objetivos Específicos	19
1.2	Alcances y limitaciones	19
1.3	Estructuración de la memoria	20
2	ANTECEDENTES GENERALES.....	21
2.1	Antecedentes de la zona.....	21
2.2	Zona de Estudio	22
2.3	Levantamiento y manejo de información utilizada	23
2.4	Investigaciones principales zona de estudio	25
2.4.1	Luengo, R. (1986) y Pérez, L. (1988).....	25
2.4.2	“Microzonificación de los sectores planos de Viña del Mar basada en la amplificación del movimiento del suelo” (Pérez, 2000).....	25
2.4.3	“Microzonificación sísmica de la ciudad de Viña del Mar” (Carrasco & Núñez, 2013) 25	
2.4.4	“Aportes para una nueva zonificación geotécnica de Viña del Mar: Estimación de la profundidad del basamento rocoso en la cuenca del Marga Marga a partir de mediciones espectrales H/V” (Serafini, 2017)	26
2.4.5	“Aportes para una nueva zonificación geotécnica de Viña del Mar: Estimación del potencial de licuefacción” (Bustos, 2017)	28
2.4.6	“Aportes para una nueva zonificación geotécnica de Viña del Mar: Estimación de la amplificación sísmica en la cuenca del Marga–Marga” (Toledo, 2017)	29

2.4.7	Comentarios	30
2.5	Antecedentes históricos	30
2.5.1	Antecedentes de evolución paleográfica del plan de Viña del Mar.....	30
3	DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA	32
3.1	Geomorfología	32
3.2	Descripción geológica.....	33
4	DAÑO HISTÓRICO Y VULNERABILIDAD.....	41
4.1	Cronología sísmica más reciente	42
4.2	Riesgo de Tsunami	42
4.3	Infraestructura crítica para las personas.....	44
4.4	Distribución de daño	45
5	GEOESTADÍSTICA	50
5.1	Análisis geoestadístico mediante método Kriging.....	50
5.2	Coordenadas UTM	53
5.3	Factor de amplificación sísmica	54
5.3.1	Factor de amplificación saturada.....	55
5.3.2	Factor de amplificación no saturada	59
5.3.3	Comentarios	61
5.4	Basamento rocoso	61
5.4.1	Comentarios	65
5.5	Período	65
5.5.1	Comentarios	67

5.6	Intensidad	67
5.6.1	Comentarios	69
5.7	Potencial de licuefacción.....	69
5.7.1	Comentarios	73
6	DESCRIPCIÓN GEOTÉCNICA	74
6.1	Análisis edificios dañados	78
6.1.1	Método Sísmico Down–Hole	79
6.1.2	Edificio Festival.....	81
6.1.3	Edificio Murano.....	82
6.1.4	Edificio Toledo.....	83
6.1.5	Edificios Tenerife y Málaga.....	84
6.1.6	Edificio Montebianco	86
6.1.7	Edificio Antígona	87
6.1.8	Edificio Marina del Sol.....	88
6.1.9	Rio Imperial y Petrohué	89
6.2	Análisis de resultados obtenidos con Geoestadística.....	90
6.2.1	Comentarios	92
7	ANÁLISIS JERÁRQUICO	94
7.1	Implementación PAJ	94
7.2	Desarrollo análisis PAJ.....	97
7.2.1	Criterio 1: Dependencia de las variables	98
7.2.2	Criterio 2: Daño observado.....	98
7.2.3	Criterio 3: Escenario intermedio 1	99
7.2.4	Criterio 4: Escenario intermedio 2	99

7.2.5	Criterio 5: Escenario intermedio 3	100
7.2.6	Ponderaciones utilizadas.....	100
8	DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	108
9	BIBLIOGRAFÍA	110

Índice de figuras

Figura 2.1:	Vista satelital zona de estudio	21
Figura 2.2:	Área de estudio	23
Figura 2.3:	Antecedentes zona de estudio (QGIS)	24
Figura 2.4:	Mapa isosistas en escala MSK	26
Figura 2.5:	Morfología del basamento rocoso.....	27
Figura 2.6:	Mapa isoperiodos.....	27
Figura 2.7:	Mapa LPI Viña del Mar $M_w=8,8$ y $a=0,334g$	28
Figura 2.8:	Mapa de amplificaciones sísmicas, análisis unidimensional respuesta drenada.....	29
Figura 2.9:	Mapa de amplificación sísmica, análisis unidimensional de respuesta no drenada	29
Figura 3.1:	Morfología terrazas. Exageración relieve 1:2	32
Figura 3.2:	Mapa geológico de Viña del Mar adaptación (Grimme & Álvarez, 1964).....	34
Figura 3.3:	Mapa geológico del área de Valparaíso–Curacaví. SERNAGEOMIN adaptación (Gana, Wall, & Gutiérrez, 1996).....	35

Figura 3.4: Mapa geológico simplificado sector Valparaíso, Viña del Mar y Reñaca, escala 1:50.000	36
Figura 3.5: Ubicación prospecciones presencia materia orgánica	38
Figura 3.6: Mapa geológico propuesto adaptación (Muñoz, 2013)	39
Figura 4.1: Línea temporal de eventos sísmicos en Chile	41
Figura 4.2: Carta de inundación por tsunamis. Escala 1:15.000	43
Figura 4.3: Infraestructura crítica plan de Viña del Mar.....	44
Figura 4.4: Nivel de desempeño en función del desplazamiento relativo global alcanzado.....	45
Figura 5.1: Gráfico parámetros semivariograma teórico.....	51
Figura 5.2: Metodología de análisis geoestadística	52
Figura 5.3: Proyección de Mercator transversa.....	53
Figura 5.4: Husos y zonas UTM	53
Figura 5.5: Esquema depósito de suelo	54
Figura 5.6: Funciones de amplificación posiciones B y C.....	55
Figura 5.7: Esquema parámetros iniciales SGEMS	56
Figura 5.8: Variograma Omni–direccional FAsat.....	57
Figura 5.9: Anisotropía geométrica	57
Figura 5.10: Kriging FA saturada (SGEMS)	58
Figura 5.11: Kriging FA saturada	58
Figura 5.12: Variograma teórico FA no saturada	59

Figura 5.13: Kriging FA no saturada (SGEMS).....	60
Figura 5.14: Kriging FA no saturada.....	60
Figura 5.15: Ubicaciones prospecciones de roca real (Serafini, 2017)	61
Figura 5.16: Profundidad del basamento rocoso	63
Figura 5.17: Semivariograma experimental basamento rocoso.....	63
Figura 5.18: Basamento rocoso (SGEMS).....	64
Figura 5.19: Kriging basamento rocoso.....	64
Figura 5.20: Variograma experimental período	66
Figura 5.21: Kriging Período (SGEMS)	66
Figura 5.22: Kriging período	67
Figura 5.23: Variograma experimental intensidad	68
Figura 5.24: Kriging intensidad (SGEMS)	68
Figura 5.25: Kriging intensidad	69
Figura 5.26: Variograma experimental.....	71
Figura 5.27: Kriging PLI (SGEMS).....	71
Figura 5.28: Kriging LPI.....	72
Figura 5.29: Kriging LPI dirección 0°	72
Figura 6.1: Líneas de cortes transversales	75
Figura 6.2: Estratigrafía falla Marga– Marga	76
Figura 6.3: Resultados ensayo SPT falla Marga– Marga.....	76

Figura 6.4: Estratigrafía calle Los Castaños	76
Figura 6.5: Resultados ensayo SPT calle Los Castaños	77
Figura 6.6: Estratigrafía calle Álvarez	77
Figura 6.7: Resultados SPT calle Álvarez	77
Figura 6.8: Sección de corte entre 1 y 2 Norte	78
Figura 6.9: Resultados SPT sección de corte entre 1 y 2 Norte	78
Figura 6.10: Ubicación Edificios dañados con ensayo Downhole	79
Figura 6.11: Esquema de ensayo Down-Hole	80
Figura 6.12: Velocidades de onda de corte sector de estudio	80
Figura 6.13: Análisis de suelo edificio Festival	81
Figura 6.14: Análisis suelo de edificio Murano	82
Figura 6.15: Análisis de suelo edificio Toledo	83
Figura 6.16: Análisis edificio Tenerife y Málaga	85
Figura 6.17: Análisis suelo edificio Montebianco	86
Figura 6.18: Análisis suelo edificio Antígona	88
Figura 6.19: Análisis de suelo edificio Marina del Sol	89
Figura 6.20: Análisis de suelo edificios río Imperial y Petrohué	90
Figura 7.1: Esquema criterios PAJ utilizados	97
Figura 7.2: Resultados priorización 2 (MATLAB)	104
Figura 7.3: Zonificación en 5 tramos	104

Figura 7.4: Zonificación propuesta.....	105
Figura 7.5: Zonificación propuesta plan de Viña del Mar	105
Figura 7.6: Vulnerabilidad zona de estudio.....	106
Figura 7.7: Zonificación con edificios dañados y falla del Marga–Marga	107

Índice de Tablas

Tabla 2.1: Resumen información recopilada zona en estudio	23
Tabla 2.2: Rango de profundidades en los ensayos	24
Tabla 3.1: Clasificación de edades geológicas	33
Tabla 3.2: Clasificación edades geológicas.....	34
Tabla 3.3: Detalle prospecciones con presencia de materia orgánica	38
Tabla 4.1: Nivel de desempeño en función del desplazamiento relativo global alcanzado.....	46
Tabla 4.2: Edificios con peligro de colapso (27F)	47
Tabla 4.3: Inventario edificios con poca seguridad para los habitantes (27F)	47
Tabla 4.4: Inventario edificios poca seguridad para los habitantes (1985)	48
Tabla 4.5: Clasificación del tipo de suelo según Decreto 61	48
Tabla 4.6: Clasificación de suelos Eurocode	49
Tabla 5.1: Valores SGEMS de	56
Tabla 5.2: Valores variograma teórico FAsat	57
Tabla 5.3: Variograma teórico FAno sat.....	59

Tabla 5.4: Prospecciones con roca real	62
Tabla 5.5: Variograma teórico basamento rocoso	63
Tabla 5.6: Comparación rocas estimadas con real	65
Tabla 5.7: Variograma teórico Período	66
Tabla 5.8: Variograma teórico Intensidad	68
Tabla 5.9: Riesgo de daños en la superficie	70
Tabla 5.10: Variograma teórico potencial de licuefacción	71
Tabla 6.1: Propiedades geotécnicas del sector de estudio	74
Tabla 6.2: Horizontes estratigráficos área de estudio	74
Tabla 6.3: Características de suelo edificio Festival	81
Tabla 6.4: Características de suelo edificio Murano	82
Tabla 6.5: Características de suelo edificio Toledo	83
Tabla 6.6: Características suelo edificios Málaga y Tenerife.....	84
Tabla 6.7: Características edificio Montebianco	86
Tabla 6.8: Características edificio Antígona.....	87
Tabla 6.9: Característica edificio Marina del Sol	88
Tabla 6.10: Características Río Imperial y Petrohué.....	89
Tabla 6.11: Resultados geoestadísticos para edificios demolidos (2010).....	91
Tabla 6.12: Resultados geoestadísticos para edificios con daño severo (2010).....	91
Tabla 6.13: Resumen geoestadístico para edificios con daño severo el año 1985	92

Tabla 7.1: Escala de asignación de importancia comparativa	95
Tabla 7.2: Valores de índice aleatorio (IA) para pequeños problemas	96
Tabla 7.3: Matriz de comparación criterio 1	98
Tabla 7.4: Comprobación consistencia criterio 1.....	98
Tabla 7.5: Matriz de comparación criterio 2	98
Tabla 7.6: Comparación consistencia criterio 2	98
Tabla 7.7: Matriz de comparación criterio 3	99
Tabla 7.8: Comprobación consistencia criterio 3.....	99
Tabla 7.9: Matriz de comparación criterio 4	99
Tabla 7.10: Comprobación consistencia criterio 4	100
Tabla 7.11: Matriz de comparación criterio 5	100
Tabla 7.12: Comprobación de consistencia criterio 5.....	100
Tabla 7.13: Pesos asignados por variables.....	101
Tabla 7.14: Normalización variables en estudio.....	102
Tabla 7.15: Mapas temáticos variables	103

1 INTRODUCCIÓN

Los terremotos son eventos sísmicos de gran intensidad que se presentan para liberar energía del suelo, producto de la interacción de sus placas tectónicas, estos se presentan de manera cíclica dependiendo de la rapidez con la que se juntan sus placas (teniendo un período de retorno). Chile posee esta amenaza constantemente, que ha generado a lo largo de su historia grandes daños materiales e incluso pérdidas humanas.

La ciudad de Viña del Mar ha sido ampliamente estudiada debido a que ha tenido una mala respuesta a los eventos sísmicos. Si bien se tiene información histórica de los terremotos ocurridos en la zona, sólo fue hasta el terremoto del Maule ocurrido el 27 de del 2010 se tienen mediciones precisas de aceleraciones, respuestas y daño. Este terremoto a pesar de tener su epicentro a 376 [km] genero gran daño a específicamente al sector del plan de Viña del Mar.

La mitigación del riesgo sísmico requiere el mejorar el conocimiento de los factores que contribuyen al daño de las estructuras y su compleja interacción. En este estudio se analizan las variables más relevantes que condicionan las respuestas, a partir de la recopilación más actualizada de estudios y ensayos: DCPT, SPT, Down-Hole y ReMi.

Luego de tener las variables más relevantes para establecer el riesgo geotécnico, se realizará por medio de geoestadística la homogenización de los mapas, para luego, realizar un análisis multivariado basado en el proceso de análisis jerárquico (PAJ), se obtiene finalmente un mapa de riesgo con 4 zonas.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo General

El objetivo principal de esta memoria de título es generar un mapa de riesgo geotécnico del plan de Viña del Mar, recopilando información de los mapas más relevantes: basamento rocoso, amplificación sísmica, potencial de licuefacción, período fundamental e intensidad, normalizándolos con geoestadística y ponderarlos con análisis jerárquico (PAJ, con sus siglas en inglés AHP).

1.1.2 Objetivos Específicos

- Conocer los antecedentes históricos de la zona en estudio, estado del arte y trabajos anteriores.
- Caracterización global del plan de Viña del Mar, en los aspectos: geológicos, geotécnicos y geofísicos. Utilizando información de: ensayos SPT, velocidad de corte y tipo de suelo (perfiles estratigráficos).
- Realización de mapas de geoestadísticos de los parámetros más relevantes en el riesgo sísmico, como: profundidad de la roca, fenómeno de licuefacción, amplificación sísmica, período del suelo y vulnerabilidad sísmica.
- Ponderación jerárquica de los parámetros a través del método de Saaty (2008). Para obtención de una microzonificación final.
- Análisis de resultados y establecer recomendaciones constructivas para zonas de alto riesgo geotécnico.

1.2 Alcances y limitaciones

Uno de los alcances principales de esta memoria de título es la actualización y recopilación de todos los antecedentes existentes en esta zona. El plan de Viña del Mar ha sido un sector sumamente estudiado por su mala respuesta a las sollicitaciones sísmicas ocurridas en nuestro territorio, lo que es sumamente preocupante por ser el centro de una ciudad con gran densidad poblacional, contener los servicios principales para su funcionamiento y la importancia a nivel país que posee esta ciudad. En la actualidad no existe un plan regulador que resguarde a la población de trabajar o vivir en sectores vulnerables, además de la lenta respuesta pública para la mitigación y reparación de daños en el caso de eventos sísmicos, por eso es de urgencia tener una zonificación de riesgo geotécnico.

Dentro de los alcances de la memoria esta la entrega de esta zonificación de riesgo sísmico que con criterio de ingeniería se establecieron parámetros más relevantes para caracterizar la vulnerabilidad geotécnica de la zona, junto a la caracterización más precisa del sector por medio de ensayos. Sin embargo, se debe mencionar que esta zonificación no está exenta de incertidumbre en algunas zonas pobres de datos, dónde básicamente los parámetros utilizados no se encuentran en las mismas posiciones y cada valor utilizado fue generado por métodos diferentes. Para unificarlos se realizó geoestadística para cada uno de ellos, lo que permitió establecer puntos comunes en toda la extensión de la zona de estudio para su posterior ponderación. También se debe mencionar que el tamaño de la zona de estudio se determinó por los valores existentes de datos, siendo el resultado de la intersección de todos los datos.

1.3 Estructuración de la memoria

Esta memoria está constituida por 8 capítulos:

- **Capítulo 2:** Presentación los antecedentes generales de la zona en estudio, las razones de la elección de esta zona, la información utilizada y las investigaciones relacionadas.
- **Capítulo 3:** Presentación los antecedentes históricos de la zona de estudio, su formación geológica y la inundación por tsunami que ha sufrido a lo largo de la historia.
- **Capítulo 4:** Presenta el daño histórico en los edificios de la zona además de su vulnerabilidad.
- **Capítulo 5:** Se presentan los mapas de geoestadística generados por los parámetros seleccionados: factor de amplificación, basamento rocoso, intensidad, período fundamental y potencial de licuefacción.
- **Capítulo 6:** Corresponde a una descripción geotécnica de la zona en estudio, presentando los datos de ensayos: SPT, Vs y tipo de suelo utilizados y perfiles estratigráficos realizados con Rockword. Además de analizar 10 edificios dañados.
- **Capítulo 7:** Se ponderaron los mapas (generados en el capítulo 5) con análisis de procesos jerárquicos (PAJ), obteniendo el mapa de riesgo geotécnico propuesto.
- **Capítulo 8:** Presenta el término del estudio con la discusión de los resultados y su conclusión pertinente.

2 ANTECEDENTES GENERALES

2.1 Antecedentes de la zona

La ciudad de Viña del Mar, perteneciente a la Provincia y Región de Valparaíso, se encuentra ubicada en la costa del Océano Pacífico con coordenadas geográficas 33°01'00" Sur y 71°33'00" Oeste. Se emplaza a 110 kilómetros al oeste de la ciudad de Santiago y a 7 km de Valparaíso. Con una población total de 334.248 habitantes (Censo 2017) y una superficie total de 4.915,43 Ha (SECPLA, Viña del Mar). Es una zona sumamente turística por lo que en verano posee una población flotante de 200.000 personas (Carrasco & Núñez, 2013).

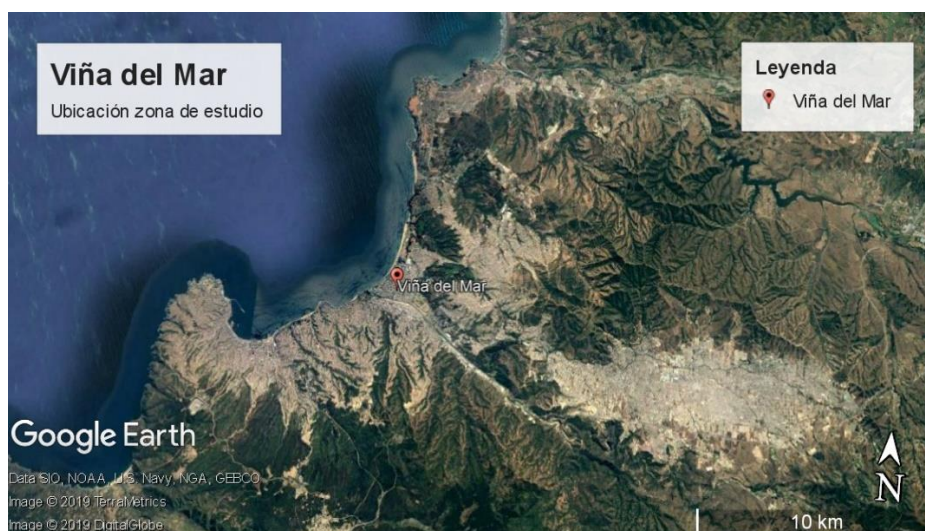


Figura 2.1: Vista satelital zona de estudio

Fuente: Elaboración propia

La ciudad de Viña del mar se encuentra ubicada en la zona de clima templado mediterráneo con lluvias invernales y estación seca prolongada, la influencia costera y la presencia de la corriente fría de Humboldt producen un régimen de precipitaciones de tipo ciclónico orográfico, por lo cual la cantidad de precipitaciones aumenta según la exposición del relieve y, por consiguiente, de acuerdo a su altura. Las precipitaciones anuales varían entre 250 y 400 [mm]. En general en toda la región las precipitaciones tienden a presentarse por períodos cortos de 24 a 48 [hrs], interrumpidos por breves períodos de calma. La influencia marítima afecta a toda la comuna, debido al efecto térmico del agua, el aire que entra al continente desde el mar funciona como regulador de las

variaciones diarias y estacionales del tiempo. Las variaciones anuales fluctúan entre los 20 [°C] y los 12 [°C]. Debido a la influencia del mar, la comuna se caracteriza por presentar durante gran parte del año una amplia cobertura de nubosidad baja matinal y una alta humedad relativa. Los vientos son en forma mayoritaria anti ciclónicos del sur y suroeste, con características oceánicas (Bustos, 2017).

La Región de Valparaíso presenta un clima templado mediterráneo, pero con algunas variaciones entre la costa, sectores centrales y sectores cordilleranos. Tanto el Océano Pacífico en general, como la corriente de Humboldt en particular, condicionan en gran medida la conducta de los elementos climáticos de la región. Las direcciones predominantes de los vientos, todas de componente oceánico y portadoras de humedad, explican la constante presencia de este factor en el clima regional y el carácter frío de la corriente de Humboldt determina la existencia permanente de una banda de bajas temperaturas vecinas a la costa, contribuyendo al descenso de las temperaturas continentales. (Muñoz, 2013)

La hidrogeología de la zona en estudio está fuertemente determinada por la cuenca del estero Marga Marga. Esta cuenca se encuentra entre las longitudes 71°12' y 71° 35' y entre las latitudes 33° 00' y 33° 14', presenta una extensión de 40.5 [km] y un ancho de 17 [km] en su parte central. La escorrentía se desarrolla en los faldeos occidentales de la cordillera de la costa con orientación Este-Oeste. El régimen de escorrentía es puramente fluvial con grandes crecidas en los meses de invierno. Estas crecidas son de corta duración, pero hacen oscilar importantemente el nivel freático del subsuelo (Aguas, 2002).

2.2 Zona de Estudio

La zona de estudio seleccionada es el centro de Viña del Mar, elegida básicamente por los antecedentes de daño que ha presentado a través de su historia. Por esta razón es una zona que posee gran cantidad de información ya sea de estudios, sondajes e informes de mecánica de suelos.

La ciudad de Viña del Mar se separa en 13 sectores, de los cuales el que alberga mayor cantidad de habitantes es el plan y posee una extensión de 504,4 HA (SECPLA). Este sector es de gran importancia debido a que abarca la mayor cantidad de edificios administrativos, servicios, comercio y es la zona de mayor atractivo turístico. Para el sismo del 27 de febrero del 2010 la municipalidad de Viña del Mar constató que el mayor daño fue producido en el sector del plan abarcando el 63,4% del daño de la ciudad (Carrasco & Núñez, 2013).

En la Figura 2.3 se puede observar toda el área coloreada como zona de estudio.

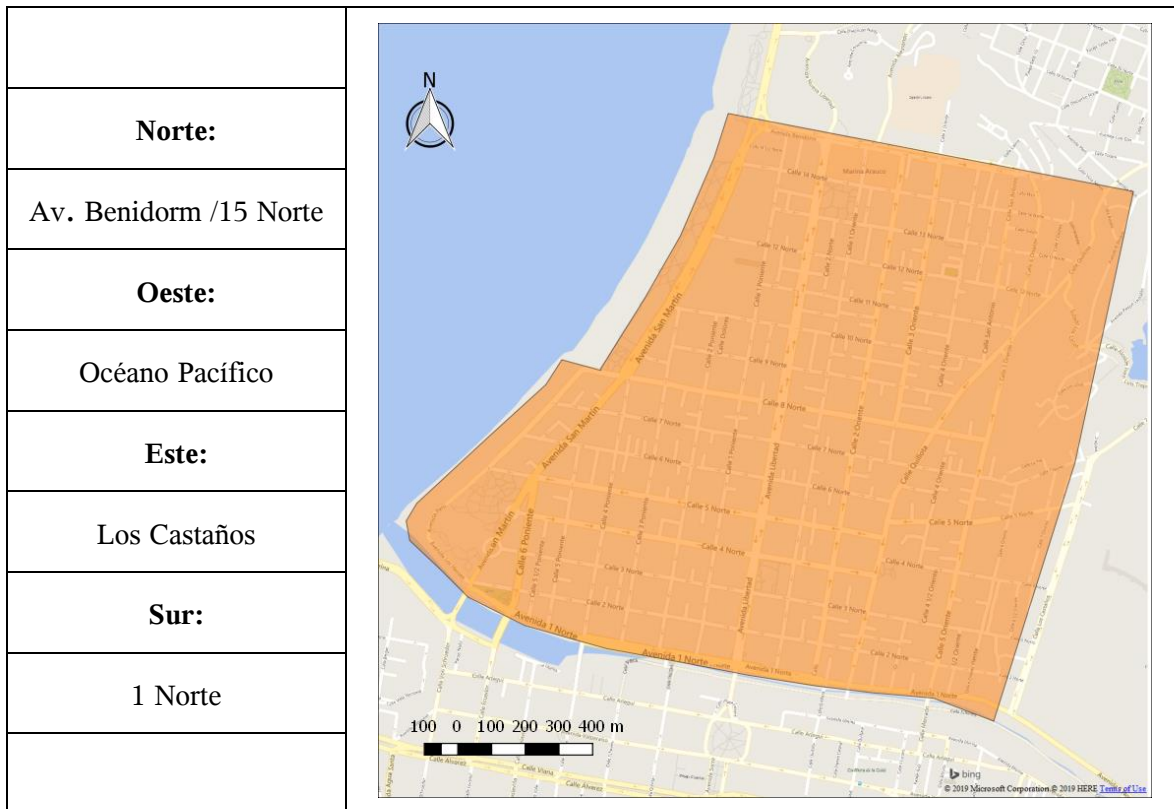


Figura 2.2: Área de estudio

Fuente: Elaboración Propia

2.3 Levantamiento y manejo de información utilizada

La información utilizada corresponde principalmente a la recopilación, selección y revisión de datos de estudios recientemente realizados, además de su adecuado análisis. Estos estudios obtuvieron los datos de mecánica de suelos de los laboratorios LEMCO y LEPUCV, además de complementarlos con información de los trabajos más recientes realizados: (Serafini, 2017), (Bustos, 2017) y (Toledo, 2017).

Se trabajo en base a ensayos: SPT, DCPT, ReMi, Downhole y plasticidad. Además de estratigrafías y granulometrías, todo ubicado en el centro de Viña del Mar. El resumen de información se encuentra en la siguiente tabla e ilustración:

Tabla 2.1: Resumen información recopilada zona en estudio

Fuente: Elaboración Propia

SPT	DCPT	Estratigrafías	Granulometrías	Plasticidad	ReMi	Downhole
82	21	68	49	50	17	15

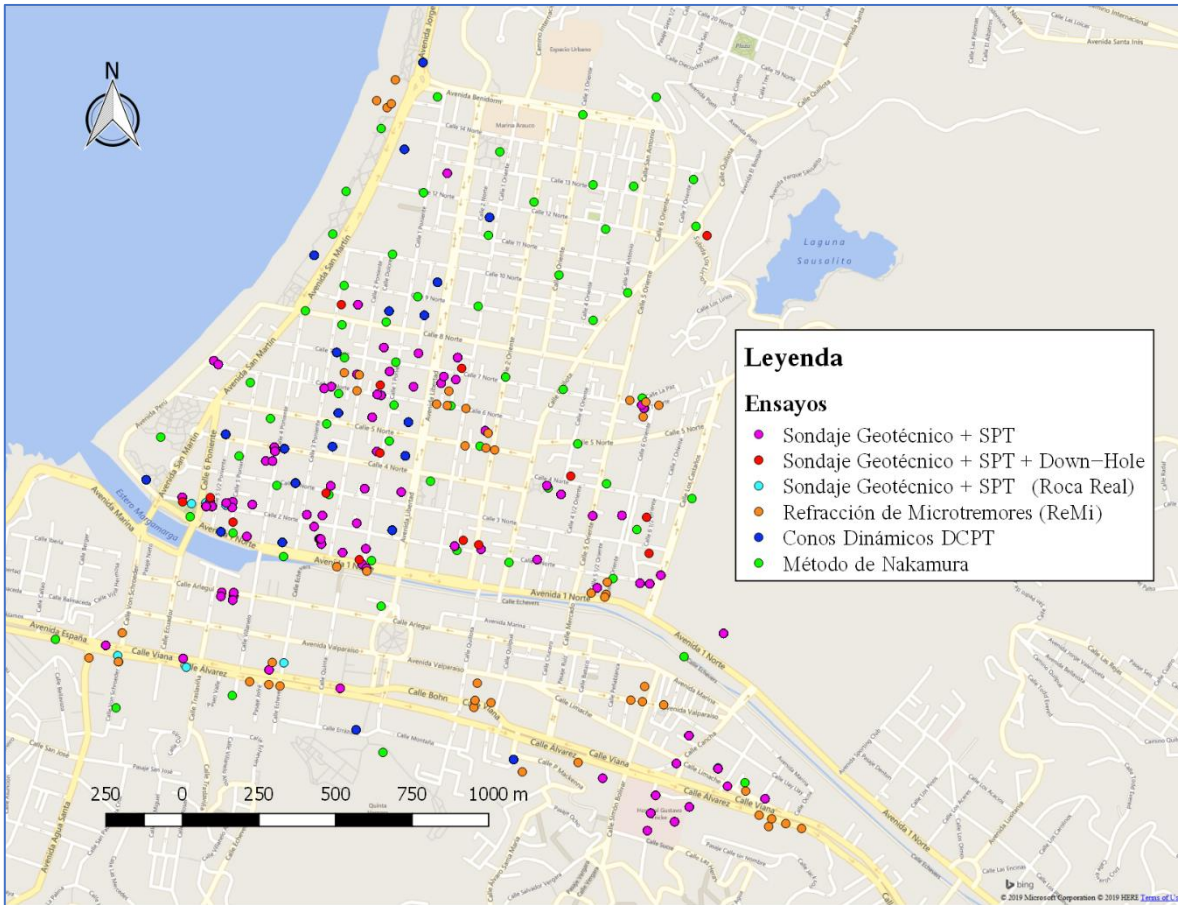


Figura 2.3: Antecedentes zona de estudio (QGIS)

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2.2: Rango de profundidades en los ensayos

Fuente: Elaboración propia

Ensayo	Profundidad [m]	
	Mínima	Máxima
Sondaje Geotécnico + SPT (Roca Real)	6	40
Sondaje Geotécnico + SPT + Down-Hole	30	42
Refracción de microtremores (ReMi)	30	45
Sondaje Geotécnico + SPT	6	40
Conos dinámicos DCPT	7	11

2.4 Investigaciones principales zona de estudio

2.4.1 Luengo, R. (1986) y Pérez, L. (1988)

En 1986 posterior al terremoto del año 1985, Luengo, R. (Luengo, 1986) realizó una clasificación de los suelos de la ciudad de Viña del Mar a partir de ensayos de estratigrafías, granulometrías y ensayos de penetración con cono dinámico pudiendo identificar un total de veintiséis zonas de similar estratigrafía.

Posteriormente en 1988 Pérez, L. (Pérez, 1988) presentó la primera microzonificación sísmica de la zona incorporando a los ensayos existentes a la fecha registros de micro vibraciones ambientales y los daños generados en viviendas producto del terremoto de marzo de 1985.

2.4.2 “Microzonificación de los sectores planos de Viña del Mar basada en la amplificación del movimiento del suelo” (Pérez, 2000)

Un modelo para determinar la respuesta sísmica del suelo ante importantes registros sísmicos recopilados fue llevado a cabo en el año 2000 por Pérez, P. (Pérez, 2000) para las zonas planas de Viña del Mar. Usando como input reportes geológicos para estimar la profundidad del manto rocoso (Thorson, 1999) y ensayos de laboratorio tales como sondajes SPT, estratigrafías y ensayos de refracción sísmica Pérez, P. propuso un perfil estratigráfico y definió un modelo de amplificación bidimensional con elementos finitos para estudiar el efecto de amplificación ante un determinado sismo. Este modelo fue calibrado usando registros existentes de aceleración en la superficie del acelerógrafo ubicado en la estación Viña del mar. Los resultados de la respuesta sísmica del suelo fueron expresados en términos de parámetros de intensidad, tales como, aceleración máxima, intensidad de arias, factor de potencial destructivo y razón espectral llegando a la conclusión que este último es el que mejor se adecua con la microzonificación propuesta por Pérez, L. (Pérez, 1988) en base a los daños del terremoto de 1985. La zona con mayor amplificación corresponde al sector oriente cerca al estero Marga – Marga.

2.4.3 “Microzonificación sísmica de la ciudad de Viña del Mar” (Carrasco & Núñez, 2013)

En el año 2013 Carrasco, P. y Núñez, C. (Carrasco & Núñez, 2013) llevaron a cabo una microzonificación sísmica de la zona de Viña del Mar utilizando nuevas metodologías a las antes vistas. El trabajo consistió en realizar un catastro en terreno para identificar los daños observados en las viviendas de la ciudad de Viña del Mar producto del terremoto del 27 de febrero del año 2010. Identificando la ubicación, tipo de construcción y daño observado. Definieron una escala de

intensidad MSK (Medvedev – Sponheur – Karnik), similar a la escala Mercalli pero modificada en cuanto a las percepciones humanas y efectos de destrucción en las construcciones. Junto con esto analizaron las propiedades del suelo donde estas viviendas se encontraban emplazadas a través de los ensayos SPT realizados en la ciudad a la fecha. Obtuvieron como resultado un mapa de microzonificación sísmica donde se muestra que la zona con más daños es la zona baja y céntrica de la ciudad (Plan, Chorillos 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).

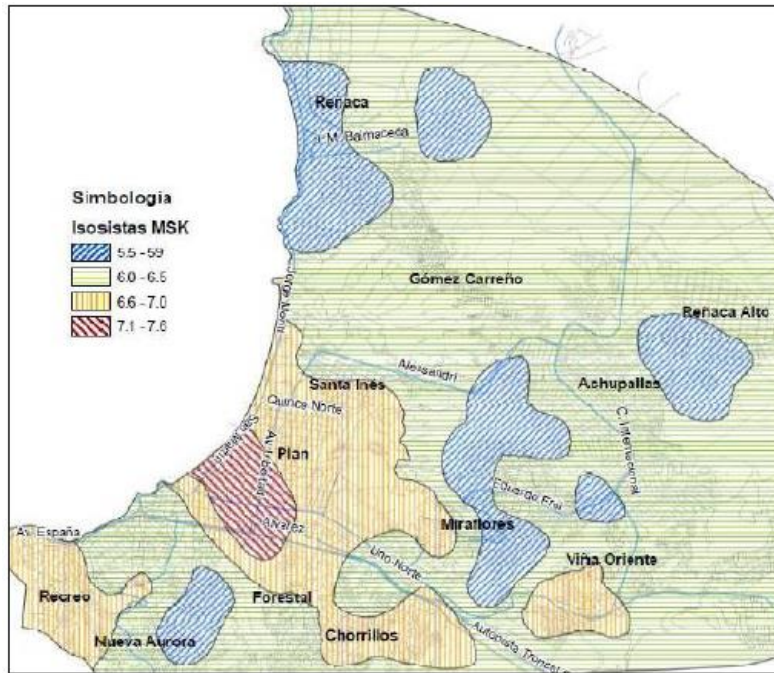


Figura 2.4: Mapa isosistas en escala MSK

Fuente: (Carrasco & Núñez, 2013)

2.4.4 “Aportes para una nueva zonificación geotécnica de Viña del Mar: Estimación de la profundidad del basamento rocoso en la cuenca del Marga Marga a partir de mediciones espectrales H/V” (Serafini, 2017)

Autores previos a Serafini realizaron estimaciones del basamento rocoso del Plan de Viña del Mar, ellos son: Verdugo (1995) y Podestá y Sáez (2016). Verdugo utilizó el método gravimétrico de prospección geofísica no confiables debido a consideraciones poco realistas y/o no fundamentadas, en cambio Podestá y Sáez obtuvieron buenos resultados mediante ensayos de velocidad de onda de corte y periodo fundamental del suelo, pero no verificaron con sondajes reales.

En este estudio Serafini realizó una serie de mediciones de ruido sísmico ambiental para estimar la frecuencia fundamental de vibración del suelo utilizando el método de Nakamura (1989), también se realizado anteriormente (Carrasco & Núñez, 2013), que plantea que el peak de la razón espectral horizontal/vertical es una aproximación adecuada de la frecuencia fundamental de depósitos sedimentarios siempre que exista un adecuado contraste de impedancia (>3) entre el estrato rocoso y el sedimentario. Mediante el método H/V o técnica de Nakamura combinado con la teoría de propagación unidimensional de ondas obtuvo la estimación de la morfología y profundidad del basamento rocoso en el sector Plan de Viña del Mar. Se pueden observar sus resultados en las siguientes imágenes:

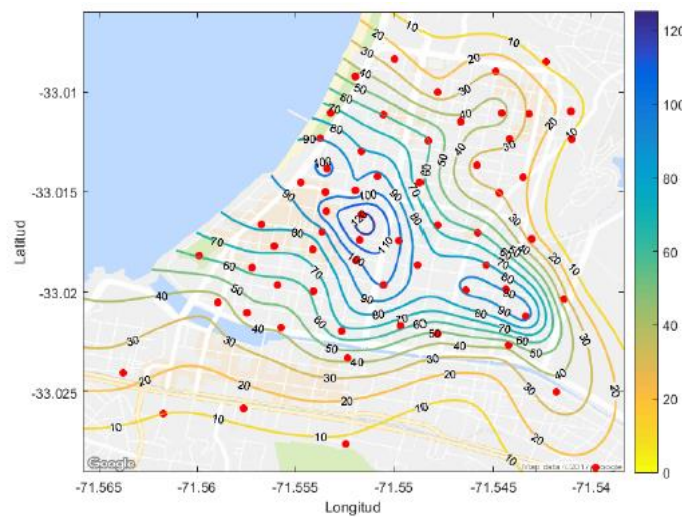


Figura 2.5: Morfología del basamento rocoso

Fuente: (Serafini, 2017)

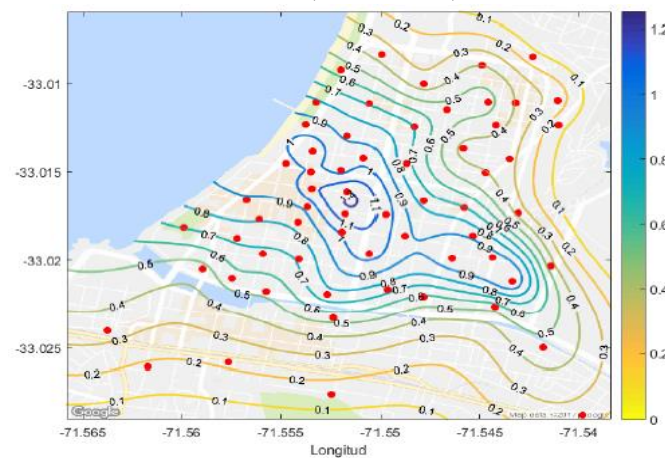


Figura 2.6: Mapa isoperiodos

Fuente: (Serafini, 2017)

2.4.5 “Aportes para una nueva zonificación geotécnica de Viña del Mar: Estimación del potencial de licuefacción” (Bustos, 2017)

De Vidts, D. et al. (De Vidts, et al., 2015) realizaron una microzonificación geotécnica, donde evaluaron la probabilidad de licuefacción de estratos y estimaron los asentamientos sísmicos usando modelos de Idriss y Boulanger. Obteniendo valores satisfactorios en comparación a los daños observados para el terremoto del 27F. Sin embargo, no considero la plasticidad de los diferentes estratos, clasificándolos a todos como suelos arenosos y no considero el porcentaje de fino para el cálculo de la resistencia cíclica de las arenas.

Bustos en su estudio caracterizó geotécnicamente los distintos estratos de suelo y evaluó el potencial de licuefacción a través del índice de potencial de licuefacción (LPI) propuesto por Iwasaki para un sismo de características similares al del 27F; utilizó una escala de valores para clasificar los niveles de potencial de licuefacción en función del valor de LPI propuesta por Sonmez (Sonmez, 2003). Presentando un mapa de susceptibilidad a la licuefacción del plan de Viña del Mar, como se puede observar en la ilustración 7.

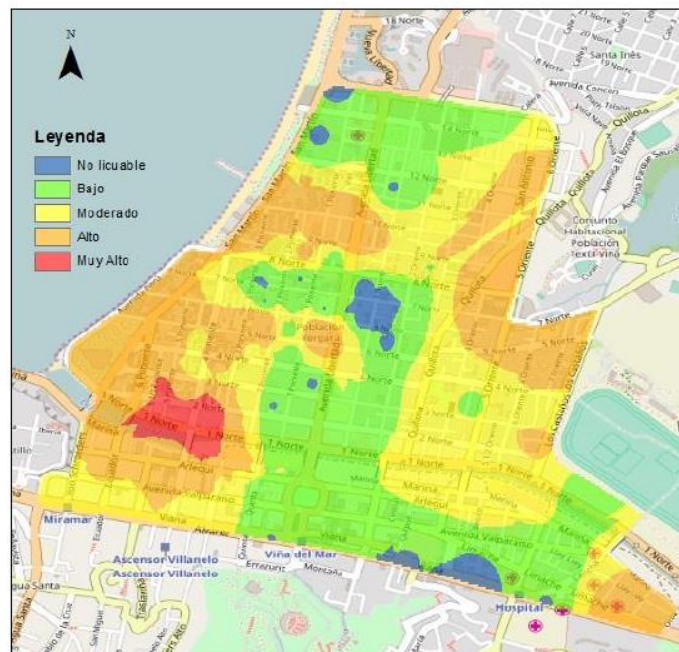


Figura 2.7: Mapa LPI Viña del Mar $M_w=8,8$ y $a=0,334g$

Fuente: (Bustos, 2017)

2.4.6 “Aportes para una nueva zonificación geotécnica de Viña del Mar: Estimación de la amplificación sísmica en la cuenca del Marga–Marga” (Toledo, 2017)

El resultado principal de este estudio realizado por Toledo obtuvo la amplificación sísmica en superficie del plan de Viña del Mar para modelos unidimensional y bidimensional. Como evento sísmico utilizo el terremoto del Maule de 2010 ($M_w=8.8$), dado que es el evento sísmico que posee mayor cantidad de registros asociados a la zona en estudio. En las ilustraciones 8 y 9 se puede apreciar que se produce amplificación sísmica en superficie esto debido a las características locales presentes como lo son: la profundidad del basamento rocoso, de la rigidez del relleno y del nivel freático.



Figura 2.8: Mapa de amplificaciones sísmicas, análisis unidimensional respuesta drenada

Fuente: (Toledo, 2017)



Figura 2.9: Mapa de amplificación sísmica, análisis unidimensional de respuesta no drenada

2.4.7 Comentarios

Existen diversas investigaciones en la zona de estudio a través de la historia, cabe comentar las más recientes, posteriores al 27F. En primer lugar, se tiene la microzonificación propuesta por Carrasco (Carrasco & Núñez, 2013), que determino de manera adecuada la vulnerabilidad de la zona a través de las encuestas de viviendas unifamiliares, pero existen dos parámetros de gran relevancia que no consideró de manera explícita dentro de su estudio: el fenómeno de licuefacción y el basamento rocoso. Además de tener pocos ensayos Downhole y estratigrafías, para tener una caracterización adecuada del suelo en estudio. Por lo que es necesario actualizar la zonificación del plan de Viña del Mar considerando los 3 estudios más recientes realizados en la zona: (Serafini, 2017), (Bustos, 2017) y (Toledo, 2017).

2.5 Antecedentes históricos

2.5.1 Antecedentes de evolución paleográfica del plan de Viña del Mar

Thorson (1999) realiza una reconstrucción paleográfica de la evolución de las distintas facies de depositación sedimentaria en los últimos 18 mil años (Pleistoceno superior y Holoceno) en el Plan de Viña del Mar.

A partir de antecedentes climáticos, eustáticos, morfológicos y geológicos, Thorson (1999) reconoce al menos 5 estados de evolución paleogeográfica desde la última desglaciación hace 18.000 años hasta la actualidad. Los cambios estarían asociados principalmente a periodos glacial / post glacial, cambios en las tasas de erosión sedimentación tanto del estero Marga–Marga como del mar y alzamientos tectónicos asociados a la sismicidad. A continuación, se resumen los 5 estados identificados por Thorson (1999).

- En el Estado 1, más de 18.000 años atrás, Thorson (1999) interpreta que el nivel del mar habría estado bajo por el dominio de un período glacial. Este retroceso del mar respecto al continente, suele generar grandes erosiones en la plataforma continental (como cañones submarinos) dado se habría visto expuesta. Sin embargo, frente a Viña del Mar, no se observa un cañón submarino (a diferencia del cañón submarino frente a la ciudad de San Antonio), por lo que Thorson (1999) plantea que el estero Marga–Marga habría sido un estrecho canal con profundidades de hasta 80 m en el Plan de Viña por el oeste, lo que habría generado erosión y corte en el basamento rocoso.
- En un segundo estado (Estado 2), entre 18 y 13 mil años atrás, se habría generado un ensanche del valle, y el mar habría empezado a subir gradualmente, por lo que las arenas

del mar habrían comenzado a dominar por sobre depósitos aluviales, especialmente en el fondo y en las laderas del estero.

- En el Estado 3, entre los 13 mil y 7 mil años atrás, se habría dado inicio a la desglaciación, por lo que el mar habría ascendido con mayor rapidez y habría inundado las zonas de estuarios costeros. En esta etapa, la transgresión marina habría inundado el Plan de Viña (hasta aproximadamente el sector del Sporting Club). La parte ancha del estero generada en las etapas anteriores se habría visto cubierta por arenas de depósitos tipo deltas y arenas de playa, lo que alza en nivel del fondo del mar. Según Thorson (1999), esto queda en evidencia por la existencia de estratos compuestos por arcillas plásticas y sedimentos marinos.
- En el Estado 4 (entre 8 y 5 mil años atrás) se genera una desaceleración de la transgresión marina y un alzamiento del fondo del mar por acumulación de sedimentos. Esto habría provocado la formación de una barra de sedimentos a lo largo de la línea de la costa, que habría impedido la evacuación de las aguas del estero Marga–Marga en el mar. Como consecuencia de esto, se habría generado la acumulación de los sedimentos provenientes del NW del estero, intercalados con entradas del mar asociados a periodos de tormenta y ruptura de esta barra, desarrollando un ambiente marino al NW, uno deltaico al SE, incluyendo depósitos lagunares (ver Figura 5.18). Más adelante se presentan antecedentes adicionales respecto a la existencia de estos depósitos lagunares en el Plan de Viña del Mar. El Estado 5 o estado moderno (entre 4 mil años atrás y la fecha) el Plan de Viña habría emergido por sobre el mar por causas de alzamiento tectónico y sedimentación, sumado a un retroceso paulatino en el nivel del mar. Esta condición se habría visto favorecida por la presencia del macizo de Cerro Castillo, que actuaría como un bloqueo natural de las arenas provenientes del sur, favorecido el aumento en la tasa de depositación de sedimentos sobre el Plan.

3 DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA

3.1 Geomorfología

La comuna de Viña del Mar se encuentra en un área caracterizada por formas topográficas que indican una costa de regresión (Grimme y Alvarez, 1964). Presenta tres unidades geomorfológicas principales dadas por su relieve: el fondo de valle, los niveles aterrizados y los cerros de la cordillera de la costa hacia el este. El sector Plan, también conocido como población Vergara, está establecido al final del valle del estero Marga–Marga y corresponde a una llanura constituida por sedimentos marino–fluviales en torno al estero con alturas medias entre 6 y 9 m.s.n.m. (Thorson, R., 1999). Los límites de esta unidad al norte y al sur son cerros con altitudes variables correspondientes a terrazas litorales o terrazas de abrasión marina.

Hacia el norte y sur de la zona en estudio es posible distinguir terrazas de gran extensión que corresponden a superficies relativamente planas disectadas por profundas quebradas y zonas de erosión. Los niveles aterrizados a ambos lados del estero Marga–Marga son discordantes entre sí, exhibiendo diferentes alturas. Al noreste del estero predomina una terraza de gran extensión ubicada entre los 200 y 250 m.s.n.m. Al sur del estero los niveles aterrizados son más altos, ubicándose la terraza principal en cotas superiores a los 250 m.s.n.m. y alcanzando más de 450 m.s.n.m. al sur de Valparaíso (Grimme y Alvarez, 1964).



Figura 3.1: Morfología terrazas. Exageración relieve 1:2

Fuente: (Serafini, 2017)

3.2 Descripción geológica

A escala regional, geológicamente la Cordillera de la Costa y sectores costeros están constituidos por un basamento de rocas metamórficas e intrusivas del paleozoico y mesozoico, cubiertas en los sectores costeros por varios niveles de terrazas de abrasión subhorizontales, compuestas por sedimentos poco consolidados de origen marino y continental cenozoicos y sedimentos cuaternarios de origen fluvial, aluvial, eólico y marino. Lo anterior, implica en términos geotécnicos la existencia de una diversa gama de materiales y rocas en la zona, que involucra rocas rígidas intrusivas y metamórficas, unidades de rocas meteorizadas y amaicilladas, arenas y depósitos semi consolidados a no consolidados, y unidades afectadas presencia de fallas geológicas. (Muñoz, 2013)

Actualmente existen 4 mapas geológicos de la ciudad de Viña del Mar, de ellos 3 incluyen el sector del plan y son los siguientes:

- Geología del área Valparaíso – Viña del Mar. Grimme, K. y Alvarez, L. (1964).
Escala 1:50.000
- Mapa Geológico del Área de Valparaíso – Curacavi. Gana, Wall, R., y Gutierrez, A. 1996.
Escala 1:100.000
- Mapa Geológico simplificado sector Valparaíso, Viña del Mar y Reñaca– Muñoz, E. 2013.
Escala 1:50.000

En su estudio (Carrasco & Núñez, 2013) realizó una adaptación de los primeros 2 mapas descritos, que se pueden observar en las figuras 3.2 y 3.3, junto a su tabla de clasificación de edades geológicas.

Tabla 3.1: 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

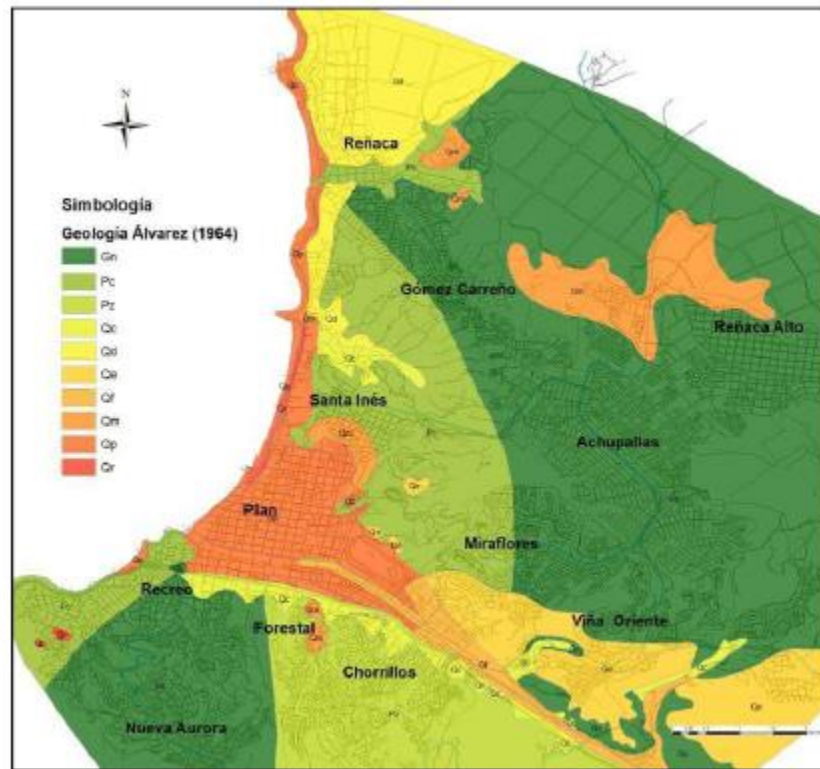


Figura 3.2: Mapa geológico de Viña del Mar adaptación (Grimme & Álvarez, 1964)
Fuente: (Carrasco & Núñez, 2013)

Tabla 3.2: Clasificación edades geológicas
Fuente: (Gana, Wall, & Gutiérrez, 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

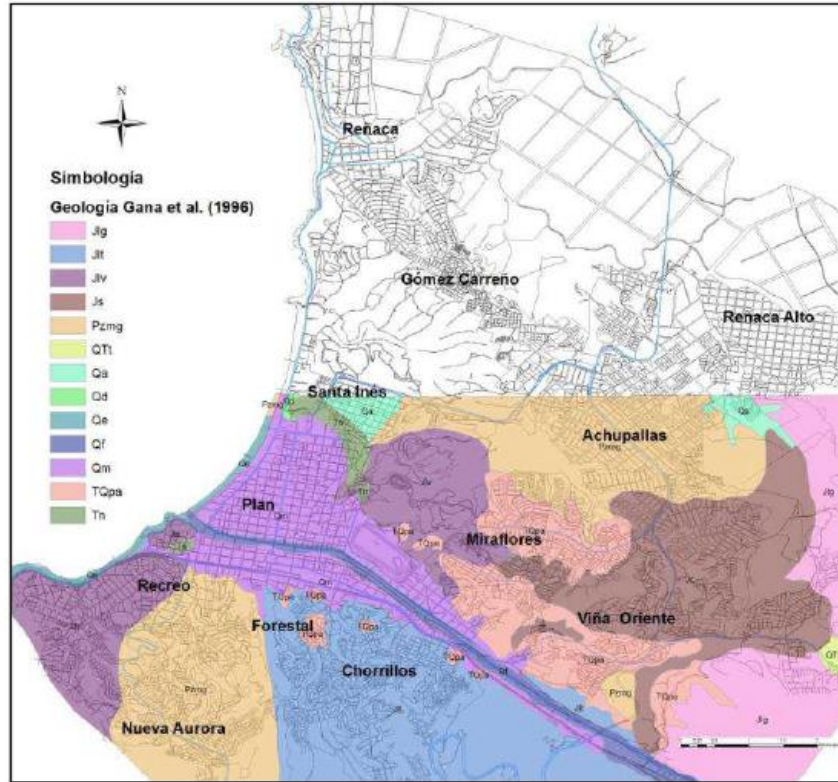


Figura 3.3: Mapa geológico del área de Valparaíso–Curacaví. SERNAGEOMIN adaptación (Gana, Wall, & Gutiérrez, 1996)

Fuente: (Carrasco & Núñez, 2013)

Esta adaptación fue el paso previo a la simplificación que realiza por períodos, en ella analizó la edad de cada unidad geológica de los distintos sectores y determinó que zonas corresponden a sedimentos no consolidados (Cuaternario), sedimentos semi-consolidados (Terciario) y rocas intrusivas (Jurásico/Paleozoico). Lo que tiene concordancia con lo que expresa Muñoz, E. (2013), si bien existen diferencias entre los trabajos recopilados y analizados en términos de distribución de algunas unidades, nomenclatura y asignación de edades, lo cierto es que la disposición de los depósitos a escala comunal coincide en términos generales.

De esta manera la zona de estudio (plan) se clasificó como una zona no consolidada. Lo que es consistente con los efectos de sitio (amplificación sísmica) que se ha observado en la zona, según (Tsige & García, 2006) cuando las ondas atraviesan cierto tipo de terrenos (por ejemplo, suelos blandos o no consolidados), el movimiento o la señal de entrada se amplifica de forma muy relevante.

El mapa más actual es el presentado en el estudio (Muñoz, 2013), que corresponde al siguiente:

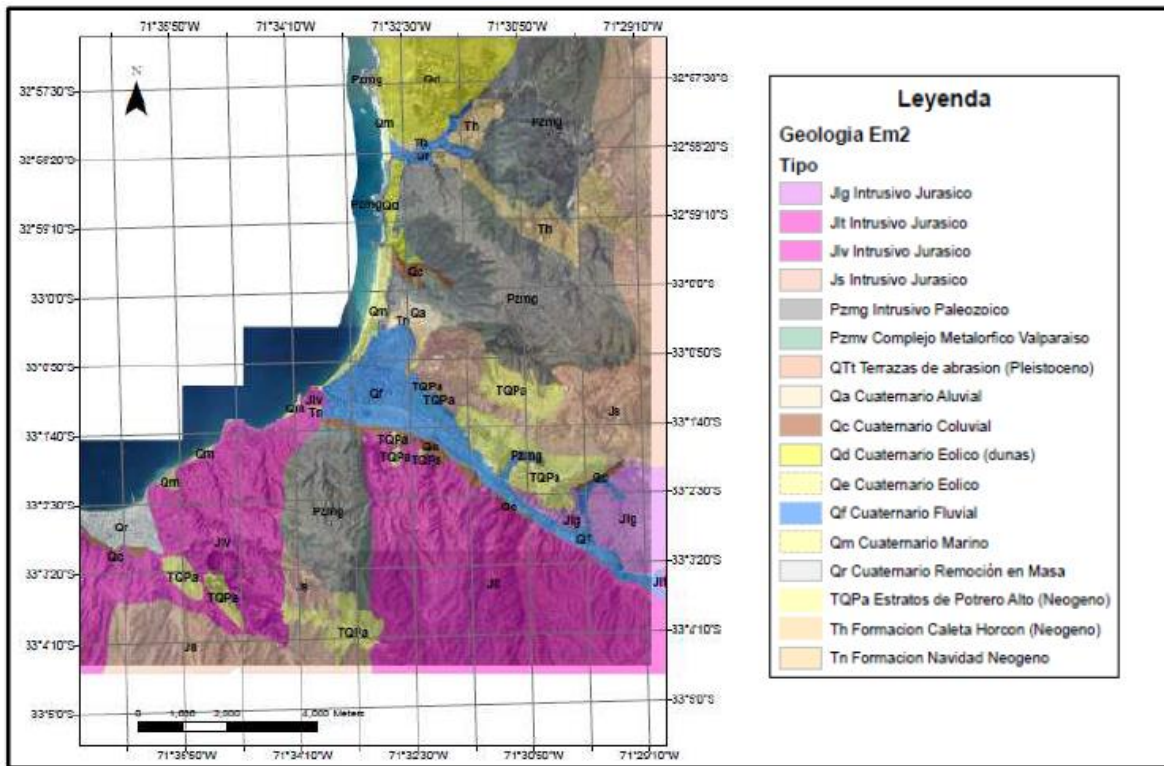


Figura 3.4: Mapa geológico simplificado sector Valparaíso, Viña del Mar y Reñaca, escala 1:50.000

Fuente: (Muñoz, 2013)

Se puede observar que la zona en estudio se ha clasificado de diferente manera según los diferentes autores, por lo que es necesario revisar estas definiciones, basándose en la información oficial más reciente (Gana et al., 1996, 1:100000 de SERNAGEOMIN):

- **Depósitos Marinos Cuaternarios (Qm).**

Edades entre el Pleistoceno – Holoceno, corresponde a sedimentos no consolidados marinos a transicionales, constituidos por limos, arenas y gravas con niveles coquinoideos. Su morfología aterrazada se reconoce hasta 5 km al este de la costa actual, sin superar la cota de los 25 metros, y con contenido fosilífero (Gana et al.,1996). Esta unidad es similar en términos de composición y distribución con a la definida por Álvarez (1964) denominada **Qp (Cuaternario Playa)** consistente en Arenas y Gravas de Playa, la cual también es asociada a la Unidad **Qe** descrita por Gana et al., 1996.

- **Depósitos Fluviales actuales Holoceno (Qf).**

Sedimentos no consolidados de cursos fluviales activos. Predominan facies de relleno de canal con base erosiva, constituidas por gravas clastosoportadas, compuestas por bolones redondeados a

bien redondeados de baja esfericidad, en parte imbricados; lentes de arenas con estratificación plana–horizontal y cruzada y escasos limos finamente laminados. Álvarez (1964) también reconoce y describe estos depósitos (**Relleno Fluvial Qf**), y por la escala del estudio aparecen identificados en el área y descritos como relleno de valles compuestos por arenas, gravas y limos que engranan con materiales coluviales heterogéneos. Hacia el río Aconcagua, estos sedimentos tendrían mayor exposición, llegando a formar terrazas fluviales (Rivano et al., 1993) denominándolos como **Qac** (sedimentos aluviales y coluviales de relleno de valles), reconocidos en el entorno del estero Reñaca.

Dentro de su estudio Muñoz, E (2013) plantea que el estero generó una desembocadura tipo delta bajo el Plan de Viña, reconociéndose principalmente sedimentos fluviales en toda la superficie, alternados con depósitos marinos y algunos lacustres, y no como un único brazo del estero por debajo de la ciudad. Sin embargo, expresa que los sedimentos lacustres (limos orgánicos y restos vegetales), podrían ser interpretados como depósitos lagunares producto del entrapamiento de agua dulce por sedimentos marinos son casos aislados irrelevantes en dimensión de área y espesor (menor a 2 m). Lo que difiere a la interpretación de Thorson (1999) que señala la existencia de una paleolaguna bajo el Plan de Viña del Mar, específicamente en el sector entre calles: Libertad, 6 Norte, Quillota y 2 Norte.

En los 82 ensayos SPT que se estudiaron se tienen 10 prospecciones, en las cuales se encontró material orgánico tipo conchuela, estos con espesores no menores. En área son pocos en comparación a la información total, pero esto se puede deber a que son prospecciones en su mayoría de una profundidad superior a 30 [m] (requerimiento mínimo de estudio de suelos para la construcción de un edificio), y el análisis de Muñoz lo presenta hasta los 21 m. Además, estas prospecciones se encuentran justo en el sector de la paleoduna de Thorson. A continuación, se presentan la ubicación y un resumen de la información respectiva de cada sondaje señalado.

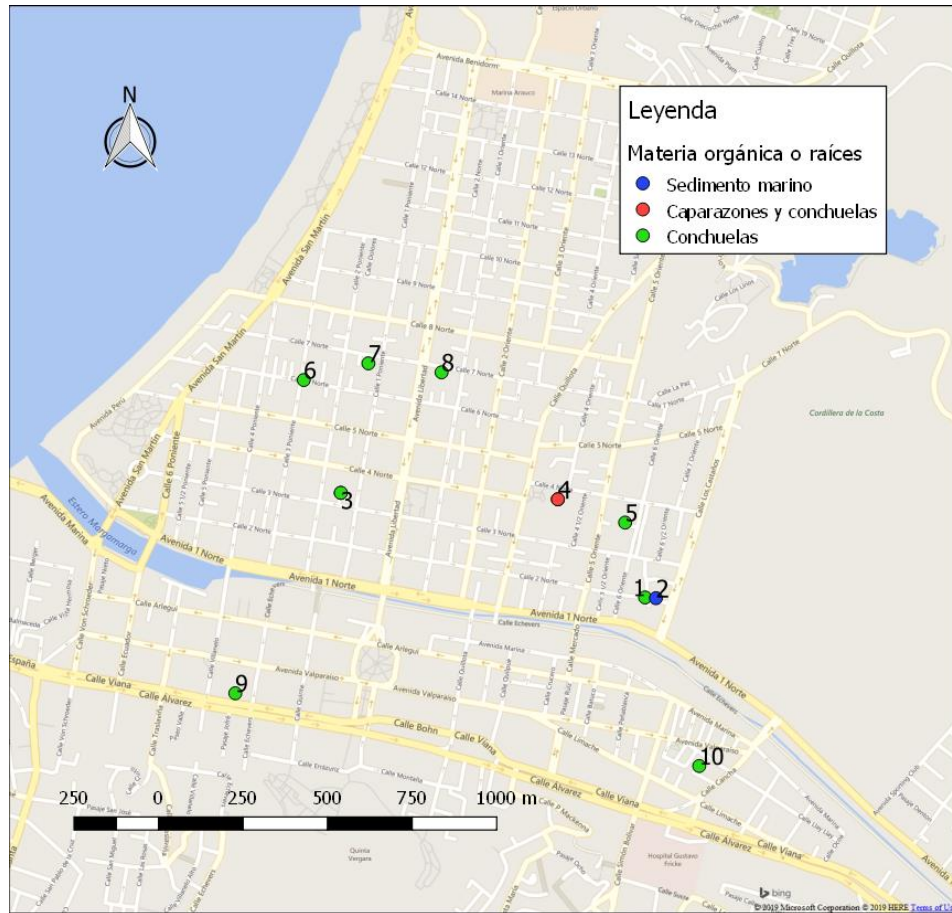


Figura 3.5: Ubicación prospecciones presencia materia orgánica

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3.3: Detalle prospecciones con presencia de materia orgánica

N° Prospección	Profundidad [m]		Espesor [m]	Descripción materia orgánica o raíces
	inicio	fin		
1	18	20,25	2,25	Conchuela
2	17,5	35	17,5	Sedimento marino
3	20	32	12	Conchuela
	33,5	36	2,5	Conchuela
4	26	35	9	Conchuelas
	35	40,2	5,2	Conchuelas y caparazones
5	16	32	16	Conchuela
6	30,02	33,47	3,45	Conchuela
7	27	36	9	Conchuela
8	28	45	17	Conchuela
9	15,02	20,46	5,44	Conchuela
10	13	33	20	Conchuela

Finalmente, en este estudio se consideró que la zona del Plan posee tanto sedimentos fluviales como marinos, y la baja presencia de estos en área, se debe a que las prospecciones son originadas por la necesidad de construir y no de caracterizar el terreno, y por esta razón son poco profundas. Generalmente la caracterización geológica responde a afloramientos en superficie que delimitan cada tipo de sedimento lo que deja gran parte a interpretación e incertidumbre. Con el fin de aportar mayor información se sugiere una actualización del mapa geológico para el sector de estudio incluyendo ambos sedimentos.

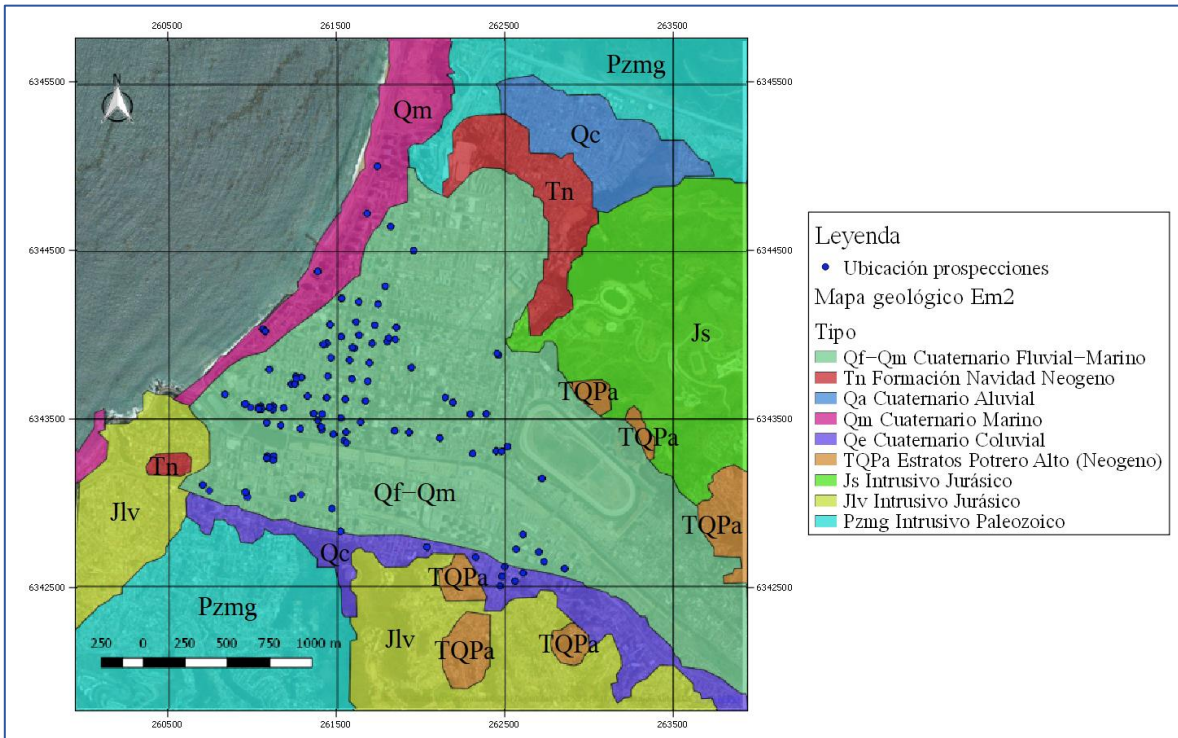


Figura 3.6: Mapa geológico propuesto adaptación (Muñoz, 2013)

Fuente: Elaboración Propia

Otro aspecto importante de la zona de estudio son las fallas geológicas identificadas por Grimme y Alvarez (1964), Gana (1996) y Thorson (1999). La más importante es la falla Marga-Marga, cuyo trazado se alinea con el valle del estero homónimo con rumbo N40°W a N60°W, manteo subvertical y longitud aproximada de 50 km, atravesando la ciudad de Viña del Mar (Figuroa et al., 1997). El desplazamiento que ha experimentado la falla Marga-Marga es horizontal y el movimiento relativo es tal que el bloque norte se ha movido hacia el sureste con respecto al bloque opuesto. Además, ha habido una componente vertical del movimiento de manera que el bloque sur ha subido respecto al bloque norte (Grimme y Álvarez 1964). Muñoz (2013) a través de los documentos entregados por la oficina de catastro de la Dirección de Obras Municipales (DOM) de la Municipalidad de Viña del Mar comprobó que las modificaciones de la topografía pre y post

terremoto 2010 se concentran en la franja de falla del Marga–Marga. Es de gran relevancia la ubicación de las diversas fallas del Marga–Marga propuestas, debido a que poseen una estrecha relación con el daño observado en el sector del Plan.

4 DAÑO HISTÓRICO Y VULNERABILIDAD

Chile se encuentra ubicado sobre la subducción de la placa tectónica de Nazca bajo la placa Sudamericana, lo que genera una constante actividad sísmica a lo largo de toda su extensión (Figura 16). En promedio un terremoto de magnitud superior a 8 se produce cada diez años en alguna parte del territorio (Madariaga, 1998). La Región de Valparaíso se ha visto afectada históricamente por sismos generados en el contacto de ambas placas tectónicas en la zona de Wadati–Benioff (sismos de tipo interplaca).

Se han registrado 5 terremotos con epicentro en la zona de Valparaíso desde la llegada de los españoles hasta hoy (1575,1647,1730,1822,1906 y 1985) con una frecuencia de 85 ± 5 años según Nishenko (1985) y 82 ± 6 (Comte et al, 1986). Se poseen antecedentes de los dos últimos eventos, junto al terremoto del Maule 2010.

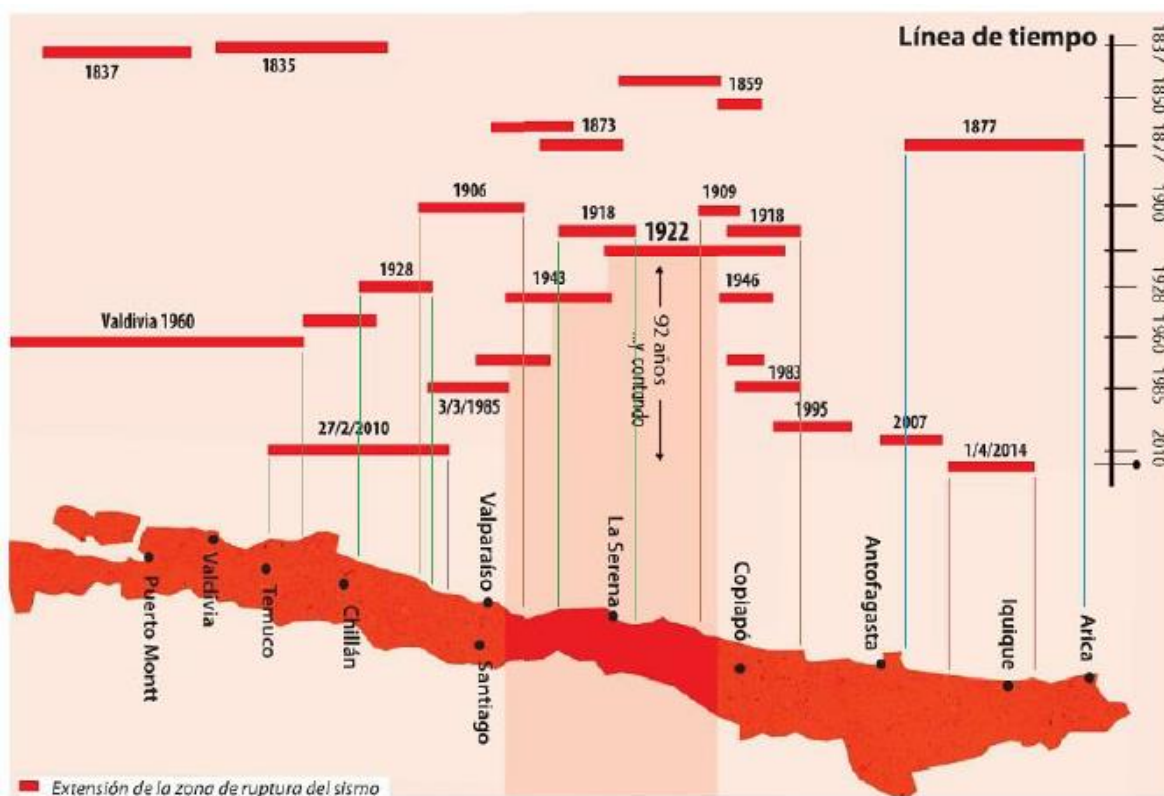


Figura 4.1: Línea temporal de eventos sísmicos en Chile

Fuente: Crespo, 2014

4.1 Cronología sísmica más reciente

El terremoto del 16 de agosto de 1906, con epicentro frente a las costas de Valparaíso de magnitud $M_L=8,2$, tuvo un movimiento suficientemente fuerte para destruir casas de madera y según lo observado por Rosas y Cruzat (1906): rupturas en superficie y fenómenos de licuefacción en varios lugares de la población Vergara.

El terremoto del 3 de marzo de 1985, con epicentro ubicado a 20 km mar adentro entre Valparaíso y Algarrobo. Con una profundidad focal de 15 km (Astroza & Monge, 1989) tuvo una magnitud Richter $M_L=7,8$ e intensidad máxima de VIII grados en la escala modificada de Mercalli (Onemi, 2009). Desde el punto de vista sismológico, este sismo corresponde a un evento de tipo interplaca. Se observó una concentración de daños de edificios en torno al Muelle Vergara y Canal Beagle, ambos adyacentes a la falla Marga–Marga (Thorson, 1999).

El terremoto interplaca del Maule ocurrió el 27 de febrero de 2010, con una profundidad focal de 35 km, largo de ruptura de 500 km y magnitud de momento $M_w=8,8$ (USGS, 2010). La ubicación fue en el mar frente a la localidad de Cobquecura. En Viña del Mar se registró por medio de los acelerogramas una aceleración peak horizontal de 0,34 g y vertical de 0,26 g (Saragoni, 2011). Este terremoto produjo una gran amplificación dinámica del suelo que generó daños de edificios de mediana y gran altura en el sector del plan, la posible causa se encontró al comparar los espectros de respuesta registrados a los exigidos por la normativa vigente en ese momento, dónde los espectros de diseño eran menores a los registrados. Se procedió a corregir la norma sísmica chilena (NCh 433 Of.96 modificada en 2009) agregando el decreto supremo 61 (2011) que considera una clasificación dinámica de suelos y una modificación en los espectros de diseño por efecto del suelo (Saragoni, 2011).

4.2 Riesgo de Tsunami

Como Viña del Mar es una ciudad costera ubicada frente al Océano Pacífico, se corre el riesgo de presentar catástrofes naturales como son los tsunamis, que dependen de la magnitud del movimiento telúrico. Las olas que conforman el tsunami se desplazan con una gran fuerza relacionada directamente proporcional a la profundidad que poseen las aguas, por ejemplo, en el océano pacífico se tiene una profundidad de 4.000 m por lo que el tsumani puede alcanzar una velocidad de 700 km/h y viajar miles de kilómetros sin perder mucha velocidad. Sólo al llegar a la costa comienza a perder velocidad, ya que la profundidad del mar disminuye considerablemente, alcanzando las olas una altura aproximada de 6 ó 7 metros. Las poblaciones costeras tienen que

ser evacuadas a zonas de seguridad, luego de un sismo alertados adecuadamente por el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile (SHOA).

Se tienen como antecedentes históricos los tsunamis generados por un terremoto en la ciudad:

- Año 1730, terremoto de 8,7
- Año 1822, terremoto de 8,5
- Año 1871, terremoto de 7,5
- Año 1906, terremoto de 8,4
- Año 1943, terremoto de 8,0
- Año 1985, terremoto de 8,0

El más grande de los tsunamis, es el ocurrido el 8 de Julio de 1730, con un epicentro cercano a las costas de Valparaíso y es el único que ha tenido carácter destructivo. Por ello, la última carta de inundación generada por el SHOA se basa en este “escenario más extremo” y se elaboró utilizando el modelo de simulación numérica COMCOT, este modelo fue alimentado por información topográfica, batimétrica y del plano urbano más actualizado.

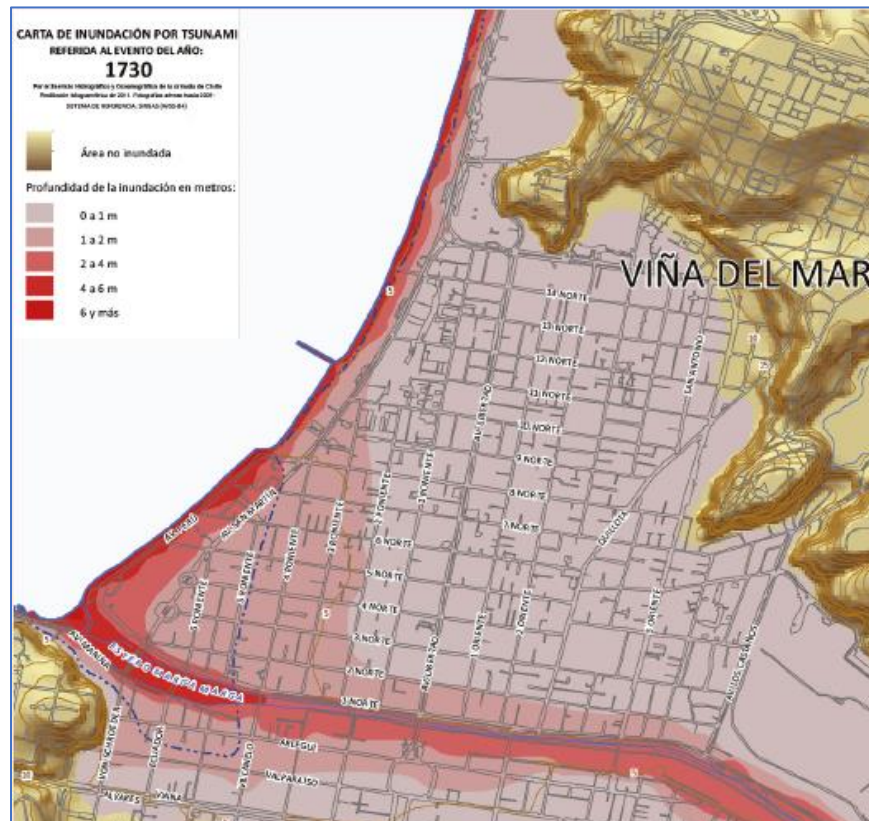


Figura 4.2: Carta de inundación por tsunami. Escala 1:15.000

Fuente: Exacto mapa SHOA

Se puede observar que el sector inundado de 1 a 2 metros es la esquina Sur–Oeste del sector del plan, lo que puede estar relacionado a la desembocadura en forma delta mencionada por Muñoz en el capítulo anterior.

4.3 Infraestructura crítica para las personas

La infraestructura crítica es una topología arquitectónica para denominar a todos los sitios que pueden influir en el funcionamiento mínimo de una ciudad. Según el estudio realizado por Buguño (2018), dentro de éstas se encuentran: escuelas, Jardines infantiles (sala cuna), comisarías, centros de salud, bomberos, hogar de ancianos, centros de educación superior y policía de investigaciones.

Buguño (2018) en su estudio recopiló gran información del uso de suelos debido a que analizó la evacuación vertical en caso de tsunamis del sector de estudio. En la Figura 4.3 se puede observar que a lo largo de todo el centro existen infraestructura crítica, el resto serían servicios e infraestructura habitacional.

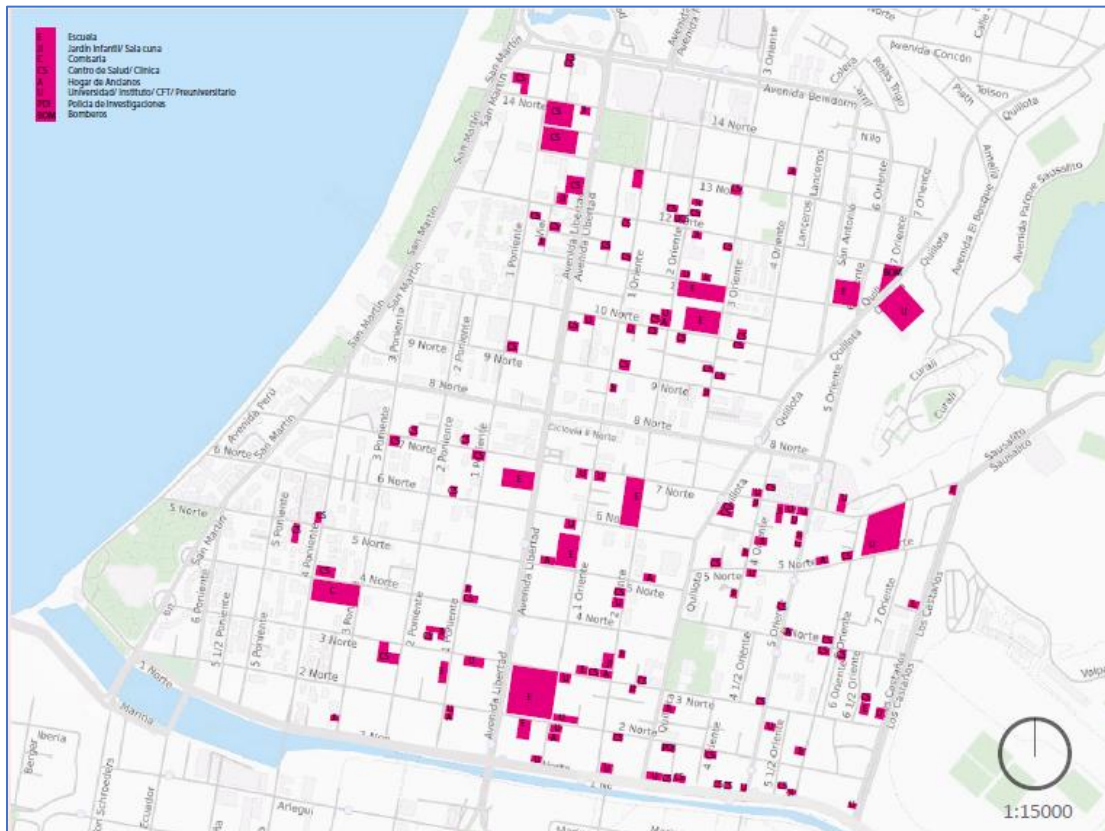


Figura 4.3: Infraestructura crítica plan de Viña del Mar

Fuente: (Buguño, 2018)

4.4 Distribución de daño

Según Carrasco & Nuñez (2013), para el 27F, en el sector del plan presentó la mayor cantidad de daños. En el catastro realizado por la municipalidad se apreciaron 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, sobre todo mampostería de adobe, las cuales sufrieron grietas de consideración en la mayoría de los casos, incluso llegando a la caída de muros, quedando en condición de demolición. Las viviendas de albañilería presentan 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 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. El terremoto del año 1985 tuvo consecuencias muy similares, en ubicación y dimensión de los daños a los observados en el 27F.

En el terremoto del Maule se demostró un comportamiento excelente de los edificios de hormigón armado a lo largo del país. Sin embargo, en Viña del Mar y Concepción presentó algunos casos de “Peligro de colapso”, por lo que se demolieron algunos edificios declarados como inhabitables. En general, el daño corresponde a desprendimientos de hormigón y grietas diagonales, horizontales y verticales en muros. En varios casos se aprecia aplastamiento del hormigón acompañado de pandeo del refuerzo longitudinal en los bordes de los muros (Pereira, 2017).

La tabla 4.1 muestra los niveles de desempeño de los edificios basada en la cuantificación del daño observable y en la deformación lateral transitoria y permanente en edificios de muros según ASCE/SEI 41-13.

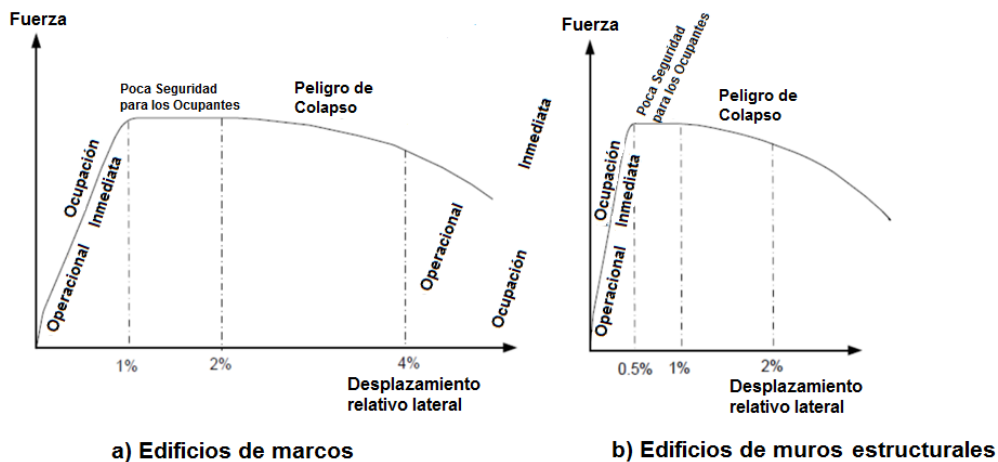


Figura 4.4: Nivel de desempeño en función del desplazamiento relativo global alcanzado

Tabla 4.1: Nivel de desempeño en función del desplazamiento relativo global alcanzado

Nivel de desempeño	Tipo de elemento estructural	Edificio de muros
Operacional		Líneas de agrietamiento diminutas; no existe aplastamiento del hormigón ni deformaciones permanentes. La estructura conserva su resistencia y su rigidez.
Ocupación inmediata	Primario	Líneas de agrietamiento muy pequeñas en muros menores a 1/16 In. (0.16 cm) de ancho; vigas de acople experimentan agrietamiento menor a 1/8 In. (0.3 cm) de ancho.
	Secundario	Líneas de agrietamiento muy pequeñas en muros; algunas evidencias de deslizamiento en uniones de construcción; vigas de acoplamiento experimentan agrietamiento menor a 1/8 In. (0.3 cm) de ancho; desprendimiento de hormigón muy reducido.
	Deformación lateral	0.5% de la altura, transitorio Permanente, despreciable
Poca seguridad para los ocupantes	Primario	Algunos elementos en estado límite de esfuerzos; incluyendo pandeo limitado del refuerzo; algunos deslizamientos en uniones; daño alrededor de aperturas; algún aplastamiento y agrietamiento por flexión; algún agrietamiento, pero el hormigón generalmente permanece en su sitio.
	Secundario	Grietas mayores por corte y flexión; descascaramiento en uniones; extenso agrietamiento; fallas alrededor de aperturas; daño severo en elementos de borde; vigas de acople destrozadas, prácticamente desintegradas.
	Deformación lateral	1% de la altura, transitorio 0.5% de la altura, permanente
Peligro de colapso	Primario	Grietas mayores y huecos por corte y flexión; descascaramiento en uniones; extenso agrietamiento y pandeo del refuerzo; fallas alrededor de aperturas; daño severo en elementos de borde; vigas de acople destrozadas, prácticamente desintegradas.
	Secundario	Paneles destrozados, prácticamente desintegrados.
	Deformación lateral	2% de la altura, transitorio o Permanente

Fuente: ASCE/SEI 41-13, FEMA 247-1995

Los edificios que presentaron un mal desempeño para el 27F fueron un total de 17, de ellos 5 fueron clasificados como “peligro de colapso”, mientras los otros fueron clasificados como “poca seguridad de los ocupantes”. El inventario de estos edificios, con su información más relevante son los siguientes:

Tabla 4.2: Edificios con peligro de colapso (27F)

Fuente: (Pereira, 2017)

N°	Nombre	Dirección	Tipo de suelo	N° Pisos Subterráneos+Zócalo	Año de Construcción
1	Festival	9 Norte N° 450	D	14+1	1978
2	Bahía	Av. Peru N° 530	D	10+2+z	1962
3	Toledo	3 Norte N° 480	D	10+1	1997
4	Tenerife	4 Norte N° 1093	C	12+1	1995
5	Antígona	5 Oriente N° 260	D	16+2	2004

Tabla 4.3: Inventario edificios con poca seguridad para los habitantes (27F)

Fuente: (Pereira, 2017)

N°	Nombre	Dirección	Tipo de suelo	N° Pisos Subterráneos +Zócalo	Año de Construcción
6	Acapulco	San Martin N° 821	D	15+0	1962
7	Emporium	9 Norte 555	–	–	–
8	Tricahue	8 Norte N° 501	D	11+1	1996
9	Torres del Mar	8 Norte N° 380	D	16+2	1988
10	Málaga	4 Norte N° 1111	C	11+1	1995
11	Rio Imperial	2 Poniente N° 648	D	16+1	1999
12	Emperador	8 Norte 899	–	–	–
13	Rio Petrohue	7 Norte N° 585	C	17+1	1992
14	Murano	1 Oriente N° 622	D	7+1	2009
15	Marina del Sol	6 Norte N° 536	C	19+1	2005
16	Montebianco	1 Poniente N° 350	D	13+1	1999
17	Ed. 9 Norte	9 Norte N° 1024	D	16+2	2009

Tabla 4.4: Inventario edificios poca seguridad para los habitantes (1985)

Fuente: (Pereira, 2017)

N°	Nombre	Dirección	Tipo de suelo	N° Pisos Subterráneos +Zócalo	Año de Construcción
18	Hangaraoa	San Martín 925	D	15+1	1970
19	Plaza del Mar	San Martín 787	–	23+0	1981
1	Festival	9 Norte N° 450	D	14+1	1978
6	Acapulco	San Martín N° 821	D	15+0	1962

Cabe mencionar que 2 edificios fueron dañados para el terremoto de 1985 y el de 2010, estos son el edificio Festival y Acapulco (N° 1 y 6, respectivamente), se numeraron los edificios para poder visualizarlos con mayor facilidad en la Figura 19.

El suelo de fundación se clasifico en tipos A, B, C, D y E de acuerdo a las disposiciones del Decreto 61 que se establecen en la tabla 4.5. Los suelos de la zona en estudio se clasifican como C o D.

Tabla 4.5: Clasificación del tipo de suelo según Decreto 61

Suelo Tipo		V_{30} (m/s)	RQD	q_u (MPa)	(N_1) (golpes/pie)	S_u (MPa)
A	Roca, suelo cementado	≥ 900	$\geq 50\%$	≥ 10 ($\epsilon_{qu} \leq 2\%$)		
B	Roca blanda o fracturada, suelo muy denso o muy firme	≥ 500		$\geq 0,40$ ($\epsilon_{qu} \leq 2\%$)	≥ 50	
C	Suelo denso o firme	≥ 350		$\geq 0,30$ ($\epsilon_{qu} \leq 2\%$)	≥ 40	
D	Suelo medianamente denso, o firme	≥ 180			≥ 30	$\geq 0,05$
E	Suelo de compactidad, o consistencia mediana	< 180			≥ 20	$< 0,05$
F	Suelos Especiales	*	*	*	*	*

Tabla 4.6: Clasificación de suelos Eurocode

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	-	-	-

Los edificios con nivel de desempeño Peligro de Colapso fueron declarados a demolición por la autoridad correspondiente. El resto de los edificios dañados fueron reparados y reforzados.

5 GEOESTADÍSTICA

Corresponde a la geografía matemática y fue inventada por Georges Matheron en 1962. Es el análisis de cualquier variable espacialmente distribuida. Principio de Burrough y McDonnell (1998) “Todo está relacionado entres si y es muy probable que los valores cercanos sean más similares entre sí, que los valores de puntos más lejanos”.

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. El método Kriging está basado en modelos estadísticos que incluyen la autocorrelación entre los puntos medidos.

La herramienta Kriging ajusta una función matemática a una cantidad específica de puntos dentro de un radio específico. Su uso más adecuado es cuando hay certeza que existe influencia en la distancia con la ubicación de los datos, se utiliza en estudios de suelos y geología.

La fórmula general se forma como la suma ponderada de datos:

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

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

En el método Kriging las ponderaciones están basadas no sólo en la distancia entre puntos medidos, sino también en la disposición espacial general de éstos.

El primer paso para generar un análisis geoestadístico de los datos, es calcular su variograma (o semivariograma), se puede representar como el momento de inercia sobre la línea x=y en un sistema cartesiano.

Semivariograma experimental:

- Gráfica o expresión matemática que cuantifica la diferencia entre los pares de las muestras para una orientación determinada.
- Refleja la distancia máxima y forma en que un punto tiene influencia sobre otro punto a diferentes distancias.
- Para distintas direcciones, es diferente, por lo que el análisis debe ser en la dirección con más datos.

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2n} \sum [g(x) - g(x+h)]^2$$

Donde:

$g(x)$: Es el valor de la variable en la posición x

$g(x+h)$: Es el valor de la variable en la posición $(x+h)$

$\gamma(h)$: Semivariograma

$\gamma^*(h)$: Semivariograma experimental

Este semivariograma experimental se debe ajustar a un semivariograma teórico, que posee las siguientes características:

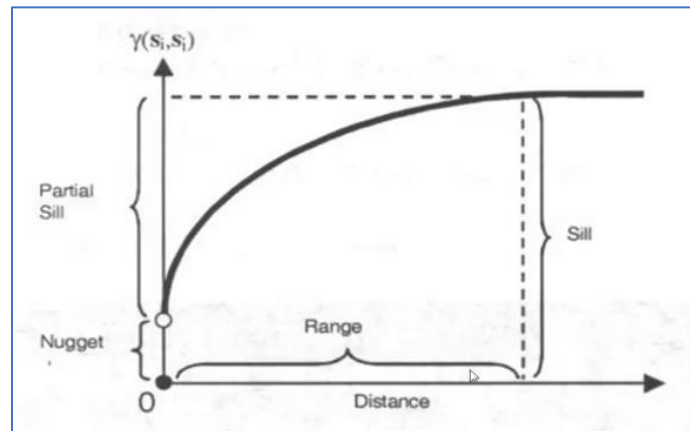


Figura 5.1: Gráfico parámetros semivariograma teórico

Nugget (Pepita): Se denota por C_0 y representa una discontinuidad puntual del semivariograma en el origen.

Sill (Meseta): Varianza de los datos.

Rango: Es la distancia hasta la cual hay correlación entre los datos.

Los diversos mapas que describen características relevantes del plan de Viña del Mar son datos distribuidos en el espacio, por lo que para unificarlos se utilizara un análisis geoestadístico.

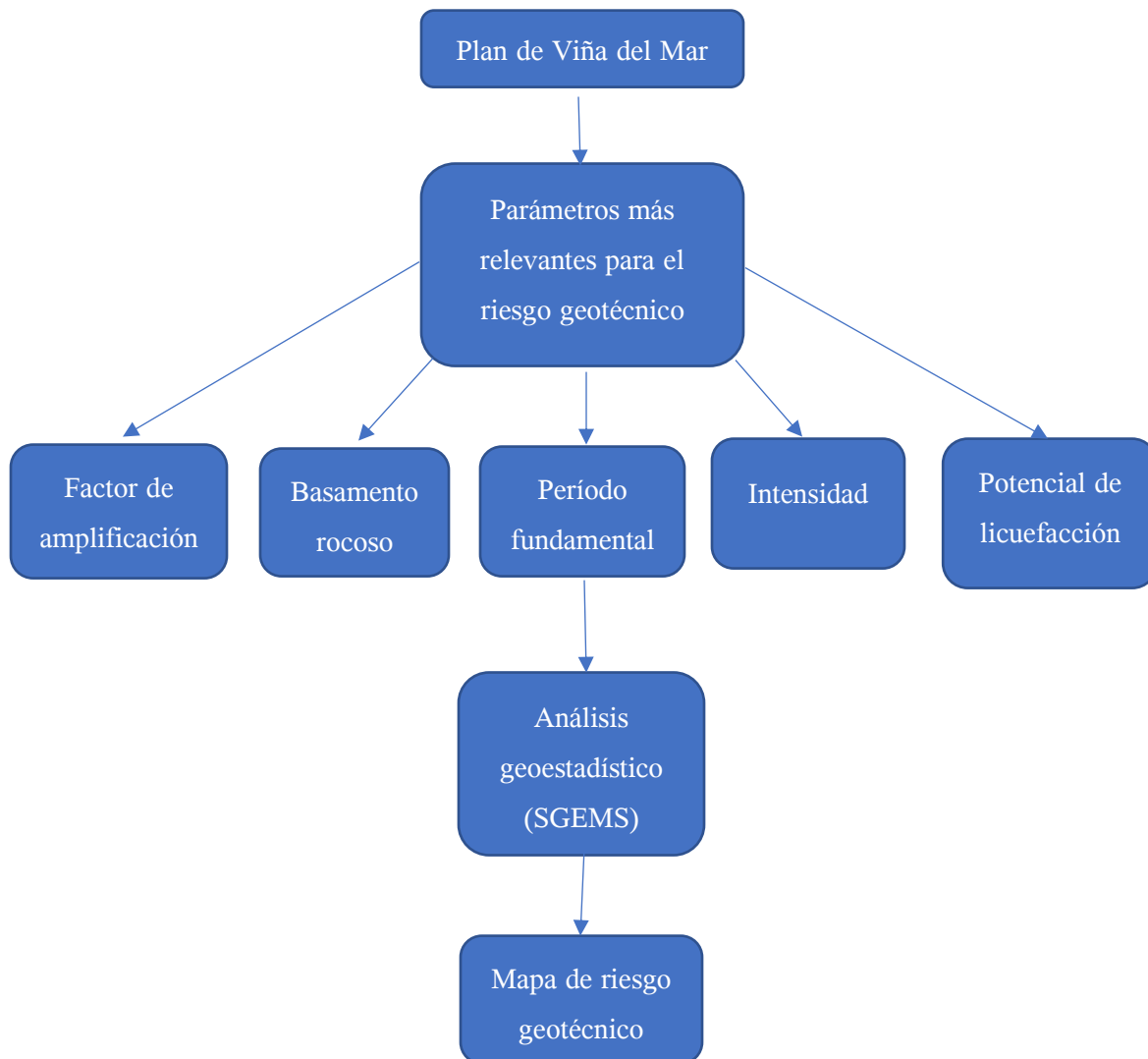


Figura 5.2: Metodología de análisis

Dos características geotécnicas se descartaron de la confección del mapa de riesgo geotécnico fueron: el fenómeno de remoción de masas y la geología. El fenómeno de remoción de masas en el sector de estudio no es un parámetro relevante por ser un sector plano, alrededor del sector de estudio comienza a tomar relevancia este fenómeno. Y la geología en el sector que se considero es constante y homogénea, por lo que no aporta mayor información.

5.2 Coordenadas UTM

Las coordenadas expresadas en latitud y longitud se transformaron en UTM (Universal Transverse Mercator) que corresponden a metros a nivel del mar, que es la base de la proyección del elipsoide de referencia (WGS84). Esta transformación es necesaria para poder trabajar por un lado con los datos en un mismo plano y por simplicidad en el uso de distancias clásicas como es el metro. A continuación, se muestran 2 ilustraciones explicativas del sistema de coordenadas utilizado.

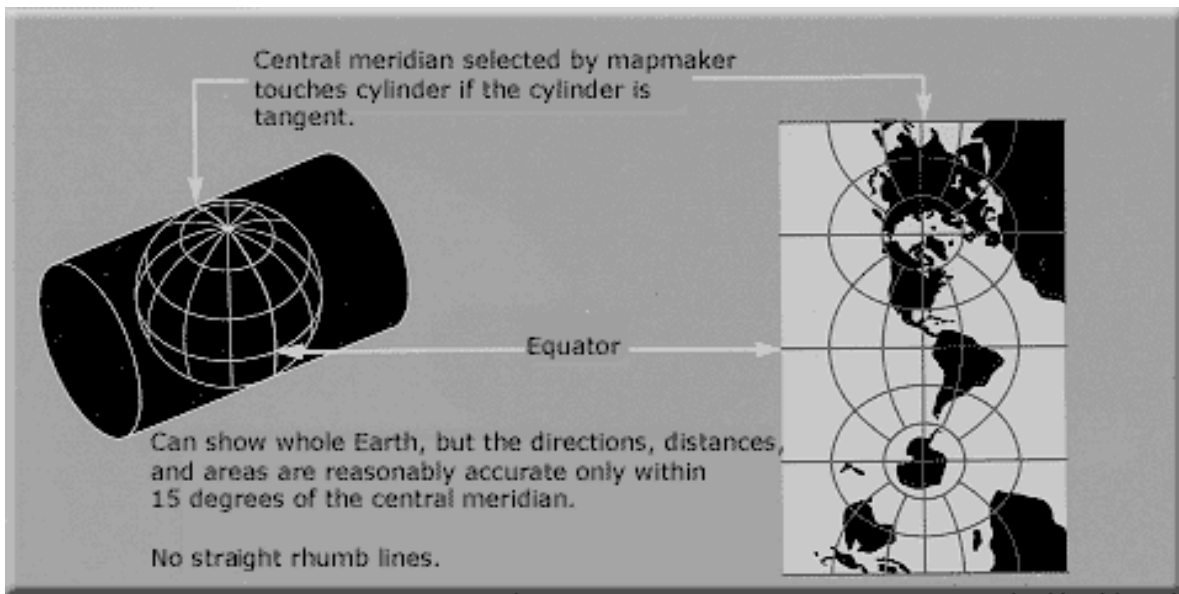


Figura 5.3: Proyección de Mercator transversa

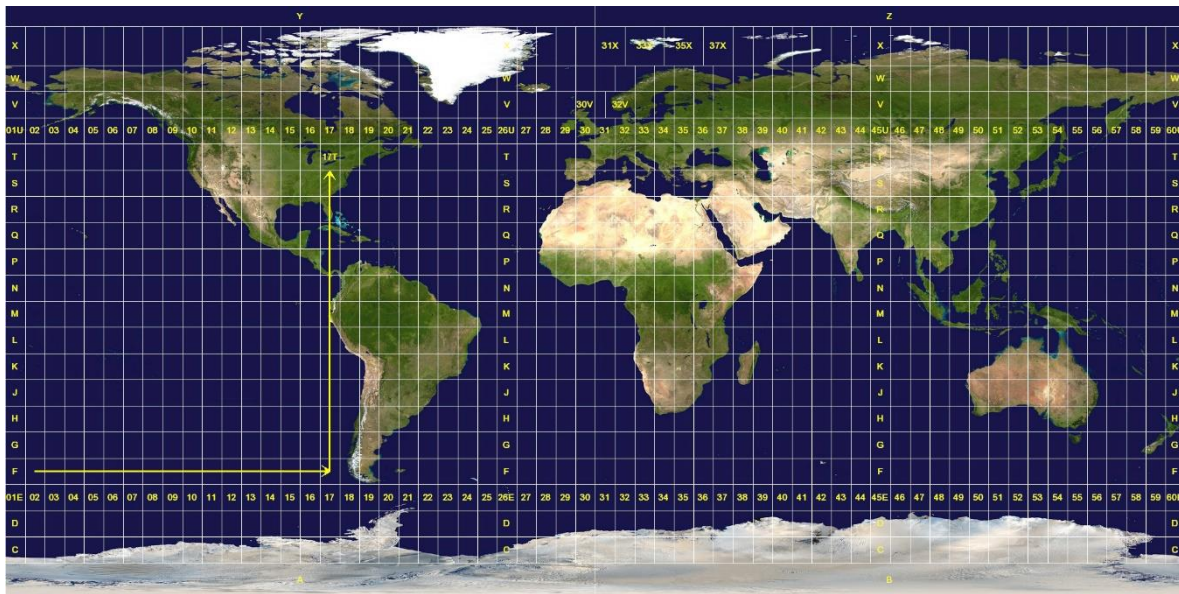


Figura 5.4: Husos y zonas UTM

5.3 Factor de amplificación sísmica

La amplificación sísmica se caracteriza por cambios en la aceleración y el período del registro en roca producto de la interacción de las ondas sísmicas con suelos naturales o rellenos antrópicos de impedancias significativamente más bajas que las del basamento. La amplificación se puede cuantificar a través del Factor de Amplificación (FA), que corresponde a la razón entre la aceleración en la superficie del terreno comparada con la aceleración en el basamento rocoso. Los variables que condicionan mayormente al FA son el tipo de suelo, la profundidad al basamento rocoso, el nivel freático, la intensidad del sismo, entre otros. (Toledo, 2017)

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 siempre es correcto, siempre y cuando el espesor de 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, 2000)

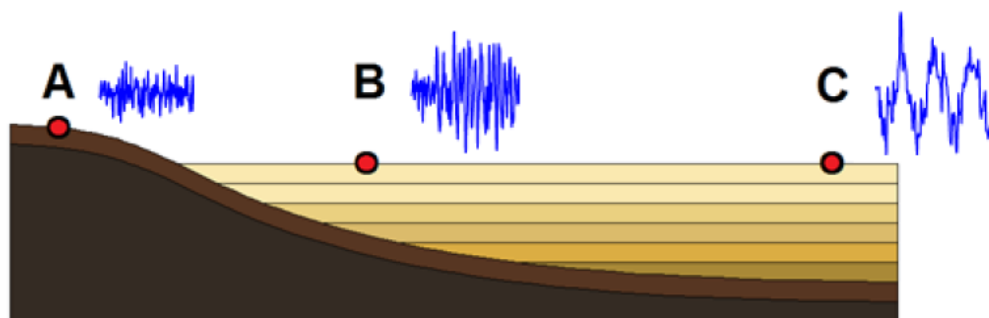


Figura 5.5: Esquema depósito de suelo

En un relleno homogéneo, como se muestra en el esquema en la figura 6.5, donde la roca es profunda (C) se amplifica en la superficie las frecuencias más bajas, mientras que donde la profundidad se la roca es menor (B) se amplifican las frecuencias más altas. En la figura 6.6, se presentan las funciones de amplificación para estas dos condiciones de suelo, B y C.

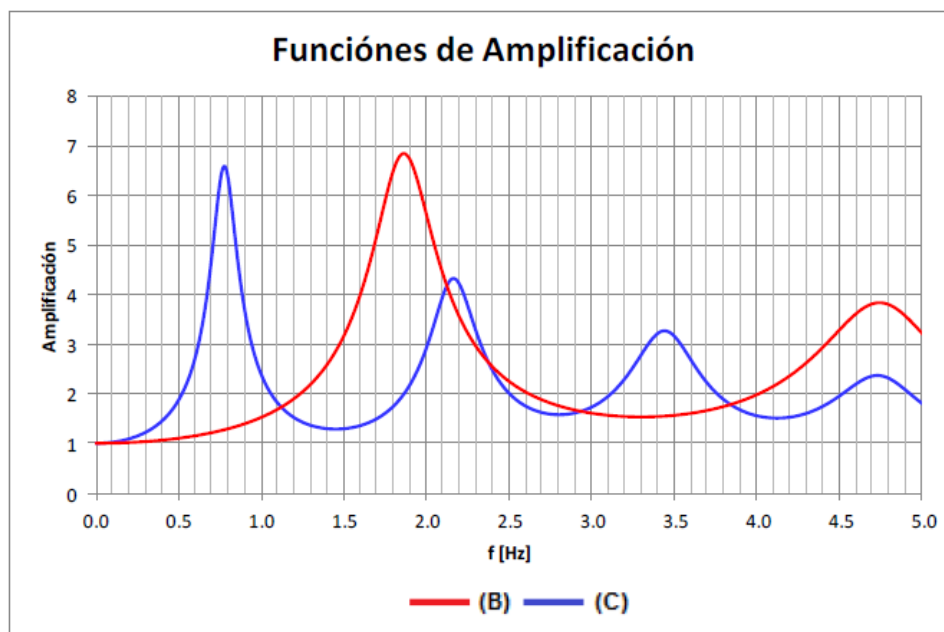


Figura 5.6: Funciones de amplificación posiciones B y C

Por su relevancia en el riesgo sísmico y las múltiples variables que posee implícitamente se trabajó en base a los resultados más actualizados del factor de amplificación (FA) definido por Toledo (2017) en situación saturada y no saturada.

5.3.1 Factor de amplificación saturada

El software utilizado para realizar la geoestadística de los parámetros en estudio fue el SGEM, por tener licencia gratuita. Se definió la grilla de 1 m x 1 m, abarcando la zona de estudio definida en Fig 2.

Se ingresaron en el programa los datos de FAsat en sus ubicaciones X (este) e Y (norte). Con el objetivo de generar el variograma experimental se establecen valores como: dirección de cálculo, espaciamiento mínimo de los datos, desfase de los datos (lag) y tolerancias, para unificar los mapas se colocó esta misma configuración para los 5 (figura 6.7 y tabla 6.1).

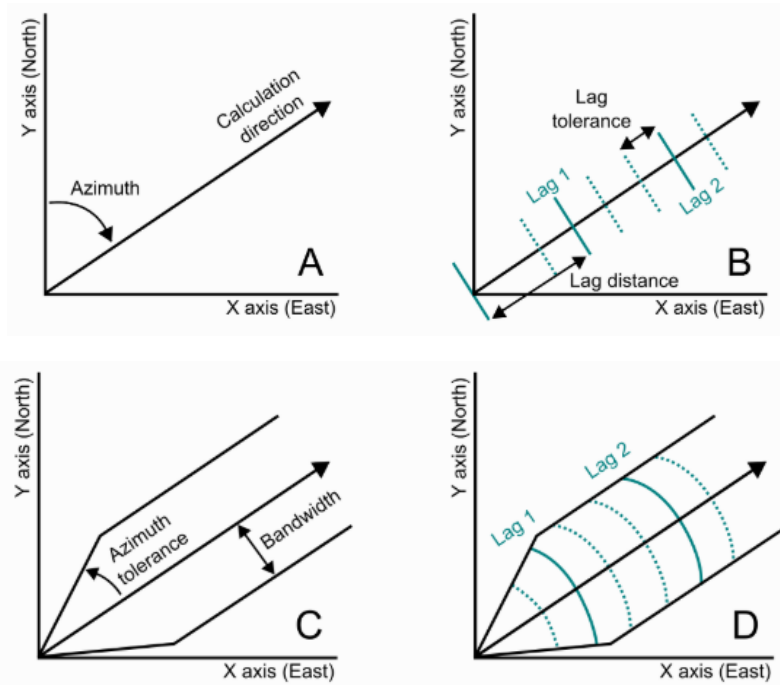


Figura 5.7: Esquema parámetros iniciales SGEMS

Tabla 5.1: Valores SGEMS de

Número de desfase (N° Lags)	30
Distancia mínima (lag separation) [m]	40
Tolerancia de desfase (lag tolerance) [m]	20
Direcciones de análisis	Omnidireccional, 0°, 45°, 90° y 135°
Ángulo de tolerancia (azimuth tolerance) [°]	100 (omnidireccional) y 22,5 (otras direcciones)
Ancho de banda (bandwith) [m]	2000 (omnidireccional) y 40 (otras direcciones)

El software entregó los puntos del variograma experimental (puntos rojos Fig.6.8), y estableciendo los valores adecuados para el ajuste se tiene la línea negra como variograma teórico (Fig. 6.2). Los valores utilizados para la geoestadística de FASat se encuentran en la tabla 17.

Tabla 5.2: Valores variograma teórico FAsat

Nugget (Pepita)	0
Sill (Meseta)	0,55
Tipo	Esférica
Rango máx [m]	440
Rango mín [m]	170
Ángulo [°]	135

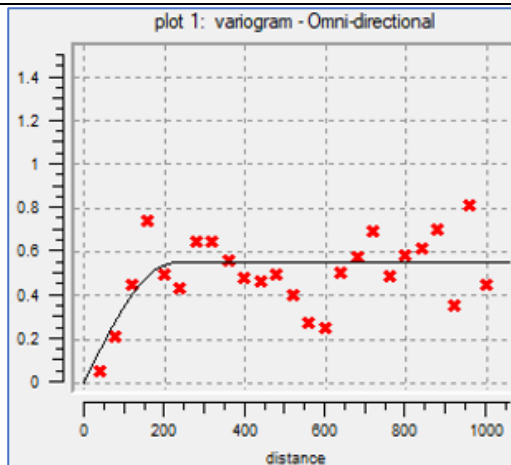


Figura 5.8: Variograma Omni-direccional FAsat

En el ANEXO B se agregaron las imágenes de todas las direcciones de análisis efectuados con el software, cabe destacar que, al analizar, los otros parámetros analizados se encontró una anisotropía en la dirección de 135° (N45°W), esto posee sentido en la zona en estudio debido a que se encuentra en la franja del Marga-Marga entre N40°W a N60°W. Por esta razón en todos los parámetros, se consideró esta anisotropía. Otro valor que se requiere para la realización del método de Kriging es la definición del elipsoide (Fig. 6.9), este se colocó toda la extensión del área en estudio (2 km x 2 km) y un ángulo de 135°.

En la Fig. 6.8 se puede observar que existe una muy buena correlación entre los datos cercanos, pero para verificar la robustez del modelo se extrajeron valores y se observaron los cambios, esto se puede observar en el ANEXO C.

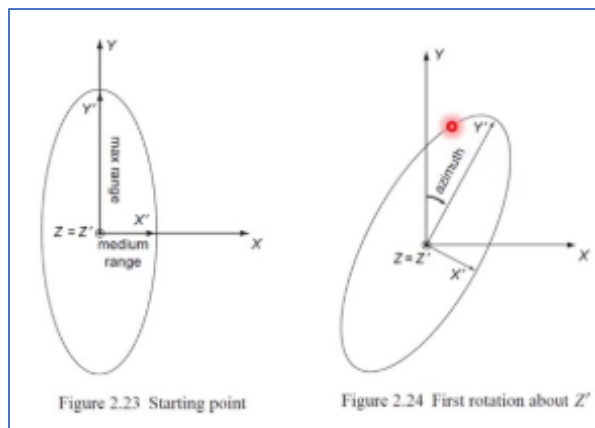


Figura 5.9: Anisotropía geométrica

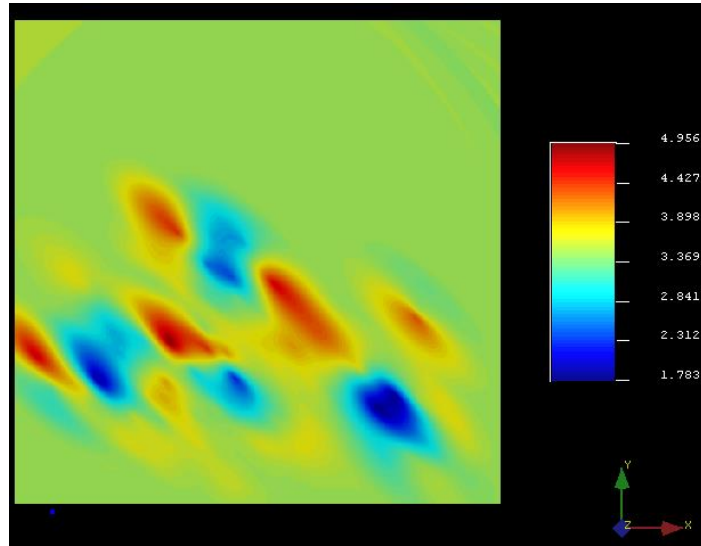


Figura 5.10: Kriging FA saturada (SGEMS)

Fuente: Elaboración Propia

Sobreponiéndolo en el mapa del plan de Viña del Mar se puede observar lo siguiente:

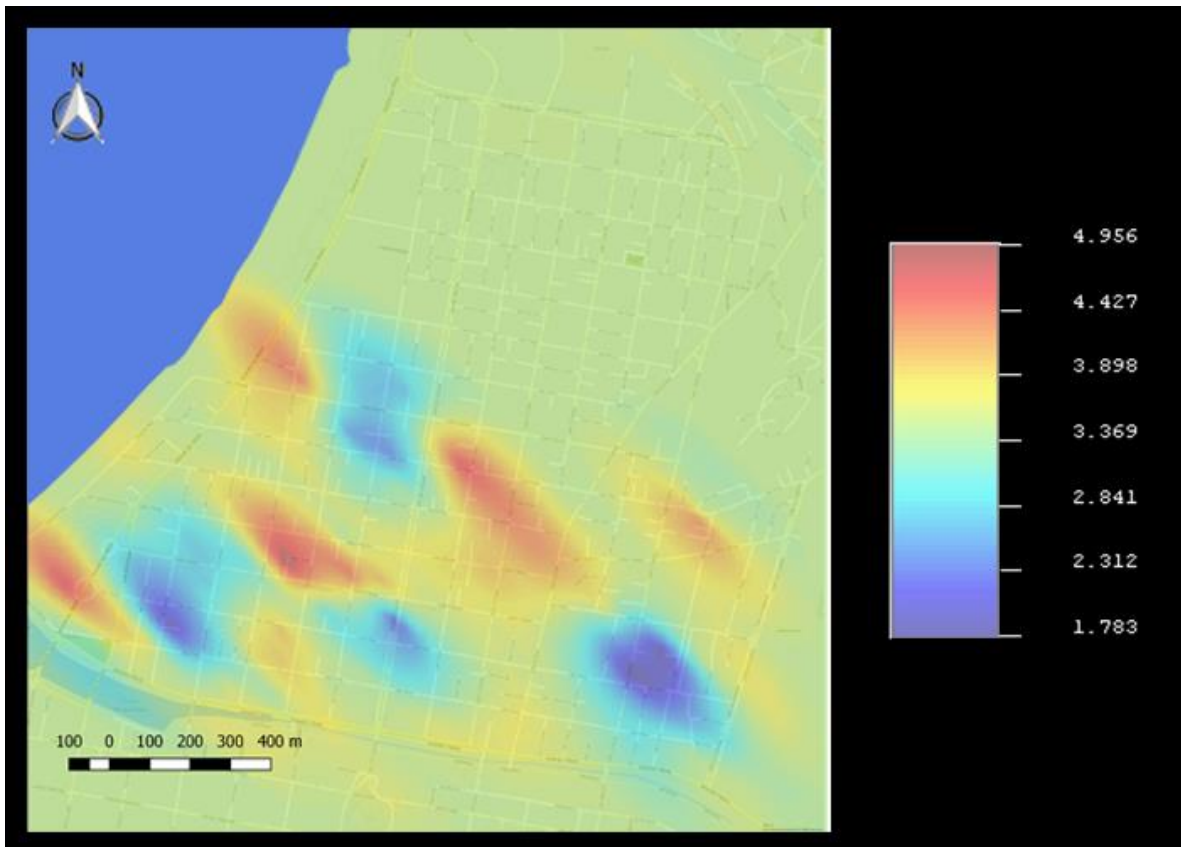
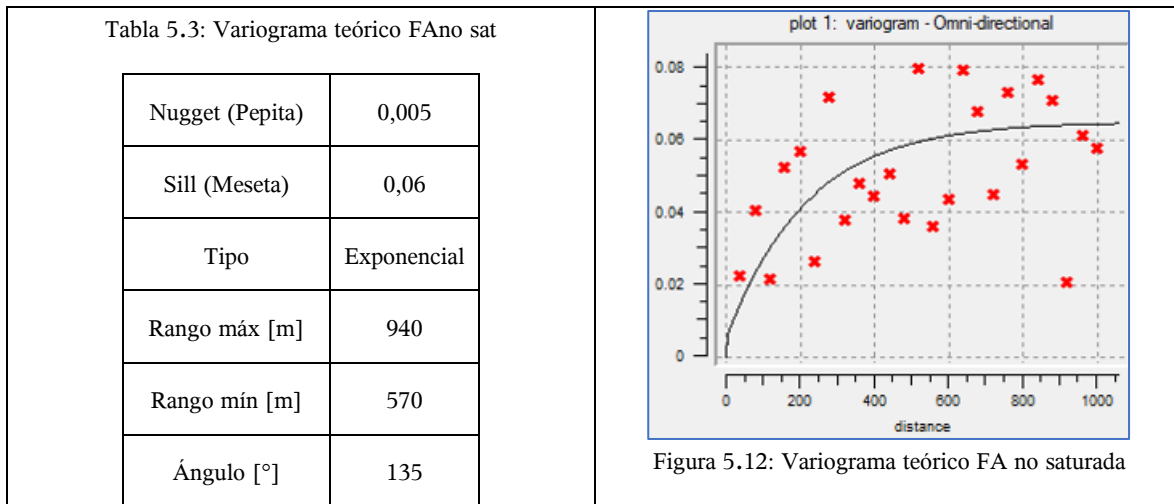


Figura 5.11: Kriging FA saturada

Fuente: Elaboración propia

5.3.2 Factor de amplificación no saturada

El factor de amplificación no saturada se generó a partir de los mismos datos (mismas ubicaciones) del FA saturado, por lo que en tema de distribución espacial posee los valores de la tabla 16. En la tabla 6.3 y figura 6.12 se pueden observar los valores del semivariograma teórico y experimental.



Se puede observar que el variograma experimental no se ajusta de manera normal al teórico, se decidió colocarlo en esa posición para incurrir en un menor error general, debido a que las otras posiciones posibles gran parte de los datos van a tener un error significativo. En el ANEXO C se adjunta la validez del método de manera visual. Se puede observar los resultados del kriging de este parámetro en la Fig. 6.13 y 6.14.

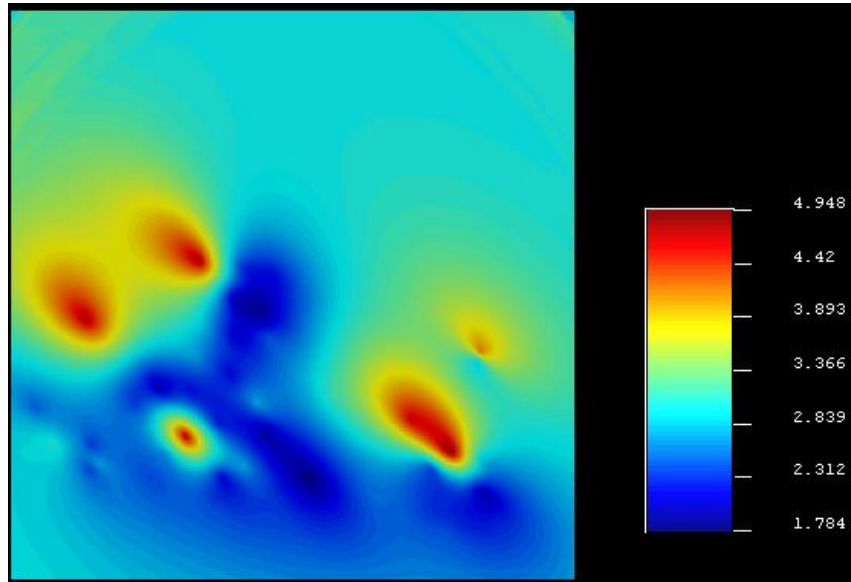


Figura 5.13: Kriging FA no saturada (SGEMS)

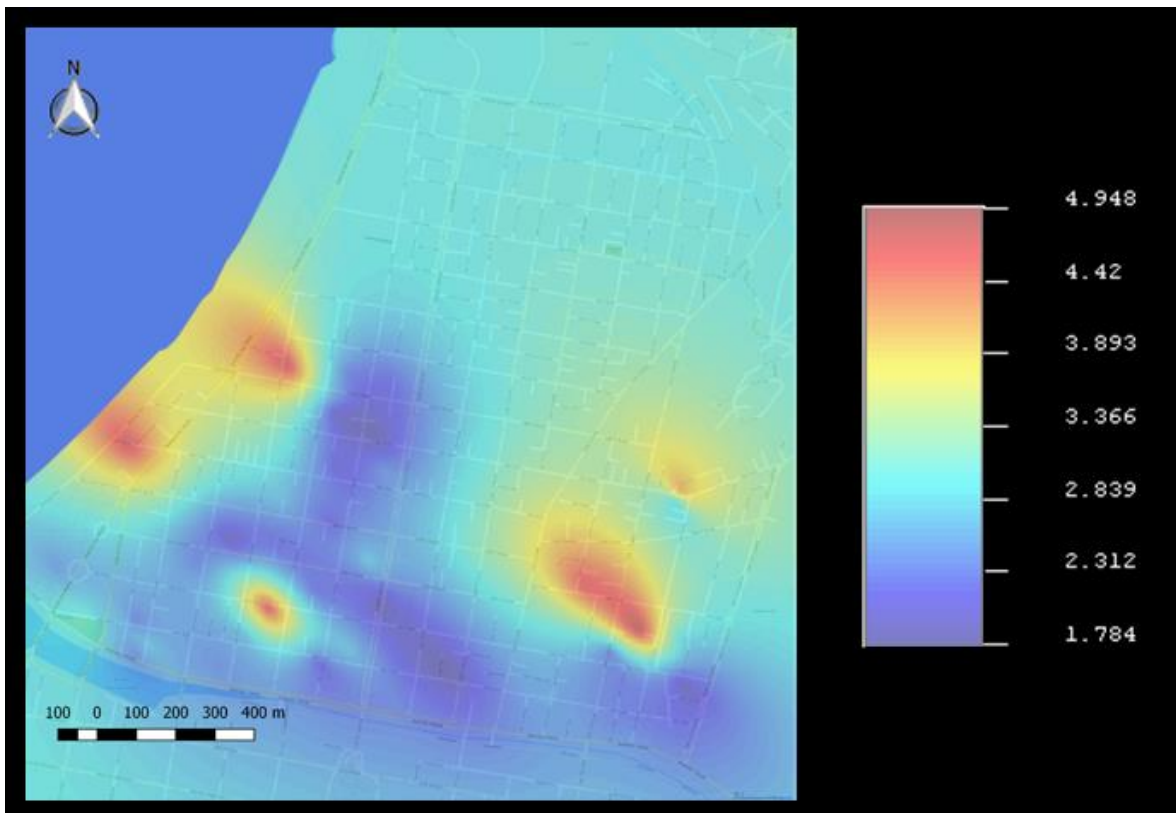


Figura 5.14: Kriging FA no saturada

5.3.3 Comentarios

Los resultados obtenidos para el factor de amplificación no drenada y drenada arrojan que las mayores amplificaciones dentro de la franja de falla del Marga–Marga definida por Muñoz (2013), también cabe destacar que para la situación no drenada se tienen valores mayores y más distribuidos en el espacio. Sin embargo, para el caso de la situación drenada se tienen puntos específicos con gran amplificación y estos coinciden con los 5 edificios a clasificados como peligro de colapso.

5.4 Basamento rocoso

El basamento rocoso es un parámetro de gran importancia para determinar la propagación de onda que puede producir un evento sísmico. El método más exacto para medirlo son los sondajes de prospección, pero debido a su gran costo e inviable ejecución en zonas muy profundas, se recurre a métodos no intrusivos. Por esta razón Serafini (2017) por medio del método de Nakamura en combinación a la teoría unidimensional de propagación de onda definió la morfología del basamento rocoso.

De acuerdo a los antecedentes geológicos recopilados y a sondajes realizados por LEMCO, el basamento rocoso de la estación Valparaíso UTFSM corresponde a un gneis de anfíbol de composición granodiorítica (Thiers, 2014).

La morfología del basamento rocoso definida por Serafini (2017) fue calibrada con 3 prospecciones que poseen profundidad de roca real, sus ubicaciones se presentan en la Fig. 6.15

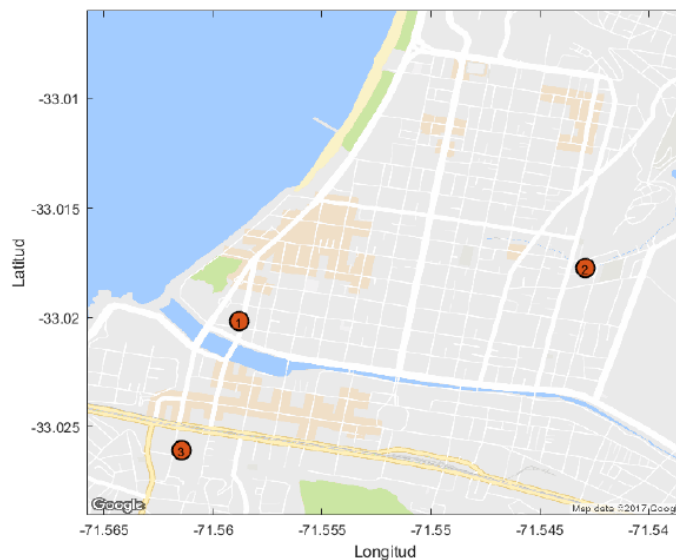


Figura 5.15: Ubicaciones prospecciones de roca real (Serafini, 2017)

En la actualidad se cuentan con un total de 10 prospecciones donde se encontró la roca real, presentadas en la tabla 19, esta contiene las cuadradas 22 y 128 que corresponden a las prospecciones 1 y 2 de Serafini (2017), respectivamente. La prospección número 3 no se posee explícitamente, lo que no es muy relevante debido a su lejanía a la zona de estudio.

Tabla 5.4: Prospecciones con roca real

Cuadra (SPT)	Profundidad		Descripción
	Desde	Hasta	
22	31	+40	31–33 m RQD 0%, 33–40 m RQD 10–22% Roca granito Edea. Clasificación: Roca. Formación: Ígnea. Tipo de roca: Neis. Nomenclatura: Pz. Aspecto: Frágil. Color Gris Blanquizco. Probable variedad mineral: Cuarzo. Planos de clivaje: Si presenta. Escala de dureza de Mohs: N ⁴
23	36	+37	Roca maciza granítica, gneis frágil y descompuesto de color gris blanquizco con manchas negras, húmedo, de dureza Mohs 7, con planos de clivaje, exfoliación, juntas y zonas de clivaje visibles. Roca frágil y descompuesta con valor de RQD=0
24	36	+37	Tipo de roca: Granitoídea. Probable origen: Ígneo. Nomenclatura: Pz. Color: Blanquizco grisáceo con manchas negras y micáceos. Probable variedad mineral: Cuarzo–feldespato–k. Fisuras: Si, posee. Planos de clivaje, exfoliación, juntas y zonas de cizalle: No presenta.
128	26	+30	Tipo de Roca: Granito. Dureza (ASTM D 2488–09 ^a): Media. Color: Blanco. Dureza Mohs: 7 Raya el vidrio
205	+18		Roca cuarzo granítica sana
666	32	+35	Tipo de Roca: Granito. Dureza (ASTM 2488–09 ^a): Frágil. Color: Gris–blanco. Fisuras, grietas: Si. Escala de dureza de Mohs (N ^a): 5 se puede rayar difícilmente con un cuchillo
668	24	+28	H9a (24–25m) Roca fragmentada de baja tenacidad. Quebradiza. Tipo Cuarcita. Color RQD 0% H9b (25–26m) Roca fragmentada de baja tenacidad. Quebradiza. Tipo Cuarcita. Color: Blanquizco Rojizo. RQD 56%
670	33	+35	RQD 10% Tipo de roca: Granito. Dureza (ASTM 2488–09 ^a): Frágil. Color: Gris. Presenta fisuras y grietas: Sí. Escala de dureza de Mohs (N ^a): 5 se puede rayar difícilmente con un cuchillo
1223	6	+21	H4–A–H4–I (6–15 m) No cumple con RQD 0% H4–J (15–16 m) RQD 0 % Formación muestra: Ígnea. Tipo de roca: Granito grueso. Nomenclatura: Pz. Color: Blanco grisáceo. Fisuras: sí. Planos de clivaje, exfoliación, juntas y zonas de cizalle: Si. Predominio mineral: Cuarzo
1225	11	21	Tipo de roca: Granito. Dureza (ASTM D 2488–09 ^a): Dura. Color: Gris azulado. Presenta: fisuras y grietas: No. Escala de dureza Mohs (N ^a): 7 Raya el vidrio

En total se tienen 72 datos con los que se realizó la geoestadística y la validez del modelo presentado a continuación:

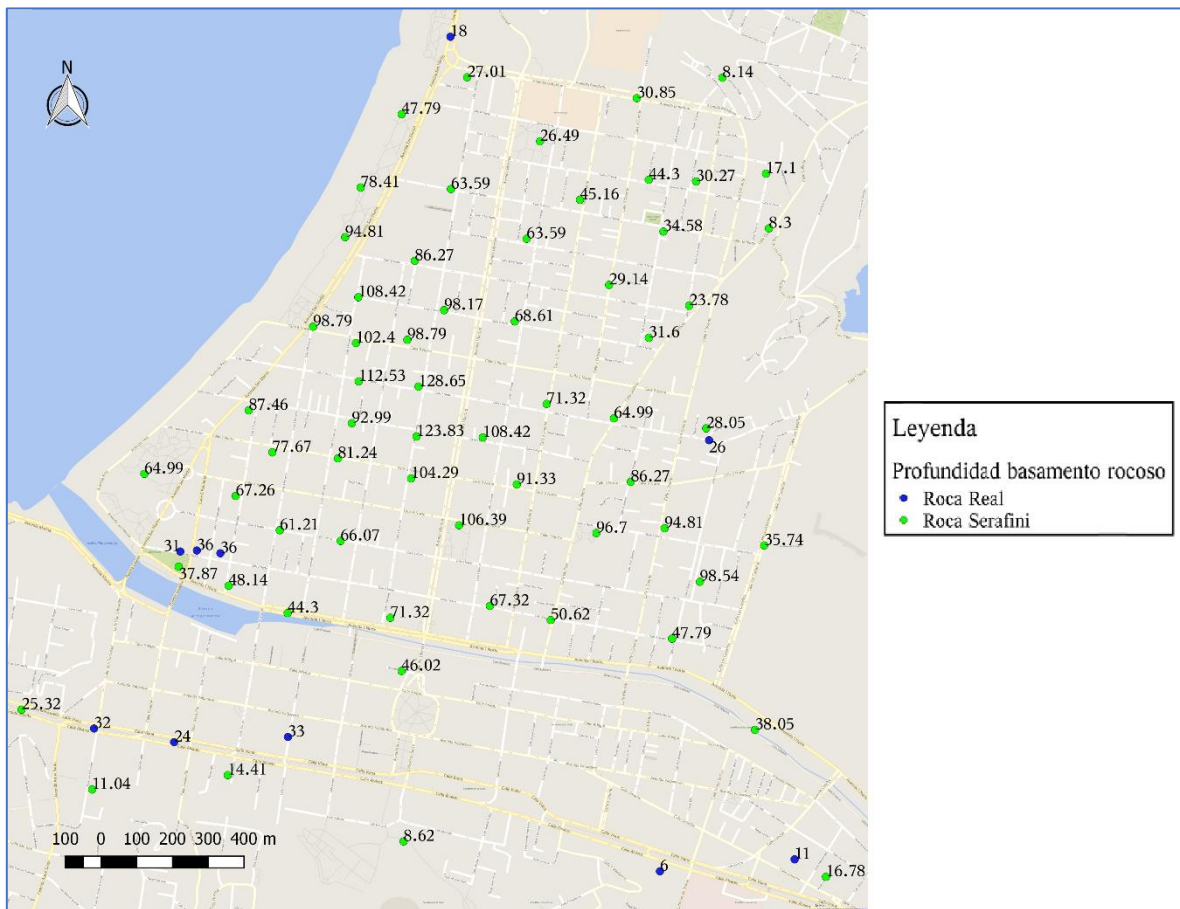


Figura 5.16: Profundidad del basamento rocoso

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 5.5: Variograma teórico basamento rocoso

Nugget (Pepita)	40
Sill (Meseta)	1460
Tipo	Gausiano
Rango máx [m]	1520
Rango mín [m]	832
Ángulo [°]	135

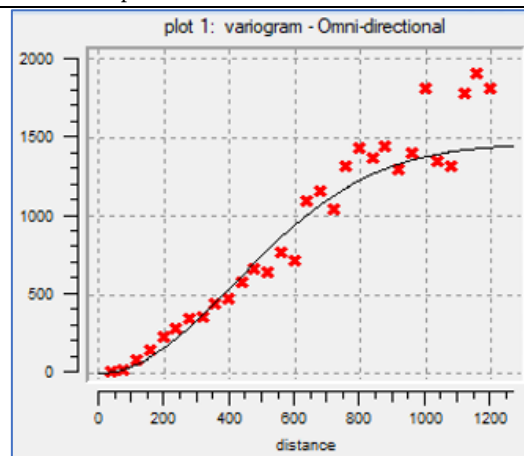


Figura 5.17: Semivariograma experimental basamento rocoso

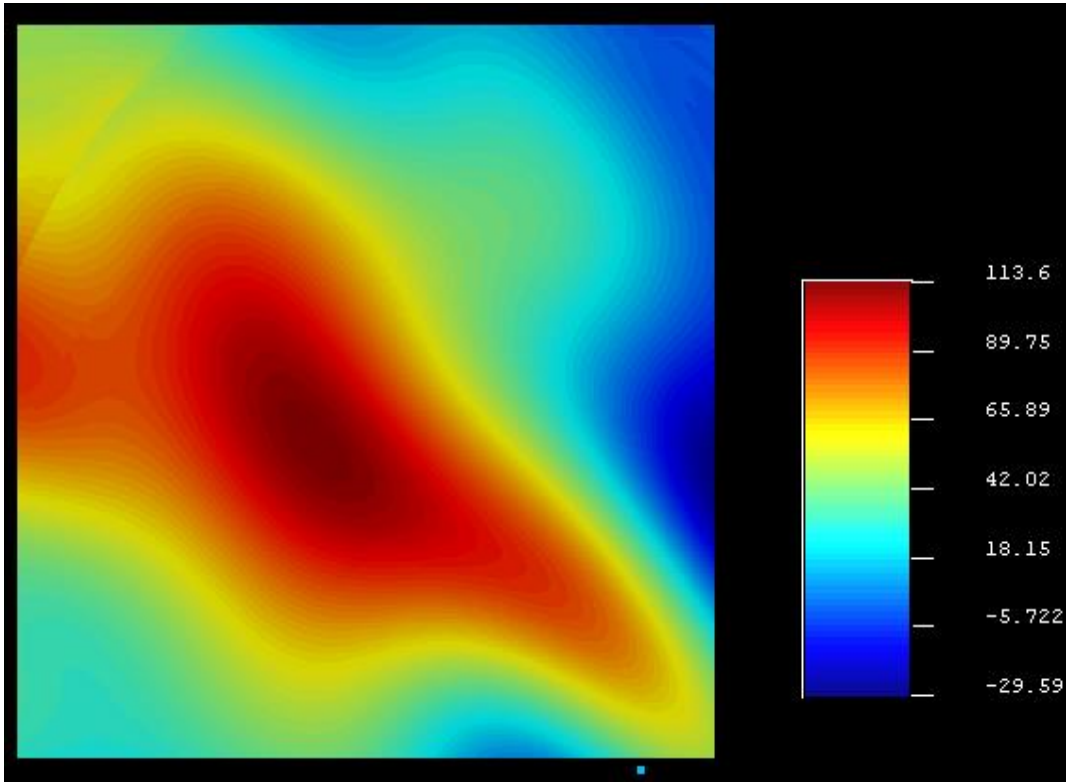


Figura 5.18: Basamento rocoso (SGEMS)

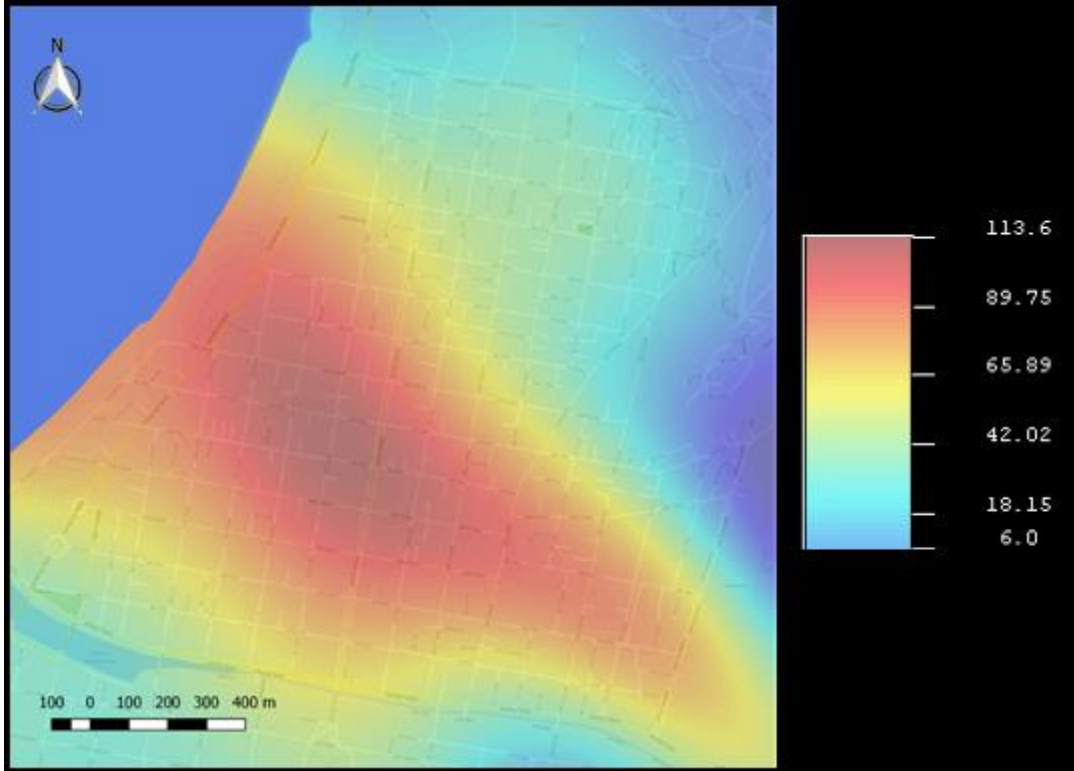


Figura 5.19: Kriging basamento rocoso

Tabla 5.6: Comparación rocas estimadas con real

Fuente: Elaboración propia

Prospección	Roca estimada [m]	Roca Serafini [m]	Roca Sáez y Podestá [m]	Roca Verdugo [m]	Roca real [m]
SPT-22	39,59	40	36	50	31
SPT-23	41,52	44	38	53	36
SPT-24	44,00	48,5	42	58	36
SPT-128	29,02	28,05	27	40	26
SPTc-205	17,72	19	18		18
SPT-666	27,49	18			32
SPT-668	23,54	16	16	38	24
SPT-670	27,13	22	25	75	33
SPT-1223	5,11	8			6
SPT-1225	11,3	20			11

5.4.1 Comentarios

Si bien existen diferencias del método kriging observados en la tabla 6.6, estos se deben a que el método es una interpolación suave que relaciona todos los datos espacialmente y esta se consideró adecuada por lo observado en la figura 6.17, además de ser un resultado conservador desde la perspectiva de riesgo. Sin embargo, puede existir otras problemáticas en sectores específicos como en las prospecciones cerca de Plaza México que concentra la mayoría de las diferencias, esto se puede deber al delta de la falla del Marga-Marga o a que este sector sea un poco más bajo que el resto del sector (por el mapa de inundación por tsunami).

5.5 Período

Con el método de Nakamura Serafini (2017) obtuvo la frecuencia fundamental del suelo, se observaron frecuencias en un rango entre 0,84 – 7,04 [Hz], equivalentes a periodos en un rango de 0,14 – 1,20 [s]. En el mapeo se tienen en el centro de la cuenca mayores periodos que en el borde, los resultados se pueden observar a continuación.

Tabla 5.7: Variograma teórico Período

Nugget (Pepita)	0
Sill (Meseta)	0.12
Tipo	Gaussian
Rango máx [m]	1520
Rango mín [m]	1033.6
Ángulo [°]	135

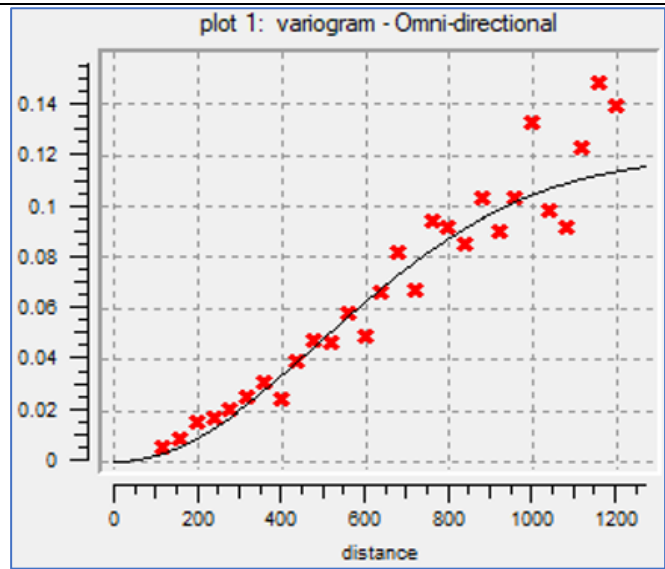


Figura 5.20: Variograma experimental período

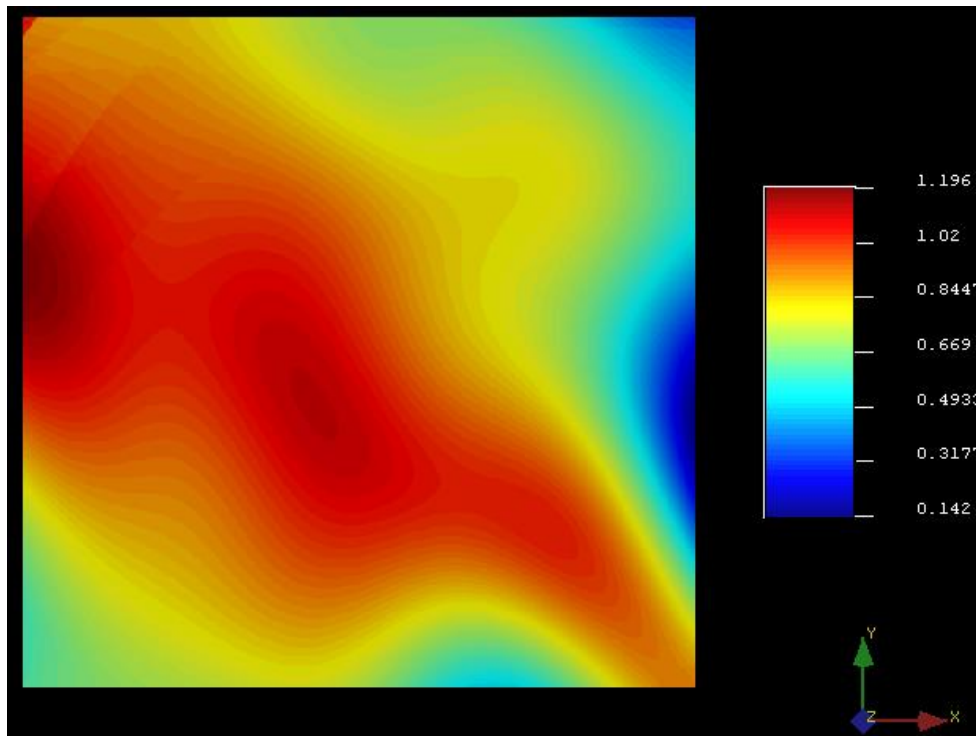


Figura 5.21: Kriging Período (SGEMS)

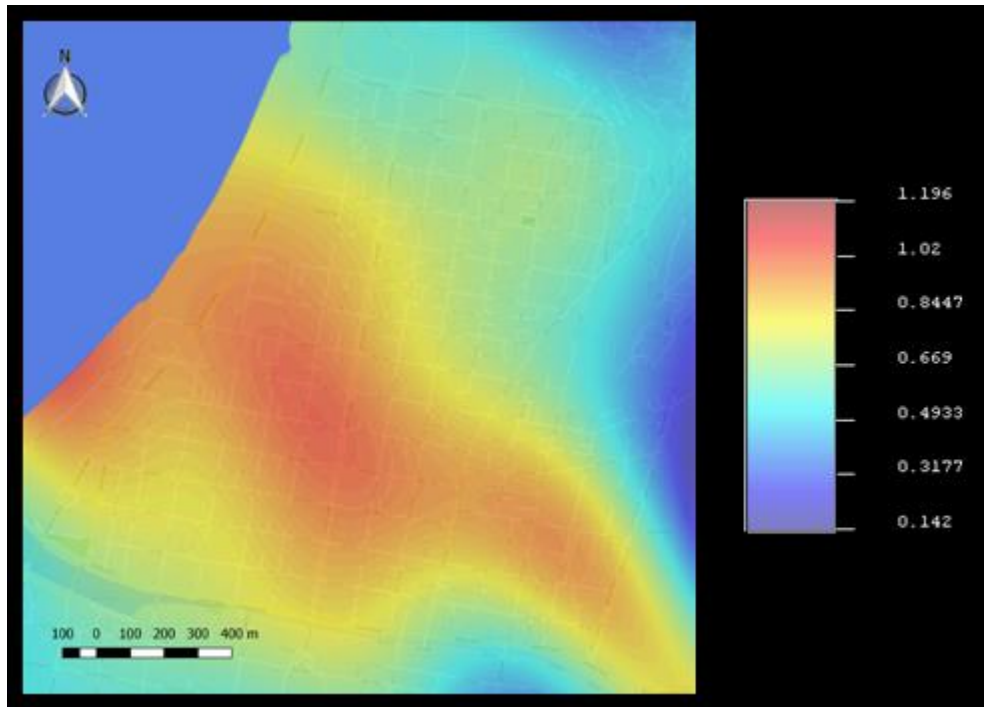


Figura 5.22: Kriging período

5.5.1 Comentarios

El período es sumamente importante en la perspectiva de riesgo geotécnico debido a que es uno de los parámetros que explica el daño observado en los edificios, cuando el periodo del se encuentra entre el período agrietado y no agrietado (acoplamiento).

5.6 Intensidad

Carrasco & Nuñez (2013) por medio del catastro de daño generado por la secretaría comunal del Planificación de la Municipalidad de Viña del Mar (SECPLA) asigno valores adecuados según la escala de intensidad Mercalli Modificada (IMM) a cada vivienda encuestada, luego para determinar su intensidad utilizó el método de intensidad MSK (Astroza & Monge, 1989). La grilla definida fue de 0,25 km² (~ 5 viviendas encuestadas), por esa razón en el variograma experimental se ven pocos puntos. Los resultados de la geoestadística se adjuntan a continuación.

Tabla 5.8: Variograma teórico Intensidad

Nugget (Pepita)	0
Sill (Meseta)	0.093
Tipo	Esférica
Rango máx [m]	2000
Rango mín [m]	1340
Ángulo [°]	135

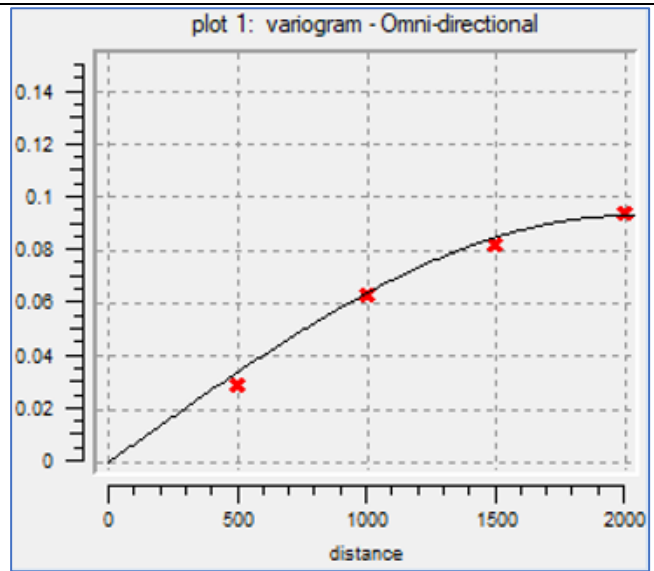


Figura 5.23: Variograma experimental intensidad

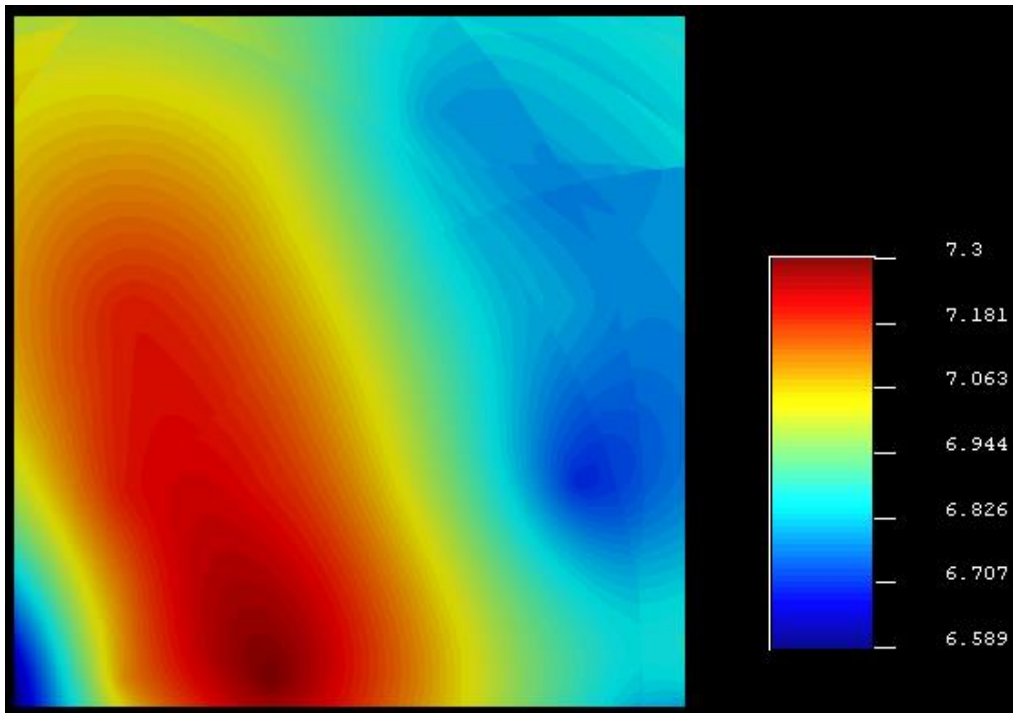


Figura 5.24: Kriging intensidad (SGEMS)

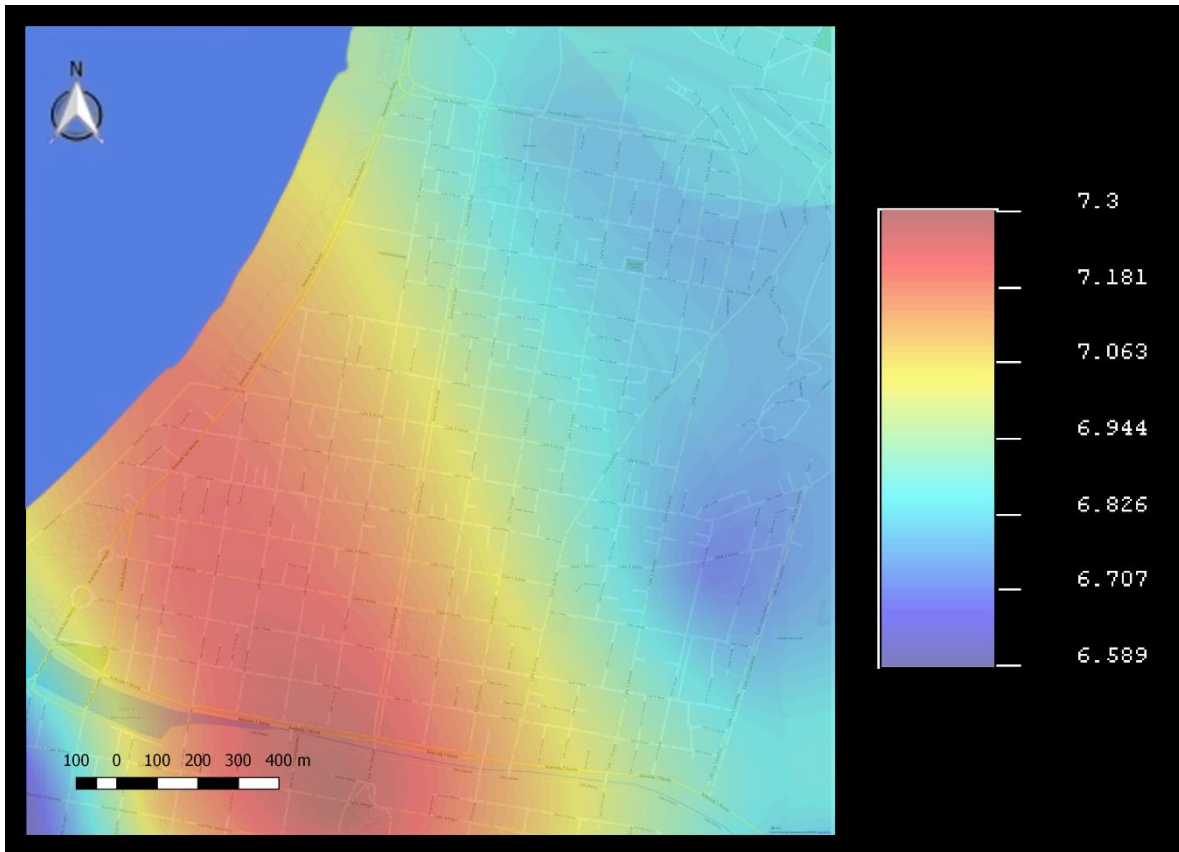


Figura 5.25: Kriging intensidad

5.6.1 Comentarios

Se puede comentar que la mayor concentración de intensidad se encuentra en la zona que para un evento sísmico extremo podría inundarse (1–2 m) y que el catastro utilizado es a partir de viviendas unifamiliares, por lo que no contempla el efecto en edificios.

5.7 Potencial de licuefacción

En el enfoque basado en las tensiones la carga impuesta al suelo por el terremoto y la resistencia del suelo a la licuefacción son caracterizadas en términos de tensiones de corte cíclicas. Este enfoque representa el método clásico para la evaluación del potencial de licuefacción, pues ha sido estudiado y validado como una aproximación práctica y útil para la evaluación y por consiguiente su uso se ha mantenido en el tiempo y se recomienda al menos en el futuro cercano (Kramer & Stewart, 2004)

El potencial de licuefacción corresponde a una forma de cuantificar que tan propensa a licuar una capa de suelo puede ser, dependiendo de distintos factores tales como: la forma y distribución

de los granos, densidad, amplitud y vibración del terreno, profundidad de aguas subterráneas, edad del depósito, origen del suelo entre otros. (Bustos, 2017)

En su estudio Bustos (2017) estimo el potencial de licuefacción del plan de Viña del Mar para un total de 67 cuadras, conformadas por 21 CPT y 46 SPT, cada cuadra entrego un valor promedio de sus ensayos respectivos. Sé consideró que se perdía información en los ensayos SPT, por lo que se mapeo nuevamente con los valores sin promediar de cada cuadra que presento SPT (19 cuadras) aportando 35 datos extras. En la tabla 6.9 se pueden observar los resultados encontrados.

Tabla 5.9: Riesgo de daños en la superficie
Fuente: Adaptación Iwasaki (1982) & Sonmez (2003)

Índice del Potencial de Licuefacción LPI	Categoría de riesgo del potencial de licuefacción	Efectos observados en superficie	Resultados Bustos	Cantidad de datos	Porcentaje de datos con efecto en superficie
0	Sin potencial de licuefacción (si FL>1,2)	No hay	16	22	97,53 % No hay efecto en superficie
0 <LPI ≤ 2	Bajo		14	21	
2 <LPI ≤ 5	Moderado		19	28	
5 <LPI ≤ 15	Alto	LPI ≤ 11,5: No hay efectos en superficie	14 (8 con efecto en superficie)	9 (1 con efecto en superficie)	2,47 % Presenta pequeñas a moderadas
15 <LPI	Muy Alto	11,5 < LPI ≤ 32: Deformaciones pequeñas a moderadas, eyecciones de arena y asentamientos. LPI > 32: Grandes deformaciones y fallas (lateral spreading)	4	1	

Finalmente, el mapa se elaboró a partir de 81 datos de SPT y sin los CPT, en este caso se utilizaron principalmente para la caracterización de suelo en el capítulo anterior. Las ubicaciones de los SPT se concentran en su mayoría alrededor de la falla del Marga–Marga, presentando algunas zonas ricas y otras pobres de datos, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 5.10: Variograma teórico potencial de licuefacción

Nugget (Pepita)	0
Sill (Meseta)	14
Tipo	Esférica
Rango máx [m]	1200
Rango mín [m]	192
Ángulo [°]	135

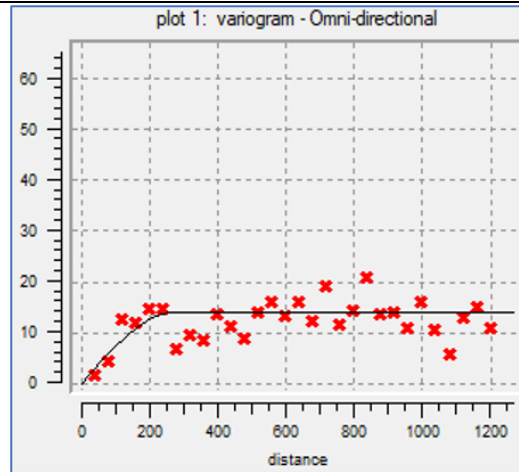


Figura 5.26: Variograma experimental

Se observa una meseta importante por la variabilidad que existe para algunos datos aislados.

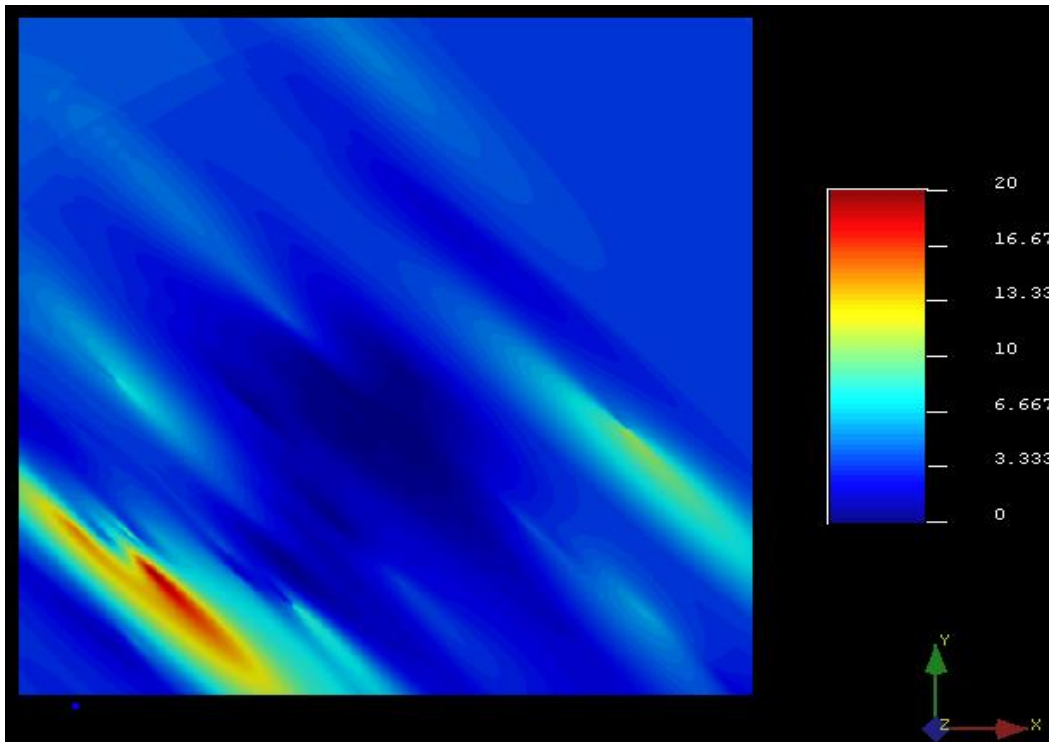


Figura 5.27: Kriging PLI (SGEMS)

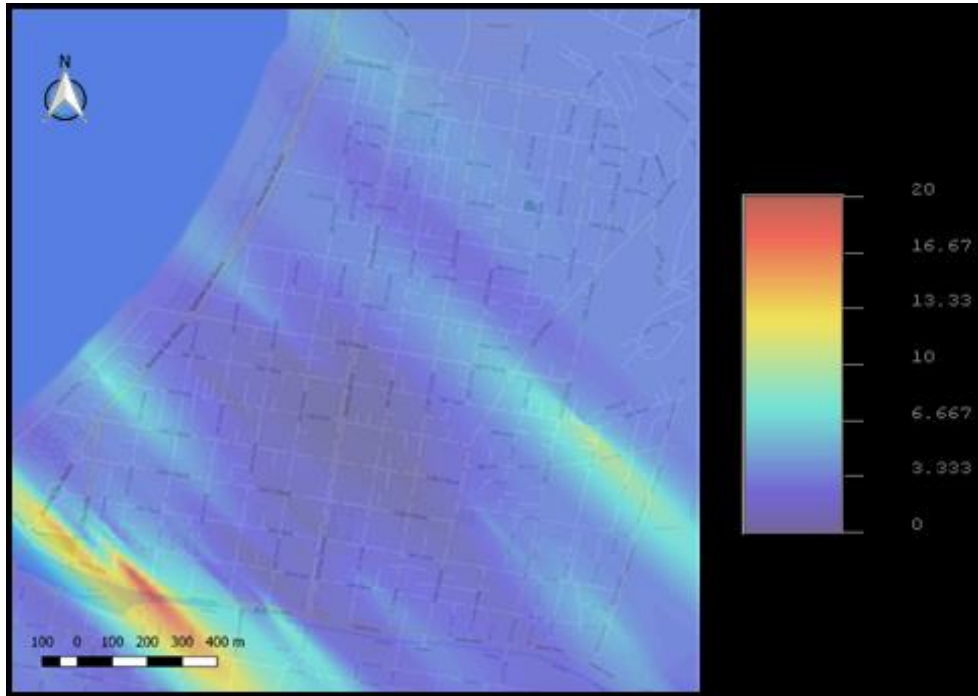


Figura 5.28: Kriging LPI

En la figura anterior queda poco claro, en que lugares se concentra la licuefacción, por lo que se hizo el mismo análisis en dirección horizontal (0°)

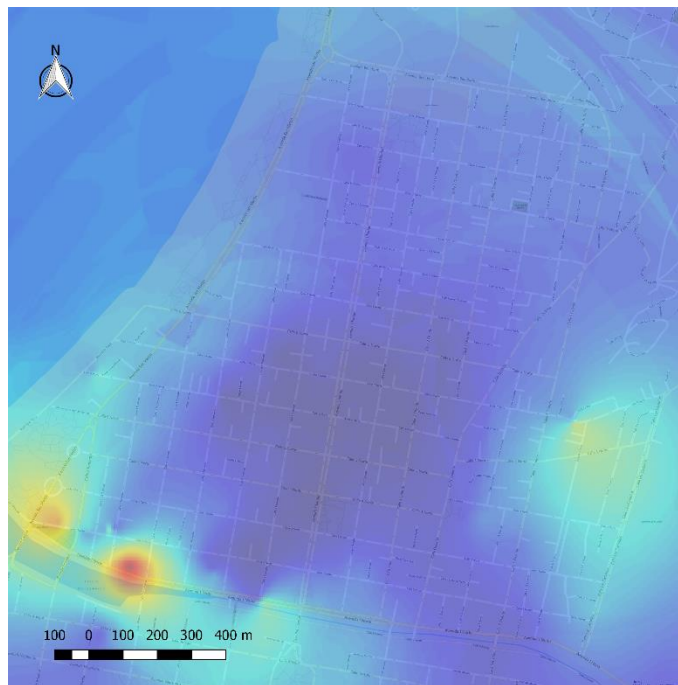


Figura 5.29: Kriging LPI dirección 0°

5.7.1 Comentarios

Se debe comentar que al realizar los ajustes en los datos y hacer el análisis geoestadístico se encontró una menor cantidad de zonas que sean susceptibles a licuar o por lo menos demostrarlo en superficie. Este resultado es coherente con lo observado para el evento sísmico en estudio (27F), sin embargo, la mayoría de los datos en este escenario sísmico se encuentra en el rango de moderado riesgo lo que puede cambiar al presentarse un sismo con un $g > 0,334$. Una de las causas es que no se consideraron los valores de CPT, valor que se correlacionaba con SPT, lo que puede estar sujeto a errores, a pesar de restar zonas de información. Otro parámetro que presenta problemas cerca de la plaza México, dónde se presenta: una mayor intensidad percibida, una gran irregularidad en el basamento rocoso, inundación de tsunami (1–2m) y un supuesto delta del Marga–Marga.

6 DESCRIPCIÓN GEOTÉCNICA

Los sondajes recopilados proporcionados de estudios anteriores, elaborados por el laboratorio de Ensaye de Materiales y Control de Obras de la Universidad Técnica Federico Santa María (LEMCO) y el Laboratorio de Ensaye de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (LEPUCV) permitieron definir las siguientes propiedades geotécnicas generales del suelo del área en estudio:

Tabla 6.1: Propiedades geotécnicas del sector de estudio

Peso específico seco:	1,7 – 1,9 [Ton/m ³]
Peso específico húmedo:	1,9 – 2,3 [Ton/m ³]
Densidad relativa:	25–90%
Saturación:	10–100%
Compacidad:	Media y creciente en profundidad
Ángulo de fricción:	35–40°
Módulo de Poisson:	~0,2
Cohesión:	No cohesivo
Plasticidad:	No plástico

Tabla 6.2: Horizontes estratigráficos área de estudio

Horizonte	Descripción	Clasificación USCS
H1	Relleno antrópico: capa vegetal, escombros en matriz de suelo conformada por arenas limosas y arenas limoarcillosas	SM, SC-SM SP-SM
H2	Suelo natural: arenas arcillosas y arenas limo-arcillosas	SM-SC, SC(CL)
H3	Suelos natural: arcillas de baja plasticidad, limos de baja compresibilidad y arcillas de alta plasticidad	CL, ML, CH
H4	Suelos natural: gravas arcillosas, gravas limosas y arenas arcillosas	GW-GM, GC(CL), SC(CL)
H5	Suelo natural: arenas mal graduadas, arenas mal graduadas con limos, arenas limosas	SP, SP-SM, SM
H6	Suelo natural: arenas bien graduadas, arenas bien graduadas con limos	SW, SW-SM
H7	Suelo natural: arenas arcillosas	SC, SC(CL), SC-SM
H8	Suelo natural: limos de baja compresibilidad	ML
H9	Roca	-

Y se actualizaron los perfiles estratigráficos existentes, por medio del Software Rock Works, siguiendo el siguiente diagrama:

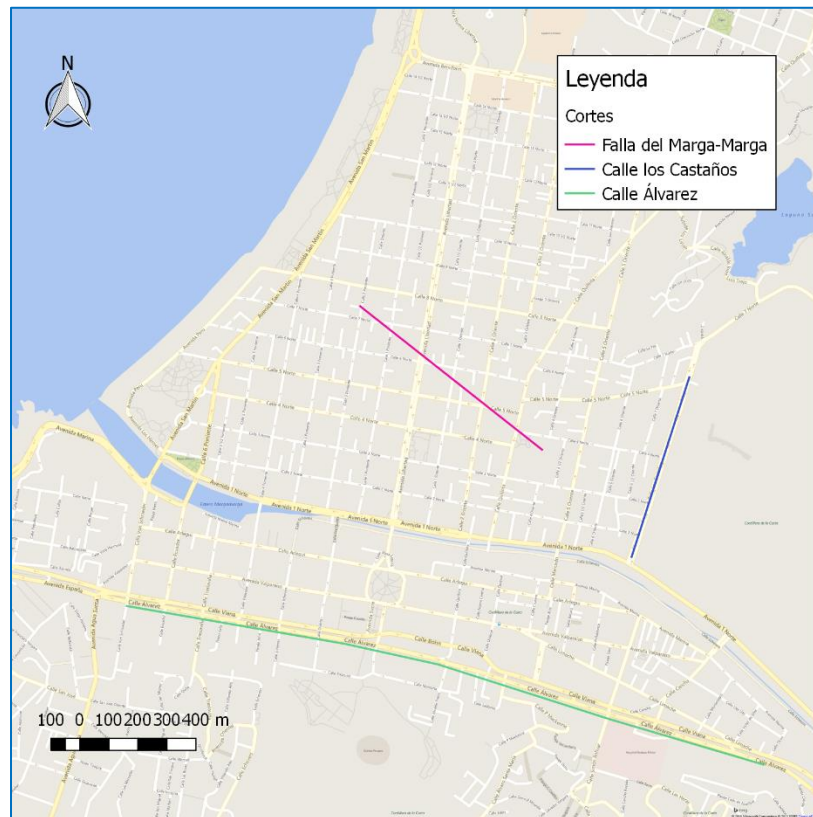
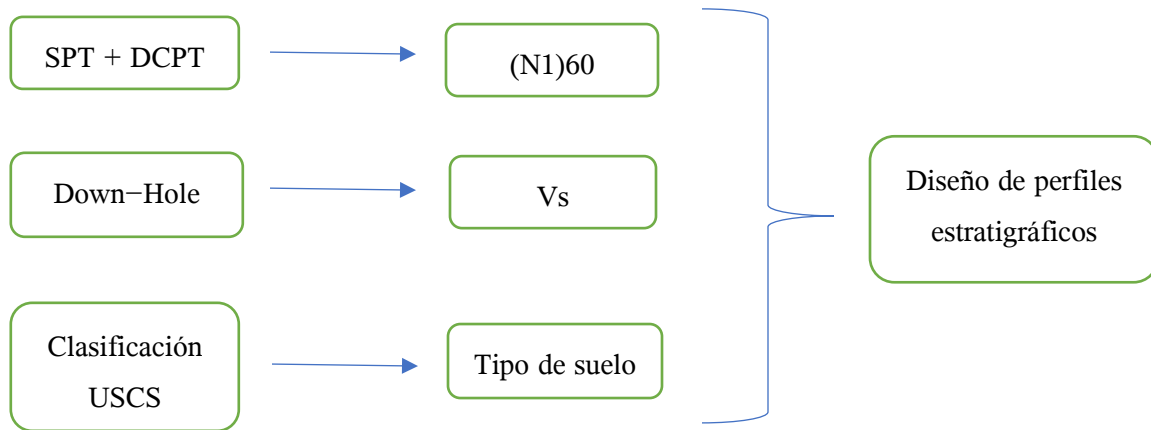


Figura 6.1: Líneas de cortes transversales
Fuente: Elaboración Propia

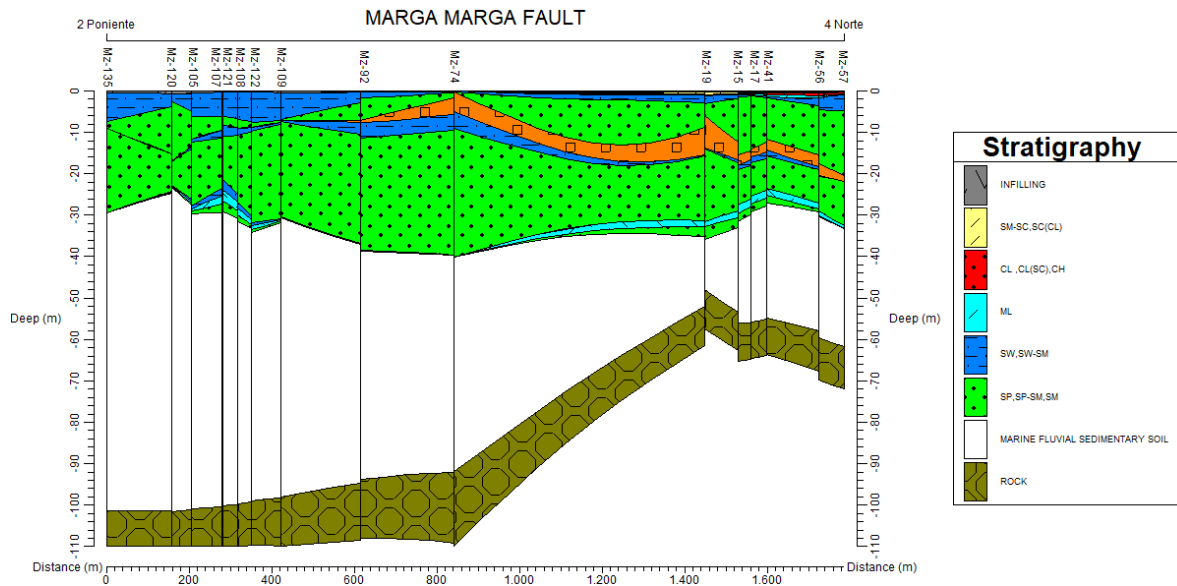


Figura 6.2: Estratigrafía falla Marga- Marga

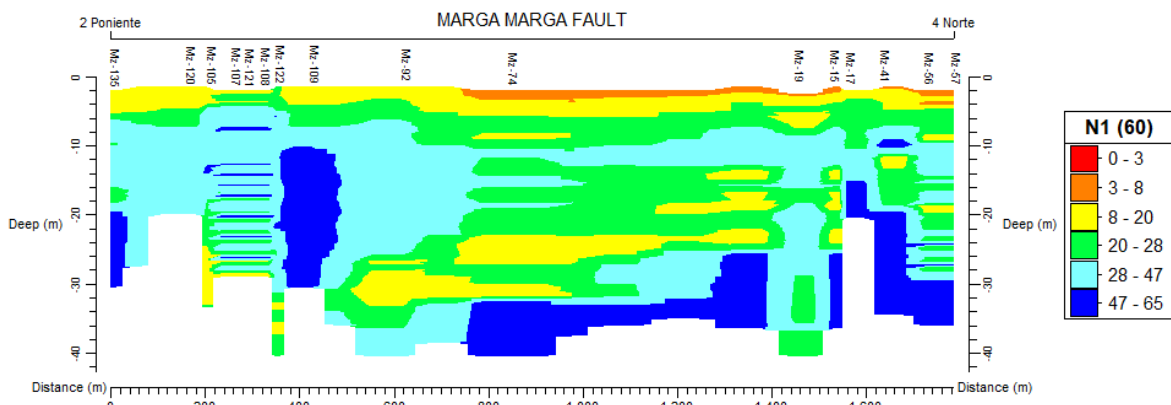


Figura 6.3: Resultados ensayo SPT falla Marga- Marga

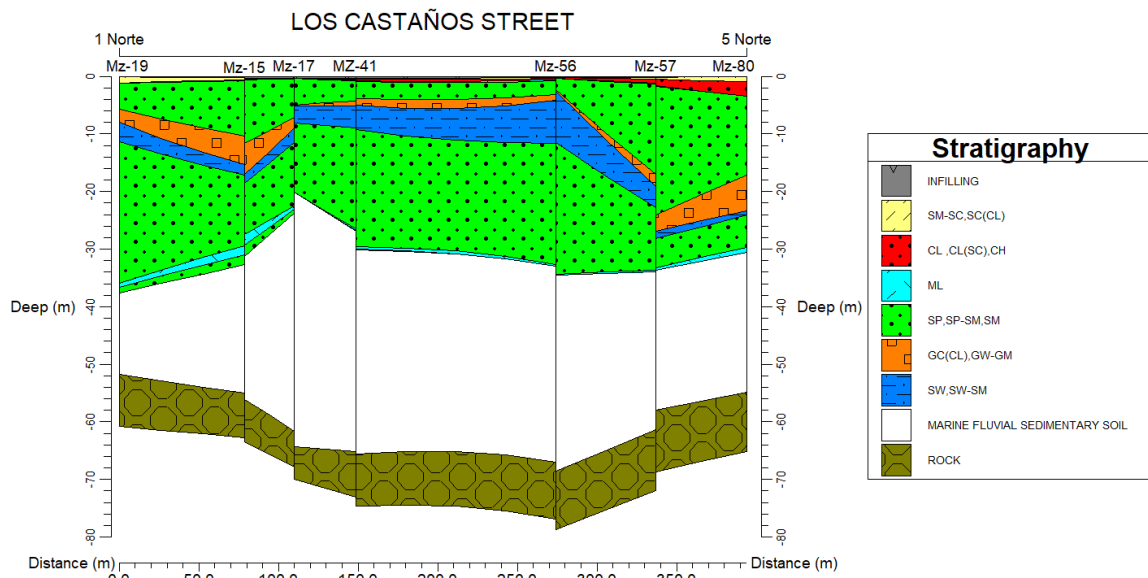


Figura 6.4: Estratigrafía calle Los Castaños

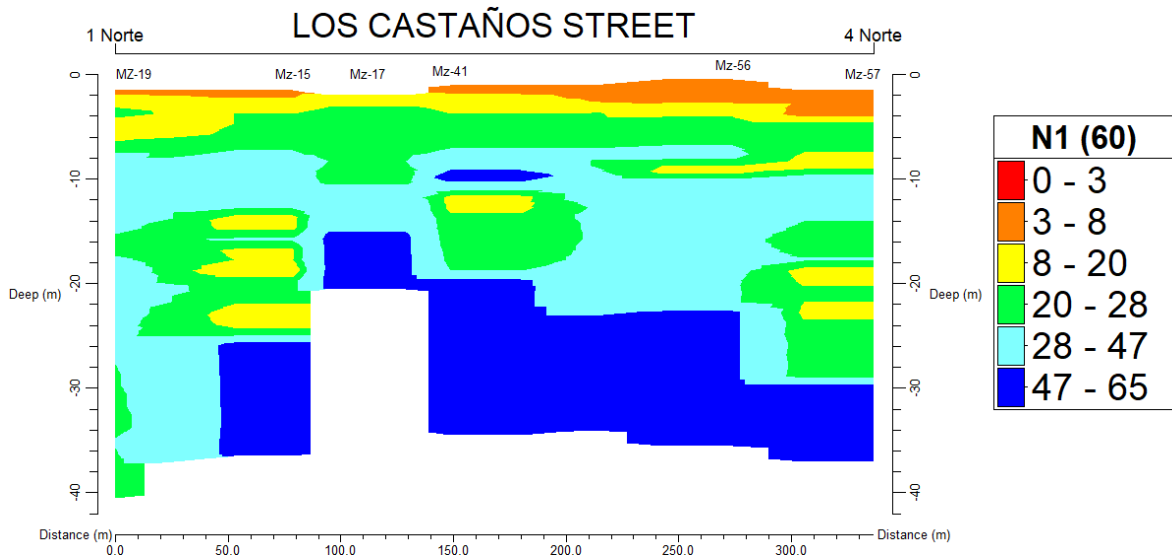


Figura 6.5: Resultados ensayo SPT calle Los Castaños

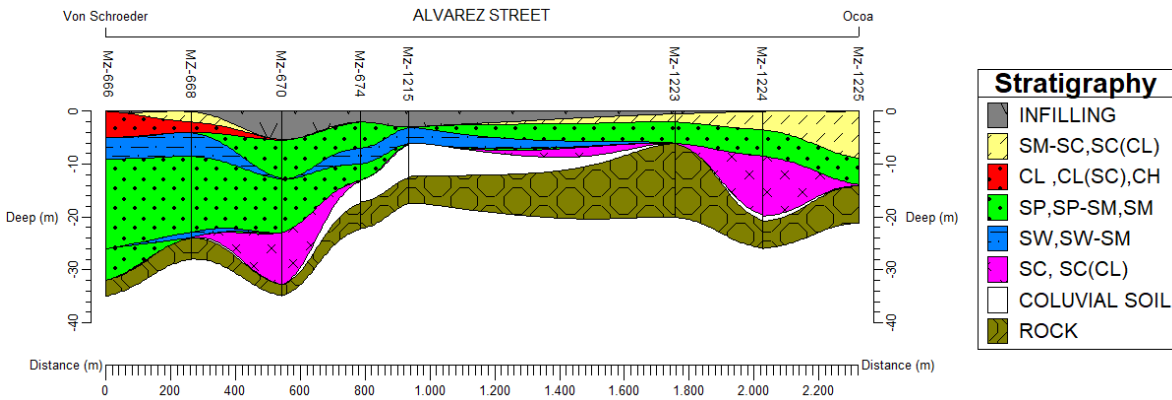


Figura 6.6: Estratigrafía calle Álvarez

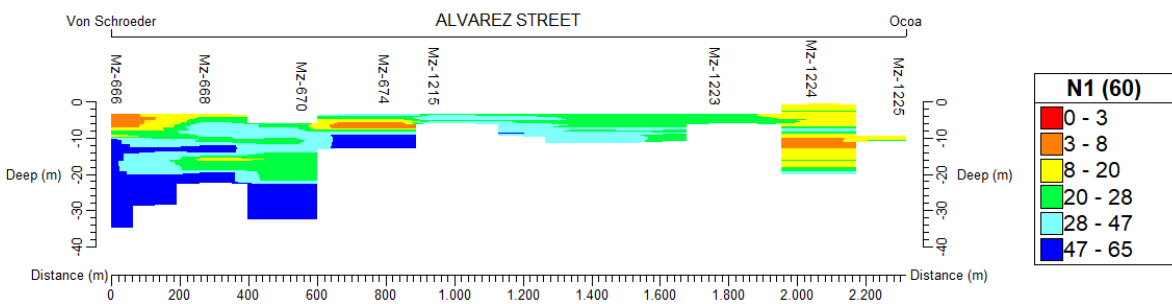


Figura 6.7: Resultados SPT calle Álvarez

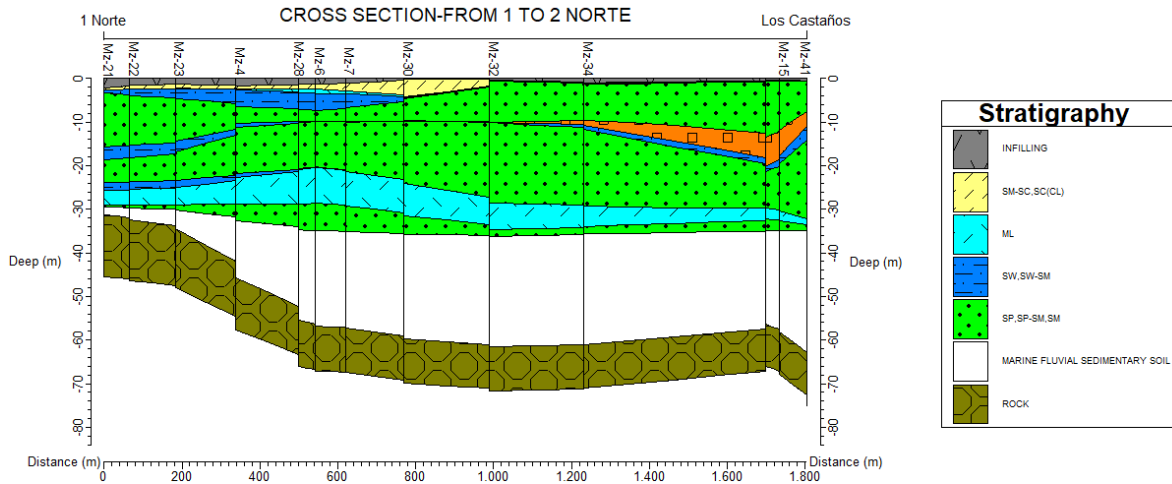


Figura 6.8: Sección de corte entre 1 y 2 Norte

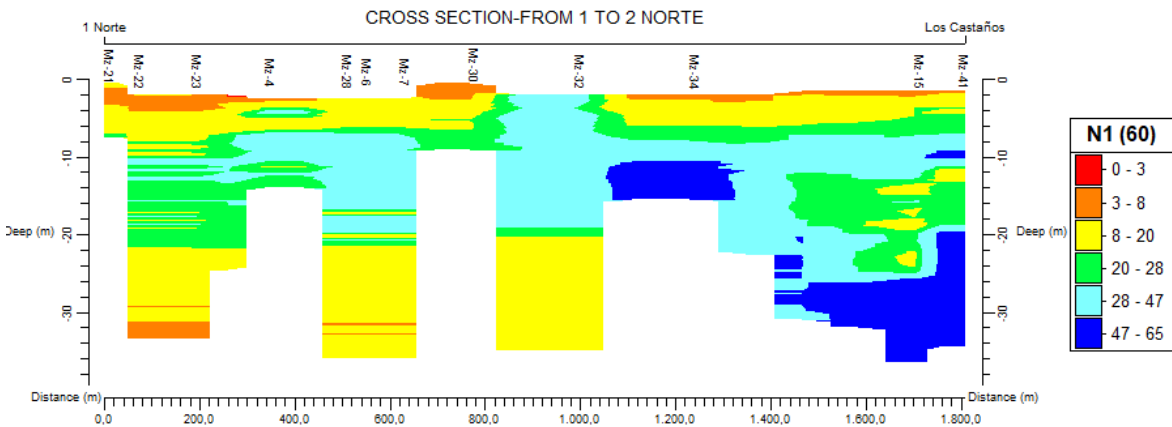


Figura 6.9: Resultados SPT sección de corte entre 1 y 2 Norte

6.1 Análisis edificios dañados

Se analizaron 10 edificios por sus características y su estratigrafía, de ellos se compararon los perfiles estratigráficos con el perfil de velocidades de 6 edificios, esto se realizó para los casos en que el ensayo Down-Hole es muy cercano al SPT y en el plan de Viña del Mar, se consideró cercano menor a 66 m, debido a que para el resto de los edificios la distancia es mayor a 100 m (aproximadamente 1 cuadra), en el ANEXO A se agregan todas las cuadras con estratigrafías y su ensayo Down-Hole correspondiente (13).

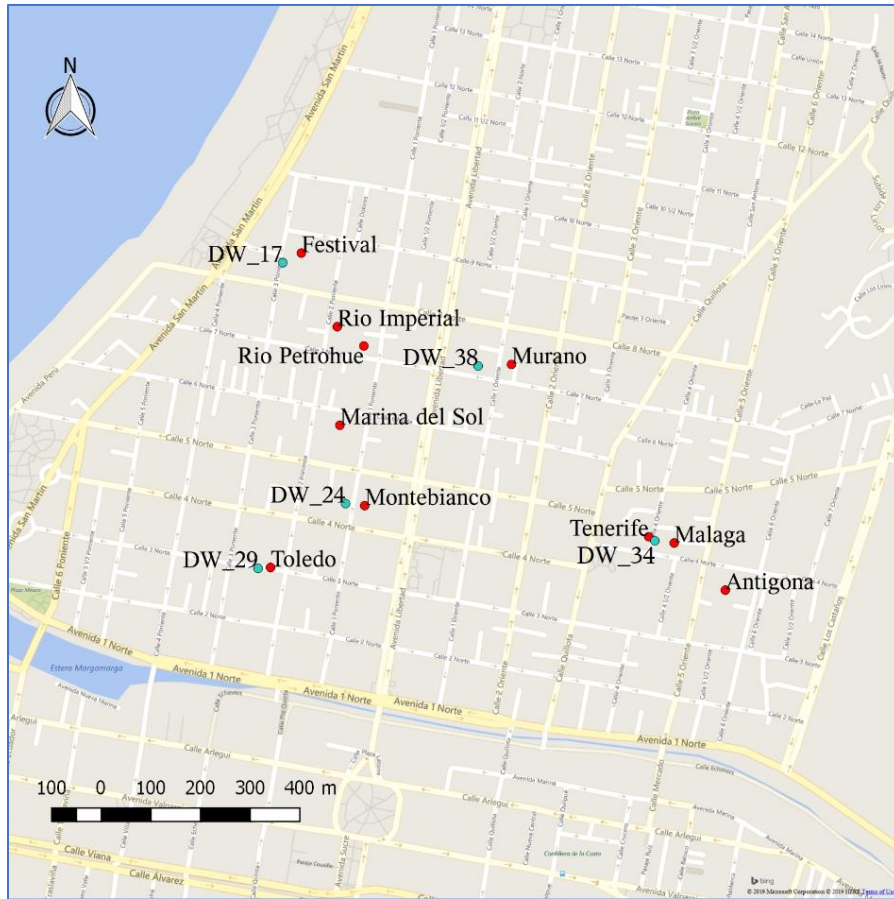
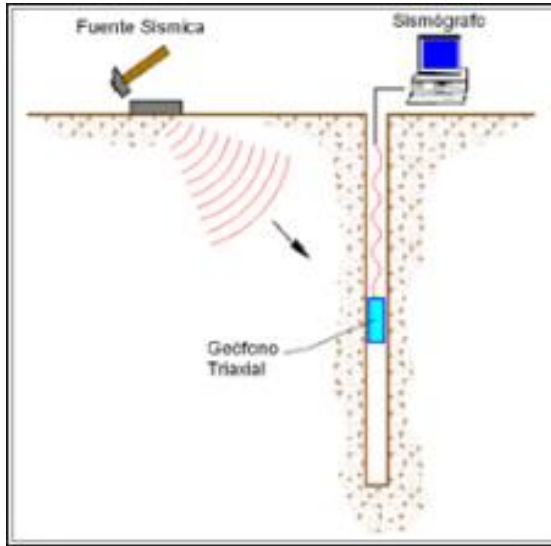


Figura 6.10: Ubicación Edificios dañados con ensayo Downhole

Fuente: Elaboración Propia

6.1.1 Método Sísmico Down-Hole

El método Down-Hole consiste en generar ondas sísmicas en la superficie, mediante golpes verticales y horizontales en una placa (Fig. 5.2) ubicada a una distancia de 1 a 3 metros aprox. del pozo, registrándose los tiempos de llegada de una de las ondas de compresión (ondas P) y cizalle (onda S). En la Figura 5.2 se pueden visualizar los Down-Hole de la zona en estudio.



$$V_{s30} = \frac{\sum_{i=1}^n h_i}{\sum_{i=1}^n \frac{h_i}{V_{s-i}}}$$

Figura 6.11: Esquema de ensayo Down-Hole

Ensayo	Vs30 [m/s]
DW_03	311,7
DW_12	264,9
DW_14	333,9
DW_17	357,7
DW_21	447,1
DW_24	292,8
DW_26	342,3
DW_29	302,5
DW_32	373,6
DW_34	330,9
DW_36	323,7
DW_37	142,1
DW_38	249,5
DW_39	281,9
DW_42	533,7

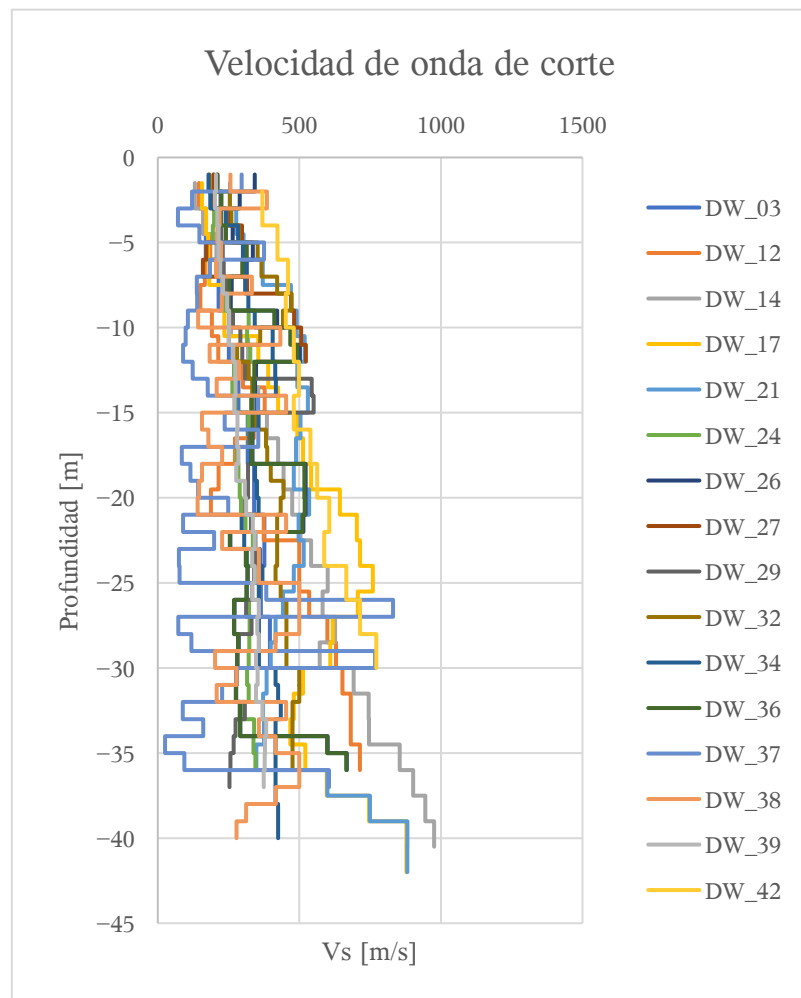


Figura 6.12: Velocidades de onda de corte sector de estudio

6.1.2 Edificio Festival

El edificio Festival presenta gran daño en elementos estructurales, presenta extenso agrietamiento en muros por compresión de borde de muro, por corte y flexión, se observa extenso desprendimiento de hormigón dejando expuesto el refuerzo en varias zonas. El daño se concentra en el primer piso en muros, en escaleras y losas de pisos superiores, existe deformación permanente mayor al 2%. El porcentaje aproximado de área dañada en planta de muros y columnas con respecto al área total es de 25% en el primer piso. (Pereira, 2017)

Tabla 6.3: Características de suelo edificio Festival

Vs30 [m/s]	357,689
Tipo de suelo	D
Distancia Down-Hole [m]	42
Frecuencia H/V [Hz]	0,964
Período suelo estimado [s]	1,038
Basamento rocoso estimado [m]	106,1
Altura total edificio [m]	44,2
Desplazamiento de techo [cm]	Eje x: 2,26 Eje y: 2,73

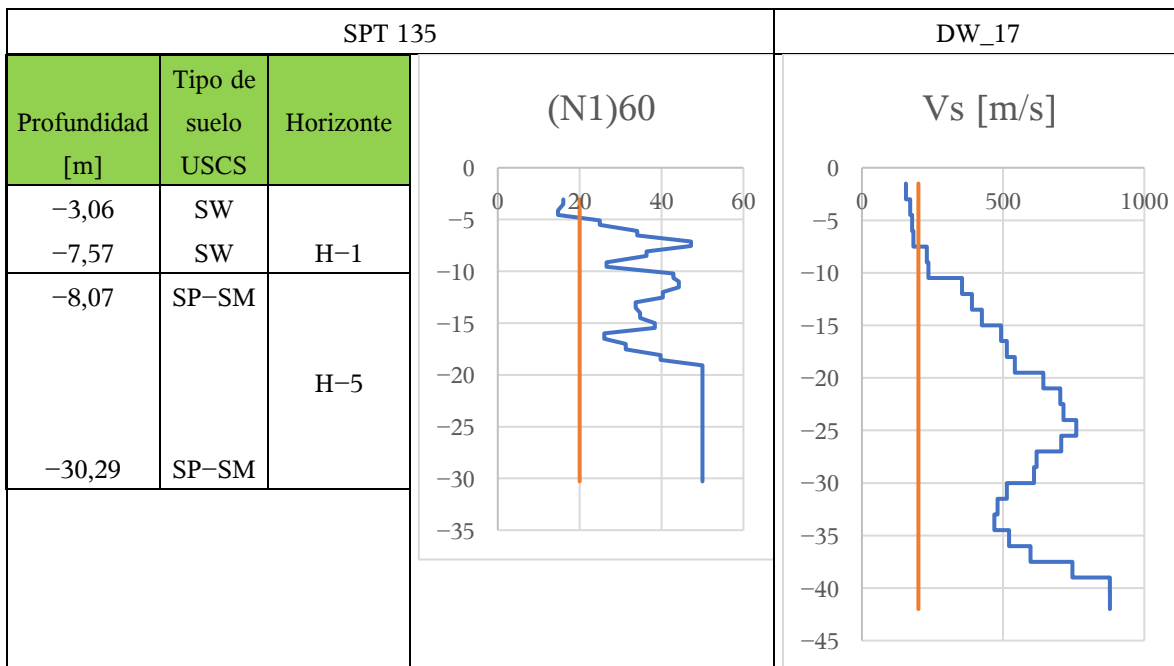


Figura 6.13: Análisis de suelo edificio Festival

Fuente: Elaboración Propia

6.1.3 Edificio Murano

En el edificio Murano se observa daño en el centro de un muro en la fachada del edificio, existe desprendimiento de hormigón y exposición del refuerzo. El porcentaje aproximado de área dañada en planta de muros y columnas con respecto al área total es de 7% en el primer piso. (Pereira, 2017)

Tabla 6.4: Características de suelo edificio Murano

Vs30 [m/s]	249,509
Tipo de suelo	D
Down-Hole distancia [m]	66
Frecuencia H/V [Hz]	1,183
Período suelo estimado [s]	0,845
Basamento rocoso estimado [m]	89,8
Altura total [m]	21,04
Desplazamiento de techo [cm]	Eje x: 0,19 Eje y: 0,64

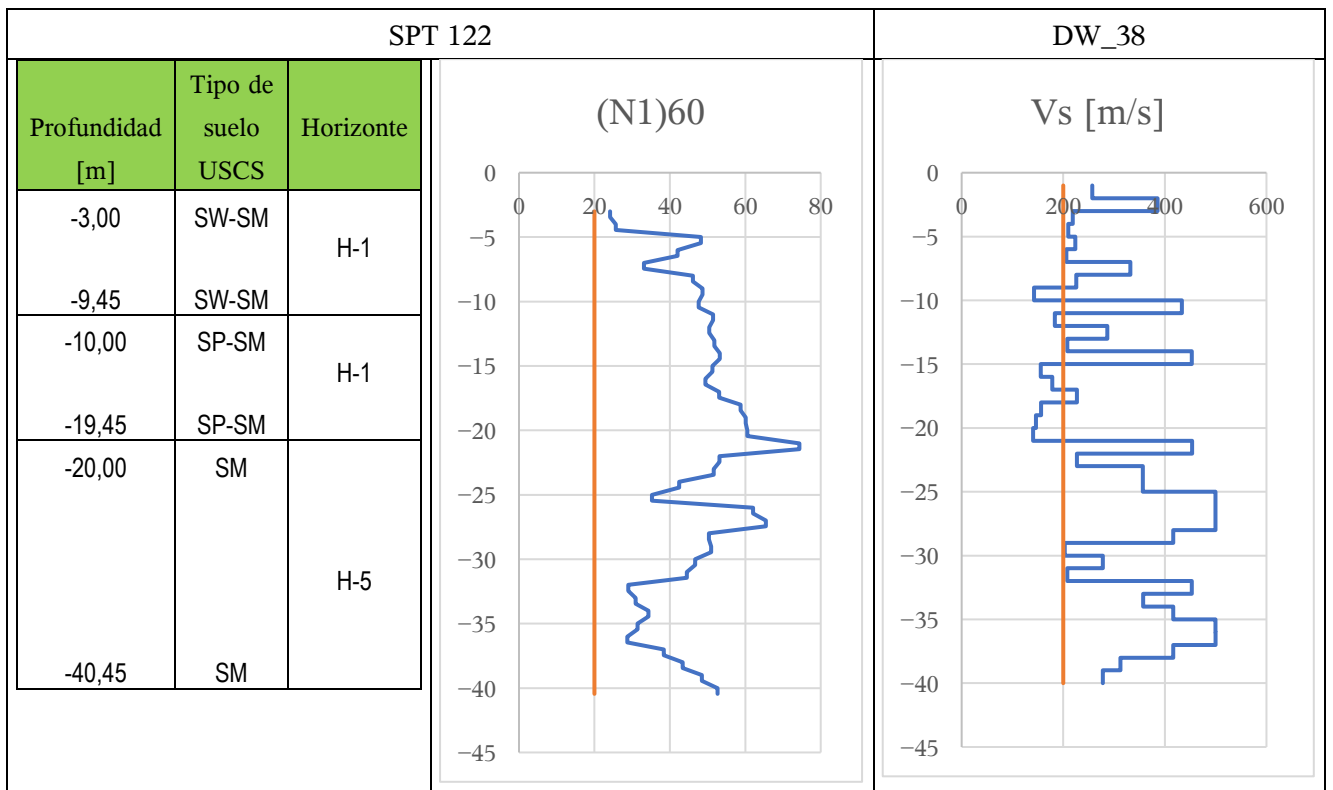


Figura 6.14: Análisis suelo de edificio Murano

Fuente: Elaboración Propia

6.1.4 Edificio Toledo

Edificio presenta daño en varios elementos estructurales, se observa daño en muros del primer piso, agrietamiento y desprendimiento de hormigón, exposición y pandeo del refuerzo, existe deformación de techo permanente en el edificio superior al 4%, colapso parcial. El porcentaje aproximado de área dañada en planta de muros y columnas con respecto al área total es de 35% en el primer piso. (Pereira, 2017)

Tabla 6.5: Características de suelo edificio Toledo

Vs30 [m/s]	302,512
Tipo de suelo	D
Down-Hole distancia [m]	27 m
Frecuencia H/V [Hz]	1,332
Período suelo estimado [s]	0,751
Basamento rocoso estimado [m]	73,8
Altura total [m]	30,66
Desplazamiento de techo [cm]	Eje x: 1,26 Eje y: 2,91

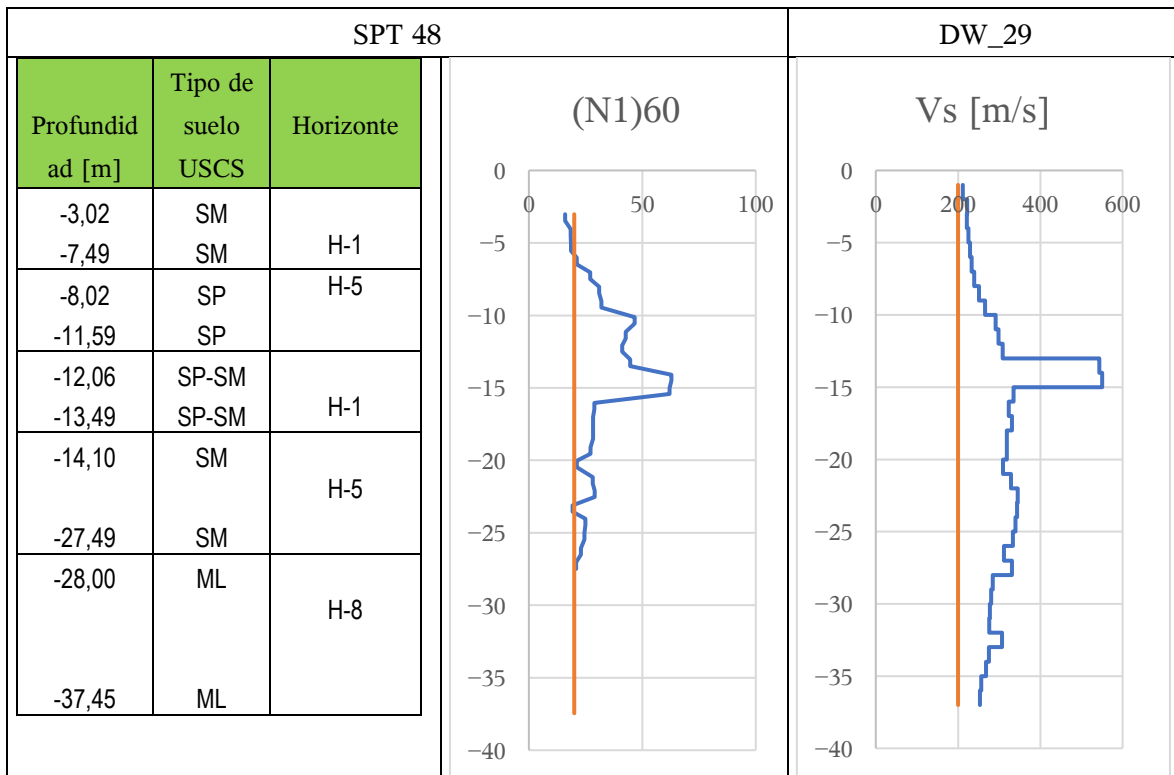


Figura 6.15: Análisis de suelo edificio Toledo

6.1.5 Edificios Tenerife y Málaga

El edificio Málaga presenta daño localizado en un muro del primer piso, existe desprendimiento de hormigón y pandeo del refuerzo longitudinal. El porcentaje aproximado de área dañada en planta de muros y columnas con respecto al área total es de 6% en el primer piso.

En el edificio Tenerife se observa daño en muros del primer piso, agrietamiento y desprendimiento de hormigón. El porcentaje aproximado de área dañada en planta de muros y columnas con respecto al área total es de 22% en el primer piso. (Pereira, 2017)

Tabla 6.6: Características suelo edificios Málaga y Tenerife

Edificio	Málaga	Tenerife
Vs30 [m/s]	330,87	330,87
Tipo de suelo	C	C
Down-Hole distancia [m]	40	14
Frecuencia H/V [Hz]	1,050	1,063
Período suelo estimado [s]	0,952	0,941
Basamento rocoso estimado [m]	91,1	93,2
Altura total [m]	31	34,43
Desplazamiento de techo [cm]	Eje x: 0,55 Eje y: 1,61	Eje x: 3,57 Eje y: 2,33

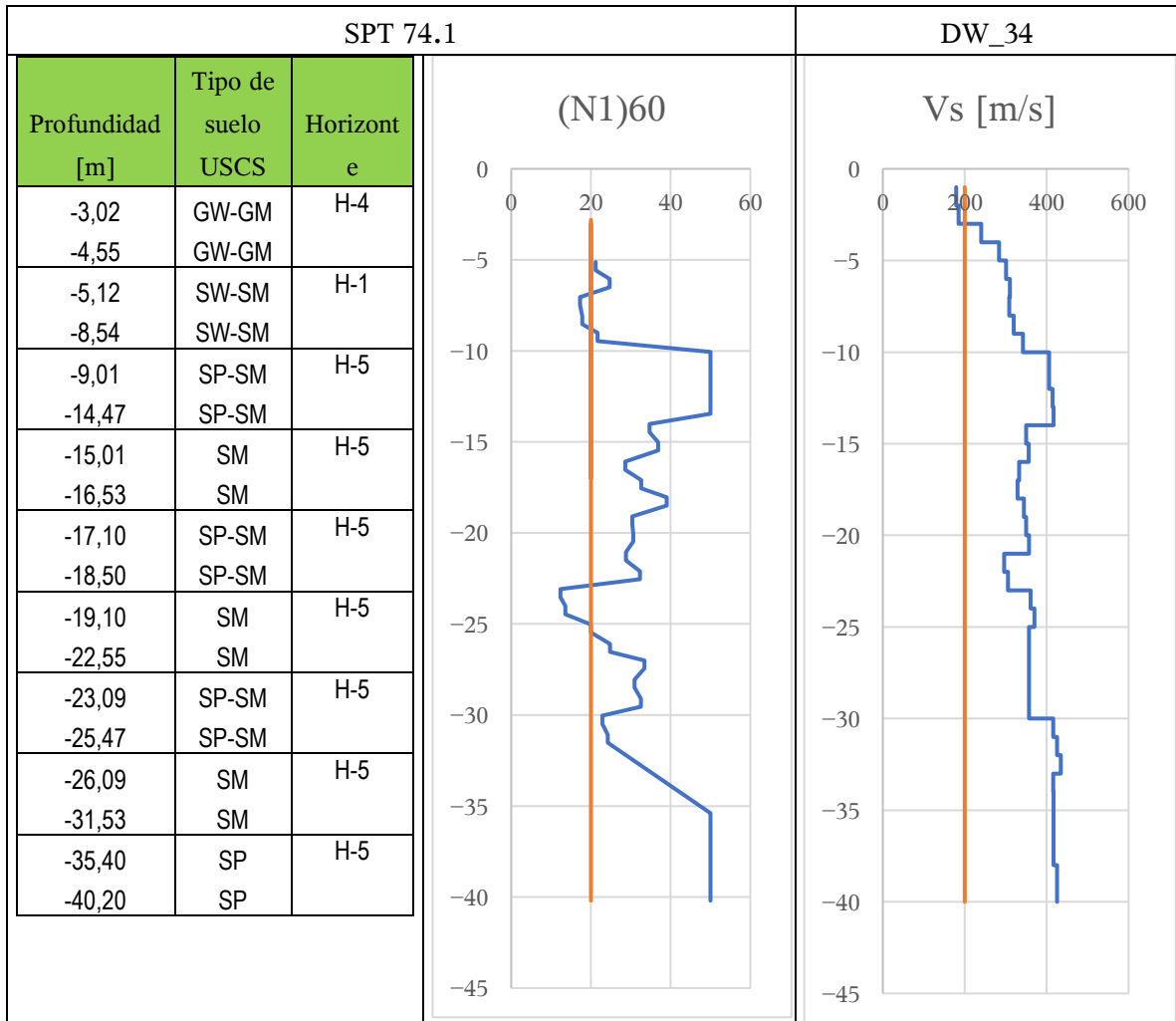


Figura 6.16: Análisis edificio Tenerife y Málaga

Fuente: Elaboración Propia

6.1.6 Edificio Montebianco

Se observa daño por aplastamiento en el borde de un muro, existe otro muro con agrietamiento vertical, se observan fallas por cortes en columnas. El porcentaje aproximado de área dañada en planta de muros y columnas con respecto al área total es de 15% en el primer piso.

Tabla 6.7: Características edificio Montebianco

Tipo de suelo	D
Frecuencia H/V [Hz]	0,986
Período suelo estimado [s]	1,014
Basamento rocoso estimado [m]	101
Altura total [m]	36,3
Desplazamiento de techo [cm]	Eje x: 1,84 Eje y: 2,49

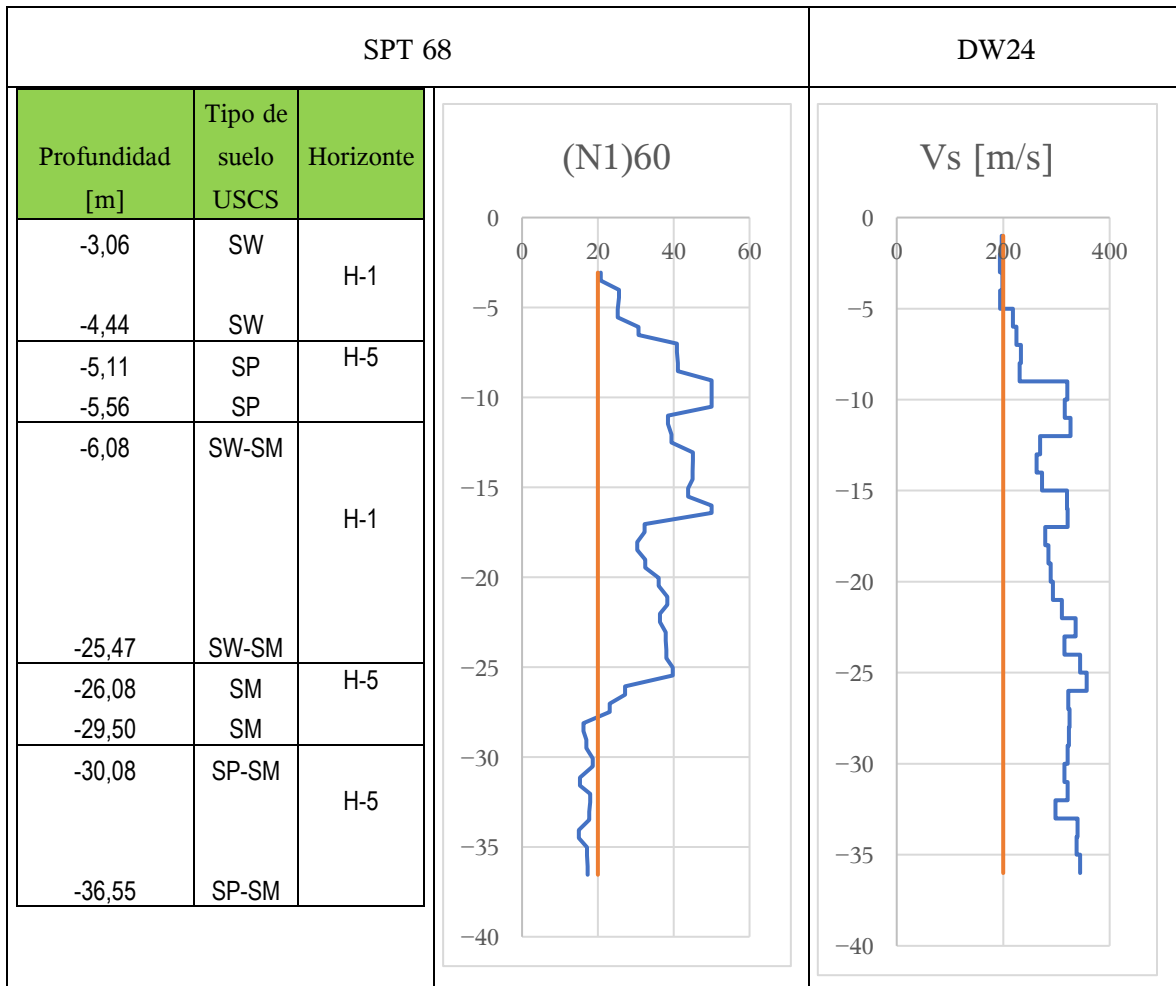


Figura 6.17: Análisis suelo edificio Montebianco

Los 4 edificios siguientes a diferencia de los anteriores no posee ensayo Down-hole cercano ($d < 100$ m), pero si tiene todo el resto de las características señaladas, por lo que se presentan a continuación.

6.1.7 Edificio Antígona

El daño principal se concentra en los muros del sector Nor-Oriente, en el piso 1 y el subterráneo. Tiene daños en muros, y en menor medida en columnas, uniones viga – columna y losas. Existe desprendimiento de hormigón, exposición del refuerzo en los muros y pandeo del refuerzo. No existe riesgo de colapso. El porcentaje de área dañada en planta se muros y columnas con respecto al área total es de 16% en el primer piso. (Pereira, 2017)

Tabla 6.8: Características edificio Antígona

Tipo de suelo	D
Frecuencia H/V [Hz]	1,034
Período suelo estimado [s]	0,967
Basamento rocoso estimado [m]	88,0
Altura total [m]	46,9
Desplazamiento de techo [cm]	Eje x: 1,13 Eje y: 3,35

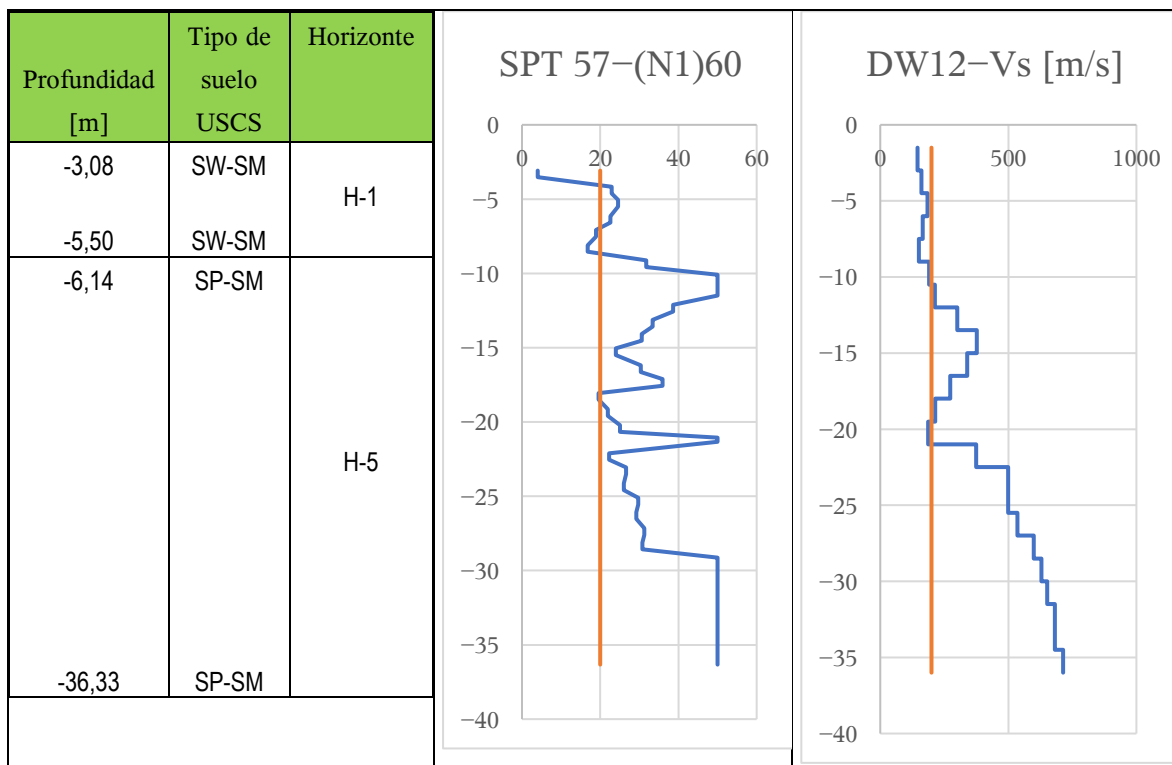


Figura 6.18: Análisis suelo edificio Antígona

6.1.8 Edificio Marina del Sol

Edificio de 52,38 m de altura total, se observa daño en el borde de un muro en el segundo piso acompañado de desprendimiento del hormigón y exposición del refuerzo. Se observa daño en el centro de otro muro, la grieta atraviesa el alto del muro del primer piso. El porcentaje aproximado de área dañada en planta de muros y columnas con respecto al área total es de 10% en el primer y segundo piso. Desplazamiento en el eje x 2,19 cm y en el eje y 5,78 cm. (Pereira, 2017)

Tabla 6.9: Característica edificio Marina del Sol

Tipo de suelo	C
Frecuencia H/V [Hz]	0,93
Período suelo estimado [s]	1,075
Basamento rocoso estimado [m]	109,9
Altura total [m]	52,38
Desplazamiento de techo [cm]	Eje x: 2,19 Eje y: 5,78

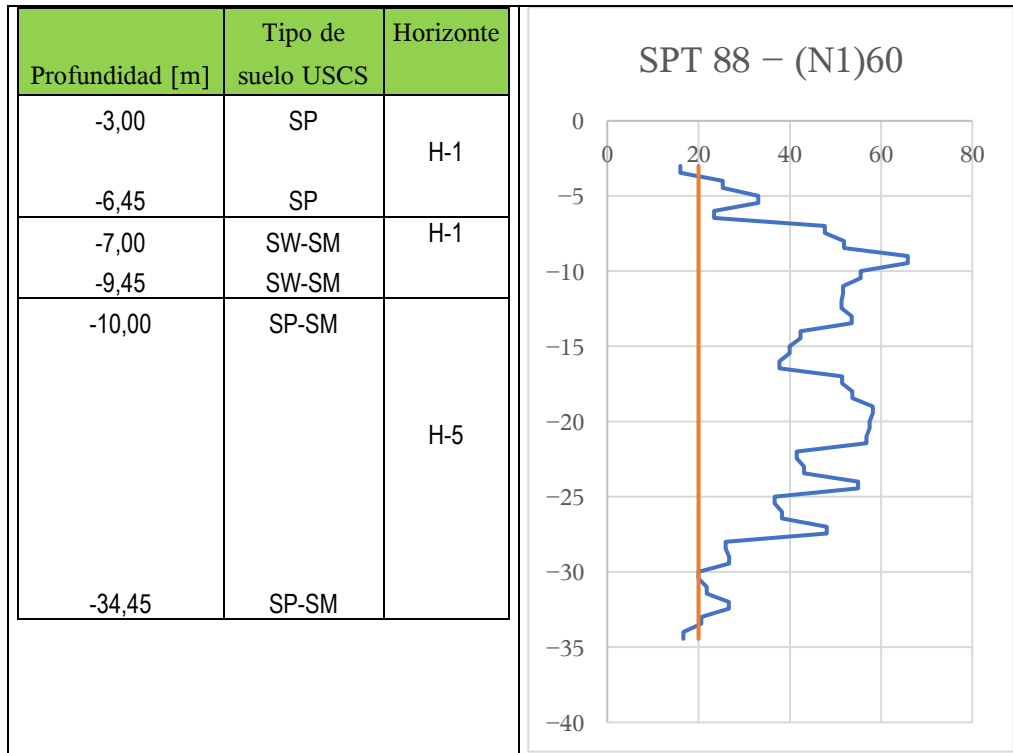


Figura 6.19: Análisis de suelo edificio Marina del Sol

6.1.9 Río Imperial y Petrohué

En el edificio Río Imperial se observó un daño en el borde de un muro acompañado de desprendimiento de hormigón, existe daño en dos columnas. El daño está concentrado en el subterráneo, el porcentaje aproximado de área dañada en planta de muros y columnas con respecto al área total en planta de elementos verticales del primer piso es de 13%. Río Petrohué tuvo un daño en los muros de la fachada del primer piso, agrietamiento y desprendimiento de hormigón. El daño está concentrado en el primer piso. El porcentaje de área dañada en planta de muros y columnas con respecto al área total es de 6% en el primer piso. (Pereira, 2017)

Tabla 6.10: Características Río Imperial y Petrohué

Edificio	Río Imperial	Río Petrohué
Tipo de suelo	D	C
Frecuencia H/V [Hz]	0,914	0,908
Período suelo estimado [s]	1,094	1,101
Basamento rocoso estimado [m]	111,7	112,3
Altura total [m]	43,8	48,9
Desplazamiento de techo [cm]	Eje x: 3,03 Eje y: 2,95	Eje x: 2,26 Eje y: 4,59

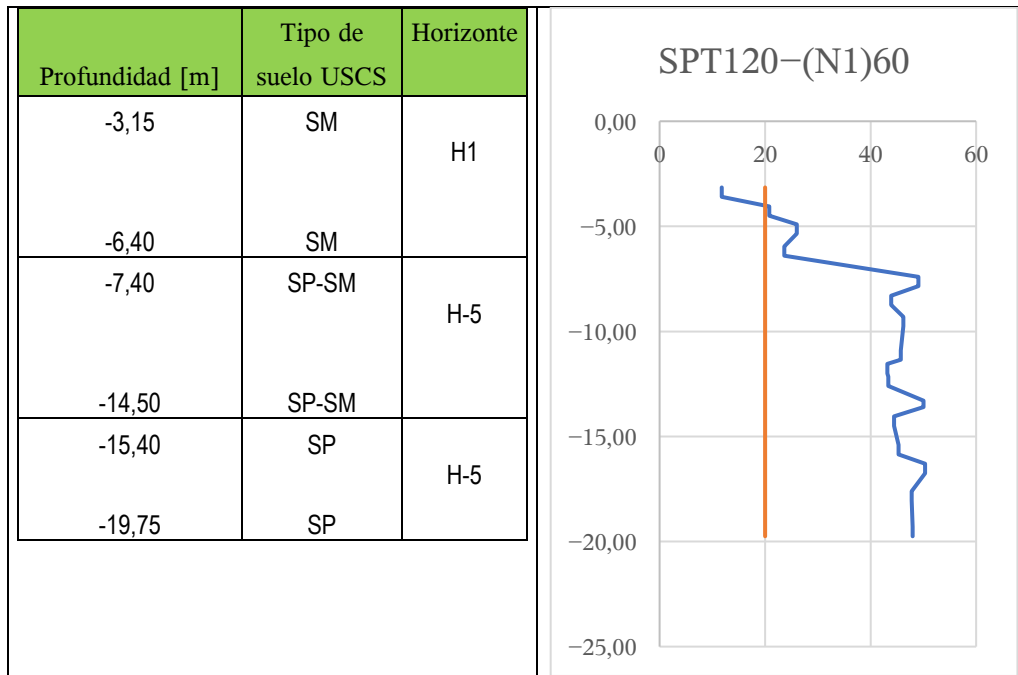


Figura 6.20: Análisis de suelo edificios río Imperial y Petrohué

6.2 Análisis de resultados obtenidos con Geoestadística

Por medio de la geoestadística realizada para las variables determinadas como más relevantes, se lograron encontrar 3 características geotécnicas en la ubicación de los edificios dañados. Estas se pueden resumir a continuación:

Z: Profundidad estimada del basamento rocoso [m]

To: Período del suelo [s]

Frec. H/V: Frecuencia del suelo calculada por el método de Nakamura [Hz]

LPI: Potencial de licuefacción, con su categoría de riesgo asociada

No se encontró una relación para el tipo de daño sufrido por los edificios y los parámetros mencionados. Pero si existe una estrecha relación entre ellos y los valores que toman para cada edificio. Esto se puede apreciar en las siguientes tablas.

Tabla 6.11: Resultados geoestadísticos para edificios demolidos (2010)

Fuente: Elaboración Propia

N°	Nombre	Frec. H/V [Hz]	To [s]	Z [m]	LPI – Categoría de riesgo
1	Festival	0,964	1,038	106,1	4 – Moderado
2	Bahía	0,993	1,007	83,2	7 – Alto
3	Toledo	1,332	0,751	73,8	2 – Moderado
4	Tenerife	1,063	0,941	93,2	3 – Moderado
5	Antígona	1,034	0,967	88,0	4 – Moderado

Tabla 6.12: Resultados geoestadísticos para edificios con daño severo (2010)

Fuente: Elaboración Propia

N°	Nombre	Frecuencia H/V [Hz]	To [s]	Z [m]	LPI – Categoría de riesgo
6	Acapulco	1,034	0,967	98,3	4 – Moderado
7	Emporium	1,045	0,957	95,7	2 – Bajo
8	Tricahue	0,944	1,059	108,0	3 – Moderado
9	Torres del Mar	0,978	1,022	105,5	1 – Bajo
10	Málaga	1,050	0,952	91,1	3 – Moderado
11	Rio Imperial	0,914	1,094	111,7	0 – Bajo
12	Emperador	1,457	0,686	69,3	3 – Moderado
13	Rio Petrohue	0,908	1,101	112,3	0 – Sin potencial
14	Murano	1,183	0,845	89,8	1 – Bajo
15	Marina del Sol	0,930	1,075	109,9	1 – Bajo
16	Montebianco	0,986	1,014	101,0	1 – Bajo
17	Ed. 9 Norte	2,057	0,486	40,8	4 – Moderado

Tabla 6.13: Resumen geoestadístico para edificios con daño severo el año 1985

Fuente: Elaboración Propia

N°	Nombre	Frecuencia H/V [Hz]	To [s]	Z [m]	LPI – Categoría de riesgo
18	Hangaroa	1,053	0,950	96,5	4 – Moderado
19	Plaza del Mar	1,035	0,967	97,5	3 – Moderado
1	Festival	0,964	1,038	106,1	4 – Moderado
6	Acapulco	1,034	0,967	98,3	4 – Moderado

6.2.1 Comentarios

Según Pereira (2017) de todas las características analizadas en su estudio, concluyo que las que presentaron mejor correlación con los daños son aquellas asociadas a la ubicación de los edificios, caracterizadas a través del periodo del suelo, la orientación de los edificios e irregularidades.

En la mayoría de los edificios con mal desempeño se tiene que el período del suelo se encuentra entre el período agrietado y no agrietado del edificio, y presenta daños en la misma dirección de acoplamiento. La mayoría de los edificios están orientados en dirección E–O su eje mayor (eje x) y presentan daños en su dirección menor N–S. Existen otros factores que no tienen que ver con geotécnica, como: las irregularidades en planta, densidades bajas en el primer piso y déficit de armaduras de corte y confinamiento de algunos edificios. (Pereira, 2017)

Según Thiers (2014) concluye que la respuesta en superficie durante el sismo depende principalmente de la profundidad del basamento rocoso y la rigidez del suelo sobre él, también menciona que el diseño sísmico constituye un problema de desplazamientos y no de resistencia, fallando de forma frágil cuando sus desplazamientos son del orden de 0,5–1%, sin embargo, la resistencia puede favorecer en alejarse de los periodos del suelo.

Cabe mencionar que la norma NCh 433 Of. 96 modificada por el decreto supremo 61, clasifica el suelo según su velocidad de onda los primeros 30 m, sin importar si el basamento rocoso se encuentra a 40 o 100 metros, lo que incurre en un error proporcional a la profundidad real del basamento rocoso, debido a la inexistente caracterización de ese tramo.

Sé observo que en los edificios previamente estudiados no existen anomalías en sus primeros 30–40 metros estudiados. Existe una relación importante entre el período fundamental del suelo y

el período de los edificios, se pudo observar que los edificios de mayor altura fallaron en ubicaciones con mayor período del suelo y por otro lado los edificios más bajos fallaron en ubicaciones con períodos menores.

7 ANÁLISIS JERÁRQUICO

El Proceso Análítico Jerárquico (PAJ siglas en inglés AHP), introducido por Thomas Saaty (1980), es una herramienta efectiva para resolver complejas decisiones. Se basa en que se puede reducir la complejidad de una decisión al descomponerla en pares de variables, para luego sintetizar los resultados, ayuda a capturar tanto los aspectos objetivos y subjetivos presentes en la decisión. Además posee una técnica de control de la consistencia, reduciendo el sesgo de la herramienta que evalúa las decisiones.

Existen 5 variables que se consideraron como los más relevantes para el riesgo geotécnico del plan de Viña del Mar, estos se pueden combinar de 120 maneras posibles, por lo que se establecieron criterios de ingeniería para definir la importancia relativa de cada parámetro con el peso que se le asignó para el mapa final.

7.1 Implementación PAJ

Para realizar una decisión en forma organizada se deben seguir los siguientes pasos según Saaty (2008):

- 1) Definir el problema en forma clara y determinar el tipo de conocimiento buscado.
- 2) Estructurar la jerarquía para las variables considerando el objetivo en estudio.
- 3) Realizar un análisis entre los distintos elementos que componen la toma de decisión mediante el uso de matrices de comparación.
- 4) Usar las prioridades obtenidas de la comparación anteriormente realizada y asignar pesos a las distintas variables y sus correspondientes subcategorías.

Para hacer la comparación, se necesita una escala de números que indican que tantas veces más importante o dominante es un elemento sobre otro con respecto al criterio o la propiedad que se está comparando, esta escala se encuentra en la tabla 7.1.

Tabla 7.1: Escala de asignación de importancia comparativa

Fuente: (Saaty, 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 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 consideradas son las siguientes:

- **FAsat y FAnosat:** Factor de amplificación saturada y no saturada [–]
- **Z:** Profundidad basamento rocoso [m]
- **T:** Período fundamenta del suelo [s]
- **I:** Intensidad MKS
- **LPI:** Índice de potencial licuefacción [–]

Se comienza generando una matriz de comparación A . La matriz A es $n \times n$ matriz real, m es el número de evaluación del criterio considerado. Cada a_{jk} de la matriz A representa la

importancia relativa del criterio j th sobre k th. Si $a_{jk} > 1$, entonces el criterio j th es más importante que el criterio k th, mientras que $a_{jk} < 1$, entonces criterio k th es más importante. Si los criterios poseen la misma importancia, entonces a_{jk} es igual a 1 (al igual que a_{jj}). Los elementos a_{jk} and a_{kj} poseen la misma restricción:

$$a_{jk} * a_{kj} = 1$$

$$A = [a_{ij}] = \begin{pmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1j} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & & a_{2j} & & a_{2n} \\ \vdots & & \ddots & & & \vdots \\ 1/a_{1j} & 1/a_{2j} & \dots & 1 & & a_{in} \\ \vdots & & & & \ddots & \vdots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \dots & 1/a_{in} & \dots & 1 \end{pmatrix}$$

Una de las ventajas de este método es que permite revisar la consistencia de dicha matriz a través del cálculo de sus vectores propios, mediante un índice de consistencia (CI). Además, de una razón de consistencia (CR) que corresponde al cociente entre CI y un índice aleatorio (Tabla 7.2), CR debe ser menor a 0,1 en caso contrario se debe mejorar la consistencia.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

$$CR = \frac{CI}{RI} < 0,1$$

Tabla 7.2: Valores de índice aleatorio (IA) para pequeños problemas

Fuente: Elaboración Propia

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,51

7.2 Desarrollo análisis PAJ

Se realiza una jerarquía entre los criterios y las alternativas, en este caso las alternativas corresponden al orden de las variables determinado por cierto criterio. Los criterios elegidos son los siguientes:

- Criterio 1: Dependencia de variables
- Criterio 2: Daño observado
- Criterio 3: Escenario intermedio 1
- Criterio 4: Escenario intermedio 2
- Criterio 5: Escenario intermedio 3

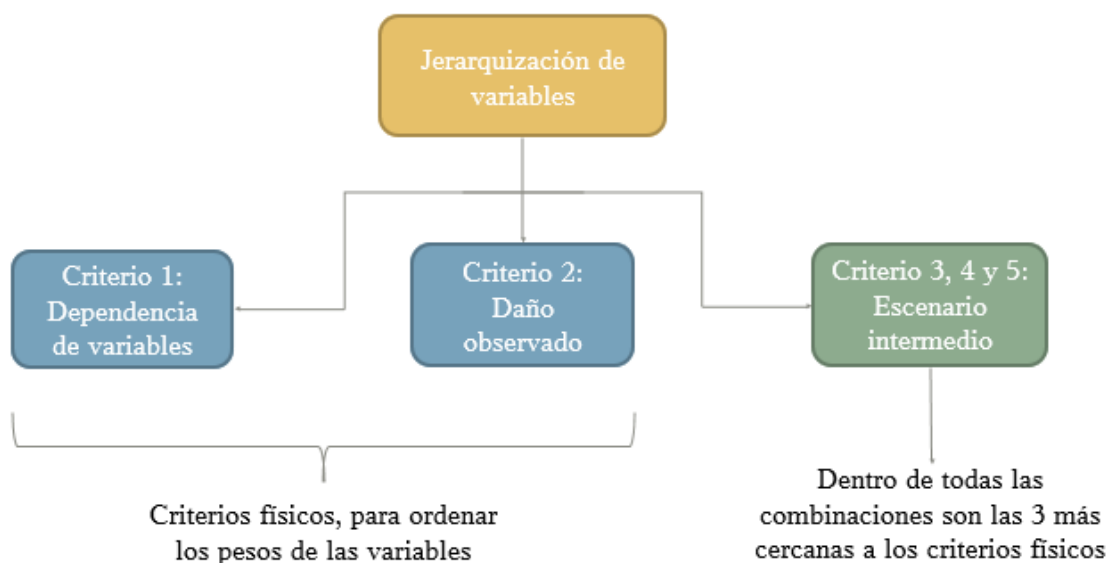


Figura 7.1: Esquema criterios PAJ utilizados

La dependencia de las variables es un tema relevante en la aplicación de este método, debido a que es un método que basa su hipótesis en que las variables son independientes, por ello en este caso se considero como el primer criterio. El criterio 2 es claro debido al objetivo de este trabajo que es establecer el riesgo en el plan de Viña del Mar.

7.2.1 Criterio 1: Dependencia de las variables

Tabla 7.3: Matriz de comparación criterio 1

	FA	I	PLI	Z	T	Matriz normalizada					Ponderación
FA	1	3	5	7	9	0,6	0,6	0,5	0,4	0,4	0,503
I	0,3	1,0	3,0	5,0	7	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,260
PLI	0,2	0,3	1,0	3,0	5	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,134
Z	0,1	0,2	0,3	1,0	3	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,068
T	0,1	0,1	0,2	0,3	1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,035
Total	1,8	4,7	9,5	16,3	25						

Tabla 7.4: Comprobación consistencia criterio 1

AxP		
2,74	λ máx	5,37
1,41	CI	0,09
0,70	RI	1,19
0,34	CR	0,08
0,18	CR < 0,1	Si

7.2.2 Criterio 2: Daño observado

Tabla 7.5: Matriz de comparación criterio 2

	FA	I	PLI	Z	T	Matriz normalizada					Ponderación
FA	1,0	0,3	3,0	0,2	0,2	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,075
I	3,0	1,0	5,0	0,2	0,3	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,139
PLI	0,3	0,2	1,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,035
Z	5,0	5,0	9,0	1,0	3,0	0,3	0,5	0,4	0,5	0,6	0,483
T	5,0	3,0	7,0	0,3	1,0	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,268
Total	14,3	9,5	25,0	1,8	4,7						

Tabla 7.6: Comparación consistencia criterio 2

AxP		
0,377	λ máx	5,42
0,725	CI	0,10
0,180	RI	1,19
2,671	CR	0,09
1,466	CR < 0,1	Sí

7.2.3 Criterio 3: Escenario intermedio 1

Los siguientes 3 criterios son escenarios intermedios de jerarquización de los criterios 1 y 2, debido a que ambos no son independientes entre sí. Es decir, del total de posibilidades se consideraron 3 situaciones aleatorias extras (cercanas a los criterios físicos), con el objetivo de no perder información de la relación que existe en importancia de las variables.

Tabla 7.7: Matriz de comparación criterio 3

	FA	I	PLI	Z	T	Matriz normalizada					Ponderación
FA	1	3	7	5	9	0,6	0,6	0,4	0,5	0,4	0,503
I	0,33	1	5	3	7	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,260
PLI	0,14	0,20	1	0,33	3	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,068
Z	0,20	0,33	3	1	5	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0,134
T	0,11	0,14	0,33	0,2	1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,035
Total	1,79	4,68	16,333	9,53	25						

Tabla 7.8: Comprobación consistencia criterio 3

AxP		
2,743	λ máx	5,374
1,414	CI	0,093
0,341	RI	1,188
0,699	CR	0,079
0,177	CR<0,1	Sí

7.2.4 Criterio 4: Escenario intermedio 2

Tabla 7.9: Matriz de comparación criterio 4

	FA	I	PLI	Z	T	Matriz normalizada					Ponderación
FA	1	7	5	3	9	0,56	0,43	0,52	0,64	0,4	0,503
I	0,14	1	0,33	0,2	3	0,08	0,06	0,03	0,04	0,1	0,068
PLI	0,20	3	1	0,33	5	0,112	0,18	0,1	0,07	0,2	0,134
Z	0,33	5	3	1	7	0,187	0,31	0,31	0,21	0,3	0,260
T	0,11	0,33	0,2	0,14	1	0,062	0,02	0,02	0,03	0	0,035
Total	1,79	16,33	9,53	4,68	25						

Tabla 7.10: Comprobación consistencia criterio 4

AxP		
2,743	λ máx	5,374
0,341	CI	0,093
0,699	RI	1,188
1,414	CR	0,0787
0,177	CR<0,1	Sí

7.2.5 Criterio 5: Escenario intermedio 3

Tabla 7.11: Matriz de comparación criterio 5

	FA	I	PLI	Z	T	Matriz normalizada					Ponderación
FA	1	3	5	0,20	0,33	0,10	0,18	0,20	0,11	0,07	0,134
I	0,333	1	3	0,14	0,20	0,03	0,06	0,12	0,08	0,04	0,068
PLI	0,2	0,33	1	0,11	0,14	0,02	0,02	0,04	0,06	0,03	0,035
Z	5	7	9	1	3	0,52	0,43	0,36	0,56	0,64	0,503
T	3	5	7	0,33	1	0,31	0,31	0,28	0,19	0,21	0,260
Total	9,53	16,33	25,00	1,79	4,68						

Tabla 7.12: Comprobación de consistencia criterio 5

AxP		
0,699	λ máx	5,37
0,341	CI	0,09
0,177	RI	1,19
2,743	CR	0,08
1,414	CR<0,1	Sí

7.2.6 Ponderaciones utilizadas

De los resultados anteriormente calculados se puede asignar pesos a cada criterio de manera independiente, estas fueron las siguientes:

- *Ponderación 1:* Todos los criterios poseen el mismo peso, debido a que la importancia de cada variable se evalúa considera implícitamente al realizar sólo 5 combinaciones relacionadas a los criterios de dependencia de las variables y el daño.

- *Ponderación 2:* Se le asigno un mayor peso a los criterios 1 y 2 que al resto de los criterios
- *Ponderación 3:* Se les asignaron pesos de manera decreciente a cada criterio, considerando el orden numérico como su importancia de jerarquía.

Obteniendo con cada ponderación su priorización correspondiente.

Tabla 7.13: Pesos asignados por variables

Variables	Criterios					Priorización 1	Priorización 2	Priorización 3
	1	2	3	4	5			
FA	0,503	0,075	0,503	0,503	0,134	0,344	0,316	0,359
I	0,260	0,139	0,260	0,068	0,068	0,159	0,179	0,182
PLI	0,134	0,035	0,068	0,134	0,035	0,081	0,083	0,086
Z	0,068	0,483	0,134	0,260	0,503	0,290	0,283	0,257
T	0,035	0,268	0,035	0,035	0,260	0,126	0,139	0,116
Ponderación 1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2			
Ponderación 2	0,35	0,35	0,1	0,1	0,1			
Ponderación 3	0,3	0,25	0,2	0,15	0,1			

Se puede observar en todas las priorizaciones que el orden decreciente de pesos de las variables es: FA, Z, I, T y PLI; que no corresponde a ningún criterio aplicado previamente, además de ser de pesos similares para cada variable. La priorización que se utilizo fue la número 2, por considerar los criterios 1 y 2 como los más importantes.

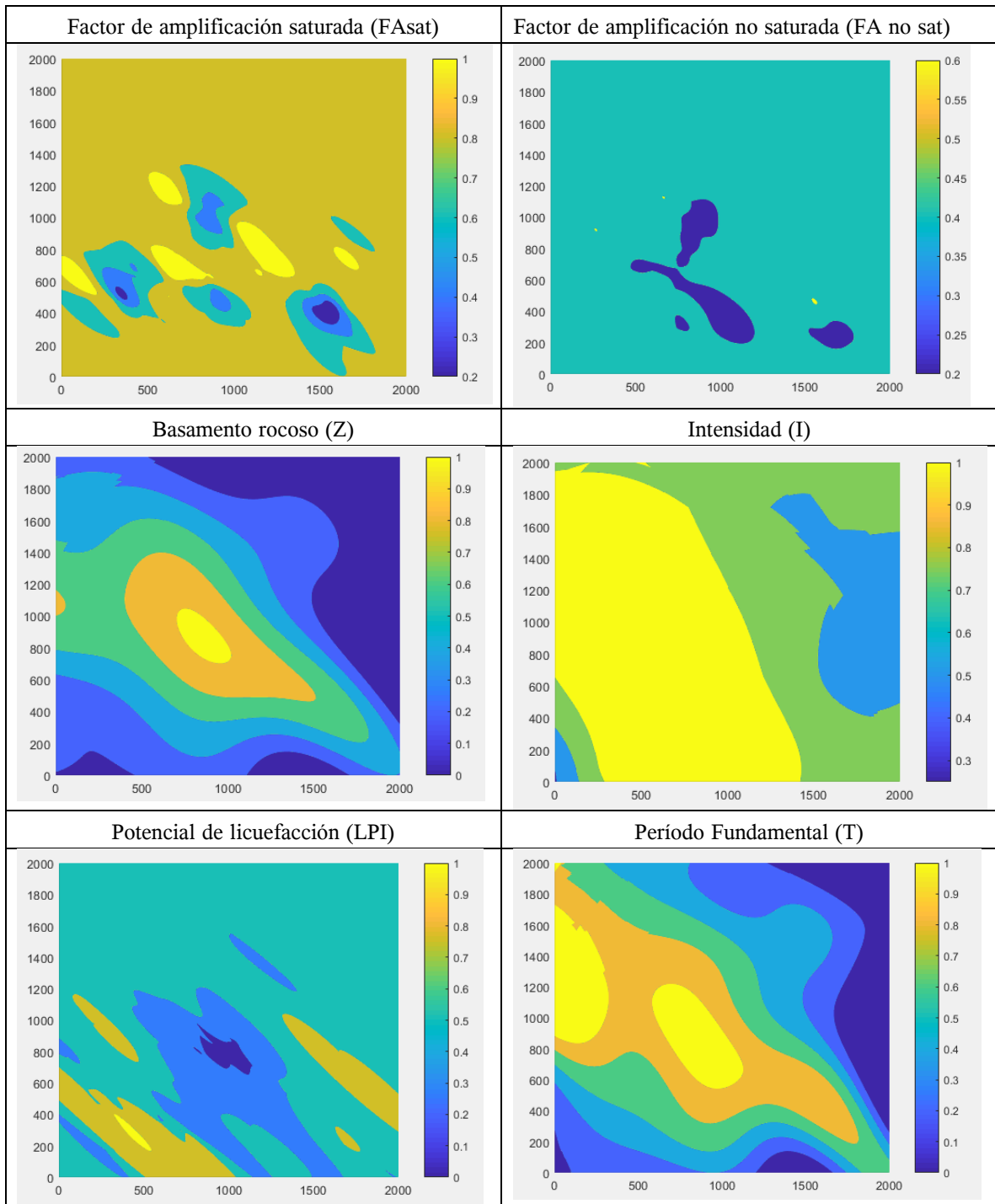
En la generación del mapa de riesgo geotécnico se categorizaron en rangos los valores que puede tomar las diferentes variables. Para más exactitud de los resultados se utilizó la misma grilla de la geoestadística de 1 m x 1 m en todo el dominio, lo que asegura que todos los puntos del dominio posean información de todas las variables, esto se realizó en MATLAB, debido a que el SGEMS no lo permite. A continuación, se presenta la tabla 7.14 que establece la normalización de los rangos, en ella se establece que 0 no genera riesgo de esa variable, en cambio 1 es el mayor riesgo que puede generar la variable.

Tabla 7.14: Normalización variables en estudio

Variable	Categoría	Valores	Normalización	Peso
FA	1	[1 – 1,6]	0	0,316
	2	]1,6 – 2,2]	0,2
	3	]2,2 – 2,8]	0,4
	4	]2,8 – 3,4]	0,6
	5	]3,4 – 4]	0,8
	6	>4	1	
Z	1	≤30	0	0,283
	2	]30 – 50]	0,2
	3	]50 – 70]	0,4
	4	]70 – 90]	0,6
	5	]90– 110]	0,8
	6	>110	1	
I	1	[6 – 6,4[0	0,179
	2	[6,4 – 6,6]	0,25	
	3	]6,6 – 6,8]	0,5
	4	]6,8 – 7]	0,75
	5	>7	1	
T	1	≤0,2	0	0,139
	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	1	
LPI	1	0	0	0,083
	2	]0 – 2]	0,25
	3	]2 – 5]	0,5
	4	]5 – 15]	0,75
	5	>15	1	

Los correspondientes mapas en colores por tramos, se adjuntan a continuación, otro aspecto a mencionar es que los tramos definidos para el factor de amplificación saturada y no saturada fueron los mismo, sin embargo, esta última posee un rango muy pequeño que solo manifiesta 2 colores.

Tabla 7.15: Mapas temáticos variables



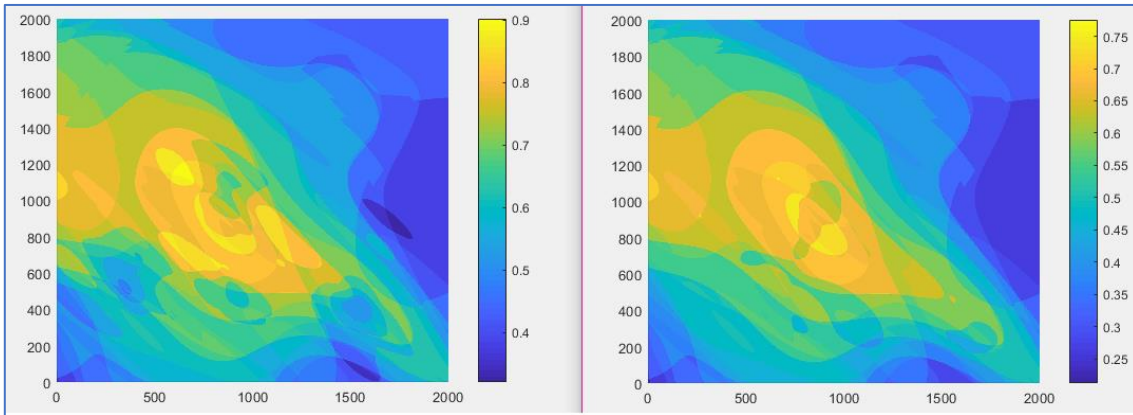


Figura 7.2: Resultados priorización 2 (MATLAB)

En la Fig.7.1 anterior se puede observar el escenario saturado (izquierda) y la situación no saturada (derecha), se puede observar que los resultados son muy similares, por lo que se consideró la variable que aumenta el riesgo, en este caso es el factor de amplificación saturada. Teniendo 2 propuestas de zonificación:

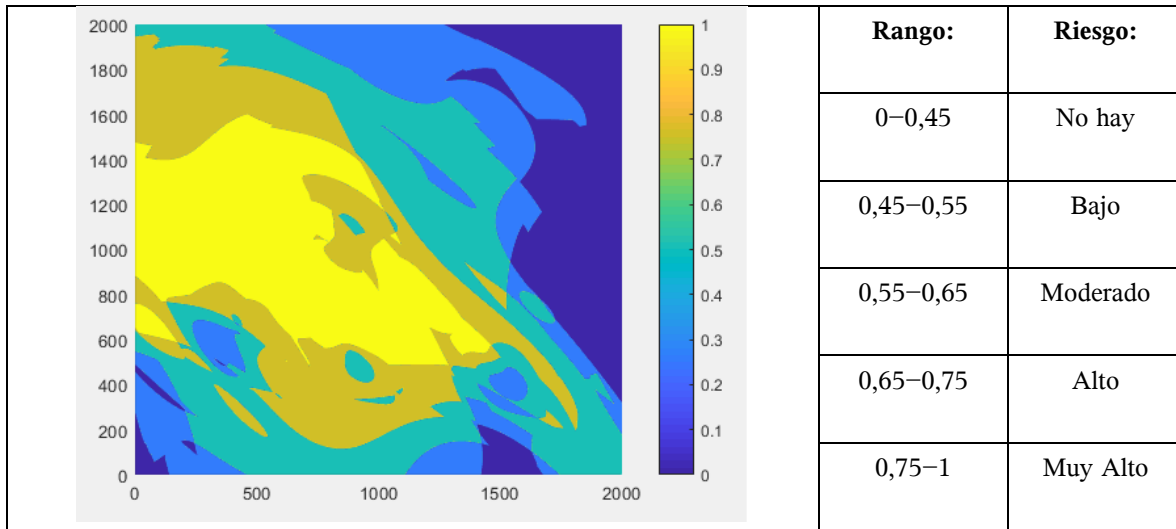


Figura 7.3: Zonificación en 5 tramos

Esta zonificación no fue la elegida debido a que se desea realizar un análisis más conservador, por lo que se combinaron el riesgo alto y muy alto y sólo se dejó el riesgo alto, a continuación, se tiene el resultado:

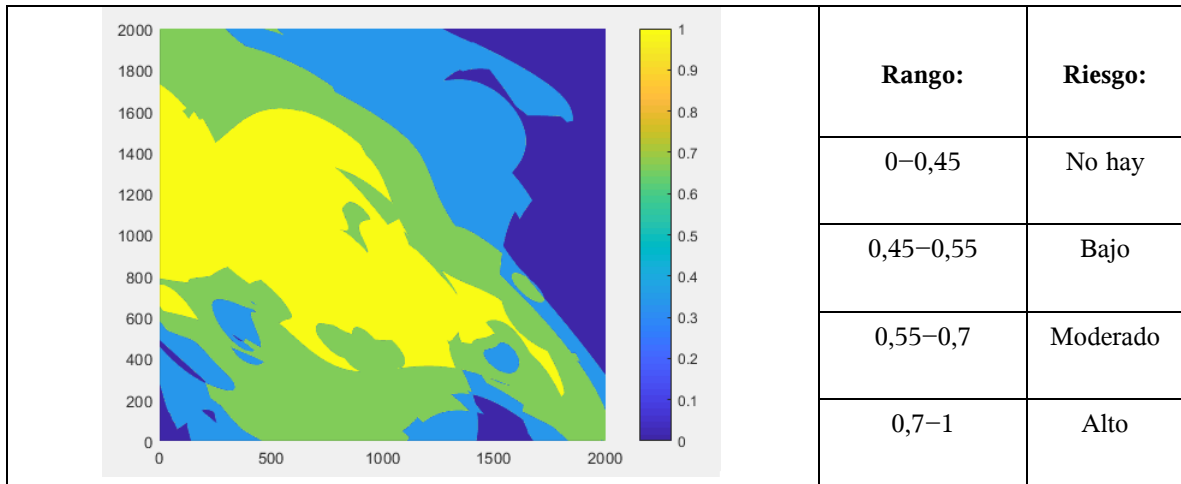


Figura 7.4: Zonificación propuesta

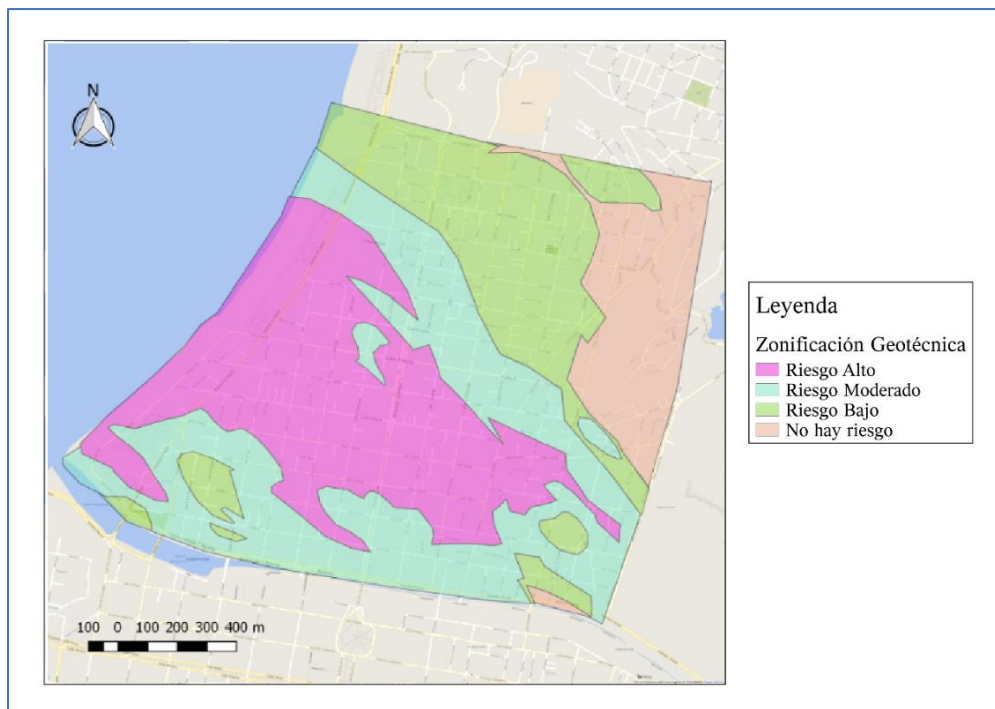


Figura 7.5: Zonificación propuesta plan de Viña del Mar

Se sabe que la necesidad de generar un mapa de riesgo geotécnico proviene de la amenaza sísmica constante que existe en nuestro país, se poseen antecedentes de la zona en estudio que nos permiten caracterizar la vulnerabilidad global del lugar. Superponiendo estos antecedentes, se obtiene la siguiente figura:

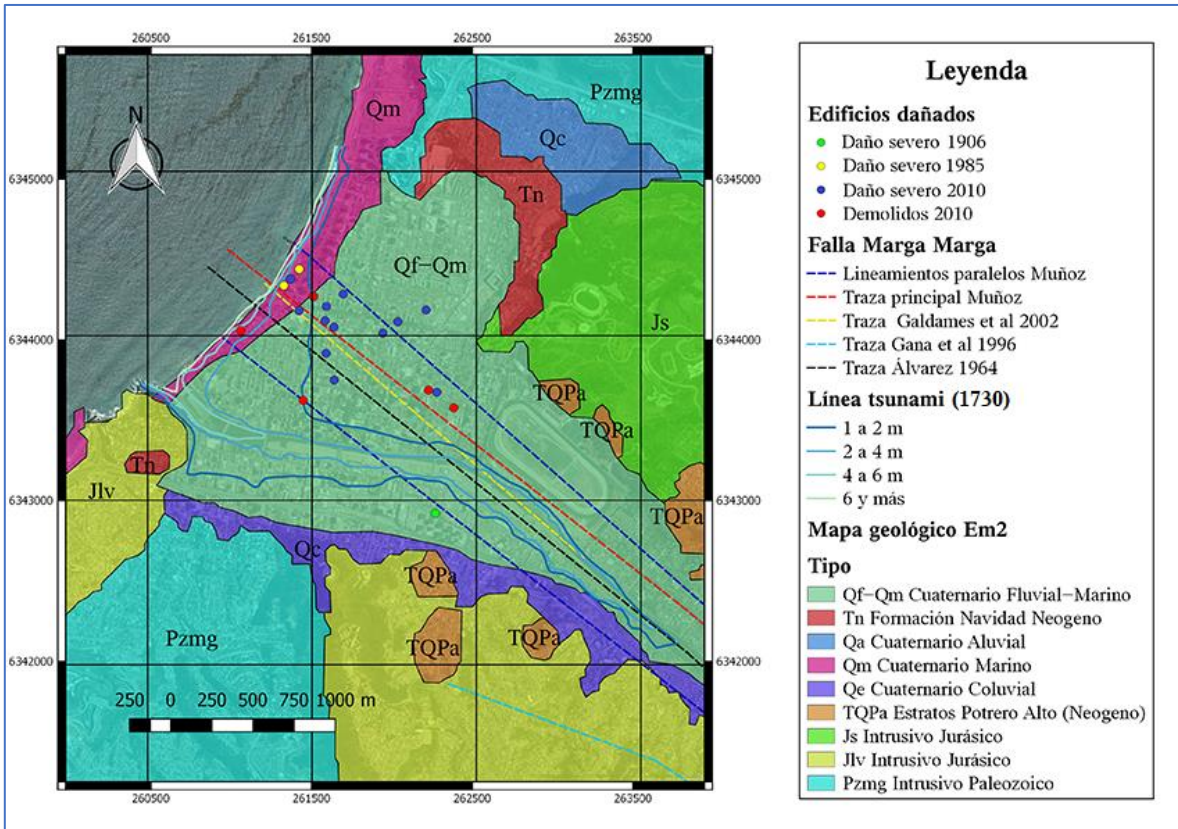


Figura 7.6: Vulnerabilidad zona de estudio

Fuente: Elaboración Propia

Finalmente, a la zonificación propuesta en la Figura 7.4, se agregaron los edificios dañados y la falla del Marga–Marga, para observar con mayor facilidad la coherencia de los resultados. Obteniendo lo siguiente:

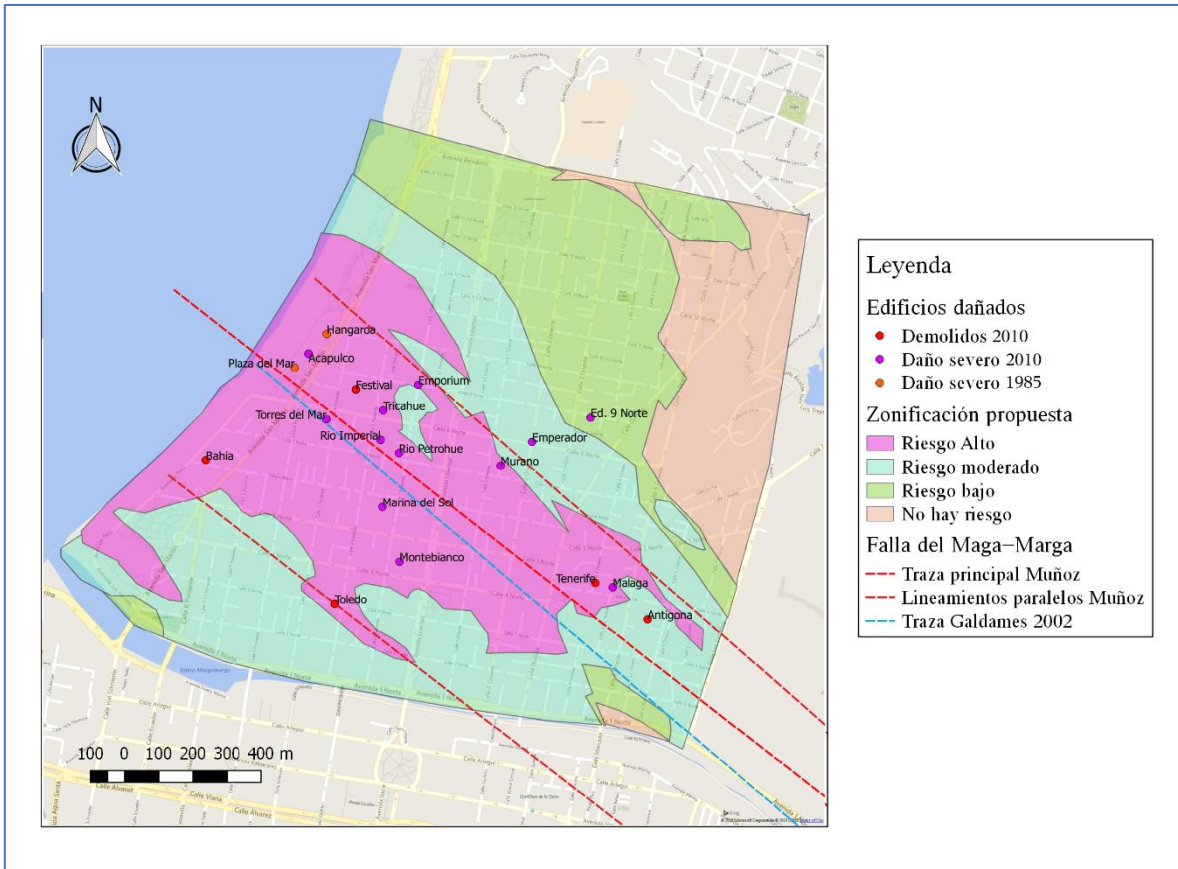


Figura 7.7: Zonificación con edificios dañados y falla del Marga-Marga

El resultado es excelente, sólo 3 edificios (de 19) no se encuentran en la zona de alto riesgo, esta zona se encuentra delimitada por la franja de la falla del Marga-Marga. Las recomendaciones que se hacen son las siguientes:

- **Riesgo Alto:** No recomendado para asentamientos, ni infraestructura crítica debido a que requiere mayor investigación geotécnica.
- **Riesgo Moderado:** Asentamiento provisional o normal dependiendo de los antecedentes del lugar en específico.
- **Riesgo bajo o inexistente:** Urbanizaciones normales.

8 DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El resultado obtenido de la zonificación fue bastante satisfactorio, en relación a los sectores de mayor vulnerabilidad definidos en la Figura 7.6 es preocupante que la zona de alto riesgo posee bastante infraestructura crítica, lo que debería ser regulado por una correcta planificación urbana. Se puede observar que la zona de alto riesgo se encuentra dentro de la franja de falla del Marga–Marga, lo que representa la mayor problemática de la zona en estudio, la falla en profundidad puede ser la variable más importante que condiciona el mal comportamiento de la zona. Existe también una problemática con la exigencia de estudios de geotécnica sólo en los primeros 30 m, siendo para la zona estudiada y en particular los edificios dañados, todo normal los primeros 40 m. Existen muchas zonas con una profundidad mucho mayor a 30 m, lo que genera gran incertidumbre en la caracterización del suelo de unos de 80 m de espesor, según el basamento rocoso estimado más profundo.

Los edificios dañados poseen una estrecha relación con el período fundamental del suelo, el período del edificio es un valor determinado en base a su rigidez y masa del edificio, por lo que los edificios altos poseen mayor período de los de menor altura. Los edificios fallan debido a que sufren grandes desplazamientos durante el sismo, incursionando en su rango no lineal, para disipar energía. Con el método de Nakamura aplicado por diversos autores, se conocen los períodos fundamentales del suelo del plan de Viña del Mar, por lo que existe información que permite emplazar los edificios en los lugares adecuados, además de que en la actualidad existen tecnología innovadora como los aisladores sísmicos que proporcionan una solución para los nuevos edificios.

Si bien la geoestadística es un tipo de interpolación suave, donde en los valores muy variables puede tener errores, se obtuvieron resultados adecuados en todas las validaciones cruzadas (Anexo C) para todos los parámetros, además de que el objetivo de este estudio fue definir zonas de riesgo y para poder ponderar cada variable fue una buena herramienta el método de Kriging que permitió establecer una anisotropía en dirección de la falla del Marga–Marga incorporando esta característica del terreno de manera directa.

El basamento rocoso estimado por el método de Nakamura en conjunto con la información de prospecciones en que se combinaron e interpolaron con geoestadística es una información de gran importancia debido a que al conocerla se tiene con claridad el sesgo que existe en las caracterizaciones de suelo, por lo tanto, para tema de riesgo geotécnico.

Finalmente se puede decir que no existen problemas geotécnicos en los primeros 30 m, pero si la presencia de la falla en profundidad puede controlar la vulnerabilidad de la zona. Otro aspecto a mencionar es que para el sismo utilizado $a_{\max}/g=0,34$; la zona en estudio casi no licua, algo que puede cambiar si el escenario sísmico es más violento.

9 BIBLIOGRAFÍA

- Astroza, I., & Monge, E. (1989). *Aumento de Intensidades según características geológicas de los suelos de fundación, Sismo del 3 de Marzo de 1985*. Santiago: AUCH, 5ta serie, N°21.
- Baquedano, F., Leyton, F., & Sepúlveda, S. (2012). *Frecuencia predominante de los suelos de Valparaíso–Viña del Mar y propuesta de Microzonificación preliminar*. VII Congreso Chileno de Geotecnia.
- Bugueño, P. (2018). *Sistema de evacuación vertical por tsunami*.
- Bustos, I. (2017). *Aportes para una nueva zonificación geotécnica de Viña del Mar: Estimación del potencial de licuefacción en la cuenca de Marga – Marga*. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, UTFSM.
- Carrasco, O., & Núñez, C. (2013). *Microzonificación sísmica de la ciudad de Viña del Mar*.
- Das, B. M. (2013). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, 4ta Edición*.
- De Vidts, D. (2015). *2.4. Microzonificación geotécnica: Sector Poniente de Población Vergara, Viña del Mar–Chile*.
- Dirección de Vialidad. (2014). *Manual de Carreteras, Volumen N°2: Procedimientos de Estudios Viales*. Ministerio de Obras Públicas, Gobierno de Chile.
- Errázuriz, J. (2012). *Microzonificaciones sísmicas en ciudades del mundo y discusión sobre la aplicabilidad en la ciudad de Santiago*. Tesis para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad de Chile, FCFM.
- Gana, P., Wall, R., & Gutiérrez, A. (1996). *Mapa geológico del área de Valparaíso–Curacaví*. SERNAGEOMIN.
- Grimme, K., & Álvarez, L. (1964). *El suelo de fundación de Valparaíso y Viña del Mar*. Instituto de Investigaciones Geológicas, Boletín N°16.
- Kolat, C., Ulusay, R., & Suzen, M. L. (2012). Development of geotechnical microzonation model for Yenisehir (Bursa, Turkey) located at a seismically active region. *Engineering Geology*, 36–53.
- Kramer, S., & Stewart, J. (2004). *Geotechnical Aspects of Seismic Hazards*.

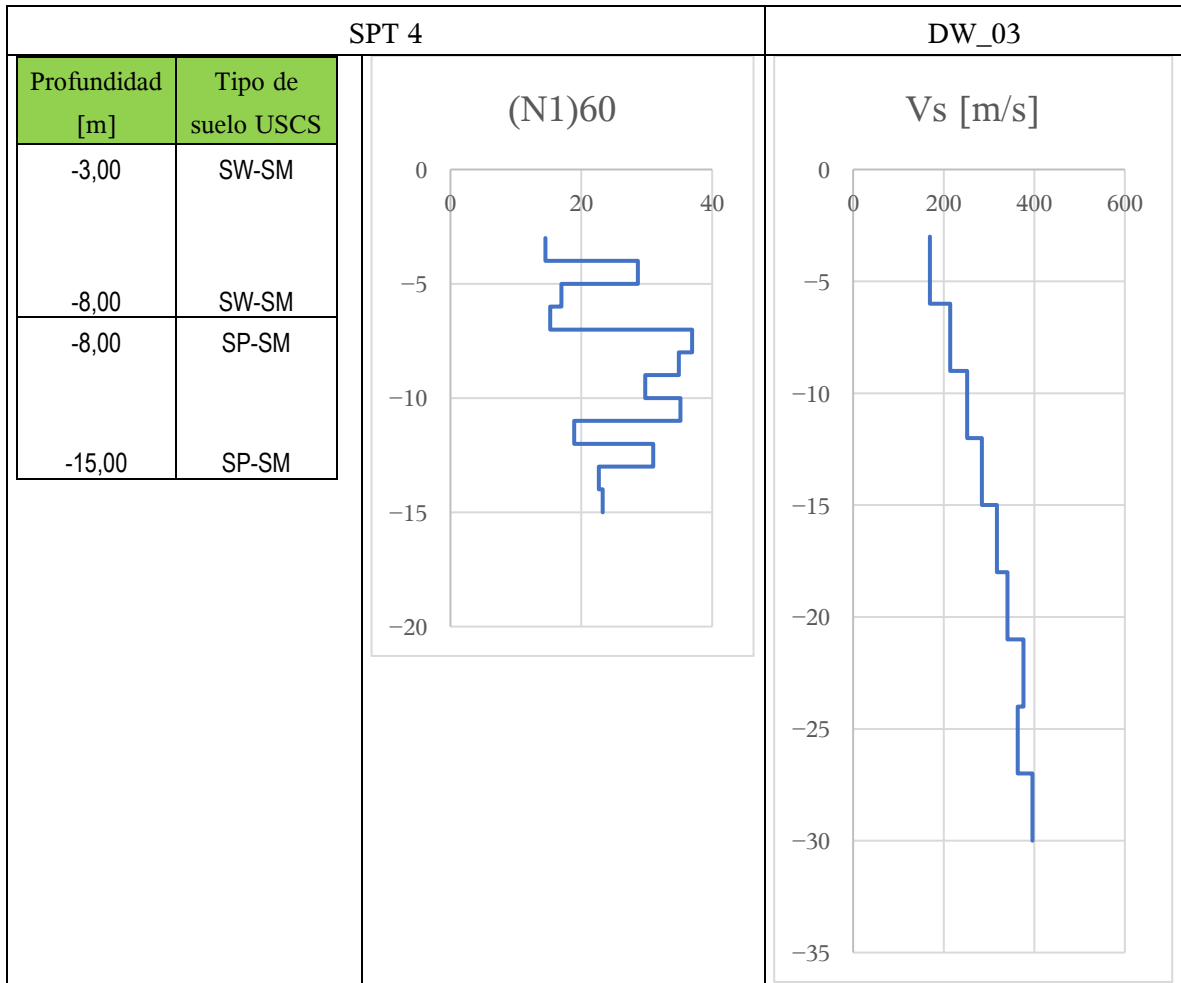
- Lépez, L., Wall, R., & Prat, M. (2005). *Peligro de remociones en masa e inundaciones de las ciudades de Valparaíso, Viña del Mar y Con-Con*. Región de Valparaíso: SERNAGEOMIN.
- Madariaga, R. (1998). Sismicidad de Chile. *Física de la Tierra*.
- Monge, J., & Astroza, M. (1989). Metodología para determinar el grado de intensidad a partir de los daños. *5° Jornada Chilena de Sismología e Ingeniería Antisísmica*, (págs. 483–492). Santiago, Chile.
- Monge, J., & Astroza, M. (1989). Metodología para determinar el grado de intensidad a partir de los daños. *5° Jornada Chilena de Sismología e Ingeniería Antisísmica* (págs. pp 483–492). Santiago: Vol 1.
- Montalva, G. A., Chávez–Gacia, F. J., Tassra, A., & Jara Weisser, D. M. (2016). Site Effects and Building Damage Characterization in Concepción after the 8.8 Maule Earthquake.
- Muñoz, E. (2013). *Suceptibilidad de remociones en masade respuesta sísmica asociada a fallas mayores en zonas urbanas. Estudio caso Viña del Mar, V Región*. Santiago.
- NCh3364. (2014). *Geotecnia – Ensayo de Penetración Estándar*. Instituto Nacional de Normalización.
- Nishenko, S. (1985). "Sismic Potential for Large and Great Interplate Eartquake along the Chilean and Southern Peruvian Margins of South America: A Quantitative Reappraisal". *Journal of Geophysical Research*.
- Nuñez, O. C. (2013). *Microzonificación sísmica de la ciudad de Viña del Mar*.
- ONEMI. (2009). *Sismo destructivo del 3 Marzo 1985*. División de Protección Civil, Unidad Riesgos de Origen Natural.
- Pereira, D. (2017). *Identificación de características que pudieron haber sido importantes en el desempeño de 20 edificios en Viña del Mar durante el sismo de Chile de 2010*.
- Pérez, P. (2000). *Amplificación Sísmica en suelos y microzonificación de los sectores planos de Viña del Mar y Valparaíso*. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, UTFSM.
- Rodríguez, A., & Gajardo, C. (1906). *La Catástrofe del 16 de Agosto de 1906 en la República de Chile*. Santiago de Chile: Imprenta, litografía y encuadernación Barcelona.

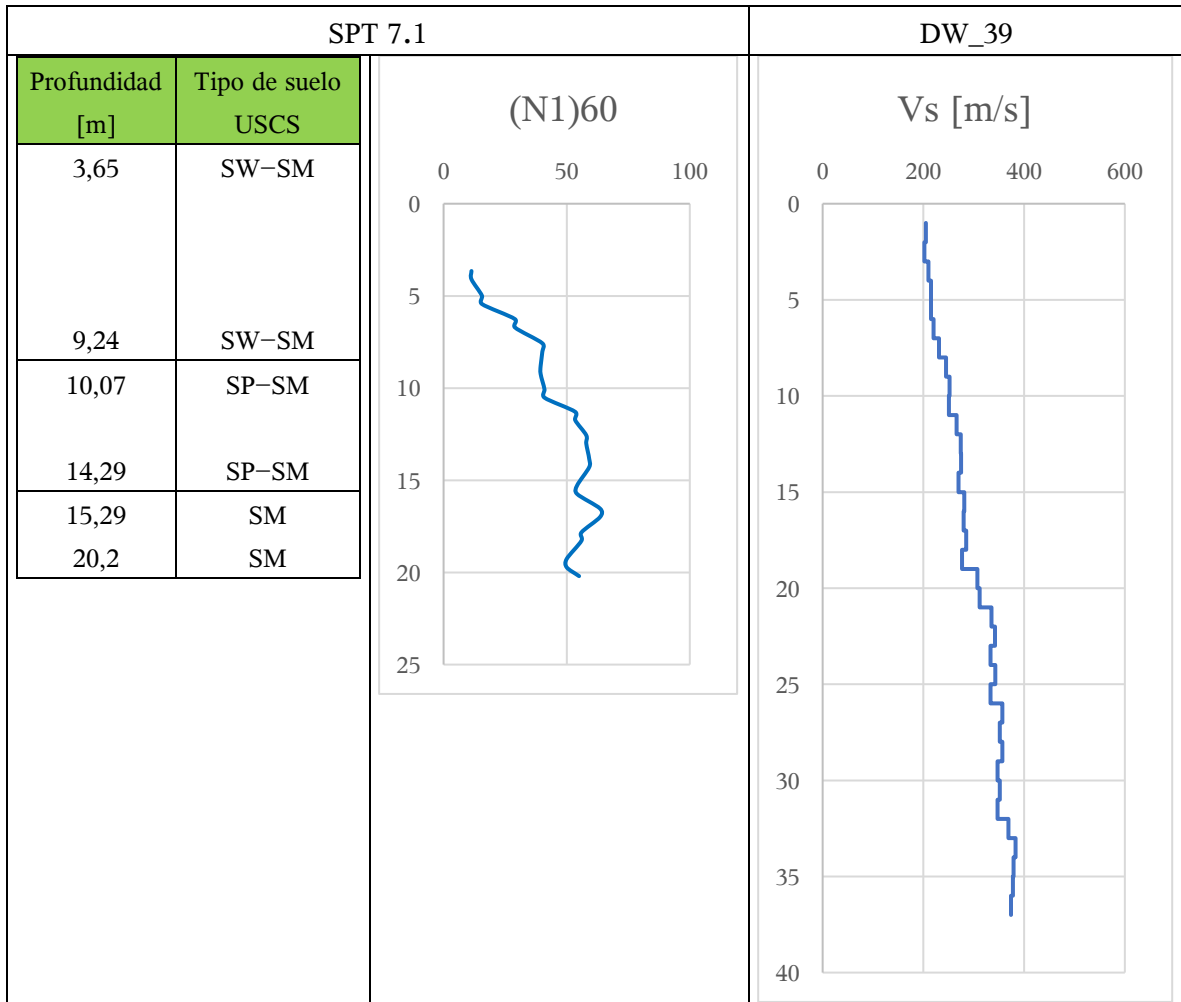
- Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *Int.J. Services Sciences, Vol.1, No 1*, 83–97.
- Saragoni, R. (2011). El mega terremoto del Maule de 2010: una lección de buena ingeniería, pero con sorpresas y nuevos desafíos. *Anales*, 35–36.
- Serafini, F. (2017). *Aportes para una nueva zonificación geotécnica de Viña del Mar: Estimación de la profundidad del basamento rocoso en la cuenca del Marga Marga a partir de mediciones espectrales H/V.*
- Thiers, R. (2014). *Daños en edificios de hormigón armado y su relación con el suelo– terremoto de Chile 2010.*
- Thorson, R. M. (1999). *La Falla 'Marga–Marga' Viña del Mar.*
- Toledo, G. (2017). *Aportes para una nueva zonificación geotécnica de Viña del Mar: Estimación de la amplificación sísmica en la cuenca del Marga–Marga.*
- Tsighe, M., & García, I. (2006). Geogaceta., Propuesta de clasificación geotécnica del "efecto de sitio" (amplificación sísmica) de las formaciones geológicas de la región de Murcia. 39–42.

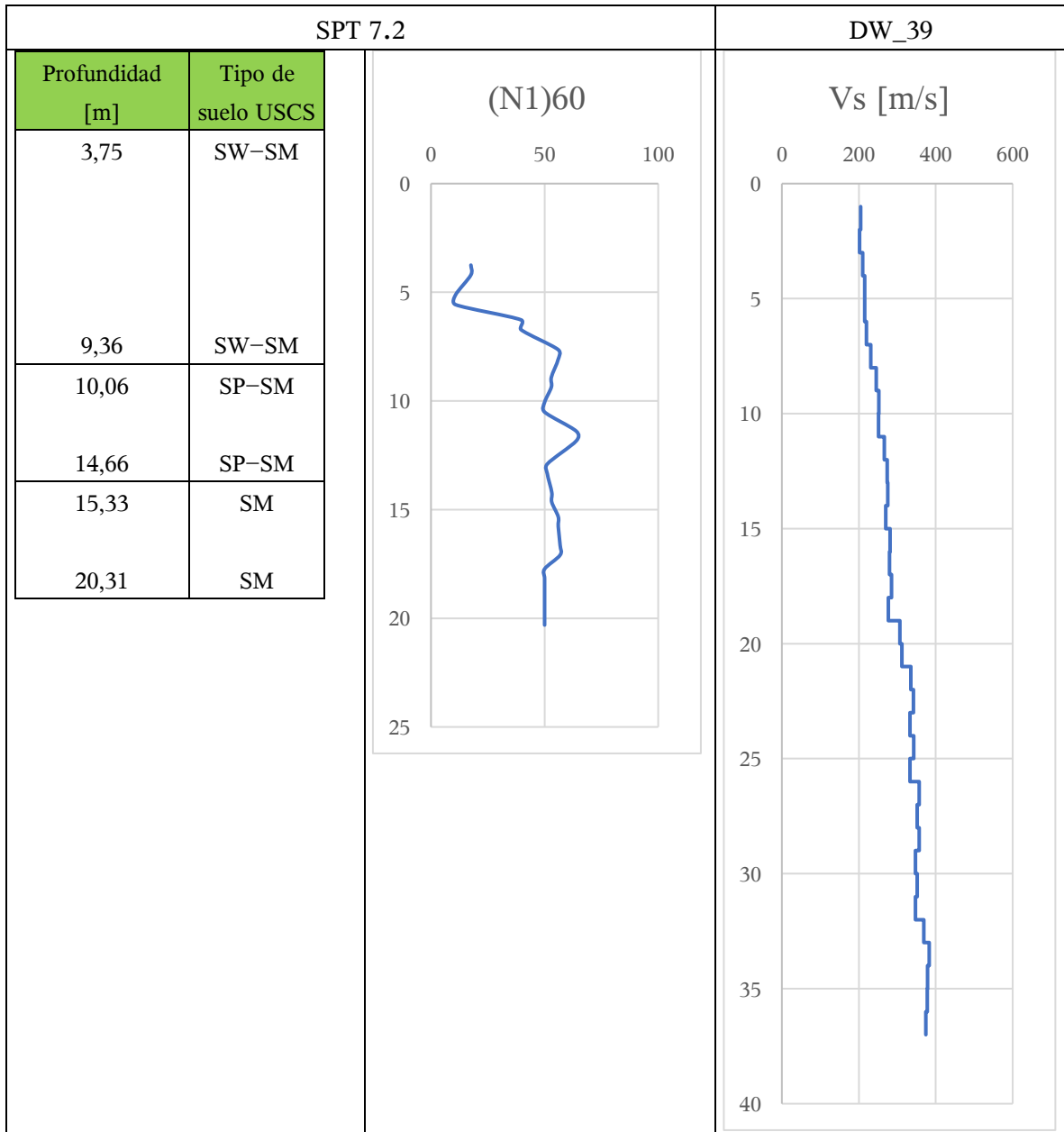
ANEXO A

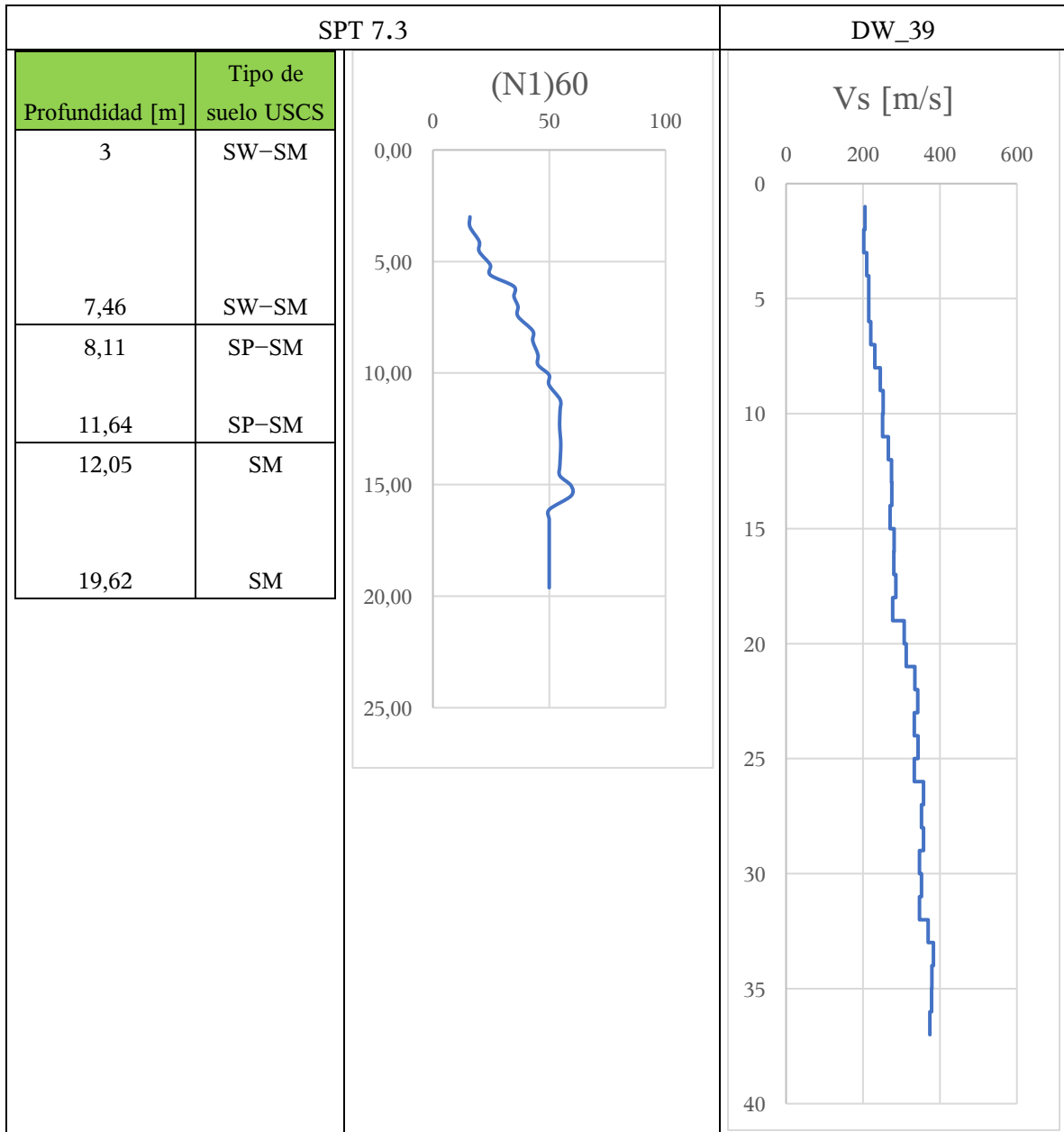


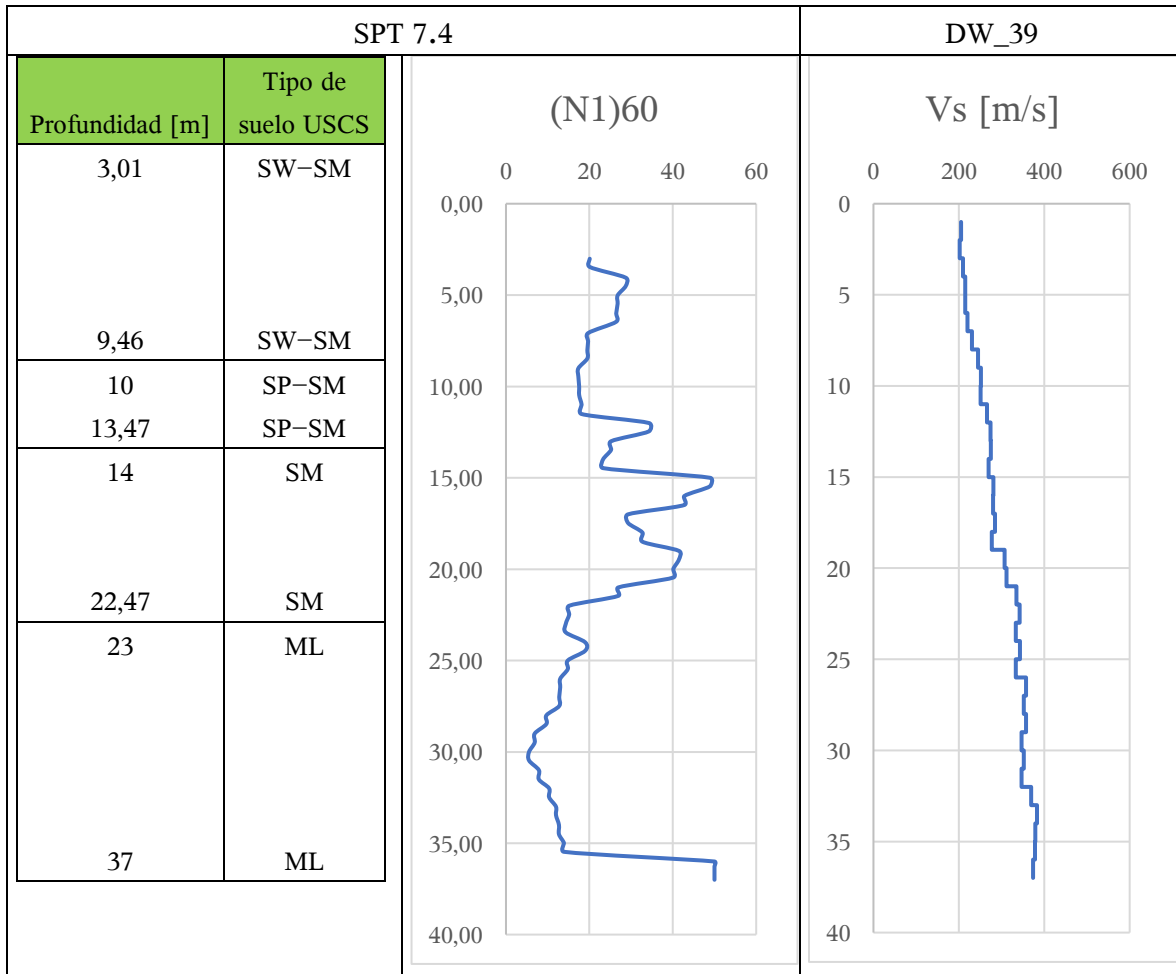
Número Cuadra y SPT	Número Down-Hole	Distancia ensayos [m]
4	3	65,6
7.1	39	58
7.2	39	19,1
7.3	39	42,8
7.4	39	36,1
22	14	15,9
23.1	37	14,5
23.2	37	16,4
23.3	37	32,1
32.1	26	16,8
32.2	36	34
41	32	80,3
48	29	27,8
57	12	81,1
68	24	11,8
74	34	68,6
107.1	21	53,9
107.2	21	32,3
107.3	21	32,5
122	38	38,7
135	17	56,8

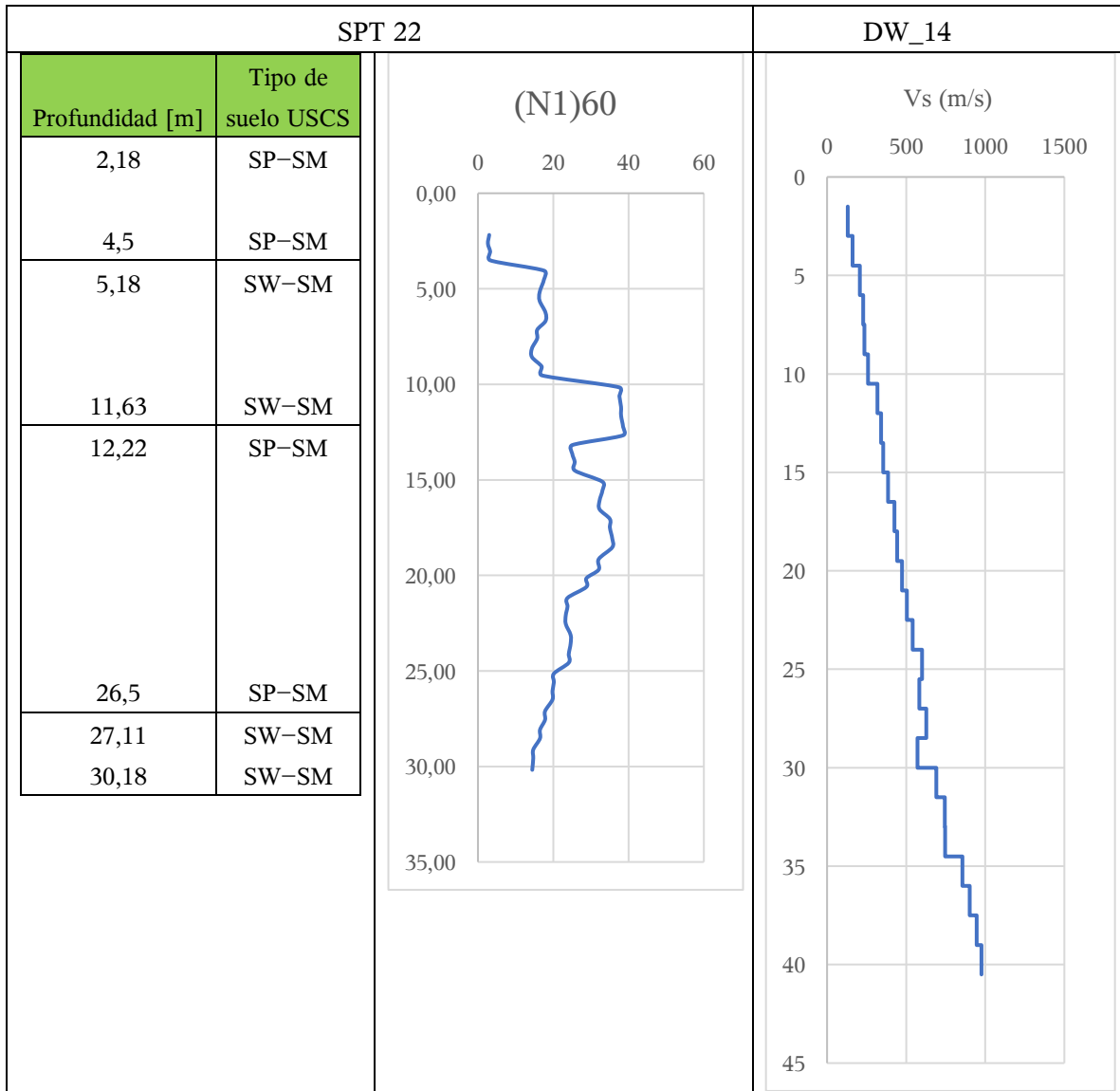


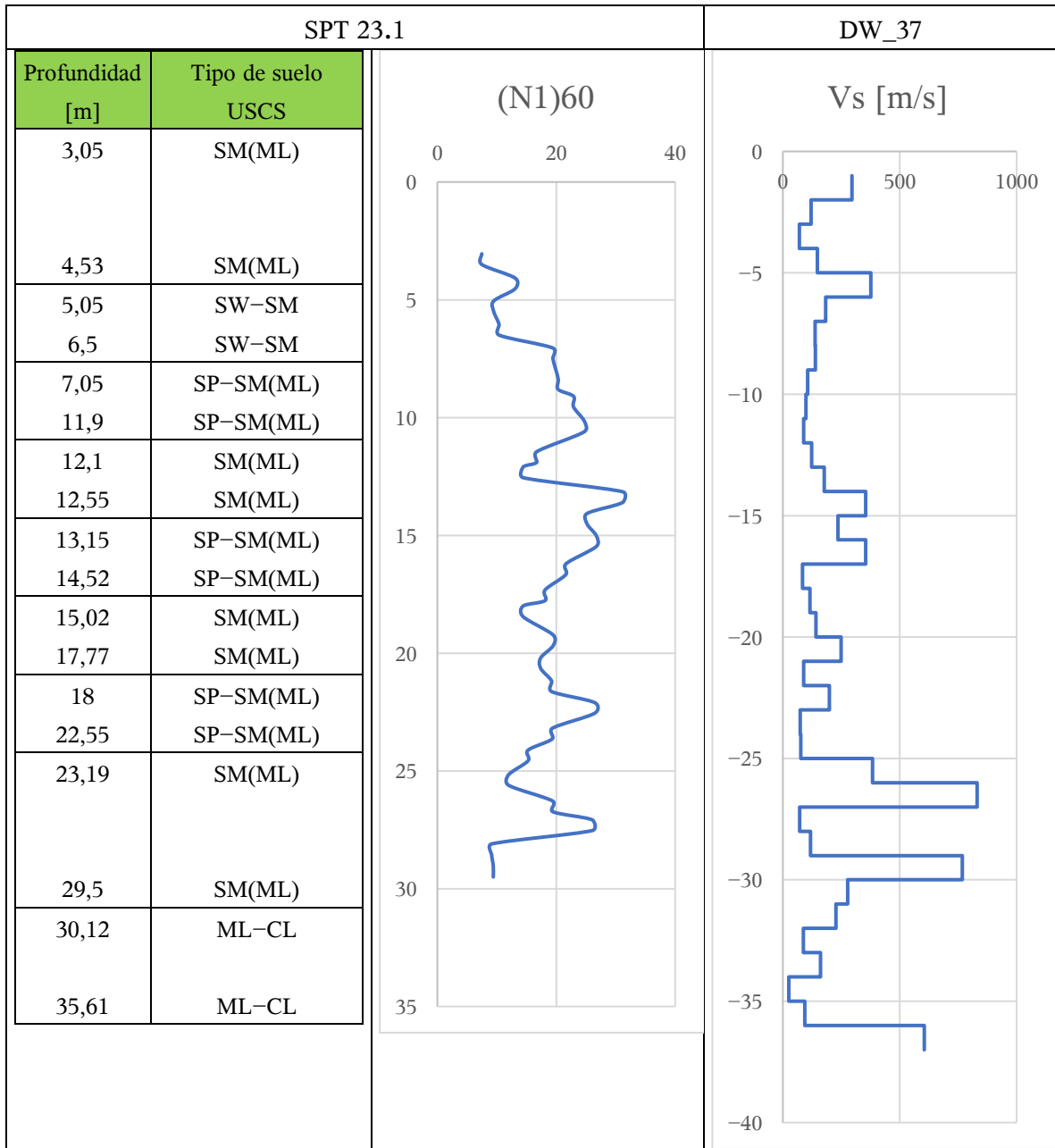


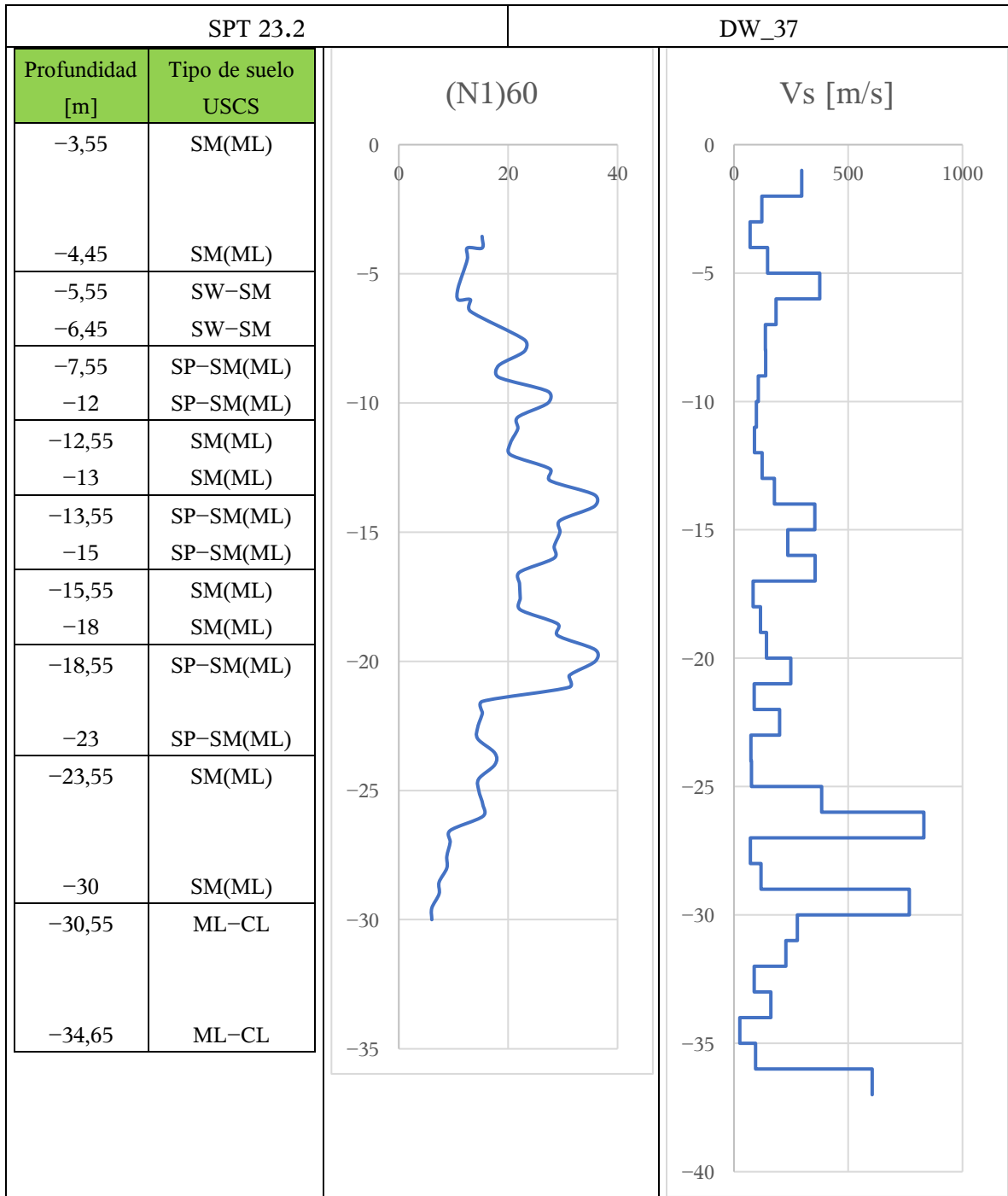


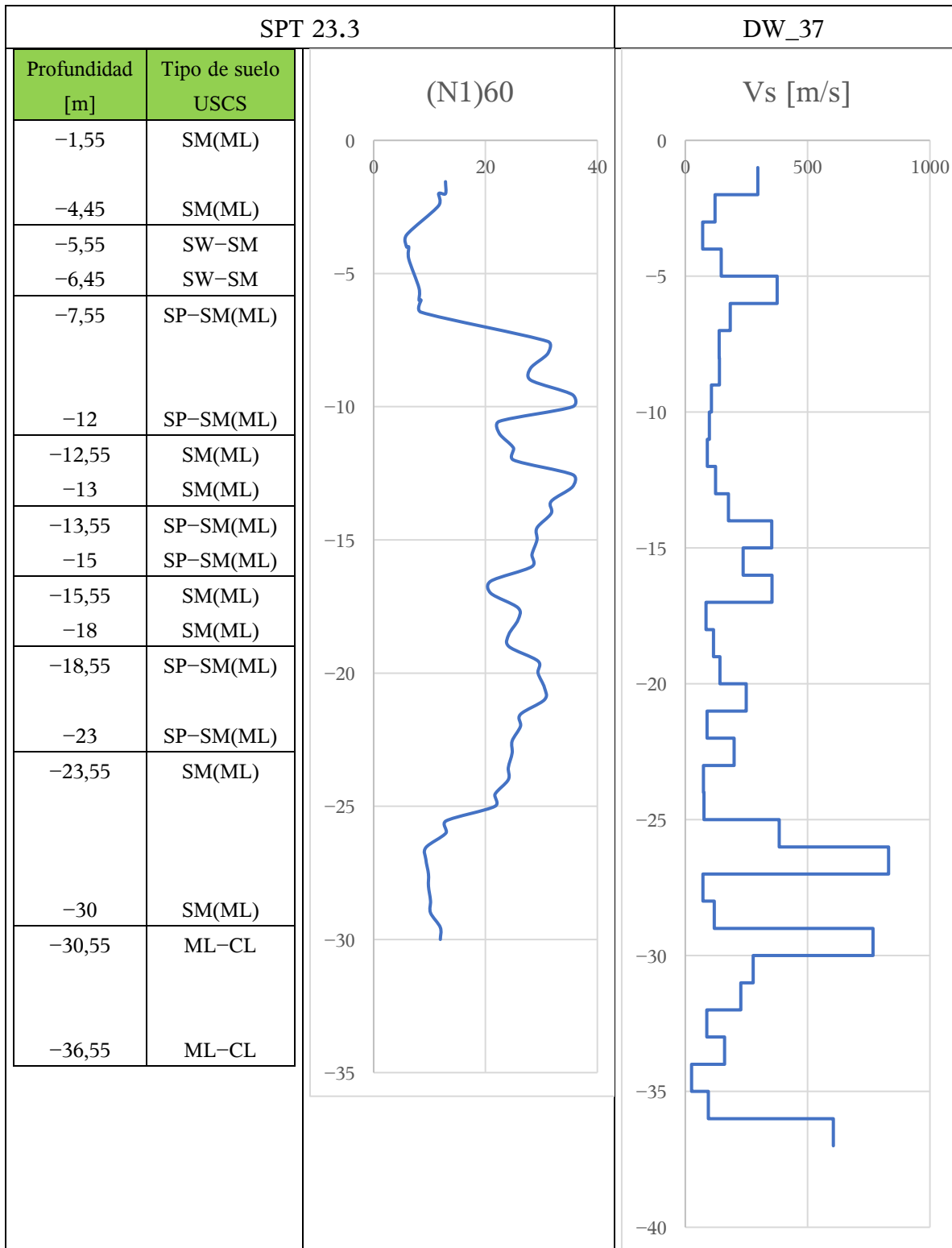


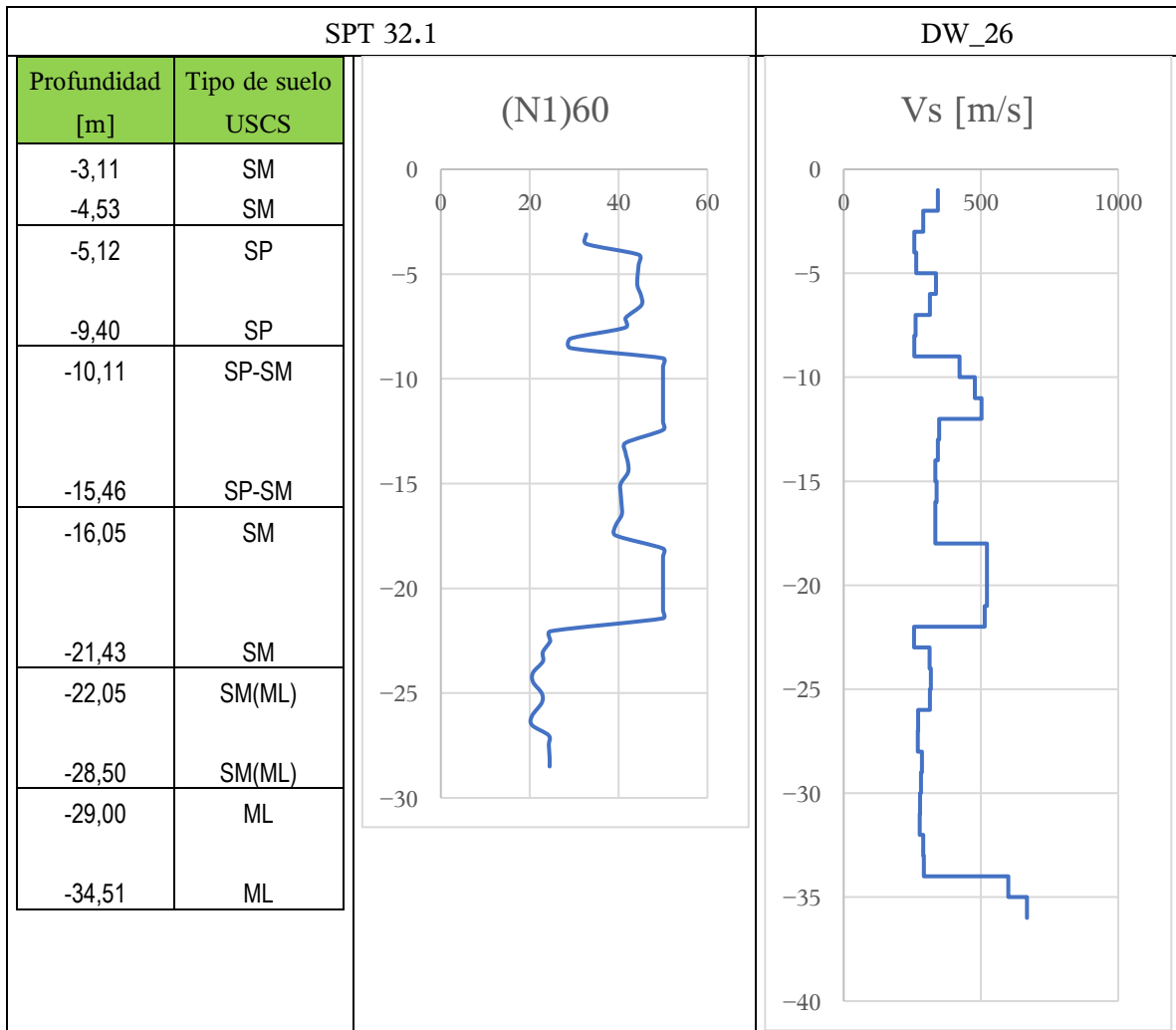


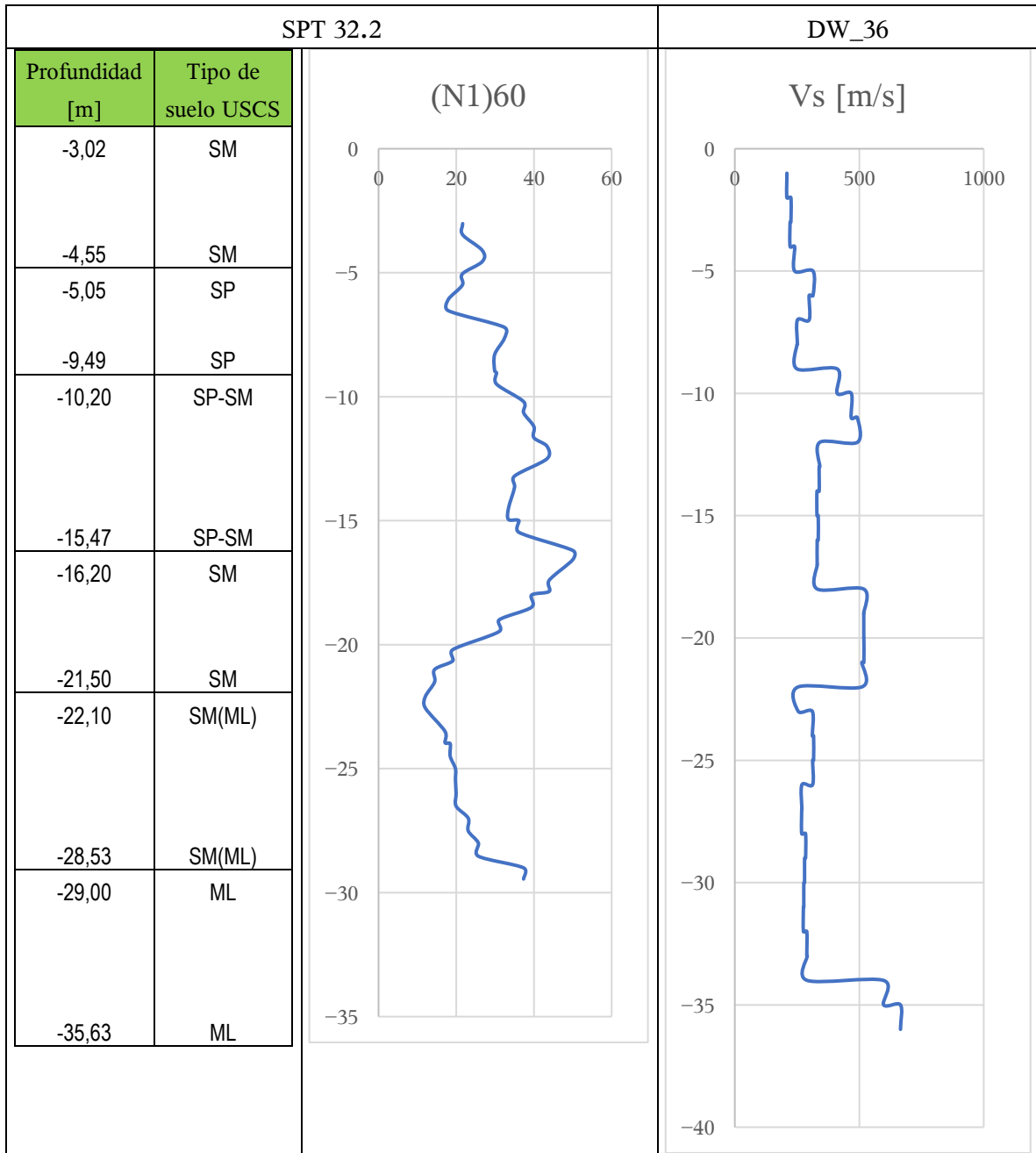


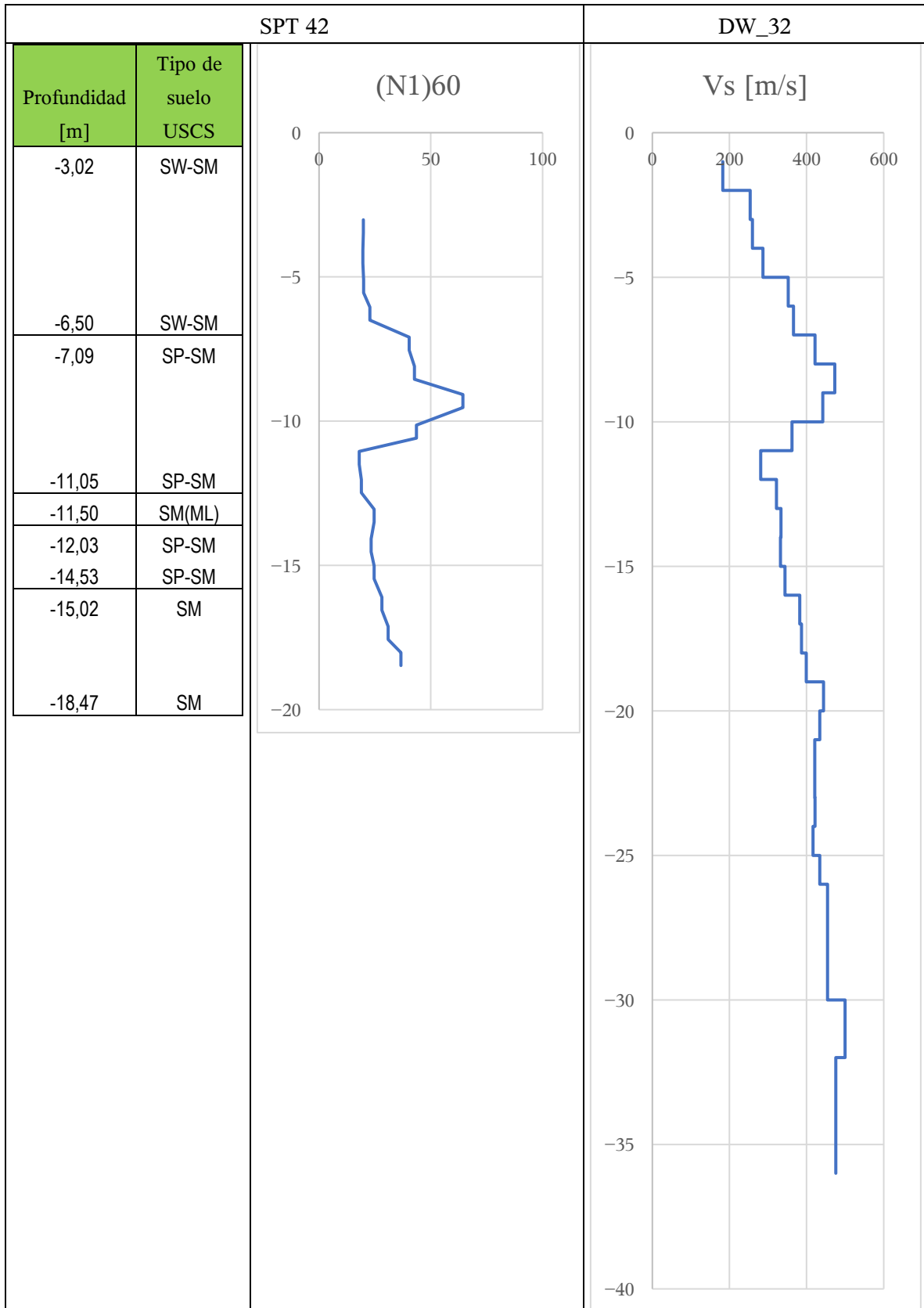


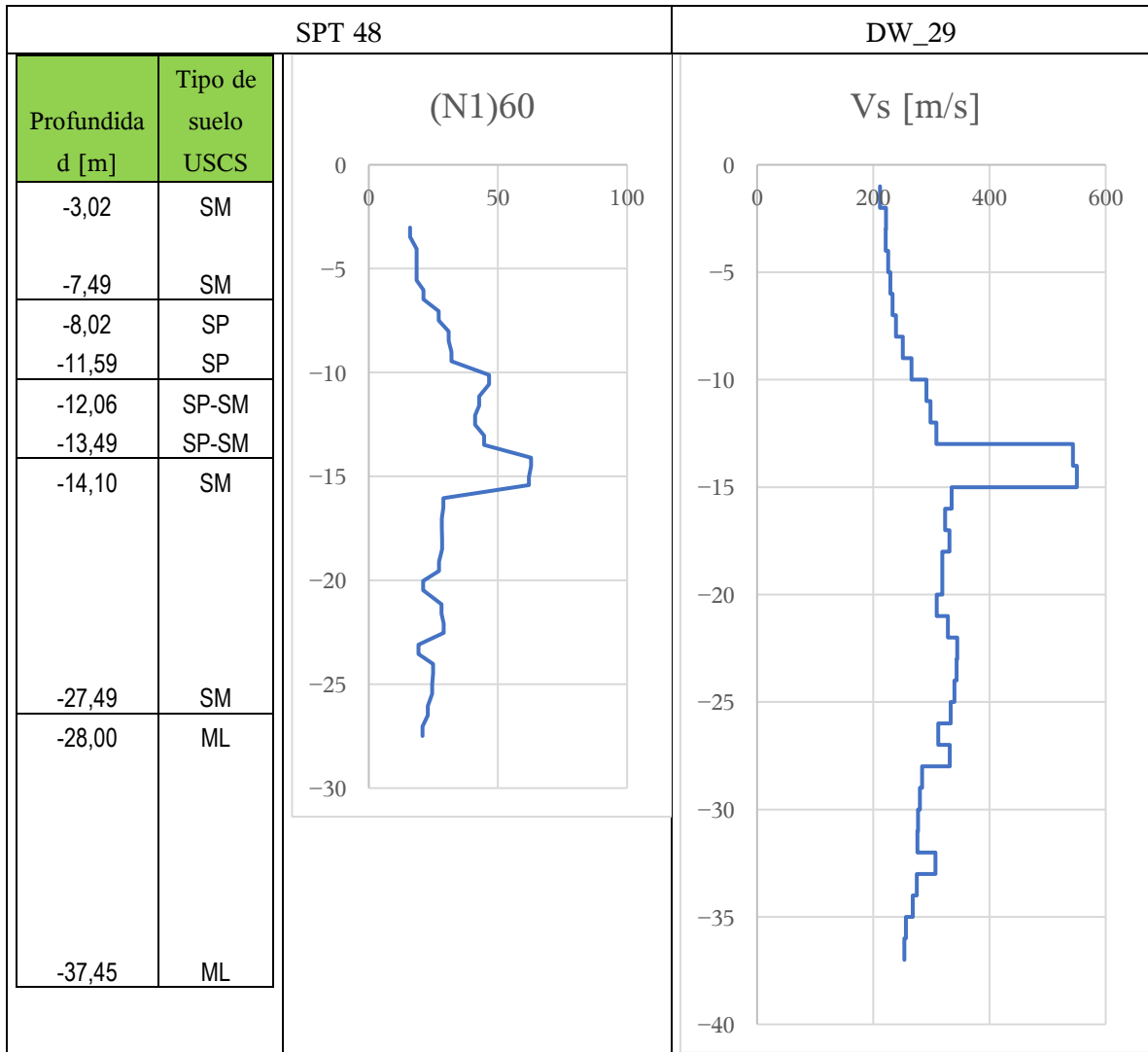


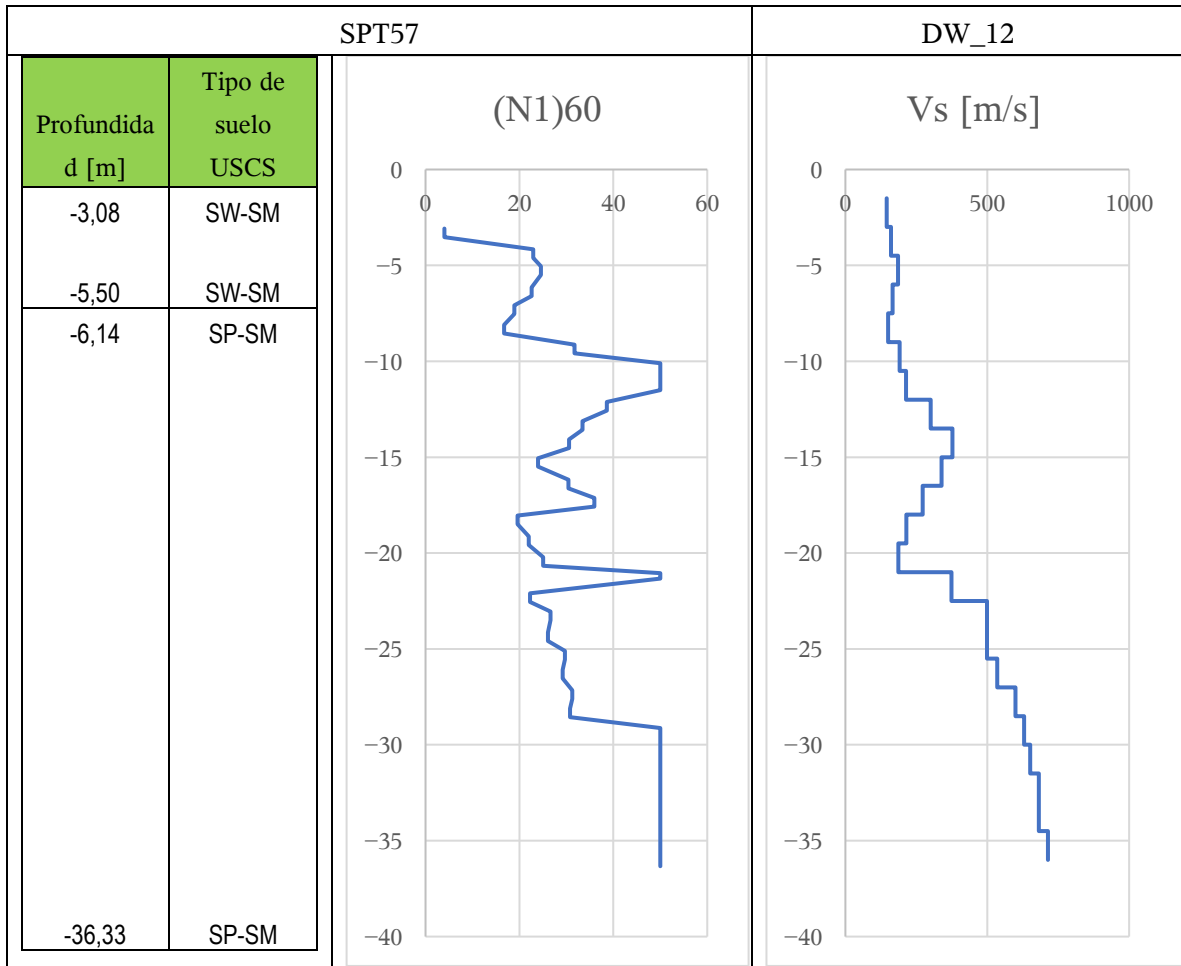


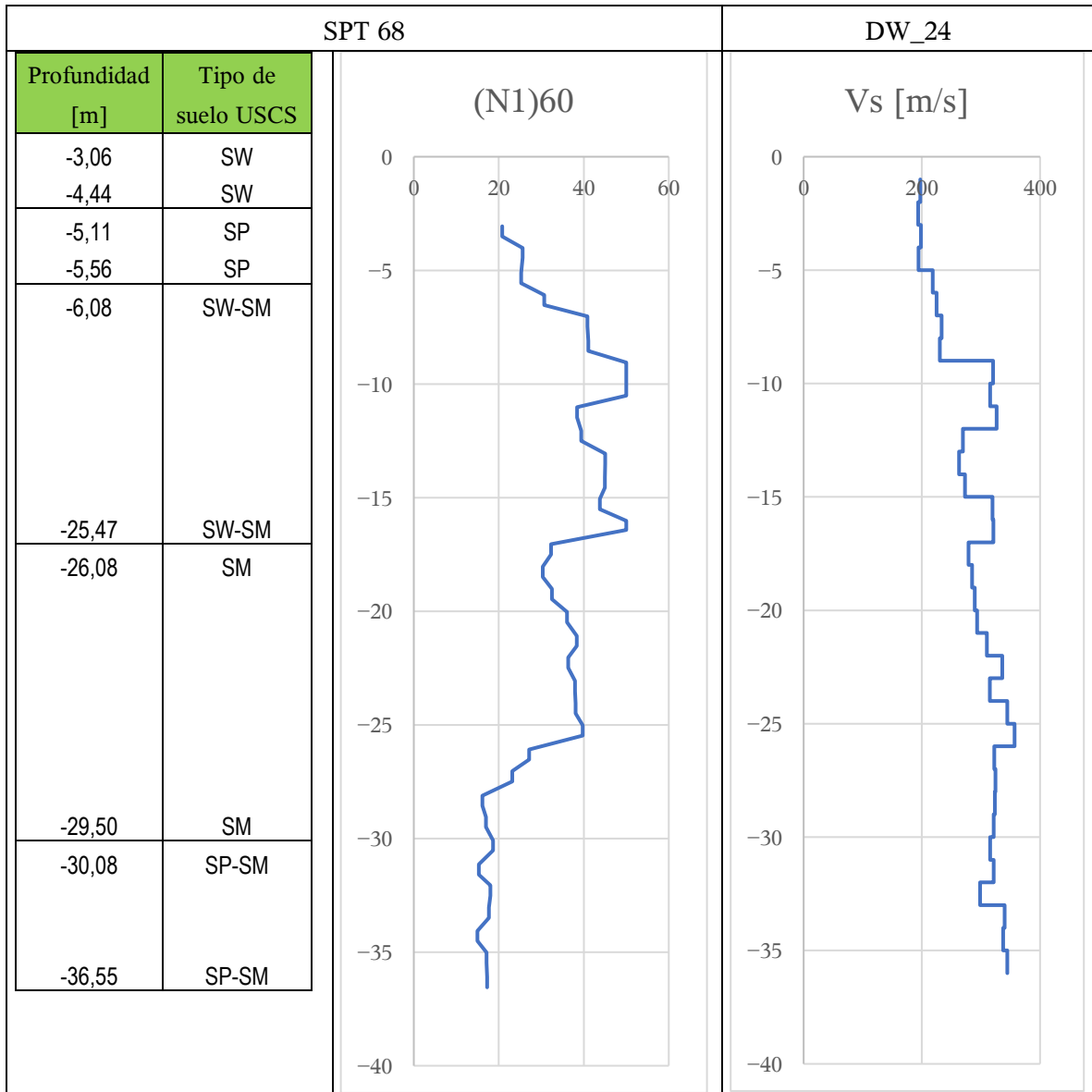


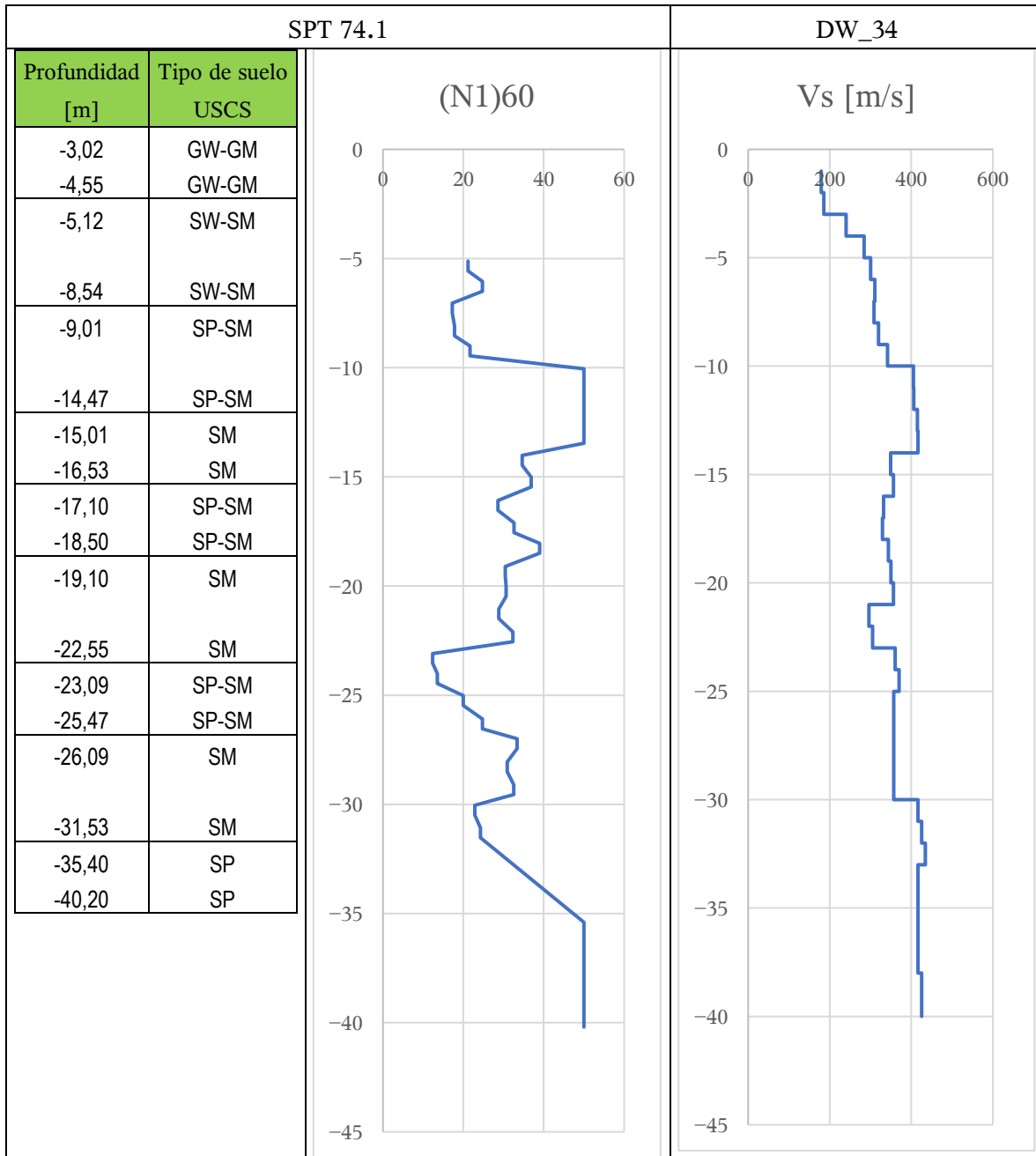


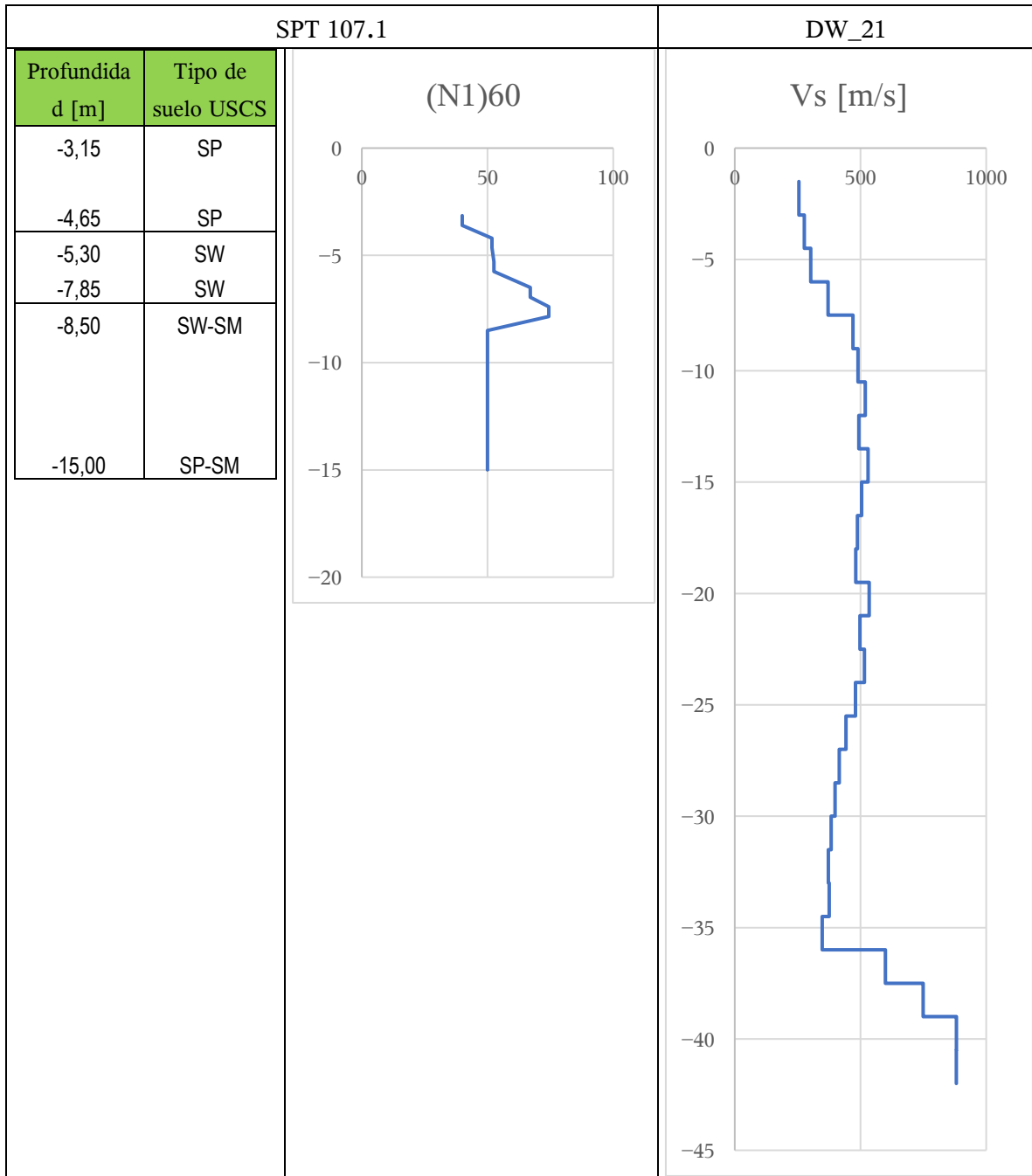


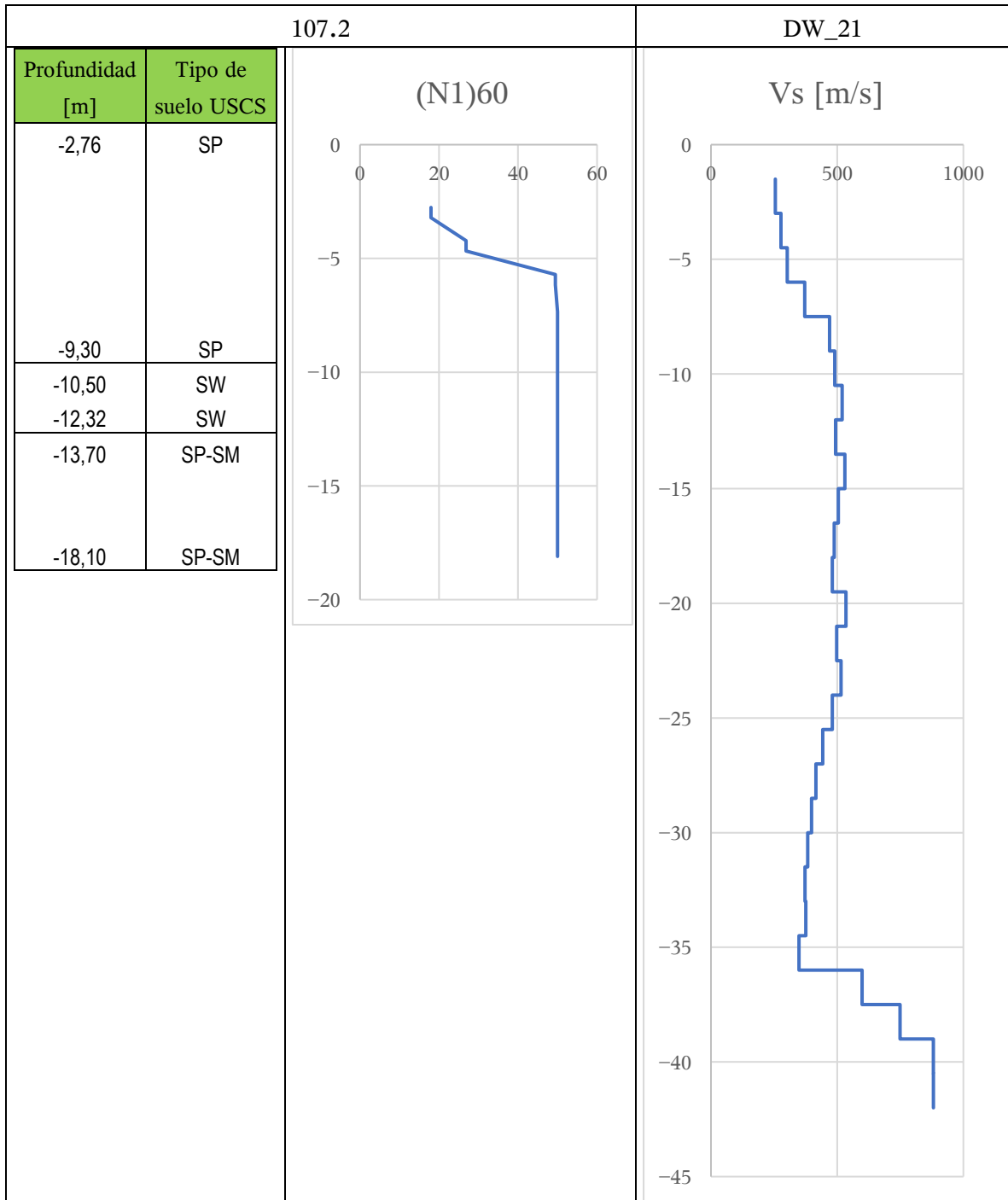


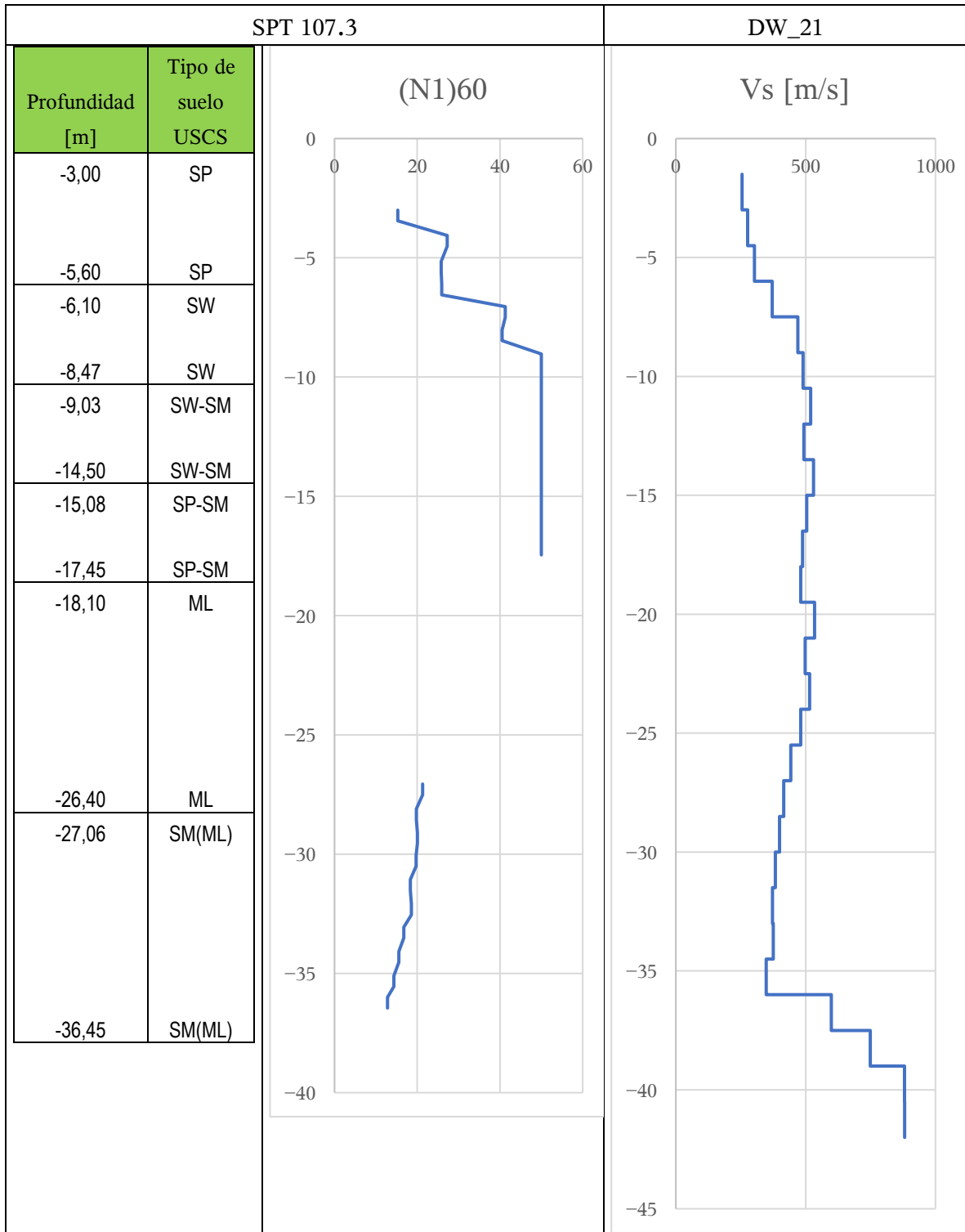


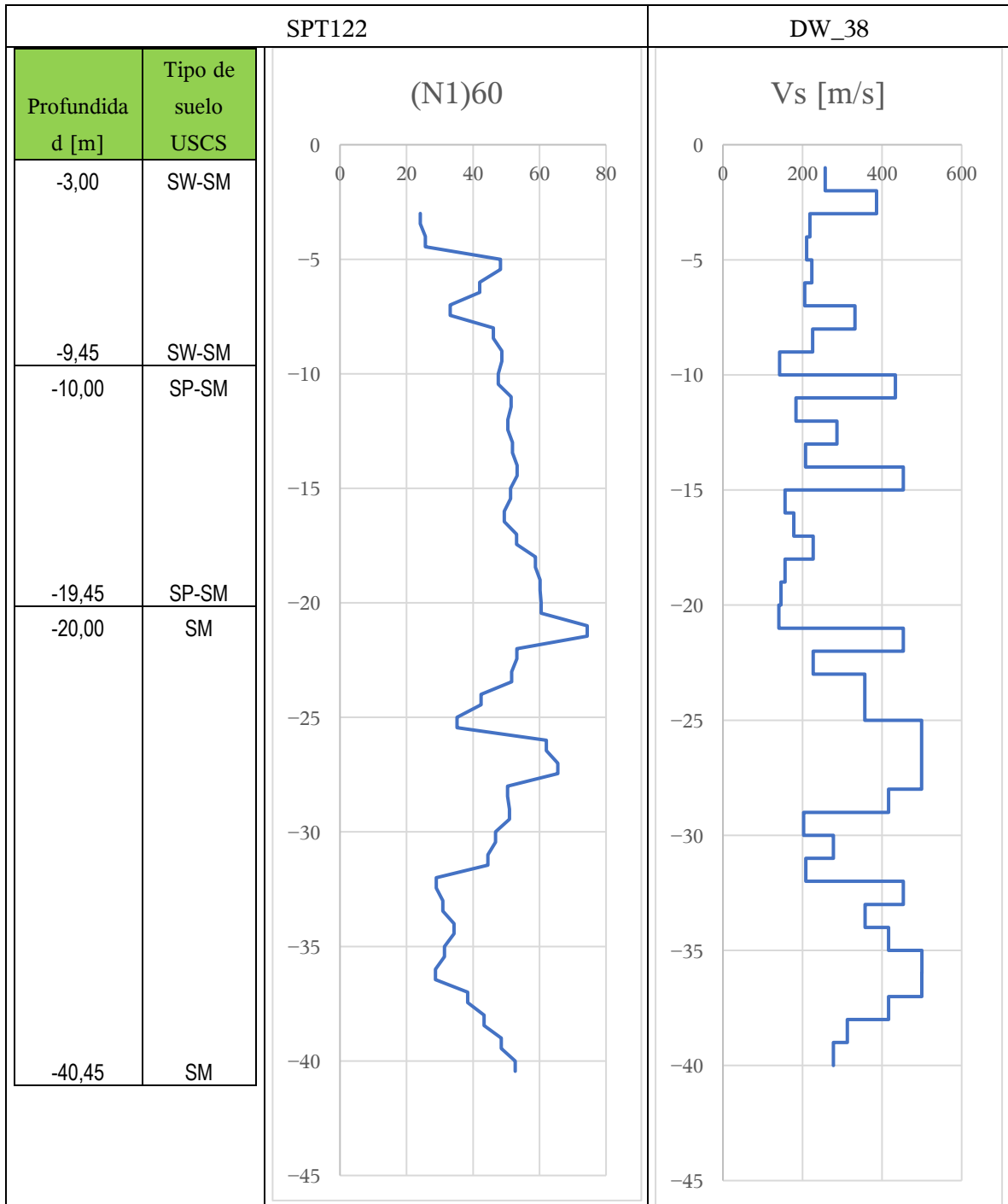


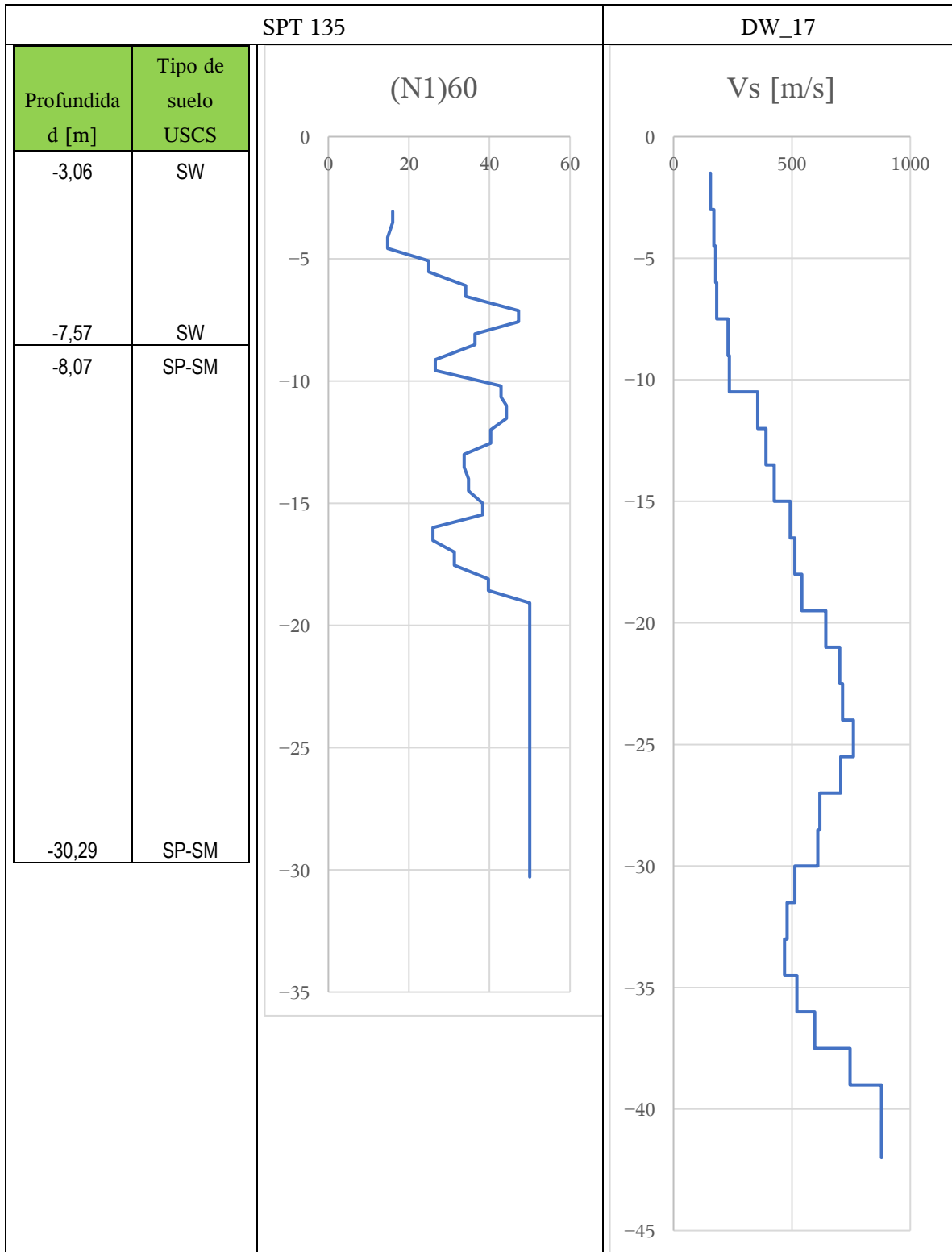












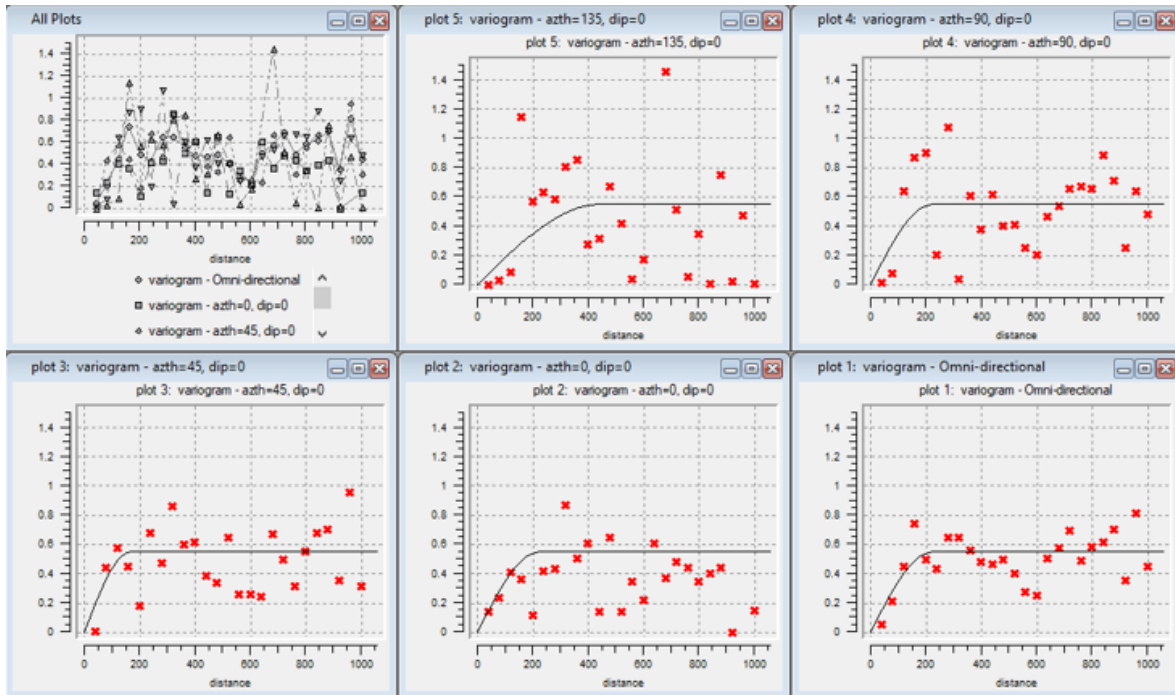
ANEXO B

El total de datos utilizados en el análisis geoestadístico, además de las direcciones utilizadas: 0, 45°, 90°, 135° y omnidireccional, de las variables analizadas en SGEMS.

- Factor de amplificación saturada:

X [m]	Y [m]	FA
261079,33	6343489,13	3,59
261115,73	6343510,88	3,48
261293,54	6343461,16	3,65
261397,06	6343444,37	3,37
261528,48	6343387,75	3,75
261553,32	6343350,40	3,75
262298,61	6343318,22	3,02
262335,00	6343274,71	3,11
262432,15	6343297,37	3,38
260886,64	6343708,38	4,69
260951,08	6343576,78	3,26
261041,61	6343591,08	3,91
261083,25	6343577,78	3,73
261144,48	6343608,68	1,86
261355,40	6343542,90	3,82
261549,85	6343462,51	3,46
261627,68	6343498,80	3,41
261868,16	6343451,15	3,42
262085,71	6343392,96	3,64
262524,18	6343322,46	2,98
262475,64	6343408,50	2,77
261240,92	6343714,23	2,81
261419,88	6343605,50	4,02
261535,73	6343647,16	3,00
261703,52	6343625,04	2,25
262289,72	6343496,11	1,78
262361,24	6343550,33	1,81
262467,55	6343526,38	3,50
261243,19	6343759,34	2,81
261327,74	6343776,82	2,99

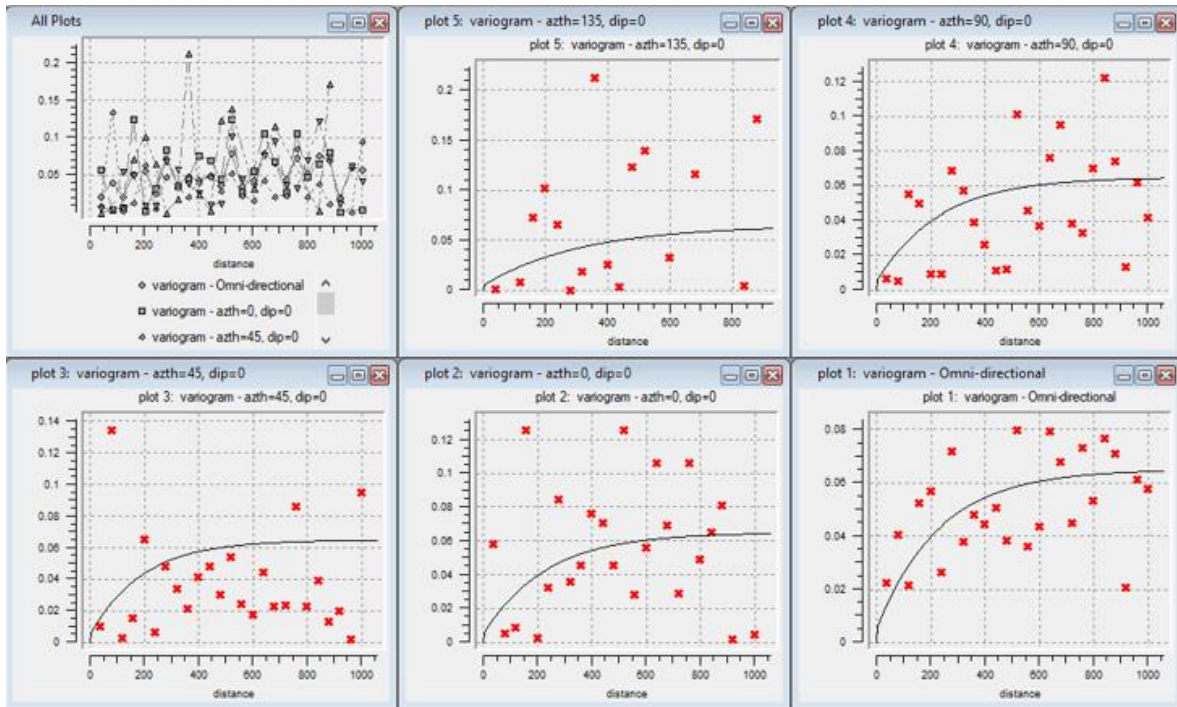
261441,36	6343764,05	4,96
261596,11	6343736,18	4,44
261673,47	6343722,75	4,07
262219,45	6343660,97	3,74
261458,18	6343876,20	4,01
261578,98	6343821,77	3,47
261942,65	6343752,58	4,05
262465,16	6343903,07	3,54
261067,07	6344015,84	3,74
261479,42	6343998,68	3,77
261597,26	6343958,15	3,24
261713,13	6343952,97	3,34
261815,97	6343891,33	3,48
261590,12	6344090,81	2,57
261693,81	6344036,29	2,41
261863,41	6344012,99	4,66
262456,65	6343868,57	4,30
261469,81	6344221,05	4,43
261621,91	6344202,22	2,75
261736,64	6344178,48	2,73
261619,11	6344864,31	3,27
	<hr/>	
	N° total	51



- Factor de amplificación no saturada:

X [m]	Y [m]	FAno sat
261079,334	6343489,13	2,195
261115,732	6343510,88	2,34
261293,539	6343461,16	2,22
261397,063	6343444,37	2,262
261528,478	6343387,75	2,196
261553,318	6343350,4	2,228
262298,613	6343318,22	2,2
262335,004	6343274,71	2,243
262432,146	6343297,37	2,182
260886,643	6343708,38	2,226
260951,084	6343576,78	2,418
261041,607	6343591,08	2,3
261083,252	6343577,78	2,182
261144,483	6343608,68	2,271
261355,402	6343542,9	2,276
261549,846	6343462,51	2,119
261627,68	6343498,8	2,335
261868,162	6343451,15	2,053
262085,713	6343392,96	2,266
262524,181	6343322,46	2,189

262475,637	6343408,5	2,063
261240,919	6343714,23	2,199
261419,883	6343605,5	2,913
261535,731	6343647,16	2,164
261703,518	6343625,04	2,08
262289,723	6343496,11	2,171
262361,236	6343550,33	2,955
262467,549	6343526,38	2,315
261243,188	6343759,34	2,197
261327,745	6343776,82	2,065
261441,365	6343764,05	2,158
261596,112	6343736,18	2,222
261673,473	6343722,75	2,353
262219,447	6343660,97	2,817
261458,178	6343876,2	2,31
261578,981	6343821,77	2,138
261942,652	6343752,58	2,421
262465,164	6343903,07	2,747
261067,073	6344015,84	2,872
261479,416	6343998,68	2,35
261597,265	6343958,15	2,125
261713,133	6343952,97	2,251
261815,973	6343891,33	2,284
261590,116	6344090,81	2,088
261693,814	6344036,29	2,072
261863,412	6344012,99	2,289
262456,65	6343868,57	2,266
261469,805	6344221,05	2,903
261621,91	6344202,22	2,184
261736,641	6344178,48	2,16
261619,11	6344864,31	2,2
	N° total	51

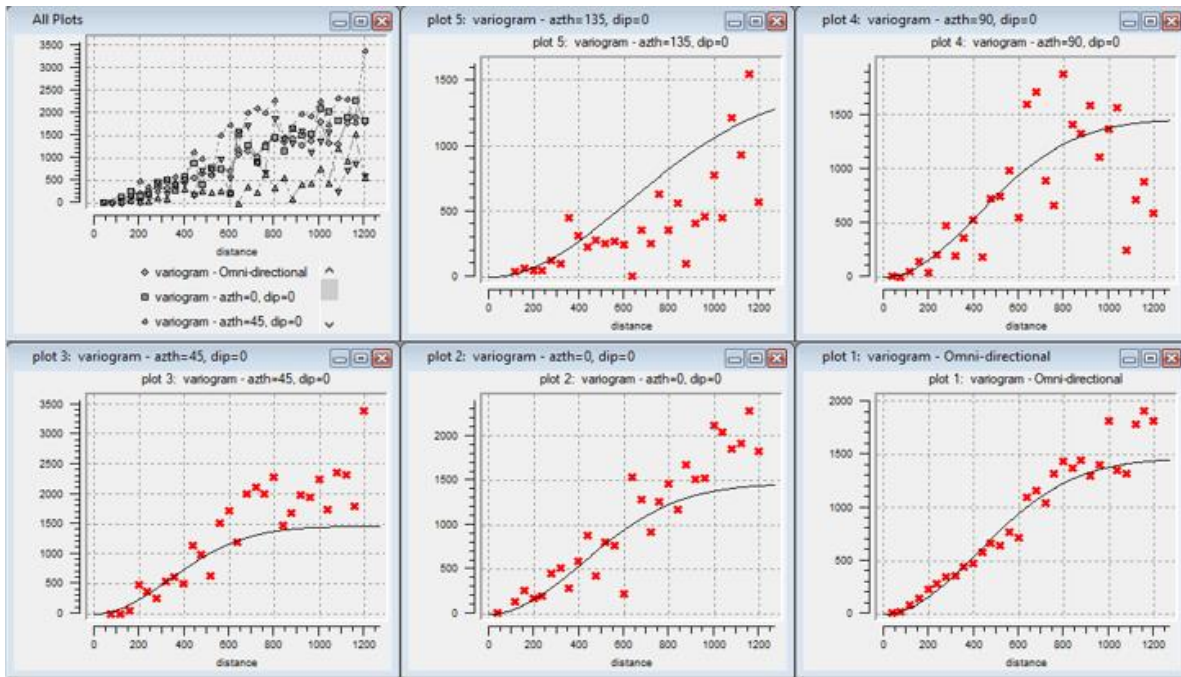


- Basamento rocoso:

Este (X)	Norte (Y)	Profundidad
260980,31	6343570,73	31
261026,70	6343573,60	36
261092,61	6343565,92	36
262461,50	6343882,56	26
261737,05	6345012,99	18
260738,67	6343074,68	32
260962,94	6343036,42	24
261281,92	6343050,95	33
262324,02	6342674,65	6
262701,19	6342708,08	11
261599,94	6343235,91	46,02
261605,75	6342758,32	8,62
261113,17	6342944,20	14,41
260733,40	6342903,87	11,04
262789,07	6342659,38	16,78
262590,28	6343070,93	38,05
262453,45	6343915,88	28,05
262145,97	6343622,35	96,7
262435,90	6343486,11	98,54
261847,74	6343418,14	67,32
261922,96	6343758,76	91,33
261827,78	6343890,40	108,42

262006,68	6343984,40	71,32
262259,02	6344841,21	30,85
262498,96	6344898,40	8,14
262620,83	6344629,58	17,1
262629,12	6344476,42	8,3
262292,61	6344612,43	44,3
261917,21	6344215,49	68,61
261950,49	6344447,23	63,59
262181,38	6344317,77	29,14
261988,00	6344720,23	26,49
261600,10	6344796,16	47,79
261485,50	6344590,86	78,41
261442,05	6344451,42	94,81
261478,86	6344283,30	108,42
261719,46	6344247,09	98,17
261637,29	6344385,25	86,27
261738,61	6344586,46	63,59
261784,03	6344899,61	27,01
262099,78	6344556,27	45,16
261761,30	6343644,20	106,39
261626,76	6343775,54	104,29
261429,26	6343600,40	66,07
261258,95	6343630,33	61,21
261238,12	6343848,66	77,67
261172,33	6343966,35	87,46
261135,63	6343726,43	67,26
261115,58	6343475,03	48,14
261568,65	6343385,07	71,32
262018,00	6343378,77	50,62
262357,87	6343326,53	47,79
262336,82	6343635,85	94,81
262242,43	6343765,95	86,27
261421,96	6343831,60	81,24
262292,86	6344169,66	31,6
262333,61	6344467,49	34,58
262425,30	6344607,65	30,27
261642,04	6343892,99	123,83
261647,72	6344032,73	128,65
261480,10	6344047,52	112,53
261472,16	6344154,97	102,4
261352,22	6344200,77	98,79
260975,64	6343528,11	37,87
261460,97	6343930,43	92,99

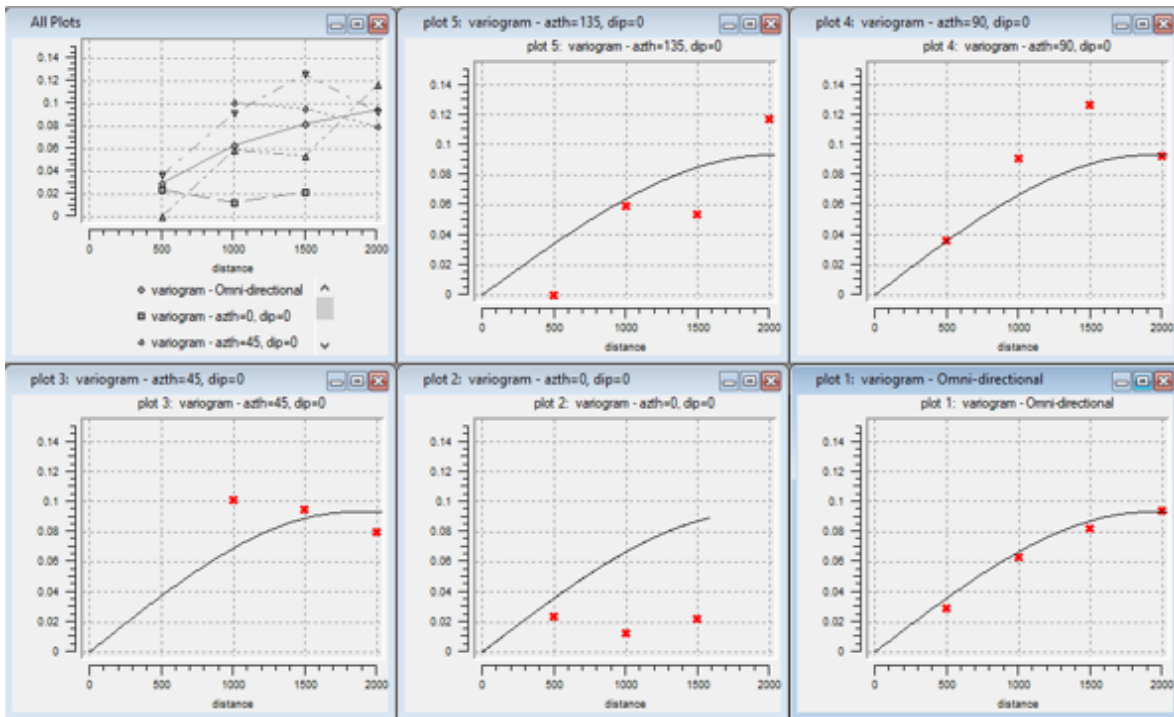
261616,29	6344164,13	98,79
262405,86	6344259,62	23,78
260879,46	6343788,22	64,99
262615,92	6343587,67	35,74
262195,01	6343944,13	64,99
261280,95	6343398,27	44,3
260535,55	6343127,65	25,32
N° total		72



- Intensidad:

X [m]	Y [m]	I2
261573,541	6344818,659	7
262045,054	6344818,659	6,8
261139,45	6344249,85	7,2
261588,51	6344272,303	7,1
262030,085	6344264,818	6,9
262471,661	6344264,818	6,8
260675,421	6343703,494	6,9
261124,481	6343718,462	7,2
261543,604	6343740,915	7,2
262007,632	6343755,884	7
262479,145	6343748,4	6,7
260675,421	6343187,075	6,4

261124,481	6343179,59	7,1
261566,057	6343179,59	7,3
262030,085	6343179,59	7,1
262471,661	6343202,043	6,9
262920,72	6343224,496	6,9
262456,692	6342678,14	6,8
262935,689	6342670,656	6,4
262030,085	6342663,172	6,9
N° total		20

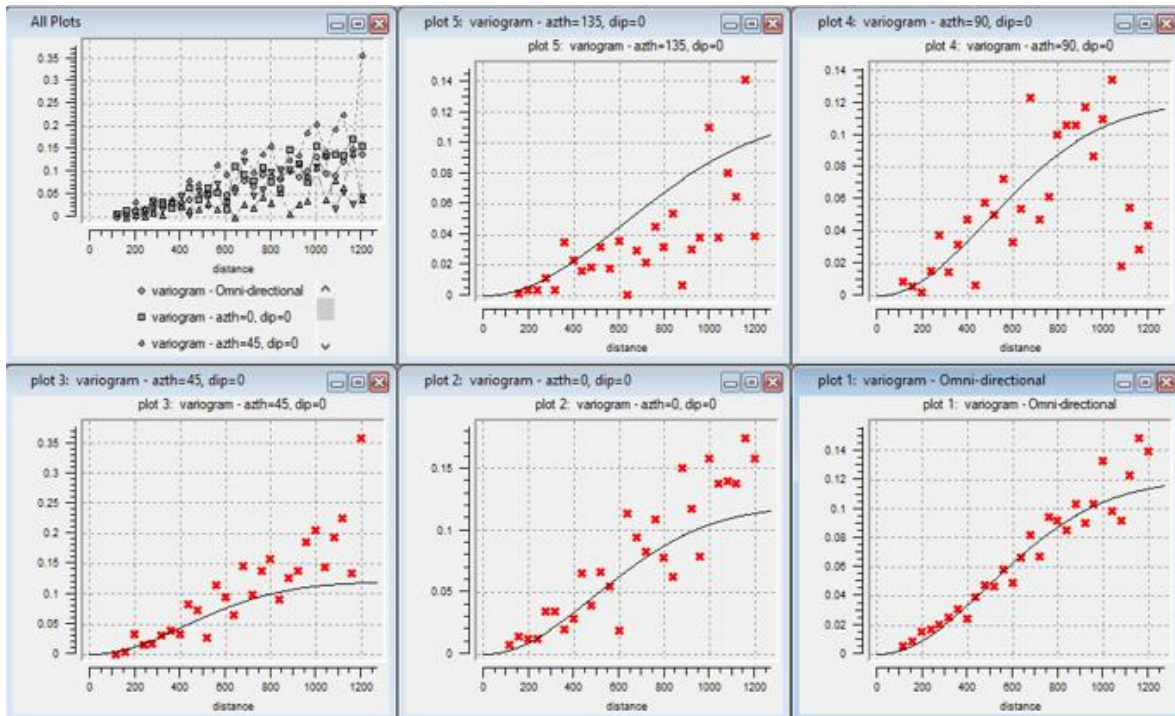


- Periodo:

Este (X)	Norte (Y)	Periodo H/V [s]
261599,9	6343235,9	0,541
261605,8	6342758,3	0,149
261113,2	6342944,2	0,221
260733,4	6342903,9	0,180
262789,1	6342659,4	0,248
262590,3	6343070,9	0,467
262453,4	6343915,9	0,369

262146,0	6343622,3	0,960
262435,9	6343486,1	0,974
261847,7	6343418,1	0,726
261923,0	6343758,8	0,918
261827,8	6343890,4	1,048
262006,7	6343984,4	0,759
262259,0	6344841,2	0,397
262499,0	6344898,4	0,142
262620,8	6344629,6	0,252
262629,1	6344476,4	0,144
262292,6	6344612,4	0,525
261917,2	6344215,5	0,736
261950,5	6344447,2	0,694
262181,4	6344317,8	0,380
261988,0	6344720,2	0,353
261600,1	6344796,2	0,557
261485,5	6344590,9	0,816
261442,0	6344451,4	0,945
261478,9	6344283,3	1,048
261719,5	6344247,1	0,971
261637,3	6344385,2	0,879
261738,6	6344586,5	0,694
261784,0	6344899,6	0,359
262099,8	6344556,3	0,533
261761,3	6343644,2	1,033
261626,8	6343775,5	1,017
261429,3	6343600,4	0,715
261258,9	6343630,3	0,674
261238,1	6343848,7	0,810
261172,3	6343966,4	0,888
261135,6	6343726,4	0,725
261115,6	6343475,0	0,560
261568,6	6343385,1	0,759
262018,0	6343378,8	0,582
262357,9	6343326,5	0,557
262336,8	6343635,8	0,945
262242,4	6343766,0	0,879
261422,0	6343831,6	0,839
262292,9	6344169,7	0,405
262333,6	6344467,5	0,434
262425,3	6344607,6	0,392
261642,0	6343893,0	1,161
261647,7	6344032,7	1,196

261480,1	6344047,5	1,079
261472,2	6344155,0	1,003
261352,2	6344200,8	0,976
260975,6	6343528,1	0,466
261461,0	6343930,4	0,931
261616,3	6344164,1	0,976
262405,9	6344259,6	0,325
260879,5	6343788,2	0,706
262615,9	6343587,7	0,445
262195,0	6343944,1	0,706
261281,0	6343398,3	0,525
260535,5	6343127,6	0,341
N° total		62

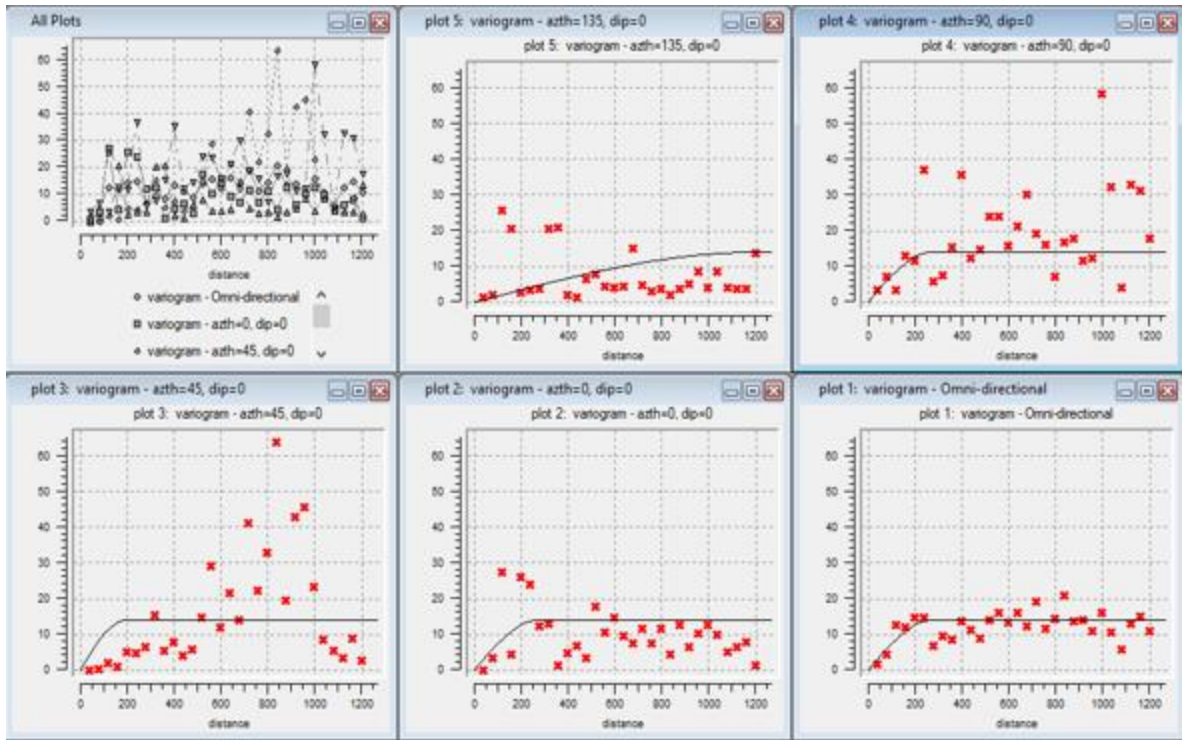


- Índice de potencial de licuefacción

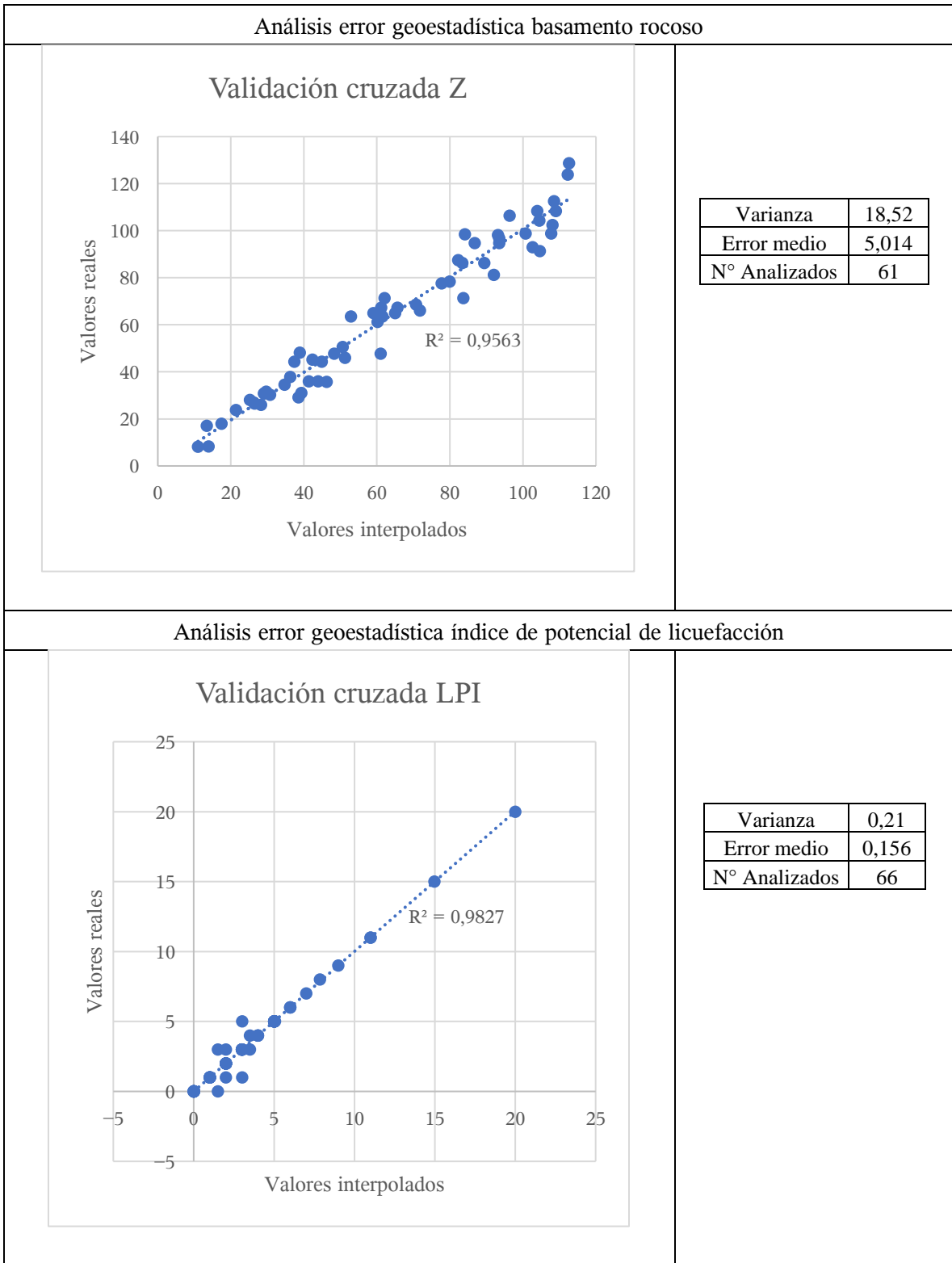
X [m]	y [m]	LPI
261160,995	6343464,154	20
261405	6343439	5
261399,43	6343455,66	3

261399,43	6343455,66	1
261538	6343373	2
261550	6343424	1
261552	6343360	9
262305,885	6343295,865	0
262305,885	6343295,865	3
262478	6343309	5
262719,034	6343147,176	2
260949,876	6343591,847	15
261041	6343577	7
261047	6343562	5
261028	6343562	5
261100	6343573	11
261115	6343577	3
261113	6343558	6
261093,934	6343572,938	5
261179,037	6343567,907	6
261357	6343535	4
261381	6343496	2
261407,925	6343532,082	2
261519,876	6343507,06	0
261926	6343422	2
261840	6343432	4
261840	6343432	3
262513,921	6343336,967	6
261223	6343710	3
261245	6343710	3
261434,925	6343628,95	3
261546,02	6343619,998	1
261665,951	6343609,04	0
262291,119	6343531,097	1
262291,119	6343531,097	5
261251	6343755	3
261253	6343742	3
261585,8945	6343741,148	1
262188	6343601	4
262142	6343630	2
261570,9309	6343852,976	1
261940,0704	6343808,892	0
261053	6344038	5
261067,71	6344025,58	8
261436,59	6343953,38	0
261521,17	6343993,27	1

261414	6343947	2
261627,61	6344002,53	0
261600	6343925	0
261587	6343928	0
261705,9327	6343953,021	0
261844	6343976	0
261796	6343964	0
261805	6343986	0
261609,0516	6344081,059	0
261721,9869	6344061,94	1
261850,1269	6344048,071	0
262459	6343883	11
262452	6343893	5
261524,123	6344221,15	4
261815,9853	6344649,924	2
261736,9829	6345011,991	5
261079	6343281	3
261076	6343268	2
261118	6343280	5
261115	6343256	5
260699,9061	6343108,021	3
260952,8899	6343065,138	2
260952,8899	6343065,138	4
260952,8899	6343065,138	2
262606,0567	6342813,087	1
262324,0337	6342673,983	0
262559	6342532	0
262497	6342618	0
262481	6342560	0
262470	6342503	0
262607	6342580	0
262701	6342705	2
262565	6342722	0
262565	6342722	0
262855	6342607	3
N° total		81

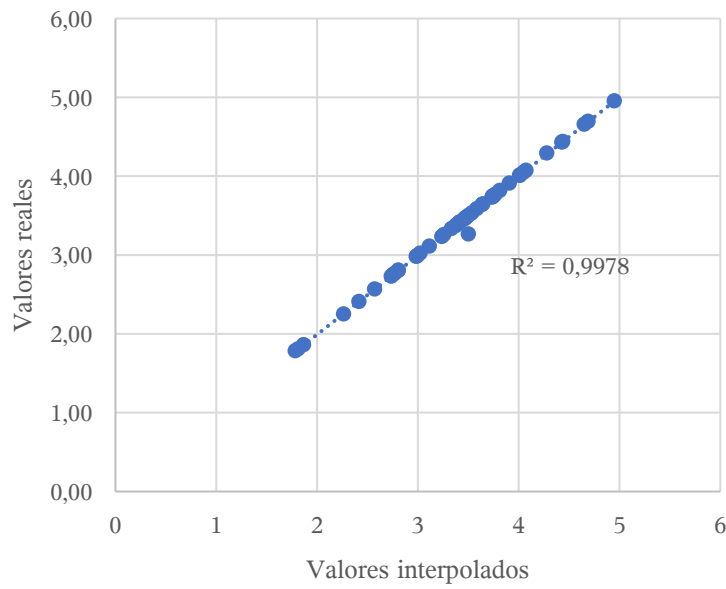


ANEXO C



Análisis error geoestadística factor de amplificación saturada

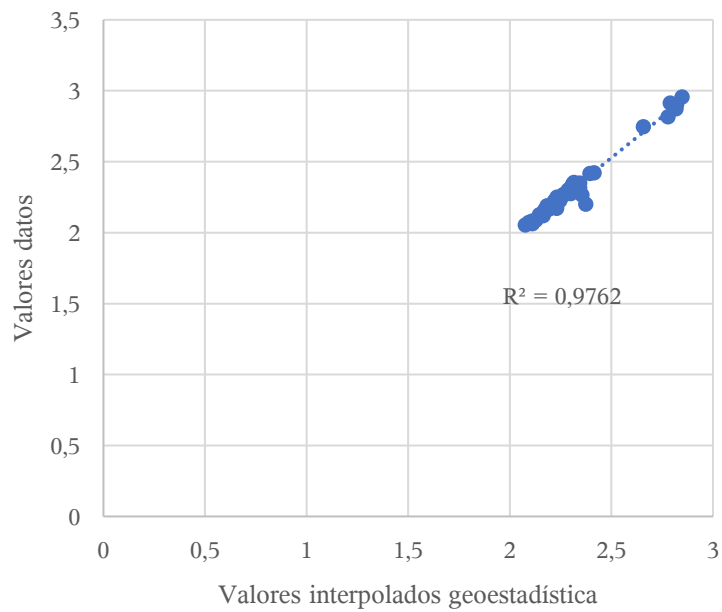
Validación cruzada FAsat



Varianza	0,00105
Error medio	0,007
N° Analizados	51

Análisis error geoestadística factor de amplificación saturada

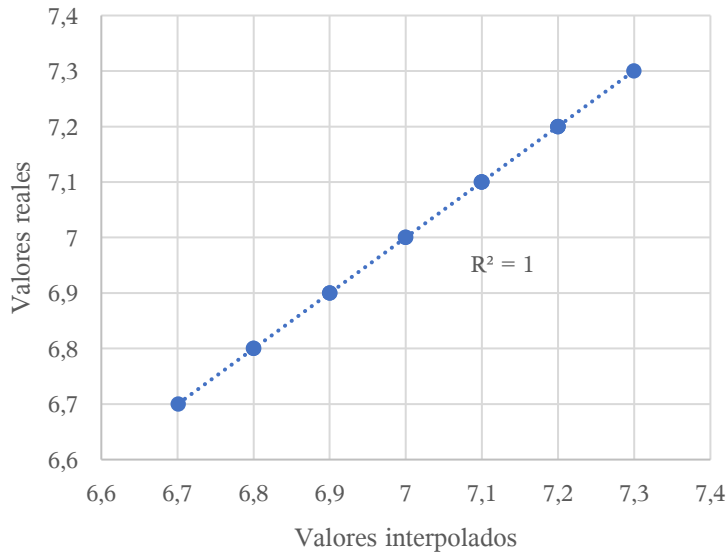
Validación cruzada FAnosat



Varianza	0,001187
Error medio	0,031
N° Analizados	51

Análisis error geoestadística intensidad

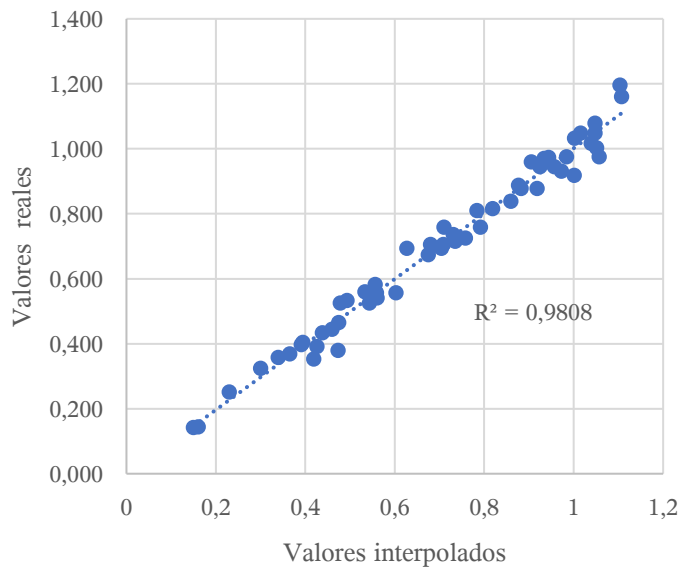
Validación cruzada Intensidad



Varianza	1,03191E-07
Error medio	0,000
N° Analizados	14

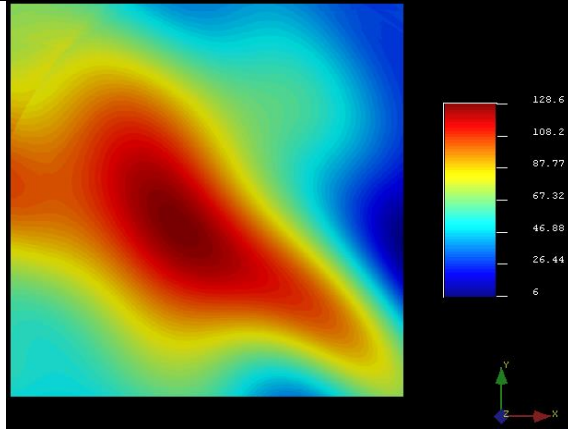
Análisis error geoestadística período

Validación Cruzada Período

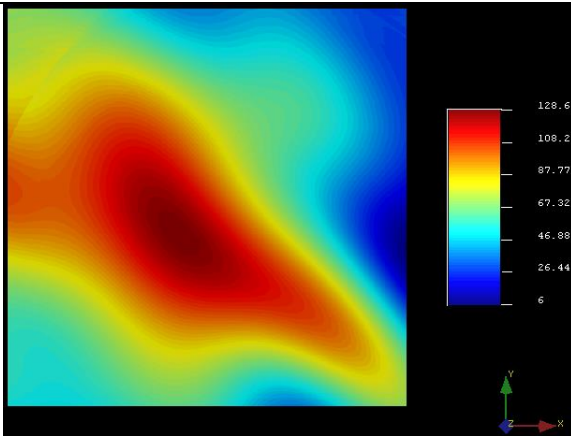


Varianza	0,0005533
Error medio	0,029
N° Analizados	56

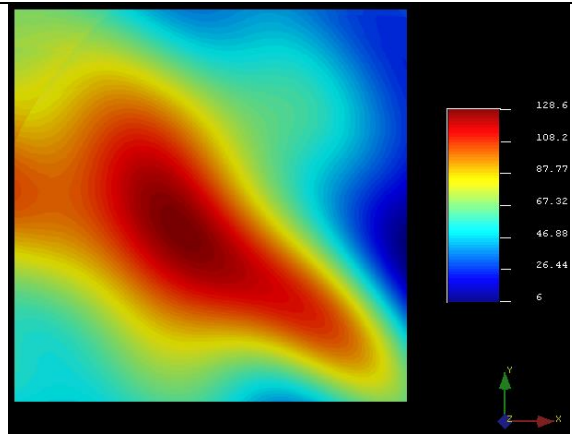
Modelo geoestadístico basamento rocoso con todos los datos:



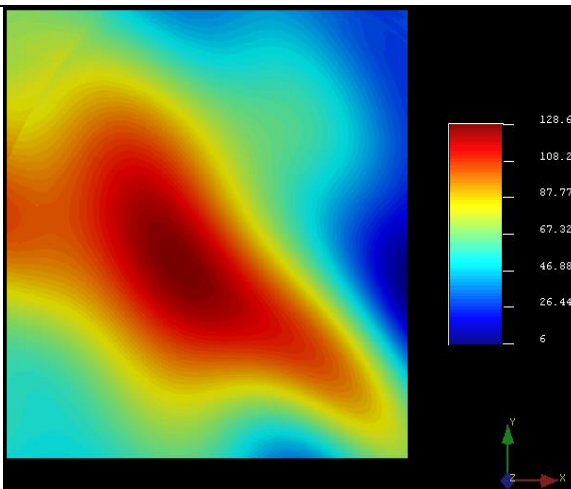
Sin dato N1=25,32 m



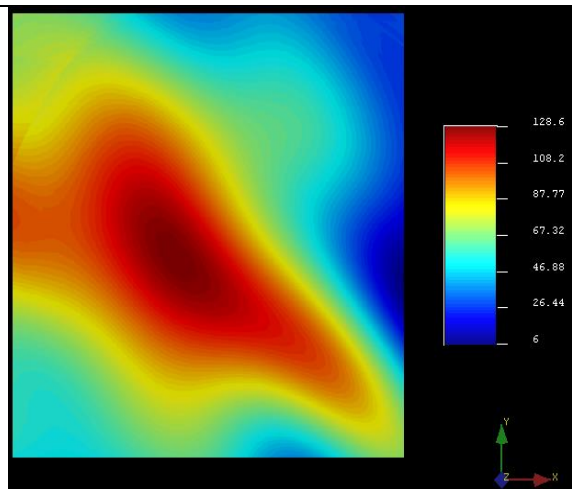
Sin dato N2=47,79 m



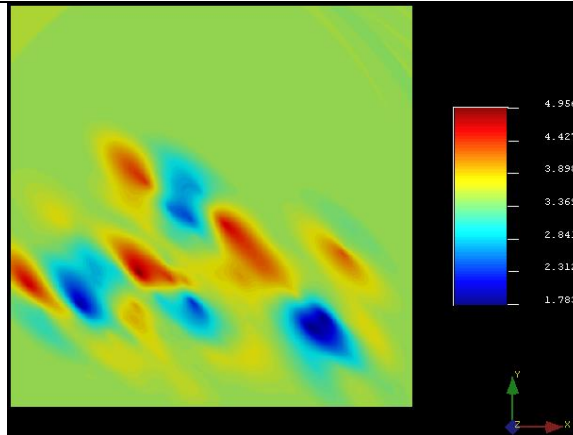
Sin dato N3=78,41 m



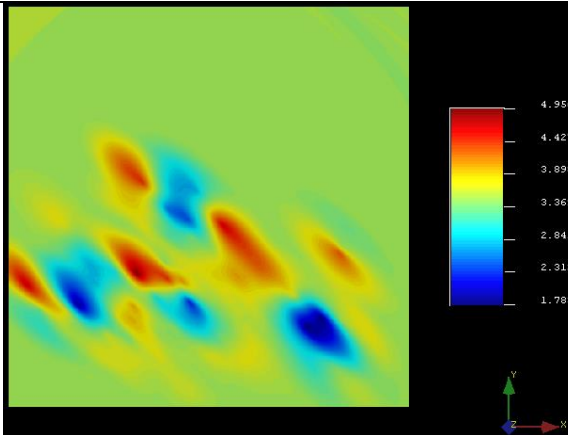
Sin dato N4=106,39 m



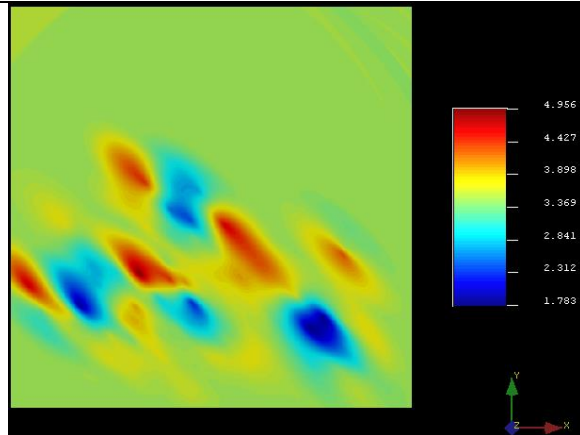
Modelo geoestadístico factor de amplificación saturada con todos los datos:



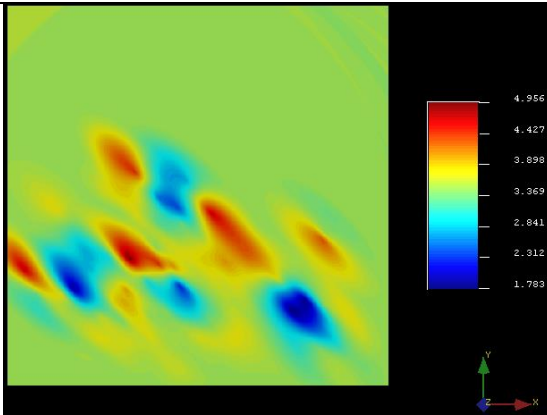
Sin dato N1=2,772



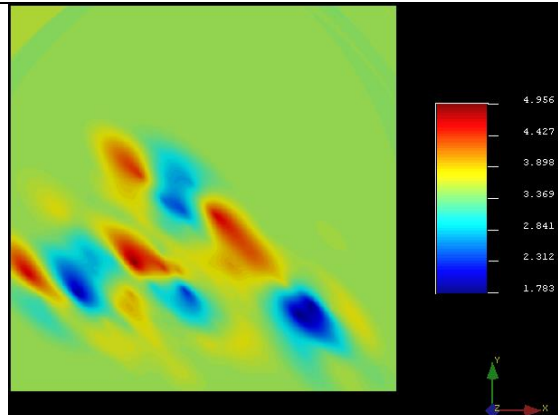
Sin dato N2=3,114



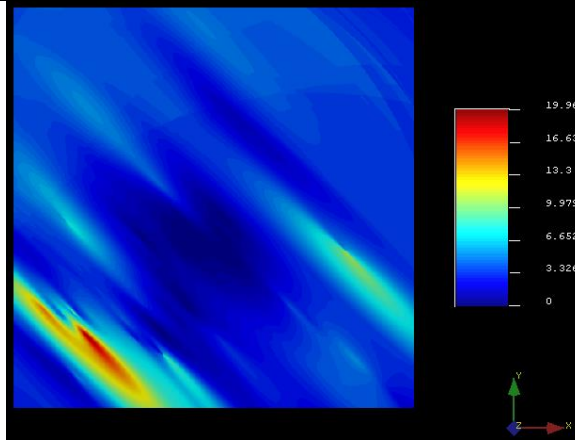
Sin dato N3=11,364



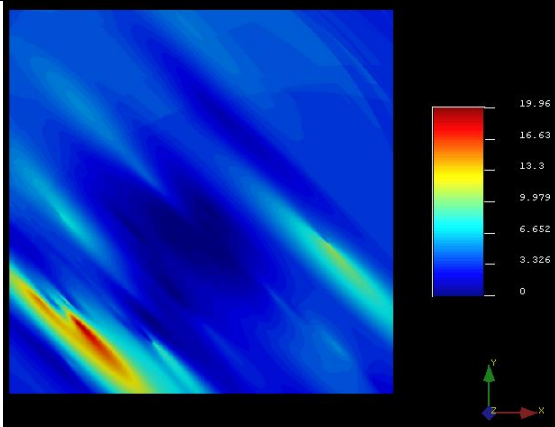
Sin dato N4=19,957



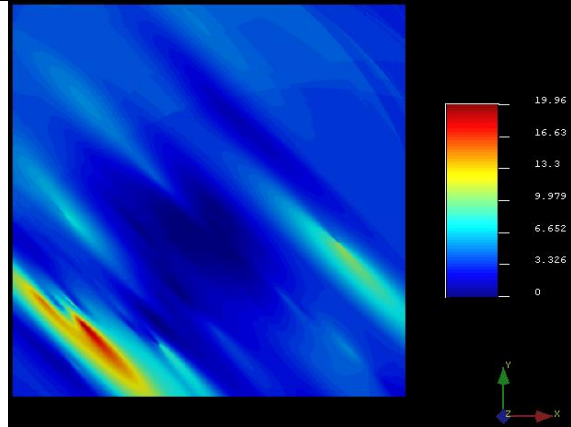
Modelo geostatístico potencial de licuefacción con todos los datos:



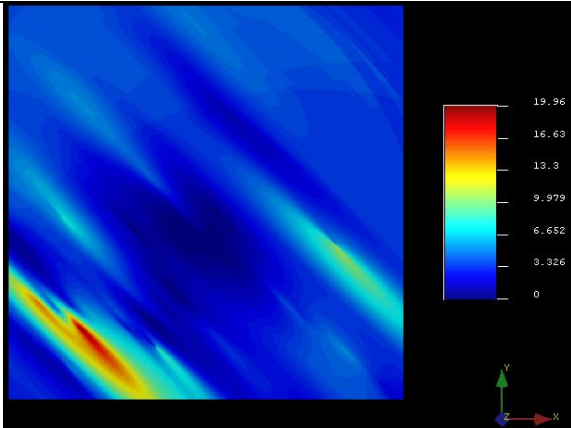
Sin dato N1=1,357



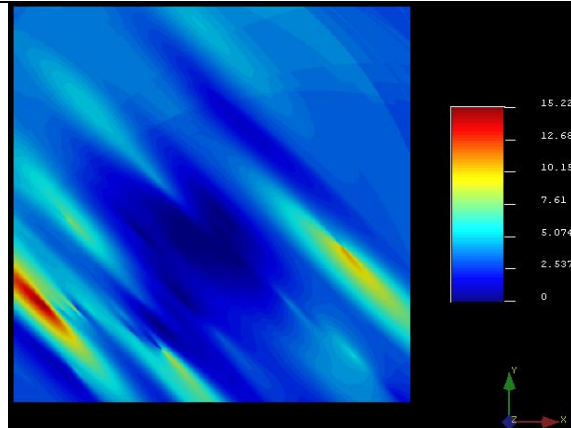
Sin dato N2=2,671



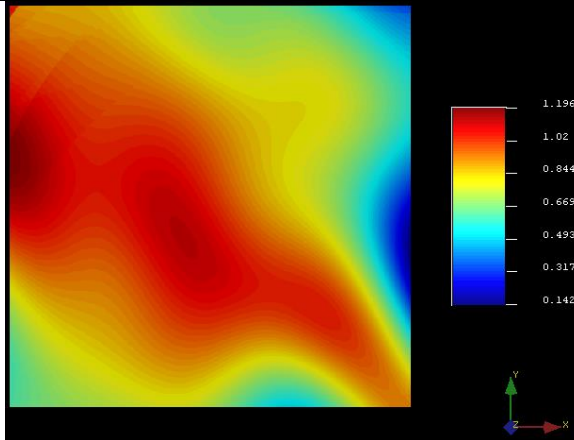
Sin dato N3=11,364



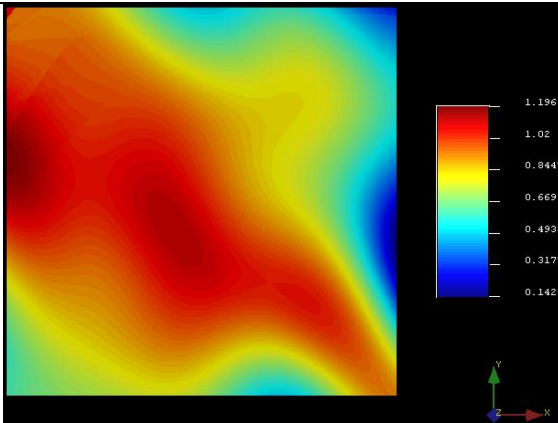
Sin dato N4=19,957



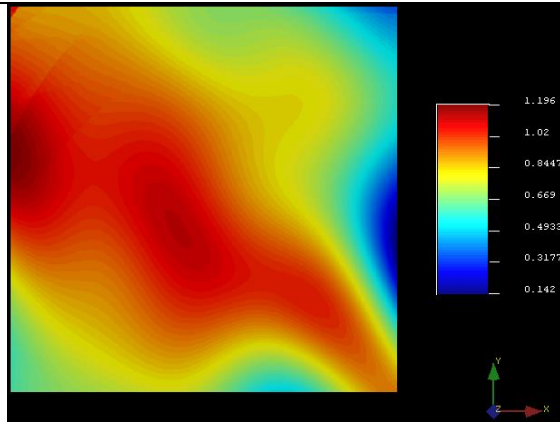
Modelo geoestadístico periodo fundamental con todos los datos:



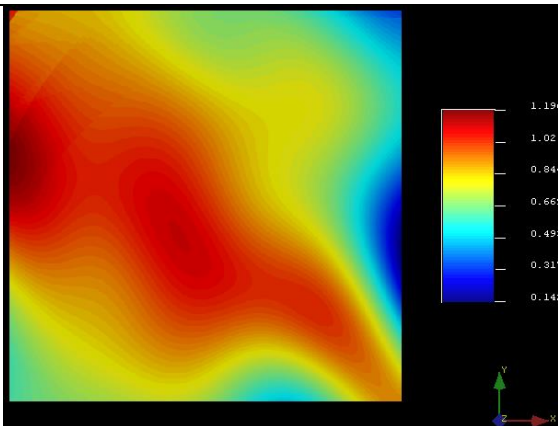
Sin dato N1=0,359



Sin dato N2=0,434



Sin dato N3=0,725



Sin dato N4=0,888

