



Universidad de Concepción
Departamento de Geofísica

**Estimación del efecto de sitio en zonas
afectadas por el terremoto ($Mw = 8.8$) del
27/02/10 a la luz de las leyes de atenuación ya
existentes.**

Profesor Tutor: Dr. Arturo Belmonte
Departamento de Geofísica
Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas
Universidad de Concepción

Tesis para optar al título profesional de geofísico

**CAROLINA HENRIQUEZ KONIG
CONCEPCIÓN - CHILE 2012**

Director de Tesis : Dr. Arturo Belmonte

Comisión : Dr. Arturo Belmonte

Dr. Jorge Quezada

Dr. Matthew Miller

Dedicado a mi madre

Agradecimientos

En primer lugar quiero agradecer a mi madre por apoyarme durante todos mis estudios.

En la Universidad de Concepción conocí a mis más grandes amigas. Quiero agradecer a ellas por el apoyo, la compañía y el cariño en cada momento: Ayleen, Begoña, Belén, Carolina, Cecilia, Claudia, Macarena, María José y Stephanie. Sin duda he vivido los mejores momentos con ustedes y los peores.

También quiero agradecer profundamente a los estudiantes que me acompañaron anónimamente en cada una de las salidas a terreno que involucró esta tesis: Alejandro, Anne, Cristobal, Diego, Juan Pablo, Misael, Natalia y Oliver.

Hay personas especiales que aparecen en momentos precisos de tu vida: Te agradezco Silvana por tu comprensión y apoyo.

Finalmente quiero agradecer a mi profe, Arturo, considero que eres una tremenda persona, con mucha inteligencia emocional. Gracias por la compañía, tu buena disposición, tu positivismo y tu apoyo constante.

Resumen

La región del Biobío ha experimentado de manera violenta los efectos de un terremoto cuya magnitud e intensidad han develado la ausencia completa de estudios de suelos en diversos sitios donde miles de personas creían era “suelo firme”. Esta experiencia no debería quedar en el olvido. Nuestra motivación es reconocer la aplicabilidad de las técnicas geofísicas en el reconocimiento y la caracterización de suelos y zonas de fallas superficiales que reaccionaron de manera variada frente al evento del 27/02/10. En este caso, nos interesa reconocer los valores de aceleración máxima observada a la luz de las leyes de atenuación existentes en la literatura y que son usadas para describir los problemas de riesgo sísmico en la zona de estudio.

Para esto, el departamento de geofísica de la Universidad de Stanford, en asociación con el departamento de geofísica de la Universidad de Concepción, instalaron en Marzo del año 2010 y por un período de aproximadamente un año, una red de acelerómetros portables de conexión a través de puerto USB, desde la quinta hasta la octava región de nuestro país, los cuales registran la aceleración del suelo en las tres componentes, permitiendo el estudio de las réplicas asociadas al terremoto, y con esto la comparación con las aceleraciones máximas teóricas a las observadas para poder identificar posibles efectos de sitio y la formulación de leyes de atenuación para la región del Biobío.

Abstract

The Bío-Bío Region has experienced the effects of a violent earthquake whose magnitude and intensity have revealed the complete absence of research of soils in several places where thousands of people thought it was solid ground. This experience should not be forgotten. Our motivation is to recognize the applicability geophysical techniques in the recognition and characterization of soils and fault zone surfaces that reacted in different ways in front of the 27/02/10 event. In this case, we would recognize the values of maximum acceleration, observed in the laws of attenuation found in the literature that are used to describe the problema of seismic risk in the area of study.

For this, the geophysics department at Stanford University, in partnership with the department of geophysics at the University of Concepción, installed in April 2010 and for a period of about a year, a portable accelerometer network connection through USB port, from the fifth to eighth region of our country, which register the acceleration ground in the three components, allowing the study of the aftershocks associated with the earthquake, and thus the comparison with the theoretical maximum accelerations observed to identify possible site effects and the formulation of laws of attenuation for the Bío-Bío region.

Índice general

Agradecimientos	I
Resumen	I
Abstract	III
1. Introducción	3
1.1. Terremoto 27/02/10	3
1.2. Efecto de sitio	5
1.3. Red QCN	7
1.3.1. Instalación acelerómetros	7
1.4. Hipótesis	12
1.4.1. Objetivos	12
1.4.2. Objetivo general	12
1.4.3. Objetivos específicos	12
2. Marco teórico	15
2.1. Introducción	15
2.2. Leyes de atenuación nacionales	15
2.2.1. Estructura de una ley de atenuación referida al hipocentro	15
2.2.2. Ley de Schaad y Saragoni (1989)	16
2.2.3. Ley de Martin (1990)	16
2.2.4. Set de leyes de Ruiz y Saragoni (2005)	16

2.3.	Leyes de atenuación autores internacionales	17
2.3.1.	Leyes de Youngs, Chiou, Silva y Humphrey (1997)	17
2.3.2.	Leyes de Youngs, Chiou, Silva y Humphrey para roca (1997)	18
2.3.3.	Leyes de Youngs, Chiou, Silva y Humphrey para suelo (1997)	18
3.	Descarga y procesamiento de datos	19
3.1.	Introducción	19
3.1.1.	Período de réplicas a estudiar	20
3.1.2.	Salidas a terreno	21
3.1.3.	Descarga de los datos	21
3.1.4.	Elección de réplicas a estudiar	22
3.2.	Réplicas seleccionadas	23
3.3.	Procesamiento de datos	23
3.4.	Distribución de las estaciones registradoras respecto a los eventos	25
3.5.	Gráficos para las leyes de atenuación	31
3.5.1.	Gráficos para las leyes de atenuación horizontales	32
3.5.2.	Gráficos para las leyes de atenuación verticales	38
4.	Discusión	41
4.1.	Comparación catálogo NEIC y SSN	85
5.	Conclusiones y recomendaciones	91
5.0.1.	Conclusiones	91
5.0.2.	Recomendaciones	92
A.	Anexo	93
	Bibliografía	107

Índice de figuras

1.1.	Terremoto 27/02/10.	4
1.2.	Subducción de la Placa Oceánica da Nazca bajo la Placa Continental Sudamericana, en rojo se destaca el contacto sismogénico interplaca.	5
1.3.	Esquema del paso de las ondas sísmicas para distintos suelos.	6
1.4.	Acelerómetros MEMS.	8
1.5.	Distribución de los 100 acelerómetros de la QCN.	8
3.1.	Ejemplo de señal de buena calidad.	20
3.2.	Ejemplo de señal de mala calidad.	20
3.3.	Ejemplo de ventana de descargas.	22
3.4.	Ilustración descarga de datos para un evento dado.	24
3.5.	Evento 13/03/10 03:15:1.40 -36.720 -73.500 28 km. Mw=4.9.	25
3.6.	Evento 13/03/10 10:34:43.36 -37.550 -73.460 35 km. Mw=5.8.	26
3.7.	Evento 13/03/10 17:05:38.08 -37.040 -73.290 36 km. Mw=4.4.	26
3.8.	Evento 16/03/10 02:21:57.94 -36.220 -73.260 18 km. Mw=6.7.	27
3.9.	Evento 16/03/10 03:04:39.99 -36.400 -73.070 42 km. Mw=5.0.	27
3.10.	Evento 18/03/10 01:57:29.57 -36.570 -72.770 28 km. Mw=4.7.	28
3.11.	Evento 21/03/10 18:31:4.10 -36.340 -73.160 36 km. Mw=5.5.	28
3.12.	Evento 02/04/10 22:58:7.56 -36.230 -72.880 24 km. Mw=6.0.	29
3.13.	Evento 23/04/10 10:03:6.18 -37.530 -72.970 32 km. Mw=6.0.	29
3.14.	Evento 02/05/10 14:52:39.53 -34.230 -71.880 10 km. Mw=5.9.	30
3.15.	Evento 29/06/10 01:40:0.59 -37.840 -73.280 17 km. Mw=5.5.	30

3.16. Evento 05/08/10 06:01:47.44 -37.440 -73.280 18 km. Mw=5.9.	31
3.17. Gráfico para la componente <i>x</i> de las aceleraciones máximas de los doce eventos, utilizando la ley de Martin	32
3.18. Gráfico para la componente <i>y</i> de las aceleraciones máximas de los doce eventos, utilizando la ley de Martin	33
3.19. Gráfico para la componente <i>x</i> de las aceleraciones máximas de los doce eventos, utilizando la ley de Schaad y Saragoni	33
3.20. Gráfico para la componente <i>y</i> de las aceleraciones máximas de los doce eventos, utilizando la ley de Schaad y Saragoni	34
3.21. Gráfico para la componente <i>x</i> de las aceleraciones máximas de los doce eventos, utilizando la ley de Ruiz y Saragoni para Roca	34
3.22. Gráfico para la componente <i>y</i> de las aceleraciones máximas de los doce eventos, utilizando la ley de Ruiz y Saragoni para Roca	35
3.23. Gráfico para la componente <i>x</i> de las aceleraciones máximas de los doce eventos, utilizando la ley de Ruiz y Saragoni para Suelo	35
3.24. Gráfico para la componente <i>y</i> de las aceleraciones máximas de los doce eventos, utilizando la ley de Ruiz y Saragoni para Suelo	36
3.25. Gráfico para la componente <i>x</i> de las aceleraciones máximas de los doce eventos, utilizando la ley de Youngs, Chiou y otros para roca.	36
3.26. Gráfico para la componente <i>y</i> de las aceleraciones máximas de los doce eventos, utilizando la ley de Youngs, Chiou y otros para roca.	37
3.27. Gráfico para la componente <i>x</i> de las aceleraciones máximas de los doce eventos, utilizando la ley de Youngs, Chiou y otros para suelo.	37
3.28. Gráfico para la componente <i>y</i> de las aceleraciones máximas de los doce eventos, utilizando la ley de Youngs, Chiou y otros para suelo.	38
3.29. Gráfico para la componente <i>z</i> de las aceleraciones máximas de los doce eventos, utilizando la ley de Ruiz y Saragoni para Roca.	38
3.30. Gráfico para la componente <i>z</i> de las aceleraciones máximas de los doce eventos, utilizando la ley de Ruiz y Saragoni para Suelo.	39

ÍNDICE DE FIGURAS

IX

4.1. Localización catálogo NEIC y catálogo SNN.	87
4.2. Mapa geológico SERNAGEOMIN 2002 con las 39 estaciones que registran los eventos.	90

Índice de cuadros

1.1. Localización de los acelerómetros QCN.	9
1.1. Localización de los acelerómetros QCN. (continuación).	10
1.1. Localización de los acelerómetros QCN. (continuación).	11
2.1. Leyes de atenuación de Ruiz y Saragoni para eventos interplaca.	17
3.1. Eventos catálogo NEIC a estudiar.	23
3.2. Significados archivos SAC entregados por la QCN.	24
4.1. $RMSD$ para componente x de la aceleración.	42
4.2. $RMSD$ para componente y de la aceleración.	42
4.3. $RMSD$ para componente z de la aceleración.	42
4.4. $RMSD$ para componente x de la aceleración descartando puntos anómalos. . . .	44
4.5. $RMSD$ para componente y de la aceleración descartando puntos anómalos. . . .	44
4.6. $RMSD$ para componente z de la aceleración descartando puntos anómalos. . . .	45
4.7. Comportamiento de la estación N°3 para evento N°1.	46
4.8. Comportamiento de la estación N°3 para evento N°2.	46
4.9. Comportamiento de la estación N°3 para evento N°3.	47
4.10. Comportamiento de la estación N°3 para evento N°4.	47
4.11. Comportamiento de la estación N°3 para evento N°5.	48
4.12. Comportamiento de la estación N°3 para evento N°6.	48
4.13. Comportamiento de la estación N°3 para evento N°7.	49
4.14. Comportamiento de la estación N°3 para evento N°8.	49

4.15. Comportamiento de la estación $N^{\circ}3$ para evento $N^{\circ}10$.	50
4.16. Comportamiento de la estación $N^{\circ}3$ para evento $N^{\circ}12$.	50
4.17. Comportamiento de la estación $N^{\circ}4$ para evento $N^{\circ}1$.	51
4.18. Comportamiento de la estación $N^{\circ}4$ para evento $N^{\circ}2$.	51
4.19. Comportamiento de la estación $N^{\circ}4$ para evento $N^{\circ}4$.	52
4.20. Comportamiento de la estación $N^{\circ}4$ para evento $N^{\circ}5$.	52
4.21. Comportamiento de la estación $N^{\circ}4$ para evento $N^{\circ}7$.	53
4.22. Comportamiento de la estación $N^{\circ}4$ para evento $N^{\circ}8$.	53
4.23. Comportamiento de la estación $N^{\circ}5$ para evento $N^{\circ}4$.	54
4.24. Comportamiento de la estación $N^{\circ}5$ para evento $N^{\circ}5$.	54
4.25. Comportamiento de la estación $N^{\circ}5$ para evento $N^{\circ}8$.	55
4.26. Comportamiento de la estación $N^{\circ}5$ para evento $N^{\circ}9$.	55
4.27. Comportamiento de la estación $N^{\circ}5$ para evento $N^{\circ}12$.	56
4.28. Comportamiento de la estación $N^{\circ}15$ para evento $N^{\circ}4$.	56
4.29. Comportamiento de la estación $N^{\circ}15$ para evento $N^{\circ}6$.	57
4.30. Comportamiento de la estación $N^{\circ}15$ para evento $N^{\circ}7$.	57
4.31. Comportamiento de la estación $N^{\circ}15$ para evento $N^{\circ}8$.	58
4.32. Comportamiento de la estación $N^{\circ}16$ para evento $N^{\circ}4$.	58
4.33. Comportamiento de la estación $N^{\circ}16$ para evento $N^{\circ}6$.	59
4.34. Comportamiento de la estación $N^{\circ}16$ para evento $N^{\circ}7$.	59
4.35. Comportamiento de la estación $N^{\circ}16$ para evento $N^{\circ}8$.	60
4.36. Comportamiento de la estación $N^{\circ}17$ para evento $N^{\circ}4$.	60
4.37. Comportamiento de la estación $N^{\circ}17$ para evento $N^{\circ}5$.	61
4.38. Comportamiento de la estación $N^{\circ}17$ para evento $N^{\circ}6$.	61
4.39. Comportamiento de la estación $N^{\circ}17$ para evento $N^{\circ}8$.	62
4.40. Comportamiento de la estación $N^{\circ}17$ para evento $N^{\circ}9$.	62
4.41. Comportamiento de la estación $N^{\circ}17$ para evento $N^{\circ}10$.	63
4.42. Comportamiento de la estación $N^{\circ}17$ para evento $N^{\circ}11$.	63
4.43. Comportamiento de la estación $N^{\circ}18$ para evento $N^{\circ}1$.	64

4.44. Comportamiento de la estación N°18 para evento N°2.	64
4.45. Comportamiento de la estación N°18 para evento N°3.	65
4.46. Comportamiento de la estación N°18 para evento N°5.	65
4.47. Comportamiento de la estación N°18 para evento N°8.	66
4.48. Comportamiento de la estación N°22 para evento N°3.	66
4.49. Comportamiento de la estación N°22 para evento N°6.	67
4.50. Comportamiento de la estación N°22 para evento N°7.	67
4.51. Comportamiento de la estación N°22 para evento N°8.	68
4.52. Comportamiento de la estación N°22 para evento N°9.	68
4.53. Comportamiento de la estación N°22 para evento N°11.	69
4.54. Comportamiento de la estación N°22 para evento N°12.	69
4.55. Comportamiento de la estación N°23 para evento N°1.	70
4.56. Comportamiento de la estación N°23 para evento N°3.	70
4.57. Comportamiento de la estación N°23 para evento N°9.	71
4.58. Comportamiento de la estación N°23 para evento N°12.	71
4.59. Comportamiento de la estación N°42 para evento N°4.	72
4.60. Comportamiento de la estación N°42 para evento N°5.	72
4.61. Comportamiento de la estación N°42 para evento N°8.	73
4.62. Comportamiento de la estación N°42 para evento N°9.	73
4.63. Comportamiento de la estación N°59 para evento N°1.	74
4.64. Comportamiento de la estación N°59 para evento N°2.	74
4.65. Comportamiento de la estación N°59 para evento N°4.	75
4.66. Comportamiento de la estación N°59 para evento N°5.	75
4.67. Comportamiento de la estación N°59 para evento N°6.	76
4.68. Comportamiento de la estación N°59 para evento N°8.	76
4.69. Comportamiento de la estación N°60 para evento N°1.	77
4.70. Comportamiento de la estación N°60 para evento N°5.	77
4.71. Comportamiento de la estación N°60 para evento N°6.	78
4.72. Comportamiento de la estación N°60 para evento N°7.	78

4.73. Comportamiento de la estación N°60 para evento N°8.	79
4.74. Comportamiento de la estación N°61 para evento N°1.	79
4.75. Comportamiento de la estación N°61 para evento N°4.	80
4.76. Comportamiento de la estación N°61 para evento N°9.	80
4.77. Comportamiento de la estación N°61 para evento N°10.	81
4.78. Comportamiento de la estación N°61 para evento N°12.	81
4.79. Comportamiento estaciones registradoras respecto de la ley de Youngs, Chiou y otros, suelo (1997) y la componente x de la aceleración máxima observada.	82
4.80. Comportamiento estaciones registradoras respecto de la ley de Youngs, Chiou y otros, suelo (1997) y la componente y de la aceleración máxima observada.	83
4.81. Comportamiento estaciones registradoras respecto de la ley de Ruiz y Saragoni suelo (2005) y la componente z de la aceleración máxima observada.	84
4.82. Eventos catálogo SSN a estudiar.	86
4.83. <i>RMSD</i> para componente x de la aceleración descartando puntos anómalos y utilizando en catálogo SSN.	88
4.84. <i>RMSD</i> para componente y de la aceleración descartando puntos anómalos y utilizando en catálogo SSN.	88
4.85. <i>RMSD</i> para componente z de la aceleración descartando puntos anómalos y utilizando en catálogo SSN.	89
A.1. Valores de constantes para terreno tipo roca.	93
A.2. Valores de constantes para terreno tipo suelo.	94
A.3. Leyenda mapa geológico SERNAGEOMIN (2002).	94
A.3. Leyenda mapa geológico SERNAGEOMIN (2002).(continuación).	95
A.3. Leyenda mapa geológico SERNAGEOMIN (2002).(continuación).	96
A.3. Leyenda mapa geológico SERNAGEOMIN (2002).(continuación).	97
A.3. Leyenda mapa geológico SERNAGEOMIN (2002).(continuación).	98
A.3. Leyenda mapa geológico SERNAGEOMIN (2002).(continuación).	99
A.4. Evento 13/03/10 03:15:1.40 Mw=4.9.	99
A.4. Evento 13/03/10 03:15:1.40 Mw=4.9. (continuación).	100

ÍNDICE DE CUADROS

1

A.5. Evento 13/03/10 10:34:43.36 Mw=5.8.	100
A.6. Evento 13/03/10 17:05:38.08 Mw=4.4.	100
A.7. Evento 16/03/10 02:21:57.94 Mw=6.7.	101
A.8. Evento 16/03/10 03:04:39.99 Mw=5.0.	101
A.8. Evento 16/03/10 03:04:39.99 Mw=5.0. (continuación.)	102
A.9. Evento 18/03/10 01:57:29.57 Mw=4.7.	102
A.10. Evento 21/03/10 18:31:4.10 Mw=5.5.	103
A.11. Evento 02/04/10 22:58:7.56 Mw=6.0.	103
A.11. Evento 02/04/10 22:58:7.56 Mw=6.0. (continuación.)	104
A.12. Evento 23/04/10 10:03:6.18 Mw=6.0.	104
A.13. Evento 02/05/10 14:52:39.53 Mw=5.9.	104
A.13. Evento 02/05/10 14:52:39.53 Mw=5.9. (continuación.)	105
A.14. Evento 29/06/10 01:40:0.59 Mw=5.5.	105
A.15. Evento 05/08/10 06:01:47.44 Mw=5.9.	106

Capítulo 1

Introducción

1.1. Terremoto 27/02/10

El terremoto del 27/02/10 ocurrido en nuestro país, a las 03:34:14 hora local alcanzó una magnitud $M_w=8.8$. El epicentro se ubicó en el Mar chileno, frente a las localidades de Curanipe y Cobquecura, cerca de 150 kilómetros al noroeste de Concepción y a 63 [km] al suroeste de Cauquenes, y aproximadamente a 30 [km] de profundidad.

Este evento dio origen a un importante período de réplicas, con las cuales se tiene la oportunidad de estudiar, entre otros, el efecto en superficie, la distribución de intensidades en términos de valores de aceleración máxima (PGA) y vincular esto con las leyes de atenuación sísmicas existentes elaboradas para estimar valores de PGA a los que un determinado sitio se verá sometido ante un evento sísmico de magnitud M.

Sin embargo, se necesita de una rápida instalación de equipos, en este caso de acelerómetros, para poder contar con un registro que contenga las réplicas mas importantes, que podrían darse en un período cercano a la descarga principal.

El terremoto que ocurrió el 27/02/10 a las 03:34:14 hora local en la zona central de Chile, se originó debido al desplazamiento súbito de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana en un área que se extiende aproximadamente desde la Península de Arauco por el sur hasta el norte de Pichilemu, cubriendo unos 450 [km] de longitud en dirección prácticamente N-S por un ancho de unos 100 [km]. Esta zona de contacto entre las placas, cuya expresión superficial

es la fosa marina que se ubica unos 130 [km] de la costa hacia el Oeste, determina un plano inclinado que define el área de fallamiento que es fuente sísmica del terremoto.

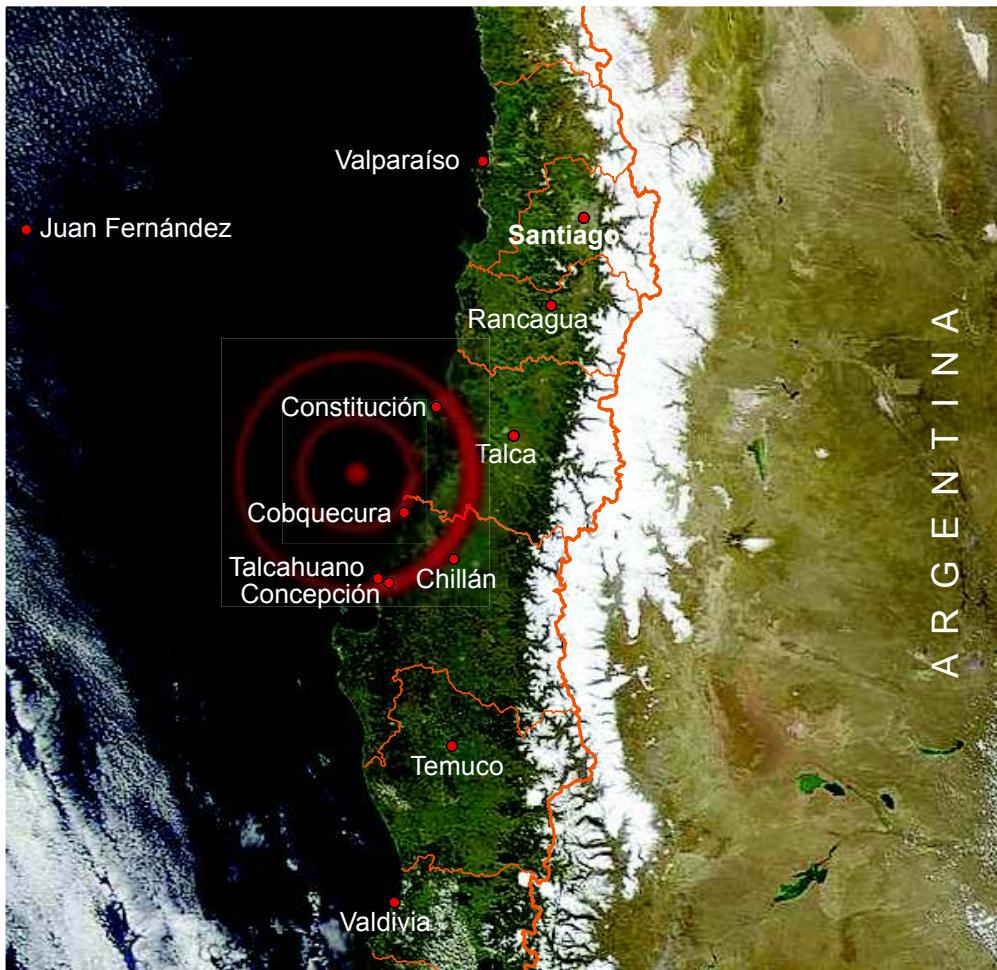


Figura 1.1: Terremoto 27/02/10.

Los sismos interplaca se alojan sobre el contacto sismogénico, formado por la superficie de encuentro de las placas Nazca y Sudamérica, la cual se extiende desde la fosa oceánica, ubicada a aproximadamente 6 [km] de profundidad en suelo oceánico, y un límite inferior que se ubicaría entre 50 y 60 [km] de profundidad, “a la altura” del borde oriental de la Cordillera de la Costa. Los eventos intraplaca ocurren dentro de las placas. Esta situación se esquematiza en la figura 1.2:

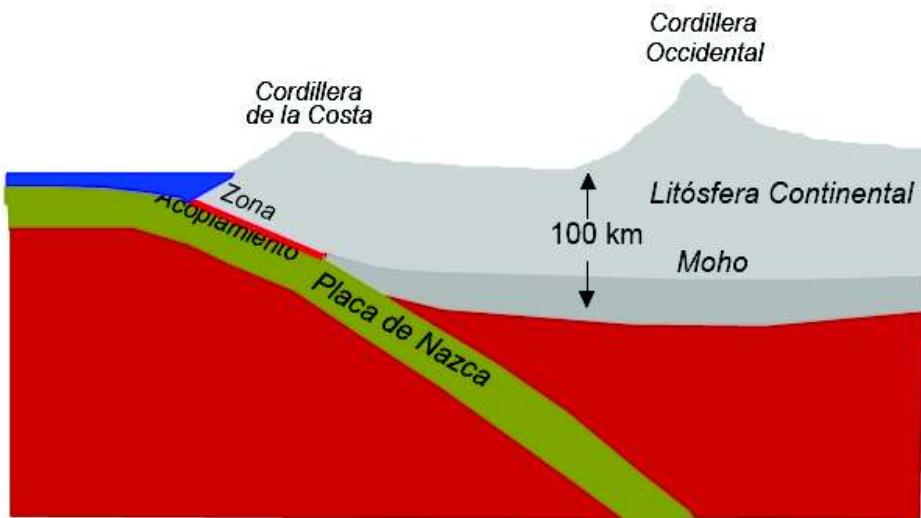


Figura 1.2: Subducción de la Placa Oceánica da Nazca bajo la Placa Continental Sudamericana, en rojo se destaca el contacto sismogénico interplaca.

1.2. Efecto de sitio

La naturaleza y la distribución de los daños que pueden afectar en la infraestructura debido a la ocurrencia de un terremoto, está muy influenciada por la respuesta del terreno frente a cargas cíclicas, como consecuencia de lo cual se produce una modificación de la señal sísmica. La modificación de esta señal sísmica debida a la influencia de las condiciones geológicas y topográficas, se conoce como efecto de sitio y consiste tanto en la amplificación de dicha señal en varios ordenes de magnitud así como en el gatillamiento del término de licuefacción.

El estudio de la respuesta sísmica del suelo es un campo de interés en el análisis de riesgo sísmico y en el diseño sismorresistente y está siendo objeto de numerosos trabajos sobre todo tras los desastres de recientes terremotos clasificados como destructivos. Un estudio completo del efecto de sitio requiere considerar varios aspectos: Fuente sísmica, directividad, incidencia, tipo de suelo y tipo de estructura.

Sin embargo, dada la complejidad del fenómeno, en muchas ocasiones los estudios se realizan asumiendo simplificaciones y considerando solamente alguno de los aspectos anteriormente

mencionados. En el presente trabajo se estudia únicamente el efecto sitio en lo que se refiere al análisis de valores PGA y su vinculación con las características geológicas y la composición litológica de las formaciones superficiales.

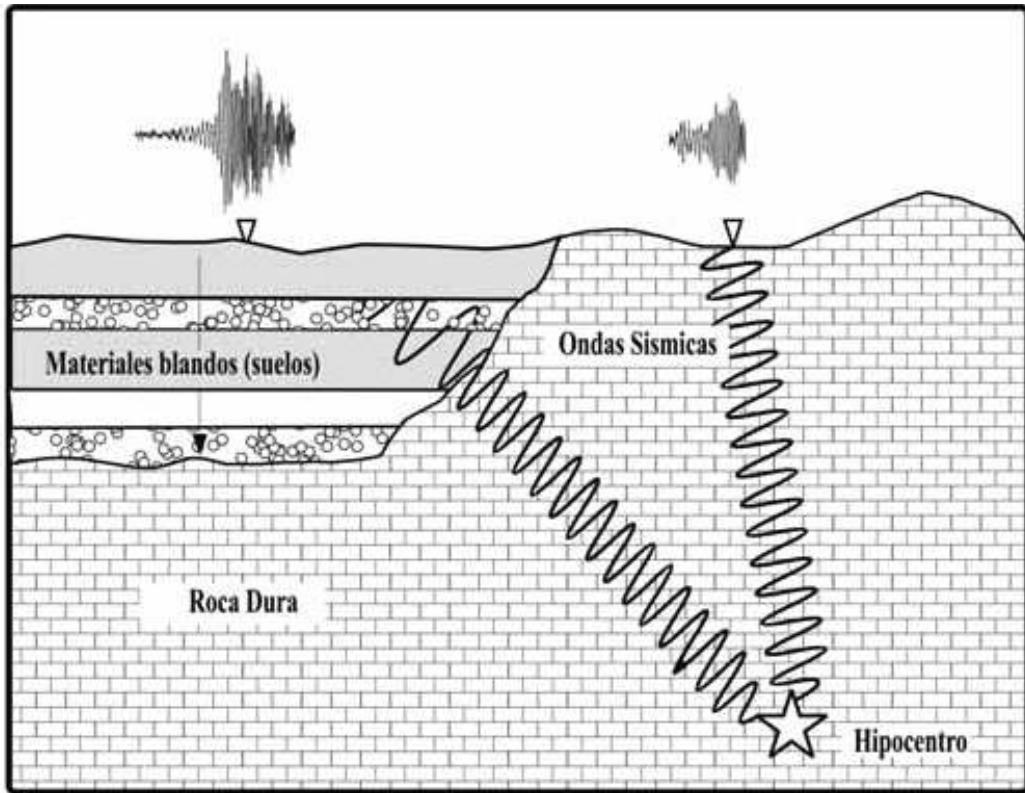


Figura 1.3: Esquema del paso de las ondas sísmicas para distintos suelos.

La presencia de sitios, considerados geotécnicamente como blandos, cercanos a la superficie del terreno produce un aumento considerable de los daños generados por terremotos en las infraestructuras situadas sobre ellos, al condicionar la amplificación de las ondas sísmicas en un rango de períodos de vibración (períodos altos) de los materiales, que coincide con el período de vibración de las estructuras. La respuesta y la magnitud de esa amplificación de la señal está controlada principalmente por las propiedades geotécnicas de los materiales geológicos, especialmente por sus características dinámicas, así como el espesor de las capas y la profundidad a la que se encuentra el sustrato rocoso. Estos fenómenos también suelen provocar grandes movimientos de masas de tierras.

Cuando se produce una sacudida sísmica se libera una gran energía de deformación almacenada. Esta energía se transmite por el interior de la tierra (rocas) en forma de ondas sísmicas que normalmente se atenúan con la distancia al foco emisor y con el tiempo. Sin embargo, cuando las ondas atraviesan determinados tipos de terrenos (por ejemplo suelos blandos, no consolidados) el movimiento de la señal de entrada se amplifica de forma muy relevante. En la Figura 1.3 se esquematiza un ejemplo del paso de las ondas sísmicas en terrenos de distintas competencias. Este fenómeno no solo produce un aumento de la amplitud de las ondas sino también prolonga la duración de la sacudida sísmica y modifica su contenido frecuencial.

1.3. Red QCN

1.3.1. Instalación acelerómetros

Ocurrido el terremoto del 27/02/10, el departamento de geofísica de la Universidad de Stanford se contactó con los profesores de la Universidad de Concepción Matthew Miller y Andrés Sepúlveda, para viajar a instalar una red de acelerómetros de rápida conexión e instalación a través de puertos USB en computadores que se encuentren conectados a internet las veinticuatro horas del día. Estos acelerómetros fueron instalados en lugares públicos como hospitales, colegios, compañías de bomberos y casas particulares, entre otros.

La QCN (Quake-Catcher Network) es una red colectora de terremotos, cuyo objetivo es la rápida observación, medición y ubicación de eventos sísmicos con instrumentos, en este caso, acelerómetros MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems), de portabilidad y valor incomparable a los instrumentos tradicionales (Figura 1.4). La QCN instaló 100 acelerómetros MEMS, distribuidos desde la quinta región a la octava región de Chile (Figura 1.5).



Figura 1.4: Acelerómetros MEMS.

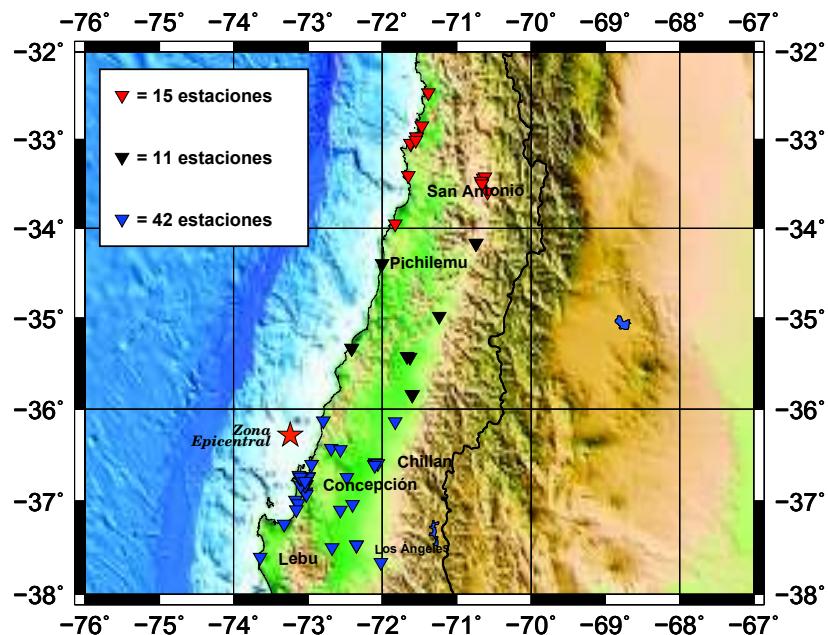


Figura 1.5: Distribución de los 100 acelerómetros de la QCN.

Cuadro 1.1: Localización de los acelerómetros QCN.

Nº	Localidad	Longitud[°]	Latitud[°]	Nº piso	Nº Región
1	Arauco	-73.3201	-37.2516	1	VIII
2	Cabrero	-72.3995	-37.0389	1	VIII
3	Chiguayante	-73.0293	-36.9019	0	VIII
4	Chiguayante	-73.0339	-36.9228	0	VIII
5	Chiguayante	-73.0241	-36.9323	0	VIII
6	Chillán	-72.1041	-36.6061	0	VIII
7	Chillán	-72.0960	-36.5857	0	VIII
8	Chillán	-72.1040	-36.6060	2	VIII
9	Chillán	-72.1107	-36.6062	0	VIII
10	Chillán	-72.1020	-36.6057	0	VIII
11	Chillán	-72.0620	-36.5929	1	VIII
12	Chillán	-72.1017	-36.6119	1	VIII
13	Cobquecura	-72.7910	-36.1314	0	VIII
14	Concepción	-73.0400	-36.82076	1	VIII
15	Concepción	-73.0217	-36.7876	0	VIII
16	Concepción	-73.0226	-36.8197	1	VIII
17	Concepción	-73.0562	-36.7909	0	VIII
18	Concepción	-73.0380	-36.8296	0	VIII
19	Concepción	-73.0412	-36.7883	1	VIII
20	Constitución	-72.4119	-35.3309	1	VII
21	Constitución	-72.4138	-35.3390	0	VII
22	Coronel	-73.1705	-36.9893	1	VIII
23	Coronel	-73.1358	-37.0282	0	VIII
24	Curicó	-71.2374	-34.9825	1	VII
25	Dichato	-72.6900	-36.4300	0	VIII

Cuadro 1.1: Localización de los acelerómetros QCN. (continuación).

N°	Localidad	Longitud[°]	Latitud[°]	N° piso	N° Región
26	El Quisco	-71.6492	-33.4090	0	V
27	Lebu	-73.6430	-37.6063	1	VIII
28	Linares	-71.5959	-35.8472	1	VII
29	Linares	-71.5977	-35.8472	1	VII
30	Linares	-71.5954	-35.8446	0	VII
31	Los Angeles	-72.3467	-37.4733	1	VIII
32	Los Angeles	-72.3455	-37.4721	0	VIII
33	Los Angeles	-72.3492	-37.4758	0	VIII
34	Lota	-73.1560	-37.0950	0	VIII
35	Nacimiento	-72.6762	-37.5011	0	VIII
36	Navidad	-71.8290	-33.9533	0	VI
37	Papudo	-71.3808	-32.4700	1	V
38	Parral	-71.8253	-36.1408	0	VII
39	Penco	-72.9934	-36.7380	0	VIII
40	Penco	-72.9927	-36.7395	0	VIII
41	Pichilemu	-72.0019	-34.3933	1	VI
42	Quillón	-72.4774	-36.7441	0	VIII
43	Quintero	-71.4669	-32.8448	0	V
44	Rancagua	-70.7346	-34.1653	0	VI
45	Rancagua	-70.7411	-34.1696	0	VI
46	Reñaca	-71.5386	-32.9731	0	V
47	Reñaca	-71.5367	-32.9710	3	V
48	San Antonio	-71.6500	-32.3833	0	V
49	San Pedro	-73.097	-36.8365	0	VIII
50	Santa Bárbara	-72.0184	-37.6627	0	VIII

Cuadro 1.1: Localización de los acelerómetros QCN. (continuación).

Nº	Localidad	Longitud[°]	Latitud[°]	Nº piso	Nº Región
51	Santa Juana	-72.5625	-36.4462	0	VIII
52	Santiago	-70.5861	-33.5956	0	R.M.
53	Santiago	-70.6452	-33.4380	8	R.M.
54	Santiago	-70.6184	-33.4250	0	R.M.
55	Santiago	-70.6714	-33.4741	0	R.M.
56	Santiago	-70.6602	-33.5022	4	R.M.
57	Talca	-71.6654	-35.4258	1	VII
58	Talca	-71.6262	-35.4316	0	VII
59	Talcahuano	-73.1075	36.7491	0	VIII
60	Talcahuano	-73.1077	-36.7419	0	VIII
61	Talcahuano	-73.0914	-36.7545	0	VIII
62	Talcahuano	-73.1249	-36.7223	1	VIII
63	Talcahuano	-73.1016	-36.6041	0	VIII
64	Tomé	-72.9538	-36.6041	0	VIII
65	Valparaíso	-71.6167	-33.0479	0	V
66	Valparaíso	-71.6239	-33.0433	5	V
67	Viña del Mar	-71.5492	-33.0086	2	V
68	Yumbel	-72.5625	-37.0994	0	VIII

De los cien acelerómetros que la QCN instaló, se pudo dar con la ubicación de los sesenta y ocho tabulados en el Cuadro 1.1. Hay que tener en consideración que cuando el número de piso corresponde al valor N° piso= 0, entonces el acelerómetro se encontraba ubicado en el primer piso de la construcción. De la misma manera si el valor N° piso= 1, entonces el acelerómetro se encontraba en el segundo piso de la construcción, y así sucesivamente.

1.4. Hipótesis

A partir del registro de aceleraciones máximas, es posible estudiar la existencia de efectos de sitio en zonas afectadas por el terremoto del 27/02/10.

1.4.1. Objetivos

1.4.2. Objetivo general

Con los datos descargados a través del servidor de la red QCN se estudiará aceleraciones máximas obtenidas a la luz de las leyes de atenuación existentes. Estos valores se analizarán estudiando y verificando si hay un efecto de sitio asociado.

1.4.3. Objetivos específicos

- Estudiar las leyes de atenuación que los diversos autores han modelado para nuestro país.
- Aprender a trabajar con el programa SAC (Seismic Analysis Code).
- Distinguir como los diferentes tipos de suelo influyen en los valores máximos de las señales de aceleración sísmica, pudiendo amplificarlas o atenuarlas (Efectos de sitio).
- Elegir cual de las leyes de atenuación de la literatura es la que mejor se ajusta para los diferentes tipos de suelos de la octava región del país.
- Modelar una ley de atenuación sísmica para la octava región de Chile, considerando los diferentes tipos de suelo que presenta ésta.

Capítulo 2

Marco teórico

2.1. Introducción

En la literatura existen estudios de la atenuación o amplificación de las señales sísmicas por autores nacionales, así como también autores internacionales. Sin embargo a pesar que las leyes existentes se encuentran formuladas para Chile, no están formuladas para la octava región.

Las leyes de atenuación existentes se encuentran separadas tanto para eventos intraplaca, así como también para eventos interplaca. Dada la geometría del evento del 27/02/10 y de la calificación que se le ha dado, sabemos que este evento cumple con las características de un evento interplaca, por lo cual solo consideraremos las leyes enunciadas de este tipo.

2.2. Leyes de atenuación nacionales

2.2.1. Estructura de una ley de atenuación referida al hipocentro

Consideremos la siguiente formulación:

$$x = \frac{Ae^{BM}}{(R + C)^D} \quad (2.1)$$

En este tipo de formulación los parámetros tienen la siguiente distribución:

x representa el máximo valor esperado del parámetro sísmico estudiado, en este caso corresponde a la aceleración máxima en $[\frac{cm}{s^2}]$.

M es la magnitud del evento.

R es la distancia hipocentral más cercana a la aspereza en kilómetros [km].

A , B y D son constantes a determinar y C es fijado a priori.

Se han efectuado numerosos estudios de curvas de atenuación de la aceleración máxima con la distancia, tanto locales como utilizando datos de diversas zona de subducción, Martin (1990), Schaad y Saragoni (1990) y Ruiz y Saragoni (2005) han propuesto modelos usando un conjunto de acelerogramas obtenidos a la fecha en Chile.

2.2.2. Ley de Schaad y Saragoni (1989)

Los ingenieros civiles Rodolfo Saragoni y Cristian Schaad de la Universidad de Chile, presentaron en el año 1989 una ley de atenuación para la aceleración máxima horizontal, tanto para suelo como para roca.

$$a_{max} = \frac{46.4e^{0.80M}}{(R + 60)^{0.915}} [\frac{cm}{s^2}] \quad (2.2)$$

2.2.3. Ley de Martin (1990)

El ingeniero civil Andrés Martin de La Universidad de Chile, presentó en el año 1990 una ley de atenuación para la aceleración máxima horizontal,tanto para suelo como para roca.

$$a_{max} = \frac{71.3e^{0.83M}}{(R + 60)^{1.03}} [\frac{cm}{s^2}] \quad (2.3)$$

2.2.4. Set de leyes de Ruiz y Saragoni (2005)

Los ingenieros civiles Rodolfo Saragoni y Sergio Ruiz de la Universidad de Chile, presentaron en el año 2005 un conjunto de leyes de atenuación en donde a diferencia a las leyes anteriores, se diferencian para el tipo de suelo y para la componente de la aceleración máxima.

Cuadro 2.1: Leyes de atenuación de Ruiz y Saragoni para eventos interplaca.

Dirección	Tipo de suelo	Ley de atenuación
Horizontal	Roca	$a_{max} = \frac{4e^{1.3M}}{(R+30)^{1.43}} [\frac{cm}{s^2}] \quad (2.4)$
Horizontal	Suelo	$a_{max} = \frac{2e^{1.28M}}{(R+30)^{1.09}} [\frac{cm}{s^2}] \quad (2.5)$
Vertical	Roca	$a_{max} = \frac{11e^{1.11M}}{(R+30)^{1.41}} [\frac{cm}{s^2}] \quad (2.6)$
Vertical	Suelo	$a_{max} = \frac{18e^{1.31M}}{(R+30)^{1.65}} [\frac{cm}{s^2}] \quad (2.7)$

2.3. Leyes de atenuación autores internacionales

2.3.1. Leyes de Youngs, Chiou, Silva y Humphrey (1997)

Los investigadores R.R. Youngs, S.-J. Chiou de Geomatrix consultants; W.J. Silva de Pacific Engineering and analysis y J.R. Humphrey de Lahontan GeoScience, han propuesto en el año 1997 leyes de atenuación para la componente horizontal de la aceleración máxima en donde se diferencia el tipo de terreno, entre roca o suelo.

Estas leyes de atenuación a diferencia de las presentadas por los investigadores nacionales, no solo consideran la distancia entre la estación y el epicentro del evento R , sino que también la profundidad del evento H .

Por otra parte, en este tipo de leyes hay constantes que van variando de valor, según el período de vibración de la estructura en donde se está midiendo.

En el Cuadro A.1 y A.2, se encuentran los valores de las constantes C_1 , C_2 y C_3 para el PGA (Peak Ground Acceleration), que corresponde a la aceleración máxima del terreno. Este valor es muy importante para la ingeniería sísmica ya que se utiliza para la construcción de estructuras como edificios y casas ya que se relaciona con los códigos de construcción y los riesgos de diseño de peligro.

En este set de leyes el valor de la aceleración máxima se encuentra en unidades de [g], donde $g = 9.8[\frac{m}{s^2}]$.

2.3.2. Leyes de Youngs, Chiou, Silva y Humphrey para roca (1997)

$$\ln(a_{max}) = 0.2418 + 1.414M + C_1 + C_2(10 - M)^3 + C_3 \ln(R + 1.7818e^{0.554M}) + 0.00607H[g] \quad (2.8)$$

2.3.3. Leyes de Youngs, Chiou, Silva y Humphrey para suelo (1997)

$$\ln(a_{max}) = -0.6687 + 1.438M + C_1 + C_2(10 - M)^3 + C_3 \ln(R + 1.097e^{0.617M}) + 0.00648H[g] \quad (2.9)$$

Capítulo 3

Descarga y procesamiento de datos

3.1. Introducción

El catálogo NEIC registró las réplicas ocurridas en el período de tiempo que se va a estudiar. Esto permitió hacer una descarga precisa de datos.

A pesar de descargar alrededor de cien réplicas, al momento de leer con SAC las señales, solo se logró formar un conjunto de doce réplicas a estudiar, ya que el resto de las señales descargadas correspondían a ruido.

Afortunadamente las réplicas seleccionadas para ser estudiadas abarcan magnitudes entre $Mw=4.4$ y $Mw=6.7$, lo cual hace mas variada la muestra.

Para decidir si una serie temporal correspondía a una señal valida, se usó el siguiente criterio:

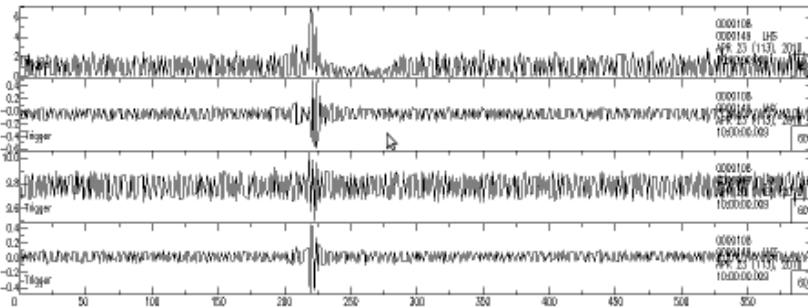


Figura 3.1: Ejemplo de señal de buena calidad.

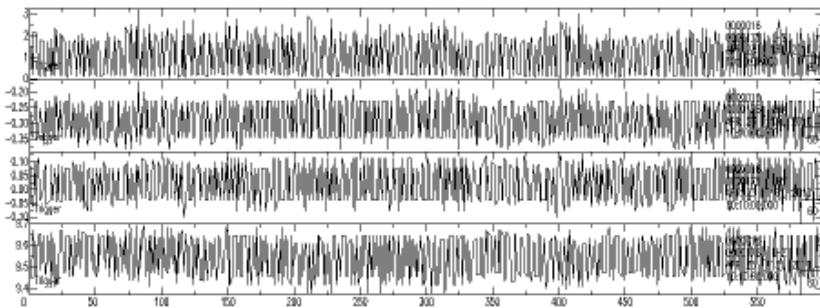


Figura 3.2: Ejemplo de señal de mala calidad.

Las figuras 3.1 y 3.2 representan un ejemplo de los tipos de señales obtenidas, una vez efectuadas las descargas.

3.1.1. Período de réplicas a estudiar

La instalación de los acelerómetros por parte de la QCN se realizó durante las primeras tres semanas de Marzo del año 2010, por lo que se ha considerado un período de réplicas a estudiar de un año. Este período abarca desde la última semana de Marzo del año 2010 a la última semana de Marzo del año 2011.

3.1.2. Salidas a terreno

Una vez concluido el período de réplicas a estudiar, se realizaron salidas a terreno que involucraron tres semanas de trabajo. La importancia de estas salidas a terreno radica en la necesidad de observar los lugares y la forma en que se encontraban instalados los acelerómetros, información con la cual no contábamos debido a la rápida instalación y descoordinación causada por el terremoto. Por otra parte, de los cien acelerómetros instalados por la QCN, solo se pudo dar con la ubicación de los sesenta y ocho acelerómetros presentados en el Cuadro 1.1. Este dato es relevante ya que para el análisis de un posible efecto de sitio hay factores como el tipo de material de construcción del lugar de instalación, que solo era posible registrar con este trabajo en terreno.

3.1.3. Descarga de los datos

Una vez concluido el período de réplicas a estudiar, se procedió a la descarga de los datos, a través de un servidor que la Universidad de Stanford puso a disposición. En este servidor se pueden descargar de manera rápida y efectiva ventanas de 600 [s] posteriores a la hora del evento que se desea descargar.

Los datos se encuentran en formato SAC (Seismic Analysis Code), por lo cual se trabajará con este programa, el cual se encuentra disponible para descarga y uso libre.

Search QCN Data:

<input checked="" type="checkbox"/> Location Search:	<input type="checkbox"/> Show Specific Host (enter host ID # or host name)
<input type="text" value="North Lat: -30"/>	<input type="text" value="Host ID: _____"/>
<input type="text" value="West Lon: +/- 90 Lat: -76"/>	<input type="text" value="East Lon: -68"/>
<input type="text" value="South Lat: -40"/>	<input checked="" type="checkbox"/> Use Time Constraint
<input type="text" value="Start Time: Apr 16 2010 23 : 30 (UTC)"/>	
<input type="text" value="End Time: Apr 16 2010 23 : 30 (UTC)"/>	
<input type="checkbox"/> Only Show If Files Received	
<input type="checkbox"/> Match USGS Quakes: Mag >= 3	
<input type="checkbox"/> Show QCN-Detected 'Quakes'	
<input checked="" type="checkbox"/> Max Data Per Page: 200	<input type="checkbox"/> Use Sensor Type:
<input checked="" type="checkbox"/> Sort Order:	<input type="text" value="Not Found"/>
<input type="text" value="Trigger Time (Latest First)"/>	
<input type="checkbox"/> Show Triggered Data <input type="checkbox"/> Show State of Health Data <input checked="" type="checkbox"/> Show Continual Data <input type="checkbox"/> Create Text/CSV File of Triggers?	
<input type="button" value="Submit Constraints"/> <input type="button" value="Start Over"/>	

Figura 3.3: Ejemplo de ventana de descargas.

3.1.4. Elección de réplicas a estudiar

Para la elección de las réplicas a estudiar, se ha utilizado el catálogo NEIC (National Earthquake Information Center), seleccionando las réplicas que ocurrieron en el período a estudiar y que tengan magnitudes iguales o superior a Mw=4.0.

3.2. Réplicas seleccionadas

El siguiente cuadro presenta el extracto del catálogo NEIC seleccionadas.

Cuadro 3.1: Eventos catálogo NEIC a estudiar.

Nº	Año	Mes	Día	hora	Min	Seg	Lat[°]	Long[°]	Prof[km]	Mw	Nº Est.
1	2010	3	13	3	15	1.40	-36.720	-73.500	28	4.9	9
2	2010	3	13	10	34	43.36	-37.550	-73.460	35	5.8	7
3	2010	3	13	17	5	38.08	-37.040	-73.290	36	4.4	6
4	2010	3	16	2	21	57.94	-36.220	-73.260	18	6.7	11
5	2010	3	16	3	4	39.99	-36.400	-73.070	42	5.0	13
6	2010	3	18	1	57	29.57	-36.570	-72.770	28	4.7	10
7	2010	3	21	18	31	4.10	-36.340	-73.160	36	5.5	6
8	2010	4	2	22	58	7.56	-36.230	-72.880	24	6.0	17
9	2010	4	23	10	3	6.18	-37.530	-72.970	32	6.0	10
10	2010	5	2	14	52	39.53	-34.230	-71.880	10	5.9	15
11	2010	6	29	1	40	0.59	-37.840	-73.280	17	5.5	5
12	2010	8	5	6	1	47.44	-37.440	-73.280	18	5.9	5

3.3. Procesamiento de datos

Cada una de las réplicas, el servidor de la QCN, entrega al momento de la descarga un número de carpetas que equivale a número total de estaciones que registran dicho evento. Dentro de cada una de estas carpetas se encuentran cuatro archivos, la Figura 3.4 ilustra esta situación.

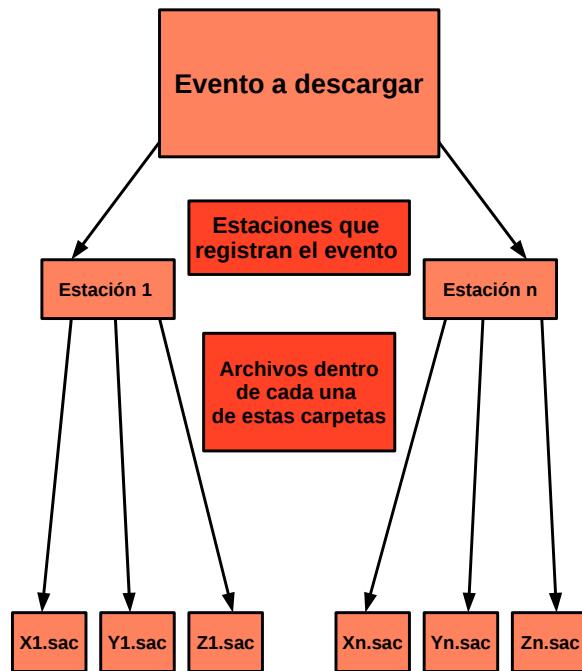


Figura 3.4: Ilustración descarga de datos para un evento dado.

Los tres archivos dentro de las carpetas que representan una estación, tienen el siguiente significado:

Cuadro 3.2: Significados archivos SAC entregados por la QCN.

Archivo	Significado
ArchivoX.sac	Componente horizontal de la aceleración
ArchivoY.sac	Componente horizontal de la aceleración
ArchivoZ.sac	Componente vertical de la aceleración

3.4. Distribución de las estaciones registradoras respecto a los eventos

A continuación se muestran los doce eventos a estudiar, tabulados en el Cuadro 3.1.

Para cada uno de los eventos se han graficado las sesenta y ocho estaciones instaladas por la QCN que pudieron ser reconocidas por nuestros registros, diferenciando en color rojo las estaciones que registran dicho evento y en color negro las estaciones que no lo registran. Además se ha incluido la ubicación del epicentro de cada evento. Estos epicentros también pueden revisarse en el Cuadro 3.1.

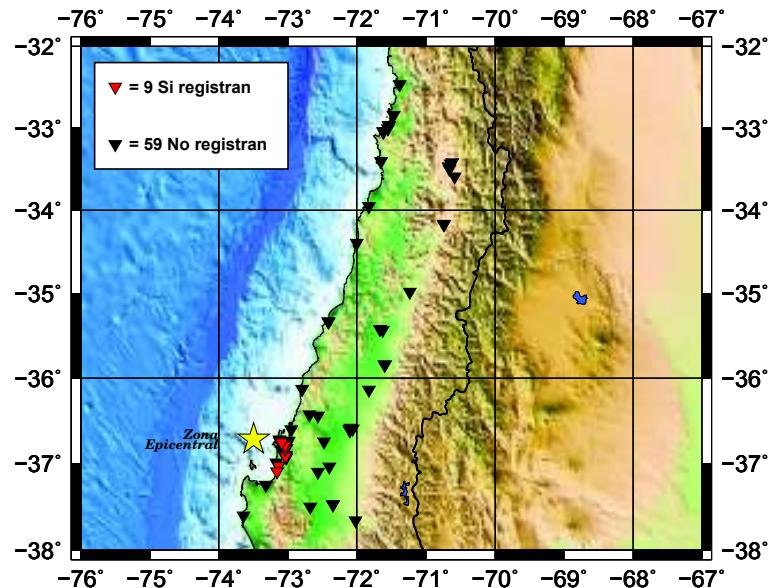


Figura 3.5: Evento 13/03/10 03:15:1.40 -36.720 -73.500 28 km. Mw=4.9.

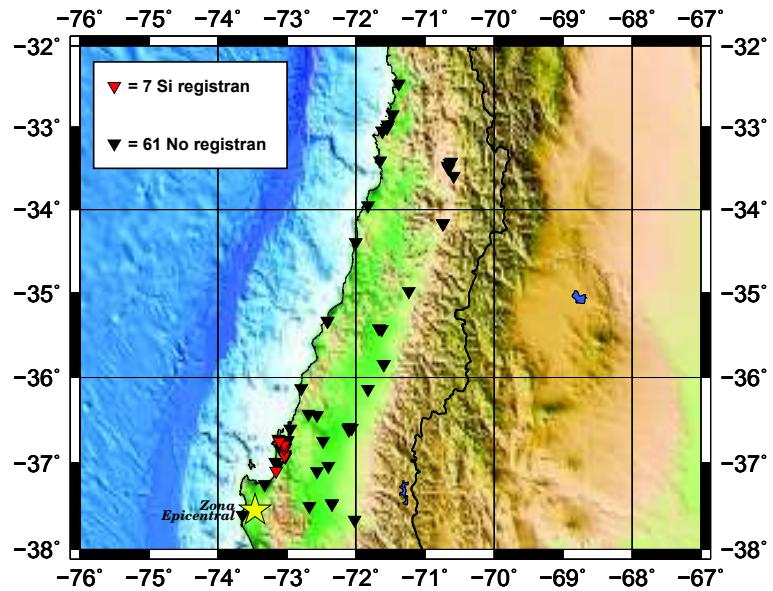


Figura 3.6: Evento 13/03/10 10:34:43.36 -37.550 -73.460 35 km. Mw=5.8.

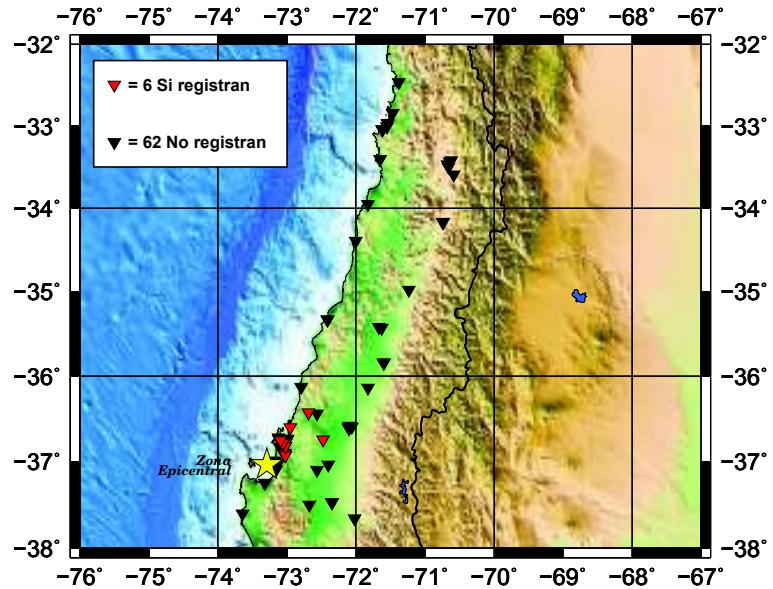


Figura 3.7: Evento 13/03/10 17:05:38.08 -37.040 -73.290 36 km. Mw=4.4.

3.4. DISTRIBUCIÓN DE LAS ESTACIONES REGISTRADORAS RESPECTO A LOS EVENTOS 27

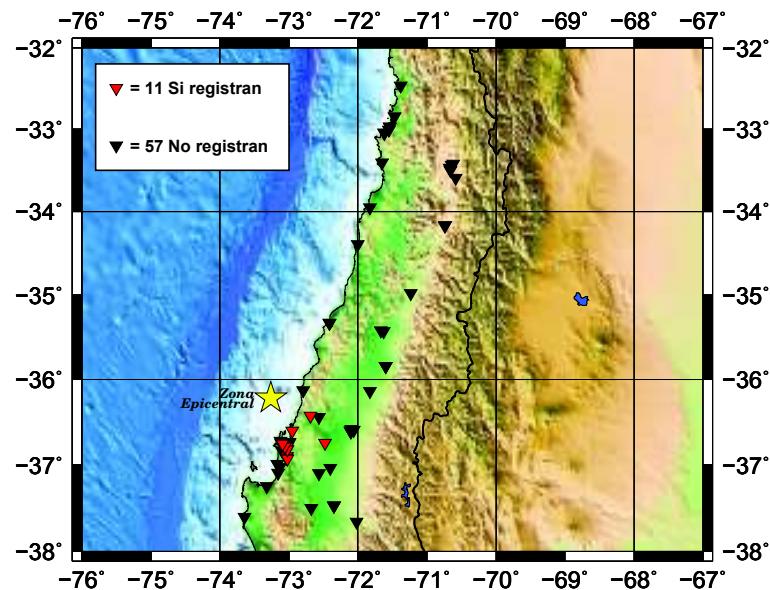


Figura 3.8: Evento 16/03/10 02:21:57.94 -36.220 -73.260 18 km. Mw=6.7.

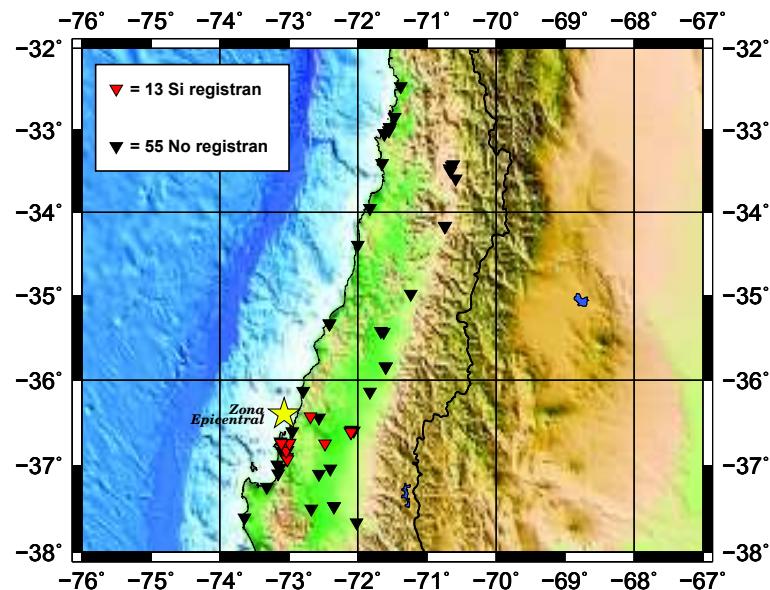


Figura 3.9: Evento 16/03/10 03:04:39.99 -36.400 -73.070 42 km. Mw=5.0.

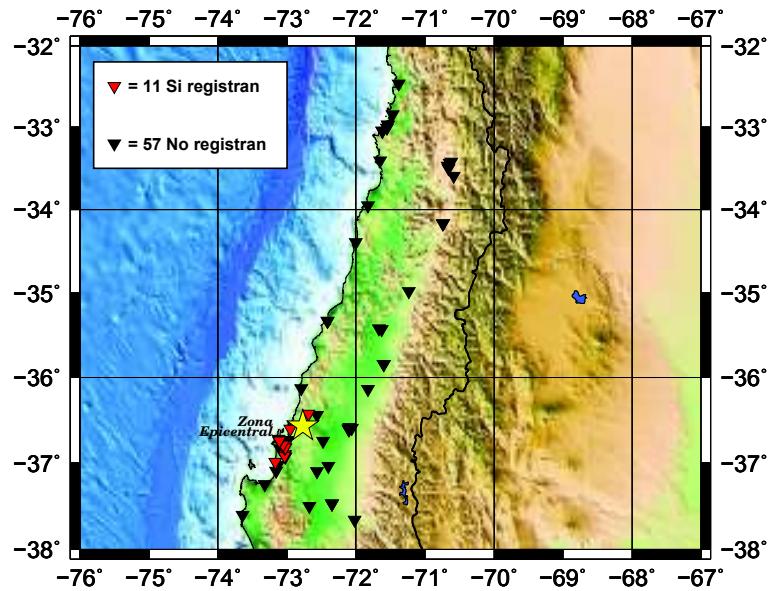


Figura 3.10: Evento 18/03/10 01:57:29.57 -36.570 -72.770 28 km. Mw=4.7.

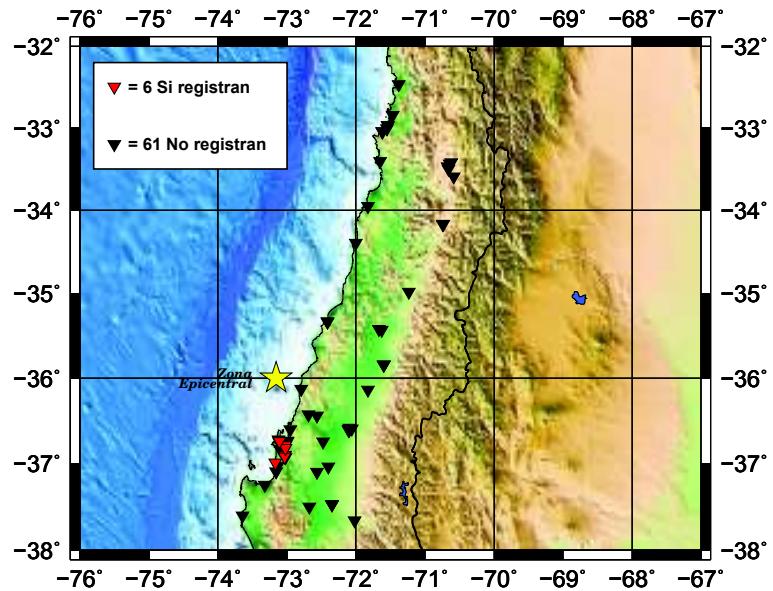


Figura 3.11: Evento 21/03/10 18:31:4.10 -36.340 -73.160 36 km. Mw=5.5.

3.4. DISTRIBUCIÓN DE LAS ESTACIONES REGISTRADORAS RESPECTO A LOS EVENTOS 29

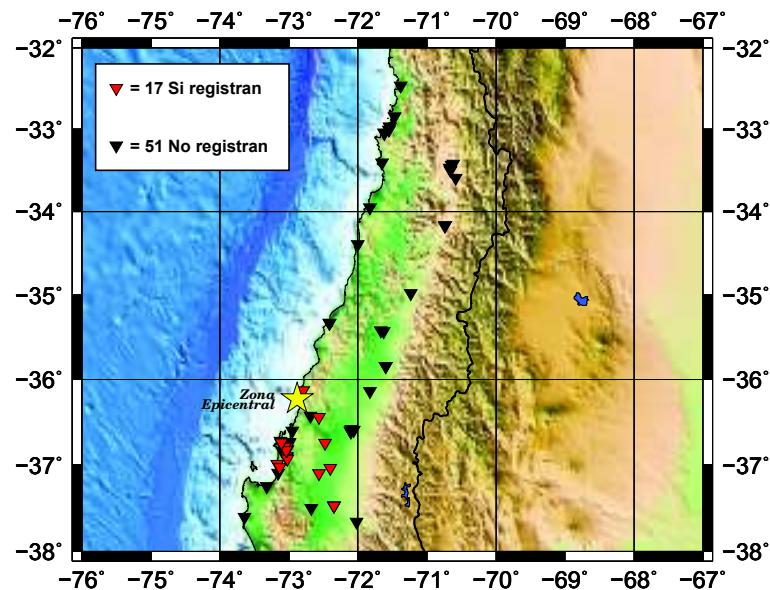


Figura 3.12: Evento 02/04/10 22:58:7.56 -36.230 -72.880 24 km. Mw=6.0.

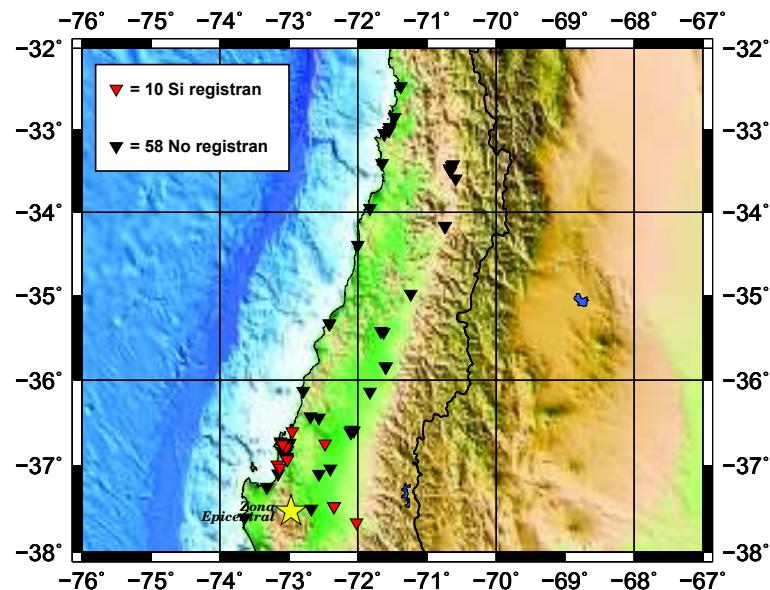


Figura 3.13: Evento 23/04/10 10:03:6.18 -37.530 -72.970 32 km. Mw=6.0.

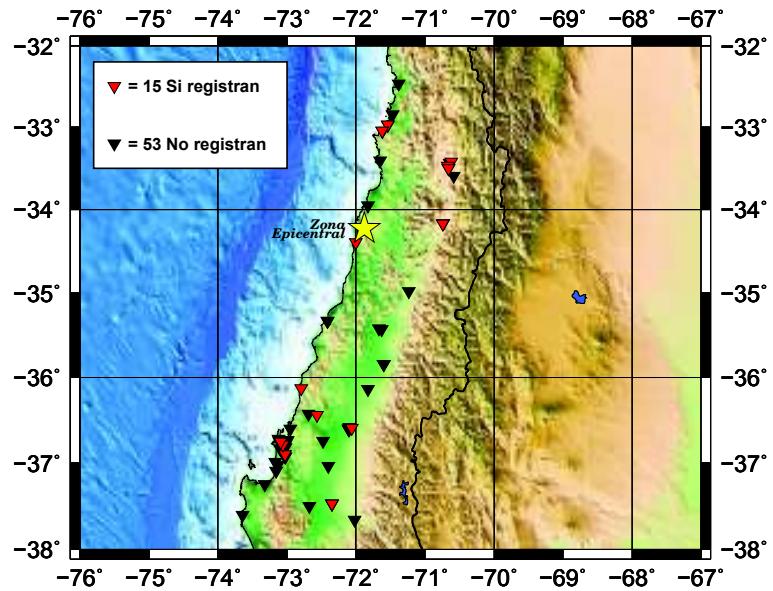


Figura 3.14: Evento 02/05/10 14:52:39.53 -34.230 -71.880 10 km. Mw=5.9.

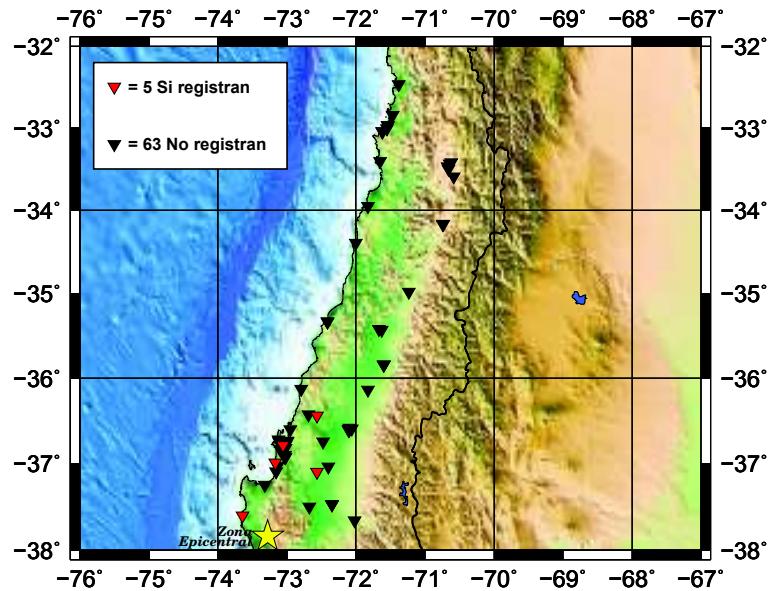


Figura 3.15: Evento 29/06/10 01:40:0.59 -37.840 -73.280 17 km. Mw=5.5.

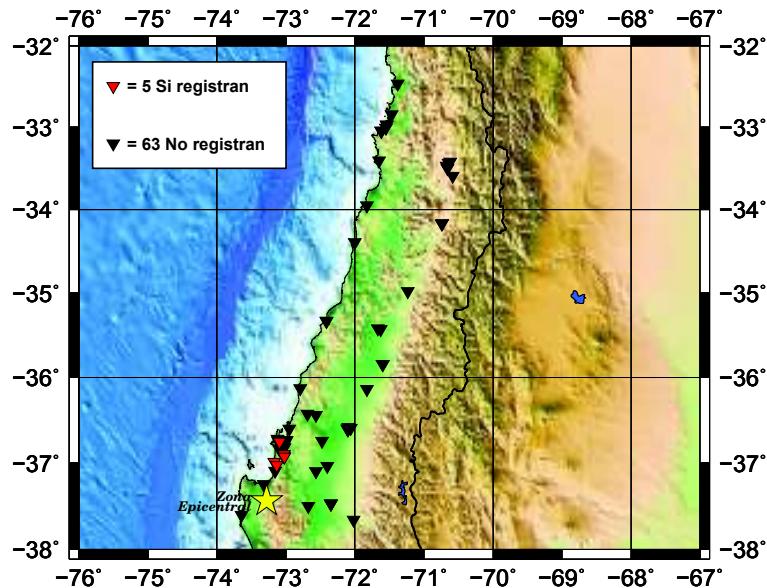


Figura 3.16: Evento 05/08/10 06:01:47.44 -37.440 -73.280 18 km. Mw=5.9.

3.5. Gráficos para las leyes de atenuación

En la sección 3.4 se han realizado gráficos separando los doce eventos a estudiar en seis grupos según la magnitud de estos. Estas separaciones se deben a la poca densidad de estaciones que registró cada evento, generando mayor dificultad al análisis por separado de cada uno de los eventos a estudiar.

Además se ha considerado una magnitud y profundidad promedio por grupo, ya que al momento de calcular las leyes de atenuación necesitaremos de estos valores.

Para la revisión de cada evento en particular se puede revisar el Cuadro 3.1. El Cuadro 3.5 muestra los grupos designados.

Cuadro 3.3: Grupos de eventos a estudiar.

Grupos de eventos				
Nº de grupo	Eventos	Hora	Magnitud promedio [Mw]	Profundidad promedio [Km]
Grupo 1	13/03/10	17 : 05 : 38.08	4.6	32
	18/03/10	01 : 57 : 29.57		
Grupo 2	13/03/10	03 : 15 : 1.40	5	28
	16/03/10	03 : 04 : 39.99		
Grupo 3	21/03/10	18 : 31 : 4.10	5.5	26.5
	29/06/10	01 : 40 : 0.59		
Grupo 4	13/03/10	10 : 34 : 43.36	5.9	21
	02/05/10	14 : 52 : 39.53		
	05/08/10	06 : 01 : 47.44		
Grupo 5	02/04/10	22 : 58 : 7.56	6	28
	23/04/10	10 : 03 : 6.18		
Grupo 6	16/03/10	02 : 21 : 57.94	6.7	18

3.5.1. Gráficos para las leyes de atenuación horizontales

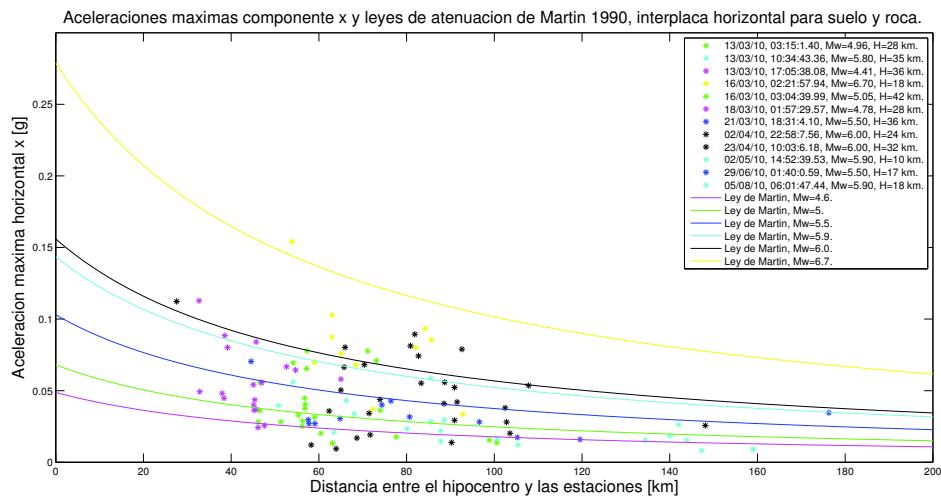


Figura 3.17: Gráfico para la componente x de las aceleraciones máximas de los doce eventos, utilizando la ley de Martin

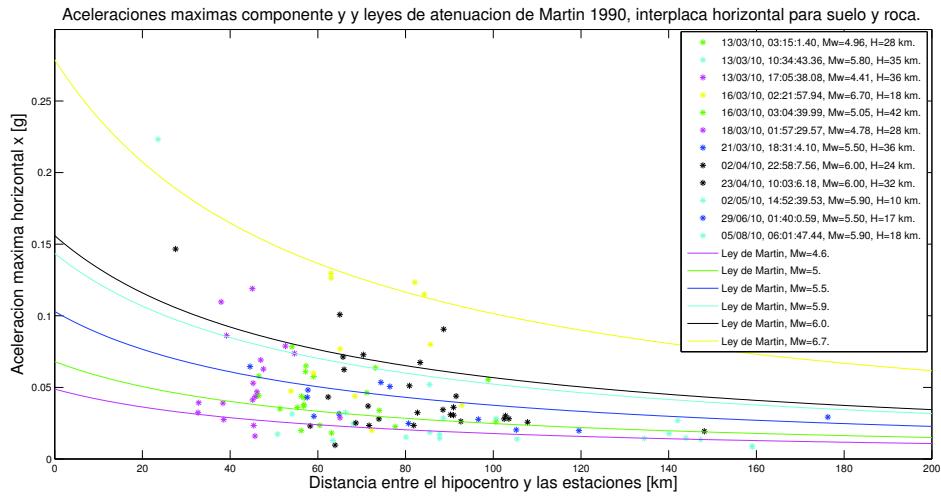


Figura 3.18: Gráfico para la componente y de las aceleraciones máximas de los doce eventos, utilizando la ley de Martin

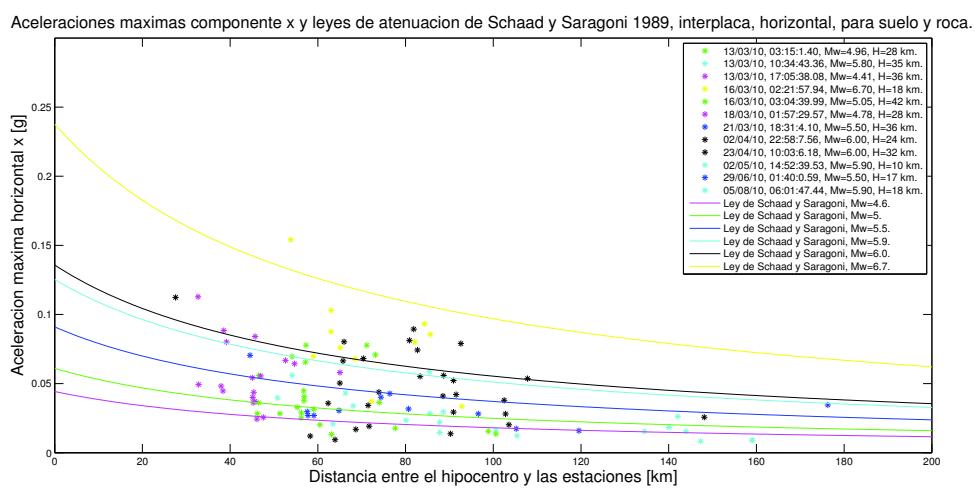


Figura 3.19: Gráfico para la componente x de las aceleraciones máximas de los doce eventos, utilizando la ley de Schaad y Saragoni

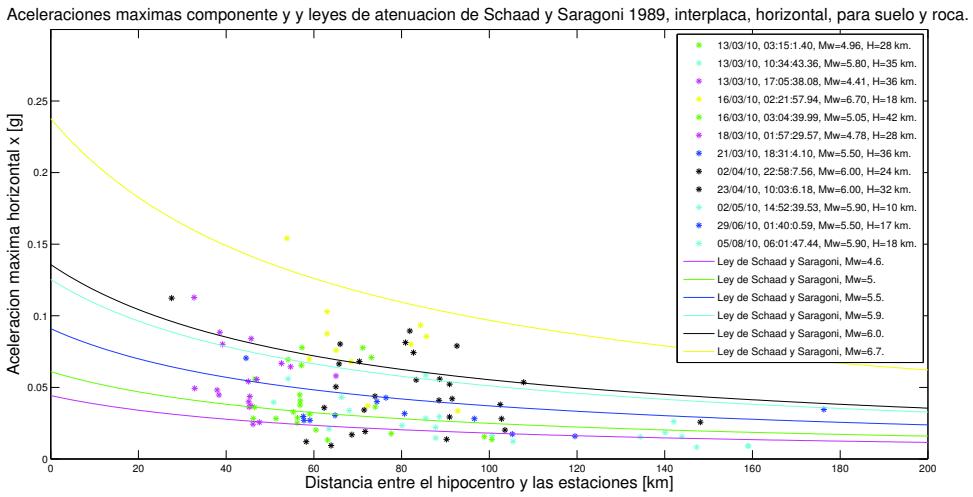


Figura 3.20: Gráfico para la componente y de las aceleraciones máximas de los doce eventos, utilizando la ley de Schaad y Saragoni

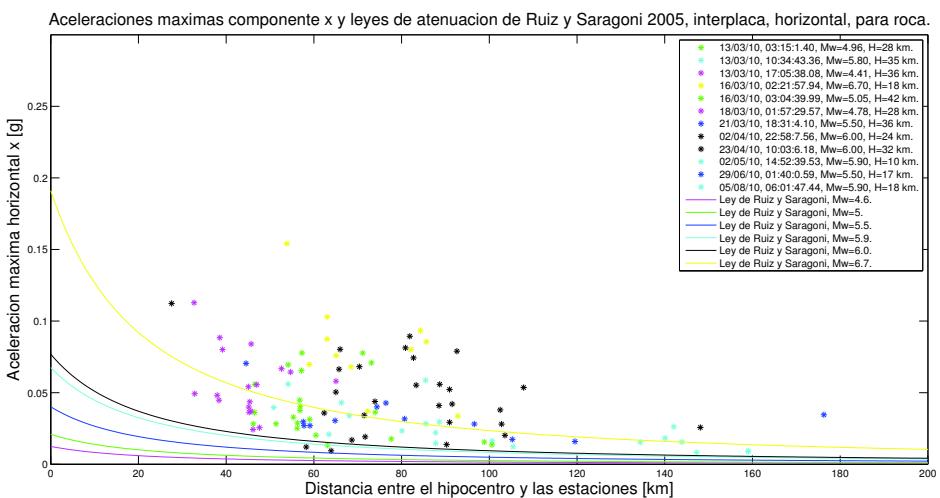


Figura 3.21: Gráfico para la componente x de las aceleraciones máximas de los doce eventos, utilizando la ley de Ruiz y Saragoni para Roca

3.5. GRÁFICOS PARA LAS LEYES DE ATENUACIÓN

35

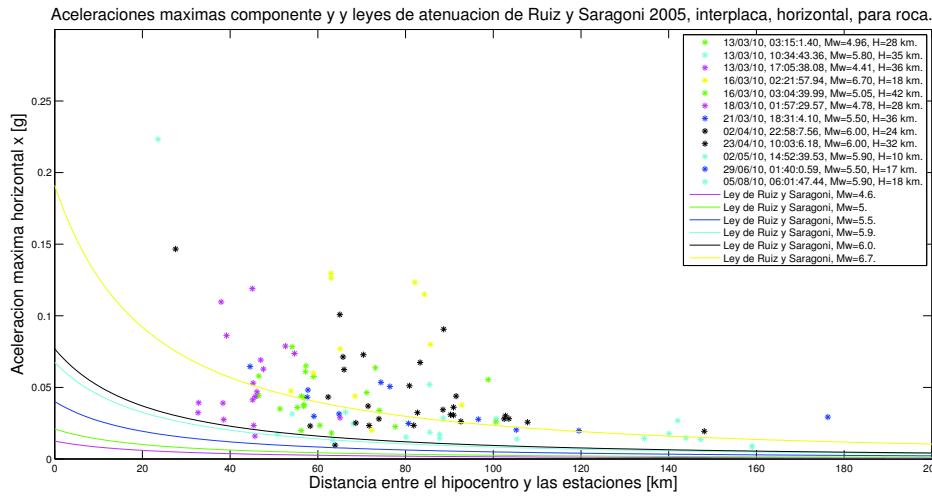


Figura 3.22: Gráfico para la componente y de las aceleraciones máximas de los doce eventos, utilizando la ley de Ruiz y Saragoni para Roca

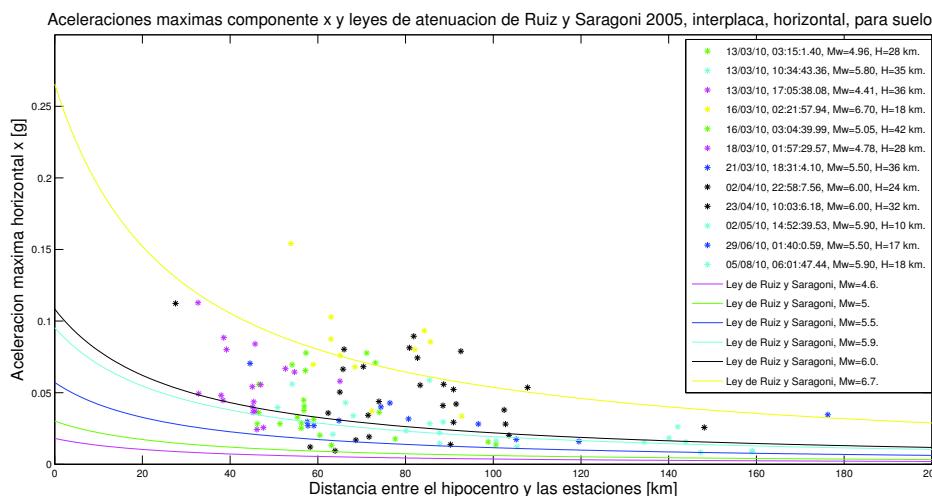


Figura 3.23: Gráfico para la componente x de las aceleraciones máximas de los doce eventos, utilizando la ley de Ruiz y Saragoni para Suelo

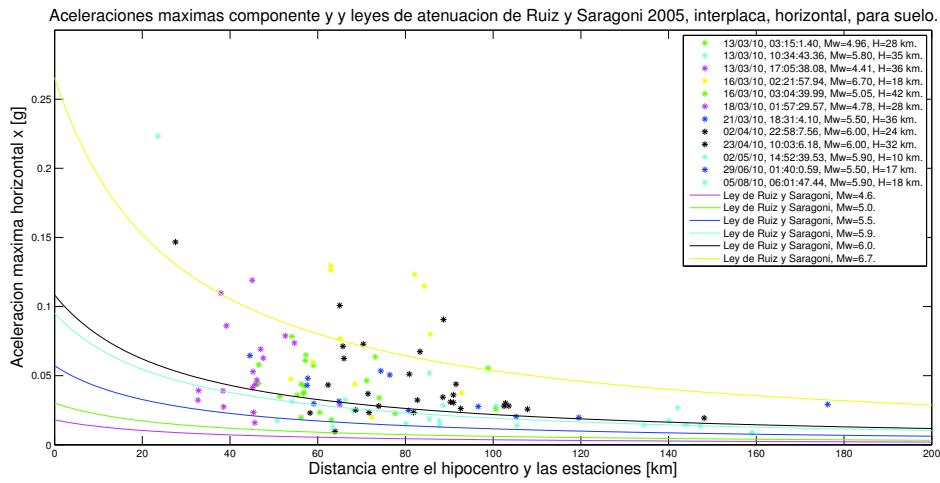


Figura 3.24: Gráfico para la componente *y* de las aceleraciones máximas de los doce eventos, utilizando la ley de Ruiz y Saragoni para Suelo

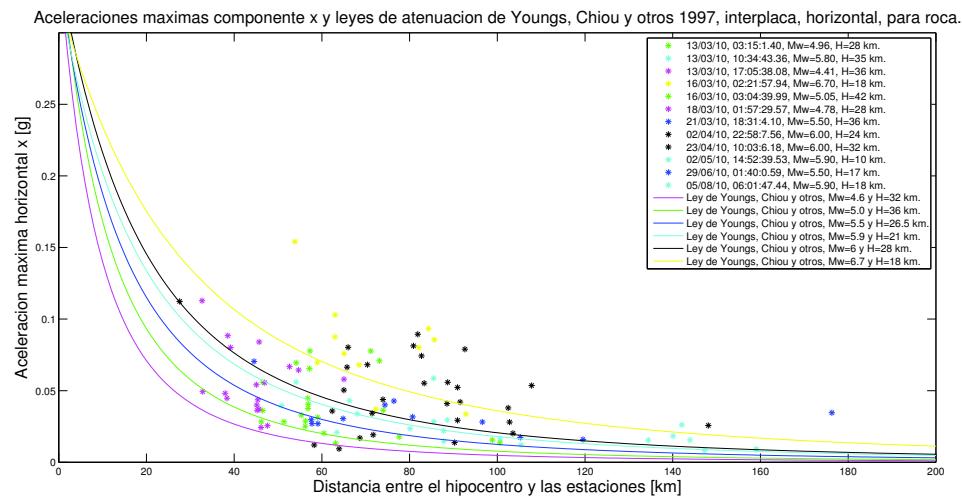


Figura 3.25: Gráfico para la componente *x* de las aceleraciones máximas de los doce eventos, utilizando la ley de Youngs, Chiou y otros para roca.

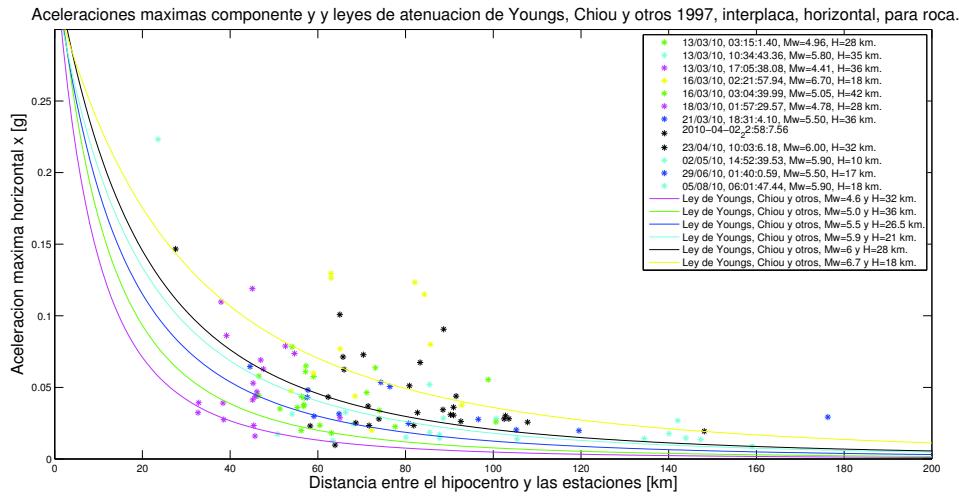


Figura 3.26: Gráfico para la componente y de las aceleraciones máximas de los doce eventos, utilizando la ley de Youngs, Chiou y otros para roca.

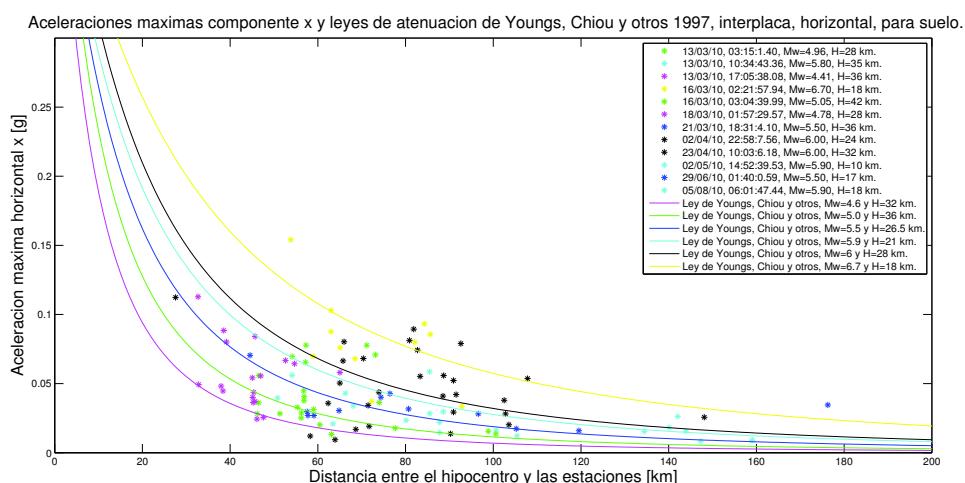


Figura 3.27: Gráfico para la componente x de las aceleraciones máximas de los doce eventos, utilizando la ley de Youngs, Chiou y otros para suelo.

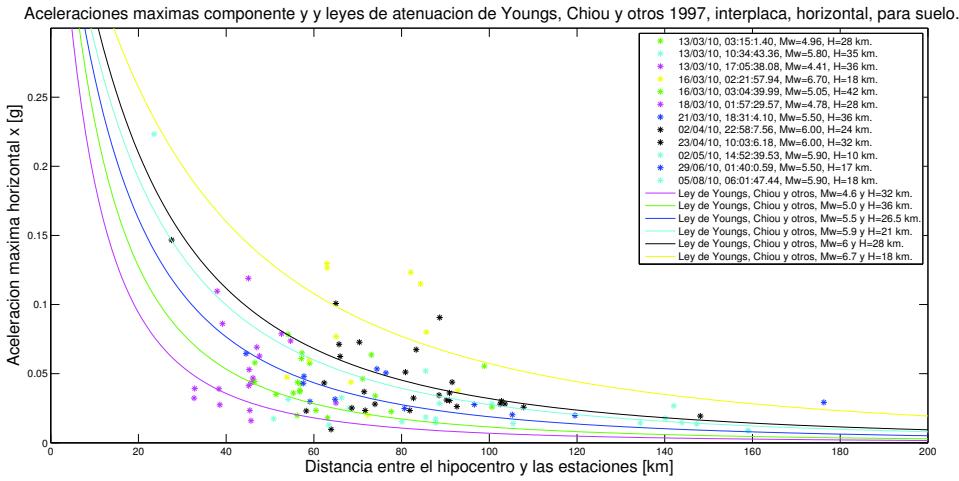


Figura 3.28: Gráfico para la componente *y* de las aceleraciones máximas de los doce eventos, utilizando la ley de Youngs, Chiou y otros para suelo.

3.5.2. Gráficos para las leyes de atenuación verticales

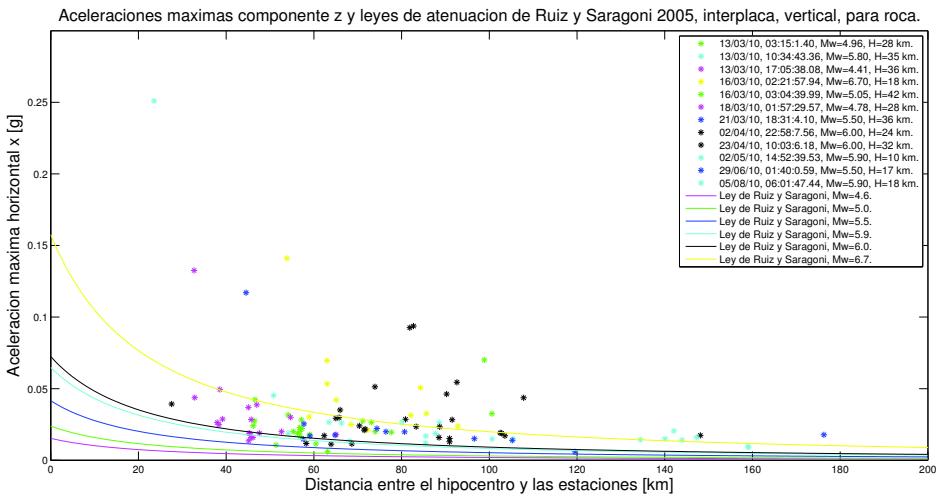


Figura 3.29: Gráfico para la componente *z* de las aceleraciones máximas de los doce eventos, utilizando la ley de Ruiz y Saragoni para Roca.

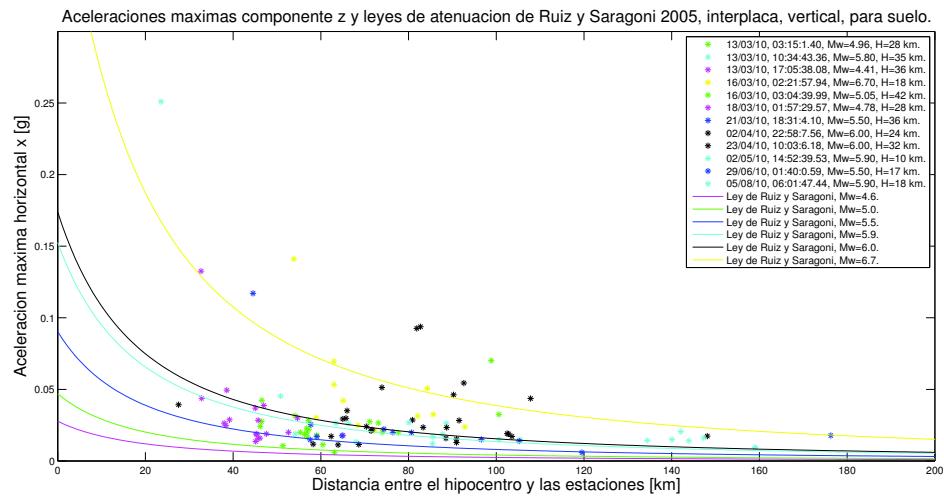


Figura 3.30: Gráfico para la componente z de las aceleraciones máximas de los doce eventos, utilizando la ley de Ruiz y Saragni para Suelo.

Capítulo 4

Discusión

Al graficar las leyes de atenuación existentes se puede observar que tanto para las componentes horizontales como verticales de la aceleración máxima, ninguna de éstas es descrita por los modelos. Entonces realizaremos el cálculo de la desviación de la raíz cuadrada media (*RMSD*) o root-mean-square error (*RMSE*) que es una medida de uso frecuente de las diferencias entre los valores pronosticados por un modelo o un estimador y los valores realmente observados. *RMSD* es una buena medida de precisión.

$$RMSD = \sqrt{\frac{\sum(a_{\text{observado}} - a_{\text{teórico}})^2}{N}} \quad (4.1)$$

Donde $a_{\text{teórico}}$ son los valores de la aceleración máxima usando las leyes de atenuación para un valor fijo de R , $a_{\text{observado}}$ son los valores de las aceleraciones máximas obtenidos con los acelerómetros y tabulados en los Cuadros A.4 al A.15 y N es el número de observaciones, en este caso el número de valores de aceleraciones teóricas por curva a estudiar.

A continuación se presentan los valores obtenidos de *RMSD* para los diferentes grupos de eventos clasificados por su magnitud.

Cuadro 4.1: $RMSD$ para componente x de la aceleración.

Magnitud (Mw)	4.6	5.0	5.5	5.9	6.0	6.7
Ley						
Martin	0.03616	0.02096	0.01614	0.09779	0.03050	0.05163
Schaad y Saragoni	0.03693	0.02130	0.01523	0.09933	0.02888	0.04481
Ruiz y Saragoni (roca)	0.05742	0.04058	0.02902	0.11065	0.04270	0.05444
Ruiz y Saragoni (suelo)	0.05435	0.03653	0.02201	0.10492	0.03171	0.02855
Youngs y otros (roca)	0.03913	0.02779	0.01560	0.09040	0.02885	0.03429
Youngs y otros (suelo)	0.03266	0.02325	0.01339	0.08010	0.02800	0.02728

Cuadro 4.2: $RMSD$ para componente y de la aceleración.

Magnitud (Mw)	4.6	5.0	5.5	5.9	6.0	6.7
Ley						
Martin	0.03959	0.01870	0.01245	0.04374	0.03236	0.06174
Schaad y Saragoni	0.04021	0.01921	0.01192	0.04367	0.03106	0.05510
Ruiz y Saragoni (roca)	0.05893	0.04193	0.03268	0.04469	0.04158	0.05864
Ruiz y Saragoni (suelo)	0.05605	0.03760	0.02531	0.03882	0.03095	0.04004
Youngs y otros (roca)	0.04333	0.02781	0.01780	0.02665	0.02470	0.04498
Youngs y otros (suelo)	0.03837	0.02200	0.01240	0.02460	0.02287	0.04435

Cuadro 4.3: $RMSD$ para componente z de la aceleración.

Magnitud (Mw)	4.6	5.0	5.5	5.9	6.0	6.7
Ley						
Ruiz y Saragoni (roca)	0.03811	0.02362	0.03235	0.05105	0.02814	0.03538
Ruiz y Saragoni (suelo)	0.03650	0.02169	0.02898	0.04358	0.02423	0.02982

Las celdas coloreadas de los Cuadros 4.1, 4.2 y 4.3 representan los valores más pequeños de $RMSD$ para cada una de las leyes a estudiar. Diferenciando seis grupos de magnitudes Mw, que corresponden a los seis grupos de magnitudes con lo que se realizaron los gráficos 3.17 al 3.30.

A pesar del cálculo del $RMSD$, éste es una buena medida de precisión, pero solo para comparar diferentes errores de predicción dentro de un conjunto de datos y no entre los diferentes. Es por esto que se calculará entonces la desviación estándar de los datos con respecto a la recta que se ajusta mejor a ellos.

Se define la desviación estándar como:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - x'_i)^2} \quad (4.2)$$

Donde:

N es la cantidad de muestra.

x_i corresponde a cada uno de los puntos de la muestra.

x'_i corresponde a los puntos proyectados sobre la recta que ajusta los puntos.

El criterio que permite dejar fuera datos anómalos es eliminar aquellos puntos cuyo espaciamiento con respecto a esta recta sea superior a dos veces la desviación estándar. Matemáticamente esto viene dado por la expresión:

$$|x_i - x'_i| > 2\sigma \quad (4.3)$$

Cuadro 4.4: $RMSD$ para componente x de la aceleración descartando puntos anómalos.

Magnitud (Mw)	4.6	5.0	5.5	5.9	6.0	6.7
Ley						
Martin	0.03150	0.01881	0.01645	0.03077	0.03050	0.05163
Schaad y Saragoni	0.03221	0.01913	0.01518	0.02927	0.02888	0.04481
Ruiz y Saragoni (roca)	0.05290	0.03826	0.02442	0.02001	0.04270	0.05444
Ruiz y Saragoni (suelo)	0.04982	0.03415	0.01754	0.01186	0.03171	0.02885
Youngs y otros (roca)	0.03577	0.02492	0.01460	0.01090	0.02885	0.03429
Youngs y otros (suelo)	0.02978	0.02035	0.01394	0.01547	0.02800	0.02728

Cuadro 4.5: $RMSD$ para componente y de la aceleración descartando puntos anómalos.

Magnitud (Mw)	4.6	5.0	5.5	5.9	6.0	6.7
Ley						
Martin	0.03415	0.01665	0.01245	0.03569	0.03209	0.06174
Schaad y Saragoni	0.03477	0.01710	0.01192	0.03389	0.03004	0.05510
Ruiz y Saragoni (roca)	0.05376	0.03980	0.03268	0.01482	0.03311	0.05864
Ruiz y Saragoni (suelo)	0.05084	0.03545	0.02531	0.00968	0.02296	0.04004
Youngs y otros (roca)	0.03786	0.02586	0.01780	0.01354	0.02111	0.04498
Youngs y otros (suelo)	0.03297	0.02028	0.01240	0.02198	0.02123	0.04435

Cuadro 4.6: $RMSD$ para componente z de la aceleración descartando puntos anómalos.

Magnitud (Mw)	4.6	5.0	5.5	5.9	6.0	6.7
Ley						
Ruiz y Saragoni (roca)	0.02422	0.01766	0.01136	0.01180	0.01835	0.01714
Ruiz y Saragoni (suelo)	0.02238	0.01539	0.00787	0.00707	0.01473	0.02456

Por otra parte para realizar el estudio del posible efecto de sitio que presentarían las estaciones registradoras, se considerarán solo las estaciones que registren cuatro o más eventos. El Cuadro 3.1 muestra en su última columna el número de estaciones que registra cada uno de los eventos.

Así en los Cuadros 4.7 al 4.78 se ha calculado la diferencia entre el valor observado de la aceleración máxima para cada componente y el valor teórico de ésta. La finalidad de esto es ver cuáles estaciones podrían amplificar la señal registradas y cuáles la atenuarían, en términos de $[g]$. De esta forma, si calculando $a_{observado} - a_{teórico}$ para una estación se obtiene de manera reiterada un valor mayor a cero, podríamos estar frente a un caso de efecto de sitio, el cual deberá relacionarse con un marco geológico que apoye tal hipótesis. Para el caso contrario, si esta diferencia es menor a cero, el fenómeno a justificar con el apoyo de la geología será una posible atenuación de la señales.

Cuadro 4.7: Comportamiento de la estación N°3 para evento N°1.

Ley	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$
Martin	-3.43299576e-03	1.15083920e-02	—	—
Schaad y Saragoni	-2.42944865e-03	1.25119391e-02	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (roca)	2.46016459e-02	3.95430336e-02	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (suelo)	2.02019215e-02	3.51433092e-02	—	—
Youngs y otros (roca)	8.16815598e-03	2.31095437e-02	—	—
Youngs y otros (suelo)	1.77781379e-04	1.51191691e-02	—	—
Ruiz y Saragoni vert. (roca)	—	—	1.36018256e-02	—
Ruiz y Saragoni vert. (suelo)	—	—	—	1.10935305e-02

Cuadro 4.8: Comportamiento de la estación N°3 para evento N°2.

Ley	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$
Martin	-2.98775601e-02	-3.47149377e-02	—	—
Schaad y Saragoni	-2.84272598e-02	-3.32646374e-02	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (roca)	1.37069129e-02	8.86953539e-03	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (suelo)	3.26277105e-03	-1.57460650e-03	—	—
Youngs y otros (roca)	1.85751713e-04	-4.65162584e-03	—	—
Youngs y otros (suelo)	-1.12932975e-02	-1.61306750e-02	—	—
Ruiz y Saragoni vert. (roca)	—	—	1.03290047e-02	—
Ruiz y Saragoni vert. (suelo)	—	—	—	4.83704564e-03

Cuadro 4.9: Comportamiento de la estación N°3 para evento N°3.

$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$
Ley			
Martin	1.31838181e-02	2.97888691e-02	—
Schaad y Saragoni	1.37743438e-02	3.03793948e-02	—
Ruiz y Saragoni horiz. (roca)	3.37385268e-02	5.03435778e-02	—
Ruiz y Saragoni horiz. (suelo)	3.11912740e-02	4.77963250e-02	—
Youngs y otros (roca)	1.80846072e-02	3.46896582e-02	—
Youngs y otros (suelo)	1.21208336e-02	2.87258846e-02	—
Ruiz y Saragoni vert. (roca)	—	—	1.56057502e-02
Ruiz y Saragoni vert. (suelo)	—	—	1.42784016e-02

Cuadro 4.10: Comportamiento de la estación N°3 para evento N°4.

$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$
Ley			
Martin	-3.59045307e-02	7.30968360e-03	—
Schaad y Saragoni	-2.89507612e-02	1.42634531e-02	—
Ruiz y Saragoni horiz. (roca)	5.05379150e-02	9.37521293e-02	—
Ruiz y Saragoni horiz. (suelo)	1.60532263e-02	5.92674406e-02	—
Youngs y otros (roca)	3.13941278e-02	7.46083421e-02	—
Youngs y otros (suelo)	3.80421173e-03	4.70184260e-02	—
Ruiz y Saragoni vert. (roca)	—	—	6.32279007e-03
Ruiz y Saragoni vert. (suelo)	—	—	-1.91935346e-02

Cuadro 4.11: Comportamiento de la estación N°3 para evento N°5.

Ley	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$
Martin	4.70155403e-02	1.56817546e-02	—	—
Schaad y Saragoni	4.76197411e-02	1.62859554e-02	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (roca)	7.39568728e-02	4.26230871e-02	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (suelo)	6.95873823e-02	3.82535965e-02	—	—
Youngs y otros (roca)	6.18464143e-02	3.05126285e-02	—	—
Youngs y otros (suelo)	5.50245480e-02	2.36907623e-02	—	—
Ruiz y Saragoni vert. (roca)	—	—	2.30663217e-02	—
Ruiz y Saragoni vert. (suelo)	—	—	—	2.09970245e-02

Cuadro 4.12: Comportamiento de la estación N°3 para evento N°6.

Ley	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$
Martin	3.88399234e-02	5.08975051e-02	—	—
Schaad y Saragoni	3.96171328e-02	5.16747144e-02	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (roca)	6.33997022e-02	7.54572839e-02	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (suelo)	5.98998951e-02	7.19574767e-02	—	—
Youngs y otros (roca)	4.82724820e-02	6.03300636e-02	—	—
Youngs y otros (suelo)	4.15450086e-02	5.36025903e-02	—	—
Ruiz y Saragoni vert. (roca)	—	—	1.58108820e-02	—
Ruiz y Saragoni vert. (suelo)	—	—	—	1.39146335e-02

Cuadro 4.13: Comportamiento de la estación N°3 para evento N°7.

Ley	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$
Martin	-5.27294872e-03	8.08983699e-03	—	—
Schaad y Saragoni	-3.83704480e-03	9.52574092e-03	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (roca)	3.32120995e-02	4.65748852e-02	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (suelo)	2.51945053e-02	3.85572910e-02	—	—
Youngs y otros (roca)	1.70648902e-02	3.04276760e-02	—	—
Youngs y otros (suelo)	6.07806781e-03	1.94408535e-02	—	—
Ruiz y Saragoni vert. (roca)	—	—	1.48865582e-02	
Ruiz y Saragoni vert. (suelo)	—	—	1.03905755e-02	

Cuadro 4.14: Comportamiento de la estación N°3 para evento N°8.

Ley	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$
Martin	1.59143787e-02	-2.78961499e-02	—	—
Schaad y Saragoni	1.85807776e-02	-1.16061101e-02	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (roca)	6.92298585e-02	3.90429707e-02	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (suelo)	5.48795951e-02	2.46927074e-02	—	—
Youngs y otros (roca)	5.20552835e-02	2.18683957e-02	—	—
Youngs y otros (suelo)	3.68099849e-02	6.62309715e-03	—	—
Ruiz y Saragoni vert. (roca)	—	—	1.69656736e-02	
Ruiz y Saragoni vert. (suelo)	—	—	8.11054479e-03	

Cuadro 4.15: Comportamiento de la estación N°3 para evento N°10.

Ley	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$
Martin	-1.14470954e-02	-8.60163618e-03	—	—
Schaad y Saragoni	-1.31404287e-02	-1.02949696e-02	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (roca)	8.24698030e-03	1.10924395e-02	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (suelo)	3.64236312e-03	6.48782231e-03	—	—
Youngs y otros (roca)	8.62179399e-03	1.14672532e-02	—	—
Youngs y otros (suelo)	1.02919106e-02	1.31373697e-02	—	—
Ruiz y Saragoni vert. (roca)	—	—	1.86936656e-02	—
Ruiz y Saragoni vert. (suelo)	—	—	—	1.80514857e-02

Cuadro 4.16: Comportamiento de la estación N°3 para evento N°12.

Ley	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$
Martin	-4.32769719e-02	-3.41391046e-02	—	—
Schaad y Saragoni	-4.00153166e-02	-3.08774492e-02	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (roca)	1.06796460e-02	1.98175133e-02	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (suelo)	-3.33269566e-03	5.80517169e-03	—	—
Youngs y otros (roca)	-1.08468756e-02	-1.70900823e-03	—	—
Youngs y otros (suelo)	-2.76279468e-02	-1.84900795e-02	—	—
Ruiz y Saragoni vert. (roca)	—	—	1.35350873e-02	—
Ruiz y Saragoni vert. (suelo)	—	—	—	3.78306461e-03

Cuadro 4.17: Comportamiento de la estación N°4 para evento N°1.

$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$
Ley			
Martin	5.55672921e-03	5.86836186e-03	—
Schaad y Saragoni	6.53643903e-03	6.84807168e-03	—
Ruiz y Saragoni horiz. (roca)	3.34618564e-02	3.37734890e-02	—
Ruiz y Saragoni horiz. (suelo)	2.90857069e-02	2.93973396e-02	—
Youngs y otros (roca)	1.73662249e-02	1.76778576e-02	—
Youngs y otros (suelo)	9.50415033e-03	9.81578298e-03	—
Ruiz y Saragoni vert. (roca)	—	—	1.52153014e-02
Ruiz y Saragoni vert. (suelo)	—	—	1.27441471e-02

Cuadro 4.18: Comportamiento de la estación N°4 para evento N°2.

$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$
Ley			
Martin	-2.42262569e-02	-3.47149377e-02	—
Schaad y Saragoni	-2.26731179e-02	-3.24490975e-02	—
Ruiz y Saragoni horiz. (roca)	1.98979439e-02	1.01219643e-02	—
Ruiz y Saragoni horiz. (suelo)	9.30329842e-03	-4.72681174e-04	—
Youngs y otros (roca)	5.70145915e-03	-4.07452044e-03	—
Youngs y otros (suelo)	-6.17251431e-03	-1.59484939e-02	—
Ruiz y Saragoni vert. (roca)	—	—	8.44493207e-03
Ruiz y Saragoni vert. (suelo)	—	—	2.75634593e-03

Cuadro 4.19: Comportamiento de la estación N°4 para evento N°4.

Ley	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$
Martin	-2.09680855e-02	7.37383911e-04	—	—
Schaad y Saragoni	-1.43013204e-02	7.40414898e-03	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (roca)	6.45067192e-02	8.62121886e-02	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (suelo)	3.05341540e-02	5.22396234e-02	—	—
Youngs y otros (roca)	4.62332542e-02	6.79387236e-02	—	—
Youngs y otros (suelo)	1.94246557e-02	4.11301251e-02	—	—
Ruiz y Saragoni vert. (roca)	—	—	2.62966450e-02	—
Ruiz y Saragoni vert. (suelo)	—	—	1.66471308e-03	—

Cuadro 4.20: Comportamiento de la estación N°4 para evento N°5.

Ley	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$
Martin	6.06567532e-03	3.65916512e-03	—	—
Schaad y Saragoni	6.61294225e-03	4.20643205e-03	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (roca)	3.26607261e-02	3.02542159e-02	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (suelo)	2.83548162e-02	2.59483060e-02	—	—
Youngs y otros (roca)	2.11891322e-02	1.87826220e-02	—	—
Youngs y otros (suelo)	1.46378898e-02	1.22313796e-02	—	—
Ruiz y Saragoni vert. (roca)	—	—	1.57575266e-02	—
Ruiz y Saragoni vert. (suelo)	—	—	1.37685707e-02	—

Cuadro 4.21: Comportamiento de la estación N°4 para evento N°7.

Ley	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$
Martin	-1.93892184e-03	5.88959857e-03	—	—
Schaad y Saragoni	-5.96113840e-04	7.23240657e-03	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (roca)	3.60571456e-02	4.38856660e-02	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (suelo)	2.81579751e-02	3.59864955e-02	—	—
Youngs y otros (roca)	2.07264534e-02	2.85549738e-02	—	—
Youngs y otros (suelo)	1.01492645e-02	1.79777849e-02	—	—
Ruiz y Saragoni vert. (roca)	—	—	—	1.28645601e-02
Ruiz y Saragoni vert. (suelo)	—	—	—	8.53611629e-03

Cuadro 4.22: Comportamiento de la estación N°4 para evento N°8.

Ley	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$
Martin	-9.07353374e-03	3.06723157e-03	—	—
Schaad y Saragoni	-6.56442172e-03	5.57634358e-03	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (roca)	4.35186082e-02	5.56593735e-02	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (suelo)	2.94017863e-02	4.15425516e-02	—	—
Youngs y otros (roca)	2.72610551e-02	3.94018204e-02	—	—
Youngs y otros (suelo)	1.25788095e-02	2.47195748e-02	—	—
Ruiz y Saragoni vert. (roca)	—	—	—	1.21611995e-02
Ruiz y Saragoni vert. (suelo)	—	—	—	3.65360839e-03

Cuadro 4.23: Comportamiento de la estación N°5 para evento N°4.

Ley	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$
Martin	-2.76571602e-02	-3.32592622e-02	—	—
Schaad y Saragoni	-2.11522903e-02	-2.67543923e-02	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (roca)	5.72627018e-02	5.16605997e-02	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (suelo)	2.35811153e-02	1.79790133e-02	—	—
Youngs y otros (roca)	3.94756351e-02	3.38735330e-02	—	—
Youngs y otros (suelo)	1.31063189e-02	7.50421686e-03	—	—
Ruiz y Saragoni vert. (roca)	—	—	8.52655716e-03	—
Ruiz y Saragoni vert. (suelo)	—	—	—	-1.56120647e-02

Cuadro 4.24: Comportamiento de la estación N°5 para evento N°5.

Ley	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$
Martin	4.08139375e-02	3.36128048e-02	—	—
Schaad y Saragoni	4.13342286e-02	3.41330960e-02	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (roca)	6.72430219e-02	6.00418892e-02	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (suelo)	6.29674828e-02	5.57663502e-02	—	—
Youngs y otros (roca)	5.60675377e-02	4.88664050e-02	—	—
Youngs y otros (suelo)	4.96424764e-02	4.24413438e-02	—	—
Ruiz y Saragoni vert. (roca)	—	—	2.23116478e-02	—
Ruiz y Saragoni vert. (suelo)	—	—	—	8.85389326e-03

Cuadro 4.25: Comportamiento de la estación N°5 para evento N°8.

$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$
Ley			
Martin	1.03667059e-02	-3.15749268e-02	—
Schaad y Saragoni	1.28179290e-02	-2.91237037e-02	—
Ruiz y Saragoni horiz. (roca)	6.26891692e-02	2.07475365e-02	—
Ruiz y Saragoni horiz. (suelo)	4.86589140e-02	6.71728132e-03	—
Youngs y otros (roca)	4.67638541e-02	4.82222147e-03	—
Youngs y otros (suelo)	3.22869631e-02	-9.65466953e-03	—
Ruiz y Saragoni vert. (roca)	—	—	8.25463418e-02
Ruiz y Saragoni vert. (suelo)	—	—	7.41653192e-02

Cuadro 4.26: Comportamiento de la estación N°5 para evento N°9.

$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$
Ley			
Martin	3.10189127e-02	1.51992494e-02	—
Schaad y Saragoni	2.90887271e-02	1.32690639e-02	—
Ruiz y Saragoni horiz. (roca)	4.28853776e-02	2.70657143e-02	—
Ruiz y Saragoni horiz. (suelo)	4.00338178e-02	2.42141545e-02	—
Youngs y otros (roca)	4.33717070e-02	2.75520438e-02	—
Youngs y otros (suelo)	4.38223469e-02	2.80026836e-02	—
Ruiz y Saragoni vert. (roca)	—	—	5.03427379e-02
Ruiz y Saragoni vert. (suelo)	—	—	5.02020391e-02

Cuadro 4.27: Comportamiento de la estación N°5 para evento N°12.

Ley	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$
Martin	-4.73746514e-02	-5.53973249e-02	—	—
Schaad y Saragoni	-4.38632577e-02	-5.18859311e-02	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (roca)	7.61706949e-03	-4.05603976e-04	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (suelo)	-6.72907799e-03	-1.47517515e-02	—	—
Youngs y otros (roca)	-1.56697443e-02	-2.36924178e-02	—	—
Youngs y otros (suelo)	-3.34300571e-02	-4.14527306e-02	—	—
Ruiz y Saragoni vert. (roca)	—	—	1.34128557e-02	
Ruiz y Saragoni vert. (suelo)	—	—	3.06619705e-03	

Cuadro 4.28: Comportamiento de la estación N°15 para evento N°4.

Ley	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$
Martin	-5.08588783e-02	-4.99061844e-02	—	—
Schaad y Saragoni	-4.20845402e-02	-4.11318463e-02	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (roca)	4.12696725e-02	4.22223663e-02	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (suelo)	3.63716392e-03	4.58985780e-03	—	—
Youngs y otros (roca)	1.63828557e-02	1.73355496e-02	—	—
Youngs y otros (suelo)	-1.62392617e-02	-1.52865678e-02	—	—
Ruiz y Saragoni vert. (roca)	—	—	1.28599764e-02	
Ruiz y Saragoni vert. (suelo)	—	—	-1.85676200e-02	

Cuadro 4.29: Comportamiento de la estación N°15 para evento N°6.

$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$
Ley			
Martin	4.97726916e-02	5.58477324e-02	—
Schaad y Saragoni	5.08821646e-02	5.69572054e-02	—
Ruiz y Saragoni horiz. (roca)	7.61263303e-02	8.22013711e-02	—
Ruiz y Saragoni horiz. (suelo)	7.23272412e-02	7.84022820e-02	—
Youngs y otros (roca)	5.50263799e-02	6.11014208e-02	—
Youngs y otros (suelo)	4.62403456e-02	5.23153864e-02	—
Ruiz y Saragoni vert. (roca)	—	—	2.39203870e-02
Ruiz y Saragoni vert. (suelo)	—	—	2.15189335e-02

Cuadro 4.30: Comportamiento de la estación N°15 para evento N°7.

$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$
Ley			
Martin	-2.23845345e-02	-1.95081162e-02	—
Schaad y Saragoni	-2.03785592e-02	-1.75021408e-02	—
Ruiz y Saragoni horiz. (roca)	1.89348717e-02	2.18112901e-02	—
Ruiz y Saragoni horiz. (suelo)	1.02165482e-02	1.30929665e-02	—
Youngs y otros (roca)	-2.67908126e-03	1.97337110e-04	—
Youngs y otros (suelo)	-1.63392837e-02	-1.34628653e-02	—
Ruiz y Saragoni vert. (roca)	—	—	8.53091348e-03
Ruiz y Saragoni vert. (suelo)	—	—	2.95395378e-03

Cuadro 4.31: Comportamiento de la estación N°15 para evento N°8.

Ley	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$
Martin	-3.58636693e-02	-2.83783836e-02	—	—
Schaad y Saragoni	-3.22387952e-02	-2.47535095e-02	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (roca)	2.15867888e-02	2.90720745e-02	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (suelo)	5.86402627e-03	1.33493120e-02	—	—
Youngs y otros (roca)	-1.62804927e-03	5.85723644e-03	—	—
Youngs y otros (suelo)	-2.04696418e-02	-1.29843560e-02	—	—
Ruiz y Saragoni vert. (roca)	—	—	3.45412034e-03	—
Ruiz y Saragoni vert. (suelo)	—	—	—	-7.63704720e-03

Cuadro 4.32: Comportamiento de la estación N°16 para evento N°4.

Ley	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$
Martin	-8.64571312e-02	-1.03558458e-01	—	—
Schaad y Saragoni	-7.82351115e-02	-9.53364380e-02	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (roca)	4.02567240e-03	-1.30756541e-02	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (suelo)	-3.26691433e-02	-4.97704698e-02	—	—
Youngs y otros (roca)	-1.90803508e-02	-3.61816773e-02	—	—
Youngs y otros (suelo)	-5.01619977e-02	-6.72633243e-02	—	—
Ruiz y Saragoni vert. (roca)	—	—	—	-6.98524513e-03
Ruiz y Saragoni vert. (suelo)	—	—	—	-3.65635449e-02

Cuadro 4.33: Comportamiento de la estación N°16 para evento N°6.

$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$
Ley			
Martin	2.58853756e-02	3.94279164e-02	—
Schaad y Saragoni	2.69045816e-02	4.04471224e-02	—
Ruiz y Saragoni horiz. (roca)	5.17673384e-02	6.53098792e-02	—
Ruiz y Saragoni horiz. (suelo)	4.80478561e-02	6.15903969e-02	—
Youngs y otros (roca)	3.24217632e-02	4.59643040e-02	—
Youngs y otros (suelo)	2.42357003e-02	3.77782411e-02	—
Ruiz y Saragoni vert. (roca)	—	—	3.40488039e-02
Ruiz y Saragoni vert. (suelo)	—	—	3.17901599e-02

Cuadro 4.34: Comportamiento de la estación N°16 para evento N°7.

$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$
Ley			
Martin	-1.77114240e-02	-1.66639649e-02	—
Schaad y Saragoni	-1.58749113e-02	-1.48274522e-02	—
Ruiz y Saragoni horiz. (roca)	2.27925358e-02	2.38399950e-02	—
Ruiz y Saragoni horiz. (suelo)	1.42784258e-02	1.53258849e-02	—
Youngs y otros (roca)	2.88893441e-03	3.93639359e-03	—
Youngs y otros (suelo)	-9.94602667e-03	-8.89856749e-03	—
Ruiz y Saragoni vert. (roca)	—	—	9.47541550e-03
Ruiz y Saragoni vert. (suelo)	—	—	4.22985353e-03

Cuadro 4.35: Comportamiento de la estación N°16 para evento N°8.

Ley	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$
Martin	-3.55996640e-02	-3.28853783e-02	—	—
Schaad y Saragoni	-3.22634585e-02	-2.95491728e-02	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (roca)	2.06520825e-02	2.33663682e-02	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (suelo)	5.33427882e-03	8.04856453e-03	—	—
Youngs y otros (roca)	-6.61819395e-04	2.05246632e-03	—	—
Youngs y otros (suelo)	-1.83899086e-02	-1.56756228e-02	—	—
Ruiz y Saragoni vert. (roca)	—	—	7.94331137e-03	—
Ruiz y Saragoni vert. (suelo)	—	—	—	-2.45265291e-03

Cuadro 4.36: Comportamiento de la estación N°17 para evento N°4.

Ley	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$
Martin	-5.93422099e-02	-8.34530364e-02	—	—
Schaad y Saragoni	-5.04711918e-02	-7.45820183e-02	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (roca)	3.30676247e-02	8.95679812e-03	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (suelo)	-4.72757971e-03	-2.88384062e-02	—	—
Youngs y otros (roca)	7.86586307e-03	-1.62449635e-02	—	—
Youngs y otros (suelo)	-2.50271339e-02	-4.91379604e-02	—	—
Ruiz y Saragoni vert. (roca)	—	—	—	-4.49325887e-03
Ruiz y Saragoni vert. (suelo)	—	—	—	-3.62496833e-02

Cuadro 4.37: Comportamiento de la estación N°17 para evento N°5.

Ley	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$
Martin	-1.29448918e-02	-9.73755507e-03	—	—
Schaad y Saragoni	-1.20092576e-02	-8.80192091e-03	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (roca)	1.59140087e-02	1.91213454e-02	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (suelo)	1.11869653e-02	1.43943021e-02	—	—
Youngs y otros (roca)	-3.05945516e-04	2.90139122e-03	—	—
Youngs y otros (suelo)	-8.82647645e-03	-5.61913972e-03	—	—
Ruiz y Saragoni vert. (roca)	—	—	6.35364817e-03	—
Ruiz y Saragoni vert. (suelo)	—	—	3.79227075e-03	—

Cuadro 4.38: Comportamiento de la estación N°17 para evento N°6.

Ley	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$
Martin	1.02196776e-02	1.15483409e-02	—	—
Schaad y Saragoni	1.12495811e-02	1.25782444e-02	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (roca)	3.61581215e-02	3.74867848e-02	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (suelo)	3.24291421e-02	3.37578054e-02	—	—
Youngs y otros (roca)	1.66099912e-02	1.79386545e-02	—	—
Youngs y otros (suelo)	8.35450490e-03	9.68316816e-03	—	—
Ruiz y Saragoni vert. (roca)	—	—	8.93469224e-03	—
Ruiz y Saragoni vert. (suelo)	—	—	6.65934477e-03	—

Cuadro 4.39: Comportamiento de la estación N°17 para evento N°8.

Ley	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$
Martin	-5.41657671e-02	-4.59402569e-02	—	—
Schaad y Saragoni	-5.06284707e-02	-4.24029605e-02	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (roca)	2.92504239e-03	1.11505526e-02	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (suelo)	-1.26755733e-02	-4.45006312e-03	—	—
Youngs y otros (roca)	-1.97056275e-02	-1.14801173e-02	—	—
Youngs y otros (suelo)	-3.82065815e-02	-2.99810713e-02	—	—
Ruiz y Saragoni vert. (roca)	—	—	-2.00292895e-03	—
Ruiz y Saragoni vert. (suelo)	—	—	-1.28811620e-02	—

Cuadro 4.40: Comportamiento de la estación N°17 para evento N°9.

Ley	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$
Martin	2.81645946e-02	2.15816354e-02	—	—
Schaad y Saragoni	2.62342530e-02	1.96512938e-02	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (roca)	4.00373546e-02	3.34543955e-02	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (suelo)	3.71842373e-02	3.06012781e-02	—	—
Youngs y otros (roca)	4.05238026e-02	3.39408434e-02	—	—
Youngs y otros (suelo)	4.09750796e-02	3.43921204e-02	—	—
Ruiz y Saragoni vert. (roca)	—	—	1.49262655e-02	—
Ruiz y Saragoni vert. (suelo)	—	—	1.47853095e-02	—

Cuadro 4.41: Comportamiento de la estación N°17 para evento N°10.

$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$
Ley			
Martin	-2.00469805e-02	-1.97219305e-02	—
Schaad y Saragoni	-2.17111455e-02	-2.13860955e-02	—
Ruiz y Saragoni horiz. (roca)	2.13381266e-04	5.38431266e-04	—
Ruiz y Saragoni horiz. (suelo)	-4.52987496e-03	-4.20482496e-03	—
Youngs y otros (roca)	5.48897352e-04	8.73947352e-04	—
Youngs y otros (suelo)	2.35344353e-03	2.67849353e-03	—
Ruiz y Saragoni vert. (roca)	—	—	-1.48487887e-05
Ruiz y Saragoni vert. (suelo)	—	—	-7.07981564e-04

Cuadro 4.42: Comportamiento de la estación N°17 para evento N°11.

$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$
Ley			
Martin	-1.44726610e-02	-1.06091406e-02	—
Schaad y Saragoni	-1.48586376e-02	-1.09951172e-02	—
Ruiz y Saragoni horiz. (roca)	1.24324537e-02	1.62959741e-02	—
Ruiz y Saragoni horiz. (suelo)	7.06407834e-03	1.09275988e-02	—
Youngs y otros (roca)	9.44216096e-03	1.33056814e-02	—
Youngs y otros (suelo)	5.82637462e-03	9.68989502e-03	—
Ruiz y Saragoni vert. (roca)	—	—	2.15111894e-03
Ruiz y Saragoni vert. (suelo)	—	—	5.15735936e-04

Cuadro 4.43: Comportamiento de la estación N°18 para evento N°1.

Ley	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$
Martin	-2.68368937e-04	2.81359025e-03	—	—
Schaad y Saragoni	8.63821489e-04	3.94578067e-03	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (roca)	2.84525689e-02	3.15345281e-02	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (suelo)	2.39271122e-02	2.70090714e-02	—	—
Youngs y otros (roca)	1.01200963e-02	1.32020554e-02	—	—
Youngs y otros (suelo)	1.41319541e-03	4.49515459e-03	—	—
Ruiz y Saragoni vert. (roca)	—	—	1.47783639e-02	—
Ruiz y Saragoni vert. (suelo)	—	—	1.20653571e-02	—

Cuadro 4.44: Comportamiento de la estación N°18 para evento N°2.

Ley	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$
Martin	-2.01107410e-02	-2.01107410e-02	—	—
Schaad y Saragoni	-1.89542298e-02	-2.00944747e-02	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (roca)	2.18834106e-02	2.07431657e-02	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (suelo)	1.18780556e-02	1.07378107e-02	—	—
Youngs y otros (roca)	1.02135130e-02	9.07326808e-03	—	—
Youngs y otros (suelo)	-1.63854250e-04	-1.30409915e-03	—	—
Ruiz y Saragoni vert. (roca)	—	—	1.85416568e-02	—
Ruiz y Saragoni vert. (suelo)	—	—	1.35981154e-02	—

Cuadro 4.45: Comportamiento de la estación N°18 para evento N°3.

$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$
Ley			
Martin	2.11794028e-02	9.49106884e-04	—
Schaad y Saragoni	2.16838611e-02	1.45356518e-03	—
Ruiz y Saragoni horiz. (roca)	4.12237906e-02	2.09934947e-02	—
Ruiz y Saragoni horiz. (suelo)	3.87488378e-02	1.85185419e-02	—
Youngs y otros (roca)	2.73592298e-02	7.12893383e-03	—
Youngs y otros (suelo)	2.19475070e-02	1.71721113e-03	—
Ruiz y Saragoni vert. (roca)	—	—	1.54434410e-02
Ruiz y Saragoni vert. (suelo)	—	—	1.42263534e-02

Cuadro 4.46: Comportamiento de la estación N°18 para evento N°5.

$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$
Ley			
Martin	-1.90122347e-02	-1.42066734e-02	—
Schaad y Saragoni	-1.81969123e-02	-1.33913511e-02	—
Ruiz y Saragoni horiz. (roca)	9.16888118e-03	1.39744424e-02	—
Ruiz y Saragoni horiz. (suelo)	-1.33588584e-02	-8.55329714e-03	—
Youngs y otros (roca)	-5.48020472e-03	-6.74643496e-04	—
Youngs y otros (suelo)	2.19475070e-02	1.71721113e-03	—
Ruiz y Saragoni vert. (roca)	—	—	1.21264917e-03
Ruiz y Saragoni vert. (suelo)	—	—	-1.16521595e-03

Cuadro 4.47: Comportamiento de la estación N°18 para evento N°8.

Ley	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$
Martin	2.03100957e-02	-4.56835472e-02	—	—
Schaad y Saragoni	2.35398769e-02	-4.24537660e-02	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (roca)	7.61101298e-02	1.01164869e-02	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (suelo)	6.09433644e-02	-5.05027845e-03	—	—
Youngs y otros (roca)	5.54792637e-02	-1.05143791e-02	—	—
Youngs y otros (suelo)	3.81550063e-02	-2.78386366e-02	—	—
Ruiz y Saragoni vert. (roca)	—	—	7.97425704e-02	—
Ruiz y Saragoni vert. (suelo)	—	—	—	6.95981172e-02

Cuadro 4.48: Comportamiento de la estación N°22 para evento N°3.

Ley	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$
Martin	2.32273756e-02	8.47329470e-02	—	—
Schaad y Saragoni	2.40708051e-02	8.55763765e-02	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (roca)	4.51976619e-02	1.06703233e-01	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (suelo)	4.24461559e-02	1.03951727e-01	—	—
Youngs y otros (roca)	2.33475431e-02	8.48531145e-02	—	—
Youngs y otros (suelo)	1.54970143e-02	7.70025857e-02	—	—
Ruiz y Saragoni vert. (roca)	—	—	2.24979054e-02	—
Ruiz y Saragoni vert. (suelo)	—	—	—	2.08205617e-02

Cuadro 4.49: Comportamiento de la estación N°22 para evento N°6.

$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$
Ley			
Martin	3.31261233e-02	3.87583761e-03	—
Schaad y Saragoni	3.35042220e-02	4.25393627e-03	—
Ruiz y Saragoni horiz. (roca)	5.52910298e-02	2.60407440e-02	—
Ruiz y Saragoni horiz. (suelo)	5.21772331e-02	2.29269474e-02	—
Youngs y otros (roca)	4.57532488e-02	1.65029631e-02	—
Youngs y otros (suelo)	4.10255880e-02	1.17753023e-02	—
Ruiz y Saragoni vert. (roca)	—	—	1.45401953e-02
Ruiz y Saragoni vert. (suelo)	—	—	1.31799836e-02

Cuadro 4.50: Comportamiento de la estación N°22 para evento N°7.

$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$
Ley			
Martin	-5.27294872e-03	8.08983699e-03	—
Schaad y Saragoni	-1.00653393e-02	-1.69230842e-02	—
Ruiz y Saragoni horiz. (roca)	2.54655785e-02	1.86078336e-02	—
Ruiz y Saragoni horiz. (suelo)	1.78961707e-02	1.10384258e-02	—
Youngs y otros (roca)	1.22577876e-02	5.40004266e-03	—
Youngs y otros (suelo)	2.76223231e-03	-4.09551259e-03	—
Ruiz y Saragoni vert. (roca)	—	—	1.32364772e-02
Ruiz y Saragoni vert. (suelo)	—	—	9.35285823e-03

Cuadro 4.51: Comportamiento de la estación N°22 para evento N°8.

Ley	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$
Martin	-1.80374606e-02	-1.62115729e-02	—	—
Schaad y Saragoni	-1.61329812e-02	-1.43070934e-02	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (roca)	3.16401299e-02	3.34660176e-02	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (suelo)	1.84461691e-02	2.02720569e-02	—	—
Youngs y otros (roca)	1.87126801e-02	2.05385678e-02	—	—
Youngs y otros (suelo)	6.12640781e-03	7.95229557e-03	—	—
Ruiz y Saragoni vert. (roca)	—	—	1.82434828e-02	—
Ruiz y Saragoni vert. (suelo)	—	—	—	1.10228742e-02

Cuadro 4.52: Comportamiento de la estación N°22 para evento N°9.

Ley	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$
Martin	5.50744050e-02	5.97075478e-02	—	—
Schaad y Saragoni	5.31385044e-02	5.77716473e-02	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (roca)	6.71841254e-02	7.18172682e-02	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (suelo)	6.42723521e-02	6.89054949e-02	—	—
Youngs y otros (roca)	6.76747925e-02	7.23079353e-02	—	—
Youngs y otros (suelo)	6.81504657e-02	7.27836086e-02	—	—
Ruiz y Saragoni vert. (roca)	—	—	2.30295856e-02	—
Ruiz y Saragoni vert. (suelo)	—	—	—	2.28787956e-02

Cuadro 4.53: Comportamiento de la estación N°22 para evento N°11.

Ley	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$
Martin	-4.36751512e-03	-4.78450491e-03	—	—
Schaad y Saragoni	-4.53787441e-03	-4.95486420e-03	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (roca)	2.42169260e-02	2.37999362e-02	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (suelo)	1.84818343e-02	1.80648445e-02	—	—
Youngs y otros (roca)	2.03061651e-02	1.98891753e-02	—	—
Youngs y otros (suelo)	1.60860552e-02	1.56690654e-02	—	—
Ruiz y Saragoni vert. (roca)	—	—	1.09492946e-02	
Ruiz y Saragoni vert. (suelo)	—	—	9.01799790e-03	

Cuadro 4.54: Comportamiento de la estación N°22 para evento N°12.

Ley	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$
Martin	-1.80455313e-02	-4.26860824e-02	—	—
Schaad y Saragoni	-1.36075406e-02	-3.82480916e-02	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (roca)	4.05394199e-02	1.58988688e-02	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (suelo)	2.49955377e-02	3.54986684e-04	—	—
Youngs y otros (roca)	1.01624562e-02	1.01624562e-02	—	—
Youngs y otros (suelo)	-1.14475229e-02	-3.60880739e-02	—	—
Ruiz y Saragoni vert. (roca)	—	—	3.70890250e-03	
Ruiz y Saragoni vert. (suelo)	—	—	-8.98214080e-03	

Cuadro 4.55: Comportamiento de la estación N°23 para evento N°1.

Ley	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$
Martin	-3.77360783e-03	2.90530033e-03	—	—
Schaad y Saragoni	-2.79176047e-03	3.88714769e-03	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (roca)	2.41431639e-02	2.41431639e-02	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (suelo)	1.97648968e-02	2.64438050e-02	—	—
Youngs y otros (roca)	8.01741160e-03	1.46963198e-02	—	—
Youngs y otros (suelo)	1.43887718e-04	6.82279588e-03	—	—
Ruiz y Saragoni vert. (roca)	—	—	5.73936585e-03	—
Ruiz y Saragoni vert. (suelo)	—	—	3.26489107e-03	—

Cuadro 4.56: Comportamiento de la estación N°23 para evento N°3.

Ley	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$
Martin	1.99009727e-02	1.42664421e-02	—	—
Schaad y Saragoni	2.07228452e-02	1.50883146e-02	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (roca)	4.17551255e-02	3.61205949e-02	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (suelo)	3.90205898e-02	3.33860592e-02	—	—
Youngs y otros (roca)	2.04925341e-02	1.48580035e-02	—	—
Youngs y otros (suelo)	1.28200298e-02	7.18549916e-03	—	—
Ruiz y Saragoni vert. (roca)	—	—	2.10017585e-02	—
Ruiz y Saragoni vert. (suelo)	—	—	1.93558100e-02	—

Cuadro 4.57: Comportamiento de la estación N°23 para evento N°9.

$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$
Ley			
Martin	6.72523125e-02	4.93799044e-02	—
Schaad y Saragoni	6.53174130e-02	4.74450048e-02	—
Ruiz y Saragoni horiz. (roca)	7.93173646e-02	6.14449564e-02	—
Ruiz y Saragoni horiz. (suelo)	7.64166523e-02	5.85442442e-02	—
Youngs y otros (roca)	7.98072724e-02	6.19348642e-02	—
Youngs y otros (suelo)	8.02782855e-02	6.24058773e-02	—
Ruiz y Saragoni vert. (roca)	—	—	3.41612119e-02
Ruiz y Saragoni vert. (suelo)	—	—	3.40122986e-02

Cuadro 4.58: Comportamiento de la estación N°23 para evento N°12.

$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$
Ley			
Martin	-4.18898390e-02	-6.41394206e-02	—
Schaad y Saragoni	-3.61846142e-02	-5.84341959e-02	—
Ruiz y Saragoni horiz. (roca)	2.10430715e-02	-1.20651018e-03	—
Ruiz y Saragoni horiz. (suelo)	3.95067708e-03	-1.82989045e-02	—
Youngs y otros (roca)	-2.04867657e-02	-4.27363474e-02	—
Youngs y otros (suelo)	-4.79503619e-02	-7.01999435e-02	—
Ruiz y Saragoni vert. (roca)	—	—	2.71018866e-02
Ruiz y Saragoni vert. (suelo)	—	—	1.08303865e-02

Cuadro 4.59: Comportamiento de la estación N°42 para evento N°4.

Ley	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$
Martin	-7.28469643e-02	-6.89084949e-02	—	—
Schaad y Saragoni	-6.74281670e-02	-6.34896976e-02	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (roca)	8.17143363e-03	1.21099030e-02	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (suelo)	-2.35160295e-02	-1.95775601e-02	—	—
Youngs y otros (roca)	-6.44177560e-03	-2.50330621e-03	—	—
Youngs y otros (suelo)	-2.98912199e-02	-2.59527505e-02	—	—
Ruiz y Saragoni vert. (roca)	—	—	2.22155036e-03	—
Ruiz y Saragoni vert. (suelo)	—	—	—	-1.87097080e-02

Cuadro 4.60: Comportamiento de la estación N°42 para evento N°5.

Ley	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$
Martin	-1.12112075e-02	-6.36306461e-03	—	—
Schaad y Saragoni	-1.08301923e-02	-5.98204942e-03	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (roca)	1.43404786e-02	1.91886215e-02	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (suelo)	1.02244252e-02	1.50725680e-02	—	—
Youngs y otros (roca)	4.62783963e-03	9.47598249e-03	—	—
Youngs y otros (suelo)	-1.16599107e-03	3.68215179e-03	—	—
Ruiz y Saragoni vert. (roca)	—	—	1.55778342e-02	—
Ruiz y Saragoni vert. (suelo)	—	—	—	1.38166721e-02

Cuadro 4.61: Comportamiento de la estación N°42 para evento N°8.

$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$
Ley			
Martin	-5.02372474e-02	-4.60952065e-02	—
Schaad y Saragoni	-4.69606799e-02	-4.28186390e-02	—
Ruiz y Saragoni horiz. (roca)	5.76203163e-03	9.90407244e-03	—
Ruiz y Saragoni horiz. (suelo)	8.82968277e-03	-5.32921131e-03	—
Youngs y otros (roca)	-1.51679313e-02	-1.10258905e-02	—
Youngs y otros (suelo)	-3.26692811e-02	-2.85272402e-02	—
Ruiz y Saragoni vert. (roca)	—	—	8.82968277e-03
Ruiz y Saragoni vert. (suelo)	—	—	-1.42502439e-03

Cuadro 4.62: Comportamiento de la estación N°42 para evento N°9.

$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$
Ley			
Martin	1.61620932e-02	1.83037973e-02	—
Schaad y Saragoni	1.42563336e-02	1.63980377e-02	—
Ruiz y Saragoni horiz. (roca)	2.76688168e-02	2.98105208e-02	—
Ruiz y Saragoni horiz. (suelo)	2.45537382e-02	2.66954423e-02	—
Youngs y otros (roca)	2.72008281e-02	2.93425322e-02	—
Youngs y otros (suelo)	2.80404774e-02	3.01821815e-02	—
Ruiz y Saragoni vert. (roca)	—	—	1.80126967e-02
Ruiz y Saragoni vert. (suelo)	—	—	1.79039867e-02

Cuadro 4.63: Comportamiento de la estación N°59 para evento N°1.

Ley	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$
Martin	-6.98952101e-03	9.09310144e-03	—	—
Schaad y Saragoni	-5.55898244e-03	1.05236400e-02	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (roca)	2.32464913e-02	3.93291137e-02	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (suelo)	1.84383858e-02	3.45210082e-02	—	—
Youngs y otros (roca)	-9.26618333e-06	1.60733563e-02	—	—
Youngs y otros (suelo)	-1.05470025e-02	5.53561993e-03	—	—
Ruiz y Saragoni vert. (roca)	—	—	1.82720587e-02	
Ruiz y Saragoni vert. (suelo)	—	—	1.50557364e-02	

Cuadro 4.64: Comportamiento de la estación N°59 para evento N°2.

Ley	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$
Martin	-3.15731079e-02	-1.97140161e-02	—	—
Schaad y Saragoni	-3.06487368e-02	-1.87896450e-02	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (roca)	9.10927672e-03	2.09683686e-02	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (suelo)	-5.39150905e-04	1.13199409e-02	—	—
Youngs y otros (roca)	-1.17921857e-03	1.06798733e-02	—	—
Youngs y otros (suelo)	-1.07131869e-02	1.14590498e-03	—	—
Ruiz y Saragoni vert. (roca)	—	—	7.54545011e-03	
Ruiz y Saragoni vert. (suelo)	—	—	3.02156960e-03	

Cuadro 4.65: Comportamiento de la estación N°59 para evento N°4.

$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$
Ley			
Martin	-3.01937501e-02	-6.69109701e-03	—
Schaad y Saragoni	-2.03046474e-02	3.19800567e-03	—
Ruiz y Saragoni horiz. (roca)	6.50592339e-02	8.85618870e-02	—
Ruiz y Saragoni horiz. (suelo)	2.55754504e-02	4.90781034e-02	—
Youngs y otros (roca)	3.64858571e-02	5.99885102e-02	—
Youngs y otros (suelo)	7.18278841e-04	2.42209319e-02	—
Ruiz y Saragoni vert. (roca)	—	—	2.14210227e-02
Ruiz y Saragoni vert. (suelo)	—	—	-1.38924673e-02

Cuadro 4.66: Comportamiento de la estación N°59 para evento N°5.

$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$
Ley			
Martin	4.36435337e-02	3.08896256e-02	—
Schaad y Saragoni	4.47065562e-02	3.19526480e-02	—
Ruiz y Saragoni horiz. (roca)	7.31992972e-02	6.04453890e-02	—
Ruiz y Saragoni horiz. (suelo)	6.83398830e-02	5.55859748e-02	—
Youngs y otros (roca)	5.52132214e-02	4.24593132e-02	—
Youngs y otros (suelo)	4.59796020e-02	3.32256939e-02	—
Ruiz y Saragoni vert. (roca)	—	—	1.69205536e-02
Ruiz y Saragoni vert. (suelo)	—	—	1.41586433e-02

Cuadro 4.67: Comportamiento de la estación N°59 para evento N°6.

Ley	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$
Martin	5.44510214e-02	1.38951336e-02	—	—
Schaad y Saragoni	5.54590502e-02	1.49031625e-02	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (roca)	8.02737999e-02	3.97179121e-02	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (suelo)	7.65642589e-02	3.60083712e-02	—	—
Youngs y otros (roca)	6.11383516e-02	2.05824638e-02	—	—
Youngs y otros (suelo)	5.30243541e-02	1.24684664e-02	—	—
Ruiz y Saragoni vert. (roca)	—	—	2.37856784e-02	
Ruiz y Saragoni vert. (suelo)	—	—	2.15444238e-02	

Cuadro 4.68: Comportamiento de la estación N°59 para evento N°8.

Ley	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$
Martin	-6.38877811e-03	-1.52231893e-03	—	—
Schaad y Saragoni	-2.58434441e-03	2.28211477e-03	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (roca)	5.17883946e-02	5.66548538e-02	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (suelo)	3.58170656e-02	4.06835248e-02	—	—
Youngs y otros (roca)	2.73555267e-02	3.22219859e-02	—	—
Youngs y otros (suelo)	7.80777607e-03	1.26742353e-02	—	—
Ruiz y Saragoni vert. (roca)	—	—	1.56946777e-02	
Ruiz y Saragoni vert. (suelo)	—	—	4.16137328e-03	

Cuadro 4.69: Comportamiento de la estación N°60 para evento N°1.

$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$
Ley			
Martin	2.05758123e-02	2.26527000e-02	—
Schaad y Saragoni	2.20095798e-02	2.40864675e-02	—
Ruiz y Saragoni horiz. (roca)	5.08276722e-02	5.29045599e-02	—
Ruiz y Saragoni horiz. (suelo)	4.60165712e-02	4.80934590e-02	—
Youngs y otros (roca)	2.75144503e-02	2.95913380e-02	—
Youngs y otros (suelo)	1.69555108e-02	1.90323985e-02	—
Ruiz y Saragoni vert. (roca)	—	—	3.64770340e-02
Ruiz y Saragoni vert. (suelo)	—	—	3.32550402e-02

Cuadro 4.70: Comportamiento de la estación N°60 para evento N°5.

$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$
Ley			
Martin	3.11766325e-02	2.66759795e-02	—
Schaad y Saragoni	2.77616120e-02	2.77616120e-02	—
Ruiz y Saragoni horiz. (roca)	6.08539527e-02	5.63532996e-02	—
Ruiz y Saragoni horiz. (suelo)	5.59713081e-02	5.14706550e-02	—
Youngs y otros (roca)	4.25430502e-02	3.80423971e-02	—
Youngs y otros (suelo)	3.31791303e-02	2.86784773e-02	—
Ruiz y Saragoni vert. (roca)	—	—	2.28841759e-02
Ruiz y Saragoni vert. (suelo)	—	—	2.00859936e-02

Cuadro 4.71: Comportamiento de la estación N°60 para evento N°6.

Ley	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$
Martin	2.44611712e-02	8.92929161e-02	—	—
Schaad y Saragoni	2.54827886e-02	9.03145335e-02	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (roca)	5.03558795e-02	1.15187624e-01	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (suelo)	4.66342549e-02	1.11466000e-01	—	—
Youngs y otros (roca)	3.09647696e-02	9.57965145e-02	—	—
Youngs y otros (suelo)	2.27630964e-02	8.75948413e-02	—	—
Ruiz y Saragoni vert. (roca)	—	—	3.22664583e-02	—
Ruiz y Saragoni vert. (suelo)	—	—	3.00040542e-02	—

Cuadro 4.72: Comportamiento de la estación N°60 para evento N°7.

Ley	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$
Martin	-2.45530721e-02	-3.39140887e-03	—	—
Schaad y Saragoni	-2.22179414e-02	-1.05627810e-03	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (roca)	1.82904664e-02	3.94521296e-02	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (suelo)	9.18430119e-03	3.03459645e-02	—	—
Youngs y otros (roca)	-6.85847269e-03	1.43031906e-02	—	—
Youngs y otros (suelo)	-2.21995651e-02	-1.03790188e-03	—	—
Ruiz y Saragoni vert. (roca)	—	—	1.62404792e-02	—
Ruiz y Saragoni vert. (suelo)	—	—	9.99472378e-03	—

Cuadro 4.73: Comportamiento de la estación N°60 para evento N°8.

Ley	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$
Martin	-2.28634048e-02	2.75741666e-02	—	—
Schaad y Saragoni	-1.89928733e-02	3.14446981e-02	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (roca)	3.55777320e-02	8.60153035e-02	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (suelo)	1.95155207e-02	6.99530921e-02	—	—
Youngs y otros (roca)	1.06896130e-02	6.11271845e-02	—	—
Youngs y otros (suelo)	-9.12072351e-03	4.13168479e-02	—	—
Ruiz y Saragoni vert. (roca)	—	—	1.50962656e-02	
Ruiz y Saragoni vert. (suelo)	—	—	3.39831017e-03	

Cuadro 4.74: Comportamiento de la estación N°61 para evento N°1.

Ley	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$
Martin	1.35765594e-03	9.48160492e-03	—	—
Schaad y Saragoni	2.72928204e-03	1.08532310e-02	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (roca)	3.13025256e-02	3.94264746e-02	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (suelo)	2.65493023e-02	3.46732513e-02	—	—
Youngs y otros (roca)	9.07904046e-03	1.72029894e-02	—	—
Youngs y otros (suelo)	-1.07727126e-03	7.04667772e-03	—	—
Ruiz y Saragoni vert. (roca)	—	—	2.18249013e-02	
Ruiz y Saragoni vert. (suelo)	—	—	1.87112004e-02	

Cuadro 4.75: Comportamiento de la estación N°61 para evento N°4.

Ley	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$
Martin	-4.46643351e-02	-2.51512079e-03	—	—
Schaad y Saragoni	-3.49488650e-02	7.20034927e-03	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (roca)	5.01188503e-02	9.22680646e-02	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (suelo)	1.09199552e-02	5.30691695e-02	—	—
Youngs y otros (roca)	2.21273823e-02	6.42765966e-02	—	—
Youngs y otros (suelo)	-1.31470972e-02	2.90021171e-02	—	—
Ruiz y Saragoni vert. (roca)	—	—	3.81528348e-02	—
Ruiz y Saragoni vert. (suelo)	—	—	—	3.45831638e-03

Cuadro 4.76: Comportamiento de la estación N°61 para evento N°9.

Ley	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$
Martin	6.61036491e-02	1.33691184e-02	—	—
Schaad y Saragoni	6.41722869e-02	1.14377562e-02	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (roca)	7.80180148e-02	2.52834842e-02	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (suelo)	7.51546024e-02	2.24200718e-02	—	—
Youngs y otros (roca)	7.85052374e-02	2.57707068e-02	—	—
Youngs y otros (suelo)	7.89607401e-02	2.62262095e-02	—	—
Ruiz y Saragoni vert. (roca)	—	—	5.35065619e-02	—
Ruiz y Saragoni vert. (suelo)	—	—	—	5.33639009e-02

Cuadro 4.77: Comportamiento de la estación N°61 para evento N°10.

Ley	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$
Martin	-1.84397984e-02	-1.82706749e-02	—	—
Schaad y Saragoni	-2.00962147e-02	-1.99270912e-02	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (roca)	1.96423680e-03	2.13336027e-03	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (suelo)	-2.81425428e-03	-2.64513081e-03	—	—
Youngs y otros (roca)	2.28899877e-03	2.45812224e-03	—	—
Youngs y otros (suelo)	4.12875253e-03	4.29787600e-03	—	—
Ruiz y Saragoni vert. (roca)	—	—	3.54491710e-03	—
Ruiz y Saragoni vert. (suelo)	—	—	2.83851569e-03	—

Cuadro 4.78: Comportamiento de la estación N°61 para evento N°12.

Ley	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$	$a_{observado} - a_{teórico}[g]$
Martin	-3.65329753e-02	-4.46911691e-02	—	—
Schaad y Saragoni	-3.42838276e-02	-4.24420215e-02	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (roca)	1.28962438e-02	4.73804996e-03	—	—
Ruiz y Saragoni horiz. (suelo)	2.94289858e-04	-7.86390402e-03	—	—
Youngs y otros (roca)	-2.13887916e-03	-1.02970730e-02	—	—
Youngs y otros (suelo)	-1.51892785e-02	-2.33474723e-02	—	—
Ruiz y Saragoni vert. (roca)	—	—	1.63487112e-02	—
Ruiz y Saragoni vert. (suelo)	—	—	8.85389326e-03	—

A continuación se presenta un resumen del comportamiento de cada una de las estaciones a estudiar, con respecto a la ley de atenuación horizontal que presenta menor *RMSD*, es decir la ley de Youngs, Chiou y otros, suelo (1997):

Cuadro 4.79: Comportamiento estaciones registradoras respecto de la ley de Youngs, Chiou y otros, suelo (1997) y la componente *x* de la aceleración máxima observada.

Nº est.	Nº eventos	Nº amplificaciones	Nº atenuaciones
3	10	8	2
4	6	5	1
5	5	4	1
15	4	1	3
16	4	1	3
17	7	4	3
18	5	4	1
22	7	6	1
23	4	3	1
42	4	1	3
59	6	4	2
60	5	3	2
61	5	2	3

Cuadro 4.80: Comportamiento estaciones registradoras respecto de la ley de Youngs, Chiou y otros, suelo (1997) y la componente y de la aceleración máxima observada.

Nº est.	Nº eventos	Nº amplificaciones	Nº atenuaciones
3	10	8	2
4	6	5	1
5	5	3	2
15	4	1	3
16	4	1	3
17	7	4	3
18	5	3	2
22	7	5	2
23	4	3	1
42	4	2	2
59	6	6	0
60	5	4	1
61	5	4	1

Cuadro 4.81: Comportamiento estaciones registradoras respecto de la ley de Ruiz y Saragoni suelo (2005) y la componente z de la aceleración máxima observada.

Nº est.	Nº eventos	Nº amplificaciones	Nº atenuaciones
3	10	9	1
4	6	6	0
5	5	4	1
15	4	2	2
16	4	2	2
17	7	4	3
18	5	4	1
22	7	6	1
23	4	4	0
42	4	2	2
59	6	5	1
60	5	5	0
61	5	6	0

En los Cuadros 4.79, 4.80 y 4.81, podemos observar que tanto para la componente x como para la componente y de la aceleración máxima, el comportamiento es variado, ya que para algunos eventos una misma estación atenúa las señales y para otros las amplifica. Sin embargo, se puede ver una tendencia para las estaciones N° 15, 16, 17 y 18 ubicadas en Concepción, de atenuar el 66.6 % de las aceleraciones máximas x e y , mientras que las estaciones N° 3, 4 y 5 ubicadas en Chiguayante amplifican el 100 % de las aceleraciones máximas x e y .

Las estaciones N° 22 y 23 ubicadas en Coronel amplifican el 100 % de las aceleraciones máximas x e y . La estación N° 42 ubicada en Quillón atenúa el 50 % de las aceleraciones máximas x e y . Finalmente las estaciones N° 59, 60 y 61 ubicadas en Talcahuano, muestran una tendencia del 83.3 % de amplificación de las aceleraciones máximas x e y .

Para la componente z de la aceleración máxima, el 84.6 % de las estaciones a analizar presenta amplificación de la señal con respecto a la ley de Ruiz y Saragni suelo (2005).

La figura 4.2 corresponde al mapa geológico del SERNAGEOMIN (2002) en donde se han colocado todas las estaciones que registraron eventos de la red QCN. En el Cuadro A.3 se ha tabulado la leyenda de éste.

En esta leyenda podemos ver que las estaciones ubicadas en Concepción les corresponde un tipo de suelo CPg, que a su vez corresponde al mismo tipo de las estaciones ubicadas en Chiguayante, por lo cual no se puede, usando este mapa geológico, hacer una distinción entre los dos tipos de suelos de estas localidades.

Para las estaciones ubicadas en Coronel, les corresponde el tipo de suelo E1c, que básicamente es un tipo de suelo sedimentario, con presencia de areniscas y lutitas por lo cual habría concordancia con el 100 % de amplificación de las aceleraciones máximas x e y .

La estación ubicada en Quillón tiene un tipo de suelo Q1 básicamente compuesto por depósitos aluviales, coluviales y de remoción en masa. La attenuación del 50 % de las aceleraciones máximas x e y podría deberse a una buena compactación del terreno; sin embargo, la estación de Quillón no fue visitada por lo cual no se tiene información de ésta.

Las estaciones ubicadas en Talcahuano tienen un tipo de suelo Qm básicamente compuesto por depósitos litorales: Arenas y gravas de playas actuales. Esto parece estar de acuerdo con el 83.3 % de amplificación de las señales presentado por este grupo de estaciones.

4.1. Comparación catálogo NEIC y SSN

Se puede observar en la formulación de las leyes de attenuación, que éstas son sensibles a la variación de la distancia entre las estaciones y los eventos, por esta razón se hace necesario estudiar una comparación de esta ubicación con otros catálogos disponibles.

A continuación se presentan los doce eventos en estudio localizados por el catálogo SSN (Servicio sismológico nacional).

En el cuadro 4.82 se puede observar que el catálogo del SSN localiza diez de las doce réplicas en estudio.

Cuadro 4.82: Eventos catálogo SSN a estudiar.

Nº	Año	Mes	Día	hora	Min	Seg	Lat[°]	Long[°]	Prof[km]	Mw	Nº Est.
1	2010	3	13	3	15	1.40	-36.685	-73.612	15	5.9	9
2	2010	3	13	10	34	43.36	-37.586	-74.071	9.8	6.3	7
3	2010	3	13	17	5	38.08	—	—	—	—	6
4	2010	3	16	2	21	57.94	-36.471	-73.900	25	6.7	11
5	2010	3	16	3	4	39.99	-37.171	-73.428	45	6.3	13
6	2010	3	18	1	57	29.57	-36.511	-73.183	28.1	5.5	10
7	2010	3	21	18	31	4.10	-36.358	-73.678	10.5	5.9	6
8	2010	4	2	22	58	7.56	-36.216	-73.162	28.2	5.9	17
9	2010	4	23	10	3	6.18	—	—	—	—	10
10	2010	5	2	14	52	39.53	-34.297	-72.072	32.9	5.8	15
11	2010	6	29	1	40	0.59	-37.883	-73.622	25.4	6.1	5
12	2010	8	5	6	1	47.44	-37.420	-74.025	32.7	6.1	5

Las diferencias en la localización entre el catálogo NEIC y el catálogo SSN, se pueden observar en la figura 4.1.

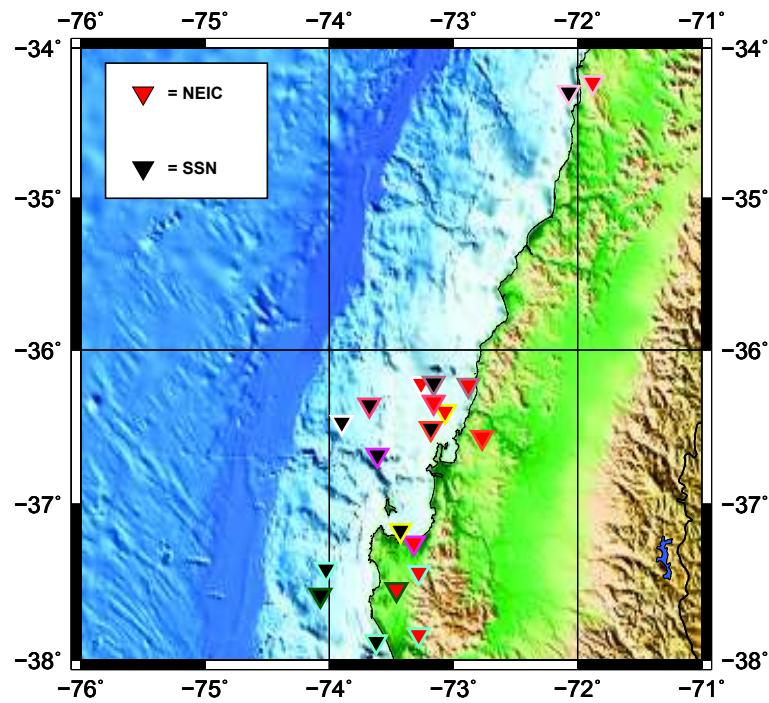


Figura 4.1: Localización catálogo NEIC y catálogo SSN.

El catálogo SSN no presenta las mismas magnitudes que el catálogo NEIC, por lo que para hacer una comparación entre éstos, se agruparan eventos de manera similar a la efectuada en el cuadro 3.1.

A continuación se presentan los valores de *RMSD* eliminando puntos anómalos y localizando con el catálogo SSN.

Cuadro 4.83: $RMSD$ para componente x de la aceleración descartando puntos anómalos y utilizando en catálogo SSN.

Magnitud (Mw)	5.5	5.9	6.7
Ley			
Martin	0.02284	0.03093	0.03613
Schaad y Saragoni	0.02357	0.02919	0.03187
Ruiz y Saragoni (roca)	0.05427	0.03232	0.05229
Ruiz y Saragoni (suelo)	0.04527	0.02380	0.02537
Youngs y otros (roca)	0.02595	0.02220	0.03739
Youngs y otros (suelo)	0.02233	0.02395	0.01965

Cuadro 4.84: $RMSD$ para componente y de la aceleración descartando puntos anómalos y utilizando en catálogo SSN.

Magnitud (Mw)	5.5	5.9	6.7
Ley			
Martin	0.01994	0.02671	0.04448
Schaad y Saragoni	0.01971	0.02495	0.04173
Ruiz y Saragoni (roca)	0.04833	0.03037	0.06457
Ruiz y Saragoni (suelo)	0.03942	0.02051	0.04205
Youngs y otros (roca)	0.02487	0.01827	0.05145
Youngs y otros (suelo)	0.02605	0.01863	0.03727

Cuadro 4.85: $RMSD$ para componente z de la aceleración descartando puntos anómalos y utilizando en catálogo SSN.

Magnitud (Mw)	5.5	5.9	6.7
Ley			
Ruiz y Saragoni (roca)	0.01835	0.02252	0.02151
Ruiz y Saragoni (suelo)	0.01228	0.01918	0.01284



Figura 4.2: Mapa geológico SERNAGEOMIN 2002 con las 39 estaciones que registran los eventos.

Capítulo 5

Conclusiones y recomendaciones

5.0.1. Conclusiones

- Las leyes de atenuación existentes en la literatura no son representativas de los valores obtenidos para las aceleraciones máximas registradas con las réplicas del terremoto del 27/02/10.
- La ley horizontal que mejor se ajusta a los datos es la ley de Youngs, Chiou, Silva y Humphrey para suelo (1997) tanto para la componente x como para la componente y .
- La ley vertical que mejor se ajusta a la componente z de los datos es la ley de Ruiz y Saragoni suelo (2005).
- La formulación de las leyes de atenuación es sensible a la variación de la distancia entre los eventos y las estaciones registradoras.
- No es posible verificar un efecto de sitio local con una densidad de datos como la entregada por la red QCN.
- Para un estudio local de efecto de sitio no hay un mapa geológico a la escala requerida, por lo cual se hace imprescindible la visita a cada uno de los sitios de instalación con el apoyo de un geólogo con la finalidad de conocer los aspectos litológicos relevantes del sitio de estudio.

- Para un estudio más completo se requiere hacer un análisis en laboratorio con muestras de los sitios de estudio con la finalidad de estudiar su composición.

5.0.2. Recomendaciones

- Hacer un estudio de los datos registrados con la red QCN y los datos de catálogos para tener una densidad de datos mayor y un estudio de la coomparación de la localización entre los catálogos a estudiar.
- Trabajar en el modelamiento de una ley de atenuación específica para la zona de estudio.
- Para hacer un estudio riguroso del efecto de sitio, realizar toma de muestras de los lugares en donde se encuentran las estaciones, con la finalidad de hacer un estudio local, similar al que se realiza en la norma sísmica chilena.

Apéndice A

Anexo

Cuadro A.1: Valores de constantes para terreno tipo roca.

Período [s]	C_1	C_2	C_3
PGA	0.0	0.0	-2.552
0.075	1.275	0.0	-2.707
0.1	1.188	-0.0011	-2.655
0.2	0.722	-0.0027	-2.528
0.3	0.246	-0.0036	-2.454
0.4	-0.115	-0.0043	-2.401
0.5	-0.400	-0.0048	-2.360
0.75	-1.149	-0.0057	-2.286
1.0	-1.736	-0.0064	-2.234
1.5	-2.634	-0.0073	-2.160
2.0	-3.328	-0.0080	-2.107
3.0	-4.511	-0.0089	-2.033

Cuadro A.2: Valores de constantes para terreno tipo suelo.

Período [s]	C_1	C_2	C_3
PGA	0.0	0.0	-2.329
0.075	2.400	-0.0019	-2.697
0.1	2.516	-0.0019	-2.697
0.2	1.549	-0.0019	-2.464
0.3	0.793	-0.0020	-2.327
0.4	0.144	-0.0020	-2.230
0.5	-0.438	-0.0035	-2.140
0.75	-1.704	-0.0048	-1.952
1.0	-2.870	-0.0066	-1.785
1.5	-5.101	-0.0114	-1.470
2.0	-6.433	-0.0164	-1.290
3.0	-6.672	-0.0221	-1.347
4.0	-7.618	-0.0235	-1.272

Cuadro A.3: Leyenda mapa geológico SERNAGEOMIN (2002).

Nº Est.	Tipo de suelo
2	Q3av Cuaternario. Depósitos de avalancha volcánica, asociado a colapso parcial de edificios volcánicos.
3	CPg Carbonífero-Pérmino (328-235 M.A.). Granitos, granodioritas, tonalitas y dioritas de hornblenda y biotita, localmente muscovita.
4	CPg Carbonífero-Pérmino (328-235 M.A.). Granitos, granodioritas, tonalitas y dioritas de hornblenda y biotita, localmente muscovita.

Cuadro A.3: Leyenda mapa geológico SERNAGEOMIN (2002). (continuación).

Nº Est.	Tipo de suelo
5	CPg Carbonífero-Pérmino (328-235 M.A.). Granitos, granodioritas, tonalitas y dioritas de hornblenda y biotita, localmente muscovita.
10	Q1 Pleistoceno-Holoceno. Depósitos aluviales, coluviales y de remoción en masa. En menor proporción fluvoglaciales, deltaicos, litorales o indiferenciados. En la Depresión Central, regiones metropolitana a la IX: Abanicos mixtos de depósitos aluviales y fluvoglaciales con intercalación de depósitos volcanoclásticos.
11	Q1 Pleistoceno-Holoceno. Depósitos aluviales, coluviales y de remoción en masa. En menor proporción fluvoglaciales, deltaicos, litorales o indiferenciados. En la Depresión Central, regiones metropolitana a la IX: Abanicos mixtos de depósitos aluviales y fluvoglaciales con intercalación de depósitos volcanoclásticos.
12	Q1 Pleistoceno-Holoceno. Depósitos aluviales, coluviales y de remoción en masa. En menor proporción fluvoglaciales, deltaicos, litorales o indiferenciados. En la Depresión Central, regiones metropolitana a la IX: Abanicos mixtos de depósitos aluviales y fluvoglaciales con intercalación de depósitos volcanoclásticos.
13	Pz4b Silúrico?-Carbonífero. Pizarras, filitas y metaareniscas con metamorfismos de bajo gradiente P/T (serie oriental) del carbonífero temprano.
14	CPg Carbonífero-Pérmino (328-235 M.A.). Granitos, granodioritas, tonalitas y dioritas de hornblenda y biotita, localmente muscovita.
15	CPg Carbonífero-Pérmino (328-235 M.A.). Granitos, granodioritas, tonalitas y dioritas de hornblenda y biotita, localmente muscovita.
16	CPg Carbonífero-Pérmino (328-235 M.A.). Granitos, granodioritas, tonalitas y dioritas de hornblenda y biotita, localmente muscovita.

Cuadro A.3: Leyenda mapa geológico SERNAGEOMIN (2002).(continuación).

Nº Est.	Tipo de suelo
17	CPg Carbonífero-Pérmino (328-235 M.A.). Granitos, granodioritas, tonalitas y dioritas de hornblenda y biotita, localmente muscovita.
18	CPg Carbonífero-Pérmino (328-235 M.A.). Granitos, granodioritas, tonalitas y dioritas de hornblenda y biotita, localmente muscovita.
19	CPg Carbonífero-Pérmino (328-235 M.A.). Granitos, granodioritas, tonalitas y dioritas de hornblenda y biotita, localmente muscovita.
22	E1c Eoceno: Secuencias sedimentarias continentales parálicas: Areniscas, lutitas y mantos de carbón. En la costa, región VIII: Formación Trihueco.
23	E1c Eoceno: Secuencias sedimentarias continentales parálicas: Areniscas, lutitas y mantos de carbón. En la costa, región VIII: Formación Trihueco.
25	Pz4b Silúrico?-Carbonífero. Pizarras, filitas y metaareniscas con metamorfismos de bajo gradiente P/T (serie oriental) del carbónifero temprano.
27	Pl1m Pleistoceno. Secuencias sedimentarias marinas litorales o fluoviales estuarinas: Coquinas, conglomerados coquináceos, areniscas y conglomerados dispuestos en niveles aterrazados emergidos.
31	Q1 Pleistoceno-Holoceno. Depósitos aluviales, coluviales y de remoción en masa. En menos proporción fluvioglaciales, deltaicos, litorales o indiferenciados. En la Depresión Central, regiones metropolitana a la IX: Abanicos mixtos de depósitos aluviales y fluvioglaciales con intercalación de depósitos volcanoclásticos.
33	Q1 Pleistoceno-Holoceno. Depósitos aluviales, coluviales y de remoción en masa. En menos proporción fluvioglaciales, deltaicos, litorales o indiferenciados. En la Depresión Central, regiones metropolitana a la IX: Abanicos mixtos de depósitos aluviales y fluvioglaciales con intercalación de depósitos volcanoclásticos.

Cuadro A.3: Leyenda mapa geológico SERNAGEOMIN (2002). (continuación).

N° Est.	Tipo de suelo
34	CPg Carbonífero-Pérmino (328-235 M.A.). Granitos, granodioritas, tonalitas y dioritas de hornblenda y biotita, localmente muscovita.
39	CPg Carbonífero-Pérmino (328-235 M.A.). Granitos, granodioritas, tonalitas y dioritas de hornblenda y biotita, localmente muscovita.
40	CPg Carbonífero-Pérmino (328-235 M.A.). Granitos, granodioritas, tonalitas y dioritas de hornblenda y biotita, localmente muscovita.
41	Pz4a Silúrico?-Carbonífero. Esquistos muscovíticos y metabasitas, metachert y serpentinitas con metamorfismo de alto gradiente P/T (serie occidental) y metamorfismo del carbonífero temprano. En la Cordillera de la Costa. Regiones VI a la IX.
42	Q1 Pleistoceno-Holoceno. Depósitos aluviales, coluviales y de remoción en masa. En menor proporción fluvoglaciales, deltaicos, litorales o indiferenciados. En la Depresión Central, regiones metropolitana a la IX: Abanicos mixtos de depósitos aluviales y fluvoglaciales con intercalación de depósitos volcanoclásticos.
45	Q1 Pleistoceno-Holoceno. Depósitos aluviales, coluviales y de remoción en masa. En menor proporción fluvoglaciales, deltaicos, litorales o indiferenciados. En la Depresión Central, regiones metropolitana a la IX: Abanicos mixtos de depósitos aluviales y fluvoglaciales con intercalación de depósitos volcanoclásticos.
47	Jsg Jurásico Medio-Superior (180-142 M.A.). Monzodioritas cuarcíferas, dioritas y granodioritas de biotita, piroxeno y hornblenda. En la Cordillera de la Costa, regiones I a VI.

Cuadro A.3: Leyenda mapa geológico SERNAGEOMIN (2002). (continuación).

Nº Est.	Tipo de suelo
49	Pz4b Silúrico?-Carbonífero. Esquistos muscovíticos y metabasitas, metachert y serpentinitas con metamorfismo de alto gradiente P/T (serie occidental) y metamorfismo del carbonífero temprano. En la Cordillera de la Costa. Regiones VI a la IX.
50	CPg Carbonífero-Pérmino (328-235 M.A.). Granitos, granodioritas, tonalitas y dioritas de hornblenda y biotita, localmente muscovita.
51	CPg Carbonífero-Pérmino (328-235 M.A.). Granitos, granodioritas, tonalitas y dioritas de hornblenda y biotita, localmente muscovita.
54	Q1 Pleistoceno-Holoceno. Depósitos aluviales, coluviales y de remoción en masa. En menor proporción fluvioglaciales, deltaicos, litorales o indiferenciados. En la Depresión Central, regiones metropolitana a la IX: Abanicos mixtos de depósitos aluviales y fluvioglaciales con intercalación de depósitos volcanoclásticos.
55	Q1 Pleistoceno-Holoceno. Depósitos aluviales, coluviales y de remoción en masa. En menor proporción fluvioglaciales, deltaicos, litorales o indiferenciados. En la Depresión Central, regiones metropolitana a la IX: Abanicos mixtos de depósitos aluviales y fluvioglaciales con intercalación de depósitos volcanoclásticos.
56	Q1 Pleistoceno-Holoceno. Depósitos aluviales, coluviales y de remoción en masa. En menor proporción fluvioglaciales, deltaicos, litorales o indiferenciados. En la Depresión Central, regiones metropolitana a la IX: Abanicos mixtos de depósitos aluviales y fluvioglaciales con intercalación de depósitos volcanoclásticos.
59	Qm Pleistoceno-Holoceno. Depósitos litorales: Arenas y gravas de playas actuales.

Cuadro A.3: Leyenda mapa geológico SERNAGEOMIN (2002). (continuación).

Nº Est.	Tipo de suelo
60	Qm Pleistoceno-Holoceno. Depósitos litorales: Arenas y gravas de playas actuales.
61	Qm Pleistoceno-Holoceno. Depósitos litorales: Arenas y gravas de playas actuales.
64	Pz4b Silúrico?-Carbonífero. Esquistos muscovíticos y metabasitas, metachert y serpentinitas con metamorfismo de alto gradiente P/T (serie occidental) y metamorfismo del carbonífero temprano. En la Cordillera de la Costa. Regiones VI a la IX.
66	Jsg Jurásico Medio-Superior (180-142 M.A.). Monzodioritas cuarcíferas, dioritas y granodioritas de biotita, piroxeno y hornblenda. En la Cordillera de la Costa, regiones I a VI.
68	Q3av : Cuaternario. Depósitos de avalancha volcánica, asociado a colapso parcial de edificios volcánicos.

Cuadro A.4: Evento 13/03/10 03:15:1.40 Mw=4.9.

Nº Est.	Long[°]	Lat[°]	Nº piso	Material	Suelo	A _{max_x} [g]	A _{max_y} [g]	A _{max_z} [g]
3	-73.0293	-36.9019	0	Concreto	CPg	0.02880	0.04374	0.01857
4	-73.0339	-36.9228	0	Concreto	CPg	0.03762	0.03793	0.02013
18	-73.0380	-36.8296	0	Concreto	CPg	0.03287	0.03596	0.02002
19	-73.0412	-36.7883	1	Sin visita	CPg	0.02517	0.03233	NaN
23	-73.1358	-37.0282	0	Concreto	E1c	0.02830	0.03498	0.01067
34	-73.1560	-37.0950	0	Madera	CPg	0.03139	0.05758	0.01792
59	-73.1075	-36.7491	0	Concreto	Qm	0.02821	0.04430	0.02414
60	-73.1077	-36.7419	0	Concreto	Qm	0.05580	0.05788	0.04236

Cuadro A.4: Evento 13/03/10 03:15:1.40 Mw=4.9. (continuación).

Nº Est.	Long[°]	Lat[°]	Nº piso	Material	Suelo	A _{max_x} [g]	A _{max_y} [g]	A _{max_z} [g]
61	-73.0914	-36.7545	0	Concreto	Qm	0.03616	0.04429	0.02757

Cuadro A.5: Evento 13/03/10 10:34:43.36 Mw=5.8.

Nº Est.	Long[°]	Lat[°]	Nº piso	Material	Suelo	A _{max_x} [g]	A _{max_y} [g]	A _{max_z} [g]
3	-73.0293	-36.9019	0	Concreto	CPg	0.02200	0.01716	0.01866
4	-73.0339	-36.9228	0	Concreto	CPg	0.02840	0.01862	0.01669
14	-73.0400	-36.8207	1	Sin visita	CPg	0.05863	0.05194	0.01203
18	-73.0380	-36.8296	0	Concreto	CPg	0.02958	0.02844	0.02628
19	-73.0412	-36.7883	1	Sin visita	CPg	0.01462	0.01444	NaN
34	-73.1560	-37.0950	0	Madera	CPg	0.03491	0.02461	0.01335
59	-73.1075	-36.7491	0	Concreto	Qm	0.01634	0.02820	0.01483

Cuadro A.6: Evento 13/03/10 17:05:38.08 Mw=4.4.

Nº Est.	Long[°]	Lat[°]	Nº piso	Material	Suelo	A _{max_x} [g]	A _{max_y} [g]	A _{max_z} [g]
3	-73.0293	-36.9019	0	Concreto	CPg	0.03630	0.05291	0.01894
10	-72.1020	-36.6057	0	Madera	Q1	0.46234	0.58899	0.52212
18	-73.0380	-36.8296	0	Concreto	CPg	0.04365	0.02342	0.01860
22	-73.1705	-36.9893	1	Concreto	E1c	0.04818	0.10968	0.02636
23	-73.1358	-37.0282	0	Concreto	E1c	0.04470	0.03906	0.02482
49	-73.097	-36.8365	0	Concreto	Pz4b	0.03712	0.01595	0.01584

Cuadro A.7: Evento 16/03/10 02:21:57.94 Mw=6.7.

Nº Est.	Long[°]	Lat[°]	Nº piso	Material	Suelo	A _{max_x} [g]	A _{max_y} [g]	A _{max_z} [g]
3	-73.0293	-36.9019	0	Concreto	CPg	0.08011	0.12332	0.03134
4	-73.0339	-36.9228	0	Concreto	CPg	0.09330	0.11500	0.05066
5	-73.0241	-36.9323	0	Concreto	CPg	0.08561	0.08001	0.03252
15	-73.0217	-36.7876	0	Sin visita	CPg	0.07592	0.07687	0.04211
16	-73.0226	-36.8197	1	Sin visita	CPg	0.03711	0.02001	0.02096
17	-73.0562	-36.7909	0	Concreto	CPg	0.06800	0.04388	0.02498
25	-72.6900	-36.4300	0	Concreto	Pz4b	0.06971	0.05986	0.03025
42	-72.4774	-36.7441	0	Sin visita	Q1	0.03363	0.03757	0.02380
59	-73.1075	-36.7491	0	Concreto	Qm	0.10294	0.12644	0.05336
61	-73.0914	-36.7545	1	Concreto	Qm	0.08748	0.12964	0.06966
64	-72.9538	-36.6041	0	Madera	Pz4b	0.15412	0.04745	0.14106

Cuadro A.8: Evento 16/03/10 03:04:39.99 Mw=5.0.

Nº Est.	Long[°]	Lat[°]	Nº piso	Material	Suelo	A _{max_x} [g]	A _{max_y} [g]	A _{max_z} [g]
3	-73.0293	-36.9019	0	Concreto	CPg	0.07770	0.04637	0.02744
4	-73.0339	-36.9228	0	Concreto	CPg	0.03631	0.03390	0.02001
5	-73.0241	-36.9323	0	Concreto	CPg	0.07085	0.06364	0.02652
10	-72.1020	-36.6057	0	Madera	Q1	0.01552	0.05542	0.07008
12	-72.1017	-36.6119	1	Concreto	Q1	0.01357	0.02587	0.03252
17	-73.0562	-36.7909	0	Concreto	CPg	0.02023	0.02344	0.01138
18	-73.0380	-36.8296	0	Concreto	CPg	0.01328	0.01808	0.06000
25	-72.6900	-36.4300	0	Concreto	Pz4b	0.06949	0.07837	0.03163
39	-72.9934	-36.7380	0	Madera	CPg	0.04479	0.03695	0.02282

Cuadro A.8: Evento 16/03/10 03:04:39.99 Mw=5.0. (continuación.)

Nº Est.	Long[°]	Lat[°]	Nº piso	Material	Suelo	A _{max_x} [g]	A _{max_y} [g]	A _{max_z} [g]
40	-72.9927	-36.7395	0	Concreto	CPg	0.04056	0.04273	0.01676
42	-72.4774	-36.7441	0	Sin visita	Q1	0.01771	0.02256	0.01951
59	-73.1075	-36.7491	0	Concreto	Qm	0.07775	0.06499	0.02221
60	-73.1077	-36.7419	0	Concreto	Qm	0.06544	0.06094	0.02822

Cuadro A.9: Evento 18/03/10 01:57:29.57 Mw=4.7.

Nº Est.	Long[°]	Lat[°]	Nº piso	Material	Suelo	A _{max_x} [g]	A _{max_y} [g]	A _{max_z} [g]
3	-73.0293	-36.9019	0	Concreto	CPg	0.06678	0.07844	0.01997
4	-73.0339	-36.9228	0	Concreto	CPg	0.06437	0.07371	0.03004
14	-73.0400	-36.8207	1	Sin visita	CPg	0.02554	0.06274	0.01891
15	-73.0217	-36.7876	0	Sin visita	CPg	0.08008	0.08615	0.02877
16	-73.0226	-36.8197	1	Sin visita	CPg	0.05556	0.06910	0.03871
17	-73.0562	-36.7909	0	Concreto	CPg	0.03997	0.04130	0.01362
22	-73.1705	-36.9893	1	Concreto	E1c	0.05801	0.02876	0.01790
25	-72.6900	-36.4300	0	Concreto	Pz4b	0.04930	0.03927	0.04372
59	-73.1075	-36.7491	0	Concreto	Qm	0.08495	0.04349	0.02842
60	-73.1077	-36.7419	0	Concreto	Qm	0.05415	0.11899	0.03693
64	-72.9538	-36.6041	0	Madera	Pz4b	0.11284	0.03232	0.13257

Cuadro A.10: Evento 21/03/10 18:31:4.10 Mw=5.5.

Nº Est.	Long[°]	Lat[°]	Nº piso	Material	Suelo	A _{max_x} [g]	A _{max_y} [g]	A _{max_z} [g]
3	-73.0293	-36.9019	0	Concreto	CPg	0.04008	0.05345	0.02218
4	-73.0339	-36.9228	0	Concreto	CPg	0.04275	0.05058	0.01997
15	-73.0217	-36.7876	0	Sin visita	CPg	0.02694	0.02981	0.01700
16	-73.0226	-36.8197	1	Sin visita	CPg	0.03045	0.03150	0.01759
22	-73.1705	-36.9893	1	Concreto	E1c	0.03167	0.02481	0.01983
60	-73.1077	-36.7419	0	Concreto	Qm	0.02696	0.04813	0.02541

Cuadro A.11: Evento 02/04/10 22:58:7.56 Mw=6.0.

Nº Est.	Long[°]	Lat[°]	Nº piso	Material	Suelo	A _{max_x} [g]	A _{max_y} [g]	A _{max_z} [g]
2	-72.3995	-37.0389	1	Concreto	Q3av	0.03972	0.02801	0.01909
3	-73.0293	-36.9019	0	Concreto	CPg	0.08129	0.05110	0.02861
4	-73.0339	-36.9228	0	Concreto	CPg	0.05523	0.06737	0.02348
5	-73.0241	-36.9323	0	Concreto	CPg	0.07448	0.03233	0.09374
13	-72.7910	-36.1314	0	Concreto	Pz4b	0.11236	0.14666	0.03929
15	-73.0217	-36.7876	0	Sin visita	CPg	0.03580	0.04328	0.01716
16	-73.0226	-36.8197	1	Sin visita	CPg	0.03421	0.03692	0.02102
17	-73.0562	-36.7909	0	Concreto	CPg	0.01694	0.02516	0.01151
18	-73.0380	-36.8296	0	Concreto	CPg	0.08942	0.02343	0.09259
22	-73.1705	-36.9893	1	Concreto	E1c	0.04204	0.04387	0.02831
23	-73.1358	-37.0282	0	Concreto	E1c	0.01370	0.03090	0.04622
31	-72.3467	-37.4733	1	Concreto	Q1	0.02566	0.01932	0.01738
42	-72.4774	-36.7441	0	Sin visita	Q1	0.01918	0.02332	0.02178
51	-72.5625	-36.4462	0	Concreto	CPg	0.01203	0.02301	0.01177

Cuadro A.11: Evento 02/04/10 22:58:7.56 Mw=6.0. (continuación.)

Nº Est.	Long[°]	Lat[°]	Nº piso	Material	Suelo	A _{max_x} [g]	A _{max_y} [g]	A _{max_z} [g]
59	-73.1075	-36.7491	0	Concreto	Qm	0.06420	0.07128	0.02979
60	-73.1077	-36.7419	0	Concreto	Qm	0.05036	0.1008	0.02934
68	-72.5625	-37.5625	0	Sin visita	Q3av	0.02020	0.02808	0.01709

Cuadro A.12: Evento 23/04/10 10:03:6.18 Mw=6.0.

Nº Est.	Long[°]	Lat[°]	Nº piso	Material	Suelo	A _{max_x} [g]	A _{max_y} [g]	A _{max_z} [g]
5	-73.0241	-36.9323	0	Concreto	CPg	0.04382	0.02801	0.05129
17	-73.0562	-36.7909	0	Concreto	CPg	0.04098	0.03440	0.01587
19	-73.0412	-36.7883	1	Sin visita	CPg	0.05580	0.09058	0.02334
22	-73.1705	-36.9893	1	Concreto	E1c	0.06816	0.07279	0.02400
23	-73.1358	-37.0282	0	Concreto	E1c	0.08028	0.06241	0.03513
31	-72.3467	-37.4733	1	Concreto	Q1	0.00941	0.00969	0.01125
42	-72.4774	-36.7441	0	Sin visita	Q1	0.02805	0.03019	0.01886
50	-72.0184	-37.6627	0	Concreto	CPg	0.05224	0.03605	0.01290
61	-73.0914	-36.7545	0	Concreto	Qm	0.07897	0.02623	0.05446
64	-72.9538	-36.6041	0	Madera	Pz4b	0.05362	0.02570	0.04364

Cuadro A.13: Evento 02/05/10 14:52:39.53 Mw=5.9.

Nº Est.	Long[°]	Lat[°]	Nº piso	Material	Suelo	A _{max_x} [g]	A _{max_y} [g]	A _{max_z} [g]
3	-73.0293	-36.9019	0	Concreto	CPg	0.01030	0.01314	0.02076
11	-72.0620	-36.5929	1	Concreto	Q1	0.01111	0.01195	0.01252

Cuadro A.13: Evento 02/05/10 14:52:39.53 Mw=5.9. (continuación.)

Nº Est.	Long[°]	Lat[°]	Nº piso	Material	Suelo	A _{max_x} [g]	A _{max_y} [g]	A _{max_z} [g]
13	-72.7919	-36.1314	0	Concreto	Pz4b	0.01229	0.00870	0.01748
17	-73.0562	-36.7909	0	Concreto	CPg	0.00236	0.00268	0.00215
31	-72.3467	-37.4733	1	Concreto	Q1	0.00962	0.01054	0.01284
33	-72.3492	-37.4758	0	Concreto	Q1	0.00769	0.01134	0.01470
41	-72.0019	-34.39933	1	Madera	Pz4a	0.52856	0.22326	0.25105
45	-70.7411	-34.1696	0	Concreto	Q1	0.01225	0.01393	0.01505
47	-71.5367	-32.9710	3	Concreto	Jsg	0.01553	0.01466	0.01412
51	-72.5625	-36.4462	0	Concreto	CPg	0.08780	0.01140	0.01145
54	-70.6184	-33.4250	0	Concreto	Q1	0.00830	0.01354	0.01607
55	-70.6714	-33.4741	0	Concreto	Q1	0.01881	0.01772	0.01501
56	-70.6602	-33.5022	4	Sin visita	Q1	0.02615	0.02680	0.02051
61	-73.0914	-36.7545	0	Concreto	Qm	0.00413	0.00430	0.00573
66	-71.6239	-33.0433	5	Concreto	Jsg	0.01543	0.01426	0.01435

Cuadro A.14: Evento 29/06/10 01:40:0.59 Mw=5.5.

Nº Est.	Long[°]	Lat[°]	Nº piso	Material	Suelo	A _{max_x} [g]	A _{max_y} [g]	A _{max_z} [g]
17	-73.0562	-36.7909	0	Concreto	CPg	0.01589	0.01976	0.00586
22	-73.1705	-36.9893	1	Concreto	E1c	0.02808	0.02766	0.01508
27	-72.6430	-37.6063	1	Sin visita	Pl1m	0.07047	0.06453	0.11706
51	-72.5625	-36.4462	0	Concreto	CPg	0.03456	0.02924	0.01775
68	-72.5625	-37.0994	0	Sin visita	Q3av	0.01738	0.02029	0.01390

Cuadro A.15: Evento 05/08/10 06:01:47.44 Mw=5.9.

Nº Est.	Long[°]	Lat[°]	Nº piso	Material	Suelo	A _{max_x} [g]	A _{max_y} [g]	A _{max_z} [g]
3	-73.0293	-36.9019	0	Concreto	CPg	0.02342	0.03255	0.02604
5	-73.0241	-36.9323	0	Concreto	CPg	0.02092	0.01674	0.02647
22	-73.1705	-36.9893	1	Concreto	E1c	0.05599	0.03135	0.01885
23	-73.1358	-37.0982	0	Concreto	E1c	0.03963	0.01738	0.04526
61	-73.0914	-36.7545	0	Concreto	Qm	0.02342	0.01526	0.02671

Bibliografía

- [1] Mapas geológicos preliminares de Chile. Hoja Arauco-Lebu (1981).
- [2] Mapas geológicos preliminares de Chile. Hoja Los Ángeles-Angol (1981).
- [3] Mapas geológicos preliminares de Chile. Hoja Concepción-Chillán (1981).
- [4] P. Acevedo, L. Álvarez, M. Artroza, J. Cassis (1987). El sismo del 3 de Marzo 1985, Chile.
- [5] Andres Martin Aiquel. Hacia una nueva regionalización y cálculo del peligro sísmico en Chile (1990). Memoria para optar al título de ingeniero civil. Universidad de Chile.
- [6] Anatomy of seismograms. Ota Kulhánek (1990).
- [7] Geotechnical Earthquake Engineering. Steven L. Kramer (1996).
- [8] Norma chilena, Diseño sísmica de edificios (1996).
- [9] R. R. Youngs, J. -S Chiou, W. J. Silva, J. R. Humphrey (1997). *Seismological Research Letters* **68** 58, 73.
- [10] Sergio Arturo Ruiz Tapia. Fórmulas de atenuación para la subducción de Chile considerando los dos mecanismos principales de sismogénesis y los efectos del suelo y las asperezas (2002). Memoria para optar al título profesional de ingeniero civil. Universidad de Chile.
- [11] Mapa geológico de Chile. Servicio nacional de geología y minería (2002).
- [12] S. Ruiz, G. R. Saragoni. Fórmulas de atenuación para la subducción de Chile considerando los dos mecanismos de sismogénesis y los efectos del suelo (2005).

- [13] A. I. Chung, C. Neighbors, A. Belmonte, M. Miller, H. H. Sepúlveda, C. Christensen, R. S. Jakka, E. S. Cochran, E. S. Cochran and J. F. Lawrence (2011). The Quake-Catcher Network Rapid Aftershock Mobilization Program Following the 2010 M 8.8 Maule, Chile Earthquake. *Seismological Research Letters* **82** 526, 532.
- [14] C. Neighbors, E. Liao, E. S. Cochran, A. Chung, J. F. Lawrence, A. Belmonte, M. Miller, H. H. Sepúlveda (2011). Site response effects in the Bío-Bío region, Chile using the κ method.