



UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

## **PROPUESTA DE ESPECTROS DE RESPUESTA PARA SUELOS EN CHILE**

TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGÍSTER EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA,  
MENCIÓN INGENIERÍA ESTRUCTURAL, SÍSMICA Y GEOTÉCNICA

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

CAMILO ANDRÉ TIZNADO ROMÁN

PROFESOR GUÍA:

FABIÁN ROJAS BARRALES

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:

CÉSAR PASTÉN PUCHI

RAFAEL RUIZ GARCÍA

SANTIAGO DE CHILE

2020

**RESUMEN DE TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE  
MAGÍSTER EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA,  
MENCION INGENIERÍA ESTRUCTURAL, SÍSMICA Y  
GEOTÉCNICA Y MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO  
DE INGENIERO CIVIL  
POR: CAMILO ANDRÉ TIZNADO ROMÁN  
FECHA: 06-10-2020  
PROFESOR GUÍA: FABIÁN ROJAS BARRALES**

## **PROPUESTA DE ESPECTROS DE RESPUESTA PARA SUELOS EN CHILE**

Chile se caracteriza por ser un territorio altamente sísmico debido a la subducción de las placas tectónicas de Nazca y Sudamericana, pertenecientes al llamado “Cinturón de Fuego del Pacífico”. Es este principal hecho el que genera un gran interés, además de una necesidad, de estudiar los eventos sísmicos ocurridos dentro del territorio nacional y los efectos que estos traen consigo.

Esta investigación busca abordar una de las tantas aristas relativas a la sismicidad, la cual tiene relación con los espectros de respuesta de un suelo. Otros autores han trabajado en esta tarea anteriormente, generando propuestas para espectros en base a una serie de parámetros medidos o calculados. Sin embargo, en este estudio se plantea la hipótesis de poder obtener estos espectros en suelo sólo en base a un modelo el cual ha sido generado a partir de espectros en roca y una función de amplificación aplicada sobre estos, donde el objetivo principal entonces, es poder obtener de manera simple y rápida el espectro real con el cual un suelo amplifica. Para ello se ha generado un modelo construido en base a las razones espectrales de respuesta H/V de registros sísmicos obtenidos desde diferentes estaciones para diferentes tipos de suelo, según el tipo de amplificación que estos presentan, mediante modelos que incluyen una componente probabilística en sus parámetros, de modo de manejar el error asociado a estos. Los modelos reciben como input sólo la información del peak de amplificación de un determinado suelo (período y magnitud de amplificación), el cual podría ser obtenido fácil y rápidamente, por ejemplo, a partir de las razones espectrales de respuesta de microvibraciones u otro método similar.

En primer lugar, se ha realizado un catastro con la información disponible correspondiente a las estaciones sísmicas y los eventos que estas han registrado. Luego, se procedió a obtener los valores de período y amplificación de los peaks y valles de HVRSR pertenecientes a cada estación, con los cuales se creó un modelo específico para cada tipo de suelo, según el tipo de amplificación que estos presenten. En segundo lugar, se ha implementado un modelo de propagación unidimensional de ondas de corte con el cual se comparó el modelo, de forma de tener un parámetro de referencia para la verificación de resultados. Adicionalmente, se ha contrastado la calidad de los resultados con metodologías anteriores, de modo de cuantificar los errores asociados al cálculo de los espectros de respuesta y por ende la calidad de ellos.

Los resultados obtenidos demuestran que el modelo implementado entrega, en general, espectros de respuesta similares a los reales, los cuales son de utilidad para ser usados como una aproximación rápida para los espectros de respuesta reales de suelo, incluso para las condiciones más críticas como cuando no hay información de sismos anteriores o si la sismicidad de una determinada zona es baja.

## **Agradecimientos**

En primera instancia agradecer al cuerpo docente del Departamento de Ingeniería Civil, en especial a los profesores Francisco Hernández, Pedro Soto, César Pastén, Rafael Ruiz y Fabián Rojas, quienes siempre estuvieron dispuestos a brindar su ayuda a través de su conocimiento y/o con bibliografía e información pertinente para la realización de este trabajo.

Por otra parte, agradecer al CSN, en especial a Felipe Leyton, quien también fue de gran ayuda en la realización de este trabajo, entregando una buena parte de la información de las estaciones sísmicas utilizados y brindando acceso a la base de datos de CSN. También a RENADIC, por brindar la información de registros sísmicos obtenidos por la red de acelerógrafos del Departamento de Ingeniería Civil y al profesor César Pastén por facilitar la información de microvibraciones parte de sus investigaciones.

A mis amigos y compañeros tanto de pregrado como postgrado, quienes con su alegría, entrega y motivación hicieron que este largo camino fuera una aventura de principio a fin. En especial, quiero agradecer a mis amigos Matías Espinosa y Diego González, a los cuales conozco desde mis primeros días en la FCFM por allá por marzo del año 2010, y quienes no sólo fueron mis compañeros en Plan Común, sino que también en el Departamento de Ingeniería Civil y cuyas Memorias fueron utilizadas como parte de la bibliografía de esta tesis.

Finalmente, y el más importante de los agradecimientos a mi familia, en especial a mi madre Marlene, a mi padre Marcelo y a mi abuela Irene quienes me criaron y me han hecho ser quien soy. A mi polola Catalina por todo el amor, la entrega, el apoyo y la paciencia desde mis últimos años de pregrado hasta el día de hoy.

A todas y todos, muchas gracias.

# Tabla de Contenido

1.	Introducción.....	1
1.1.	Hipótesis .....	2
1.2.	Objetivos.....	2
1.2.1.	Objetivo General.....	2
1.2.2.	Objetivos Específicos .....	2
1.3.	Metodología.....	3
1.3.1.	Revisión Bibliográfica.....	3
1.3.2.	Creación Base de Datos de Estaciones.....	3
1.3.3.	Cálculo de Espectros de Respuesta y HVRSR.....	4
1.3.4.	Clasificación de Suelos.....	4
1.3.5.	Modelamiento de Parámetros para Factor de Amplificación .....	4
1.3.6.	Replicación del Efecto de Sitio sobre Espectros en Roca .....	4
1.3.7.	Resultados y Estimación de Errores .....	4
1.3.8.	Aplicación con Información Empírica de Microvibraciones .....	5
1.3.9.	Recomendaciones, Comentarios Finales y Conclusiones.....	5
2.	Marco Teórico y Empírico .....	6
2.1.	Razón de Espectros Horizontal y Vertical (HVSR) y Razón de Espectros de Respuesta Horizontal y Vertical (HVRSR).....	6
2.2.	Razón de Espectros Horizontal y Vertical de Microvibraciones.....	8
2.3.	Clasificación según Nivel de Amplificación .....	9
2.4.	Selección de Puntos Valle y Peak para el Diseño del Modelo Predictivo.....	9
2.5.	Actualización de Parámetros en Modelos de Sistemas: Estimación Maximum a Posteriori (MAP) y Teorema de Bayes.....	11
3.	Obtención de Parámetros para el Modelamiento.....	14
3.1.	Estructuración de Base de Datos de Estaciones.....	14
3.2.	Método de Aceleración Promedio y Razones Espectrales HVRSR .....	16
3.3.	Modelo Maximum a Posteriori .....	16
3.3.1.	Parametrización Categoría II.....	18
3.3.2.	Parametrización Categoría III.....	20
3.3.3.	Parametrización Categoría IV .....	35
4.	Validación del Modelo Maximum A Posteriori (MAP): Modelo de Propagación Unidimensional de Ondas de Corte (Modelo Multicapas).....	39
4.1.	Comparación de Espectros de Respuesta obtenidos con modelos MAP y Multicapa....	42

4.1.1.	Categoría II - 1 Peak.....	43
4.1.2.	Categoría III - 2 Peak.....	45
4.1.3.	Categoría III - 3 Peak.....	47
4.1.4.	Categoría III - 4 Peak.....	49
4.1.5.	Categoría IV - Banda Ancha .....	51
5.	Comparación con Otros Modelos y Estimación de Errores .....	53
6.	Aplicación del Modelo MAP con Datos de Microvibraciones.....	56
7.	Conclusiones.....	60
7.1.	Recomendaciones .....	61
8.	Bibliografía.....	62
	Anexos.....	65
	Anexo A - Catálogo de Estaciones.....	65
	Anexo B - Implementación del Modelo MAP.....	75
	Anexo B.1 - Correlación de Variables .....	75
	Anexo B.2 - Actualización de Parámetros.....	76
	Anexo C - Correlaciones entre variables para modelamiento .....	78
	Anexo D - Perfiles de Velocidad.....	81
	Anexo E - Modelo predictivo de HVRSR.....	93
	Anexo E.1 - Categoría II - 1 Peak .....	93
	Anexo E.2 - Categoría III - 2 Peak .....	110
	Anexo E.3 - Categoría III - 3 Peak .....	117
	Anexo E.4 - Categoría III - 4 Peak .....	118
	Anexo E.5 - Categoría IV - Banda Ancha.....	119
	Anexo F - Espectros de Aceleración Reales y Predichos.....	120
	Anexo F.1 - Categoría II - 1 Peak.....	120
	Anexo F.2 - Categoría III - 2 Peak .....	137
	Anexo F.3 - Categoría III - 3 Peak .....	144
	Anexo F.4 - Categoría III - 4 Peak .....	145
	Anexo F.5 - Categoría IV - Banda Ancha .....	146
	Anexo G - Espectros CIII (3 y 4 Peaks), con nuevo modelo BA.....	147
	Anexo G.1 - Categoría III - 3 Peak.....	147
	Anexo G.2 - Categoría III - 4 Peak.....	148
	Anexo G.3 - Categoría IV - Banda Ancha.....	149
	Anexo H - Datos de Microvibraciones aplicados al Modelo MAP.....	150

## Índice de Tablas

Tabla 1.- Categorías de clasificación de los suelos según su nivel de amplificación.....	9
Tabla 2.- Número de registros por categoría (Para CIII los valores presentados corresponden a estaciones con 2, 3 y 4 peaks respectivamente).....	16
Tabla 3.- Funciones a utilizar en el modelo de Maximum a Posteriori.....	17
Tabla 4.- Valor de Correlación entre variables para suelos Categoría II. ....	18
Tabla 5.- Resumen parámetros tipo Categoría II.....	20
Tabla 6.- Valor de Correlación entre variables para suelos Categoría III - 2 Peaks. ....	21
Tabla 7.- Resumen parámetros tipo Categoría III: 2 Peaks.....	24
Tabla 8.- Valor de Correlación entre variables para suelos Categoría III - 3 Peaks. ....	25
Tabla 9.- Resumen parámetros tipo Categoría III: 3 Peaks.....	29
Tabla 10.- Valor de Correlación entre variables para suelos Categoría III - 4 Peaks. ....	30
Tabla 11.- Resumen parámetros tipo Categoría III: 4 Peaks.....	35
Tabla 12.- Valor de Correlación entre variables para suelos Categoría IV.....	36
Tabla 13.- Resumen parámetros tipo Categoría IV. ....	38
Tabla 14.- Estaciones con distancia menor a 30 [km], con información de suelo. ....	40
Tabla 15.- Función de Estimación de Densidad utilizada (Anbazhagan, Anjali, Moustafa, & Al-Arifi, 2016). ....	40
Tabla 16.- Estimadores Modelo de Cálculo de Densidad (Anbazhagan, Anjali, Moustafa, & Al-Arifi, 2016). ....	41
Tabla 17.- Datos de microvibraciones Ambientales.....	57
Tabla 18.- Base de Datos de Estaciones (Parte 1). ....	65
Tabla 19.- Base de Datos de Estaciones (Parte 2). ....	66
Tabla 20.- Base de Datos de Estaciones (Parte 3). ....	67
Tabla 21.- Base de Datos de Estaciones (Parte 4). ....	68
Tabla 22.- Base de Datos de Estaciones (Parte 5). ....	69
Tabla 23.- Base de Datos de Estaciones (Parte 6). ....	70
Tabla 24.- Base de Datos de Estaciones (Parte 7). ....	71
Tabla 25.- Base de Datos de Estaciones (Parte 8). ....	72
Tabla 26.- Base de Datos de Estaciones (Parte 9). ....	73
Tabla 27.- Base de Datos de Estaciones (Parte 10). ....	74
Tabla 28.- Resumen parámetros para CIII (3 y 4 Peaks), como si fuesen CIV.....	147

## Índice de Figuras

Figura 1.- Cinturón o Anillo de Fuego del Pacífico. La imagen corresponde al Servicio Geológico de los Estados Unidos (United States Geological Survey (USGS), 2020). .....	2
Figura 2.- Esquema representativo de la estructura general de un suelo.....	7
Figura 3.- Razón Espectral HVRSR. Se aprecia el primer modo de vibrar del suelo sobre el cual es realizada la medición. ....	8
Figura 4.- Determinación de los puntos que calibrarán el modelo (Caso Categoría II). ....	10
Figura 5.- Selección de punto valle a los pies del peak. Se sobrestima la curvatura natural del peak suponiendo una pendiente a determinar entre ambos puntos. ....	10
Figura 6.- Para casos multipeak, se establecerá la coordenada de período del valle como un punto intermedio entre ambos peaks. ....	11
Figura 7.- Esquema de un sistema genérico. ....	11
Figura 8.- Estructuración Base de Datos. ....	14
Figura 9.- Correlación entre parámetros para CII - 1 Peak. ....	17
Figura 10.- Representación de ajuste tipo Categoría II. ....	18
Figura 11.- Ajuste para las variables tipo Categoría II $A_{AMP}$ v/s $B_{AMP}$ . ....	18
Figura 12.- Ajuste para las variables tipo Categoría II $A_T$ v/s $B_T$ . ....	19
Figura 13.- Ajuste para las variables tipo Categoría II $C_{AMP}$ v/s $B_{AMP}$ . ....	19
Figura 14.- Ajuste para las variables tipo Categoría II $C_T$ v/s $B_T$ . ....	20
Figura 15.- Representación de ajuste tipo Categoría III: 2 Peaks. ....	21
Figura 16.- Ajuste para las variables tipo Categoría III: 2 Peaks $A_{AMP}$ v/s $D_{AMP}$ . ....	21
Figura 17.- Ajuste para las variables tipo Categoría III: 2 Peaks $A_T$ v/s $B_T$ . ....	22
Figura 18.- Ajuste para las variables tipo Categoría III: 2 Peaks $C_{AMP}$ v/s $B_{AMP}$ . ....	22
Figura 19.- Ajuste para las variables tipo Categoría III: 2 Peaks $C_T$ v/s $D_T$ . ....	23
Figura 20.- Ajuste para las variables tipo Categoría III: 2 Peaks $E_{AMP}$ v/s $D_{AMP}$ . ....	23
Figura 21.- Ajuste para las variables tipo Categoría III: 2 Peaks $E_T$ v/s $D_T$ . ....	24
Figura 22.- Representación de ajuste tipo Categoría III: 3 Peaks. ....	25
Figura 23.- Ajuste para las variables tipo Categoría III: 3 Peaks $A_{AMP}$ v/s $B_{AMP}$ . ....	25
Figura 24.- Ajuste para las variables tipo Categoría III: 3 Peaks $A_T$ v/s $B_T$ . ....	26
Figura 25.- Ajuste para las variables tipo Categoría III: 3 Peaks $C_{AMP}$ v/s $D_{AMP}$ . ....	26
Figura 26.- Ajuste para las variables tipo Categoría III: 3 Peaks $C_T$ v/s $B_T$ . ....	27
Figura 27.- Ajuste para las variables tipo Categoría III: 3 Peaks $E_{AMP}$ v/s $F_{AMP}$ . ....	27

Figura 28.- Ajuste para las variables tipo Categoría III: 3 Peaks $E_T$ v/s $D_T$ .....	28
Figura 29.- Ajuste para las variables tipo Categoría III: 3 Peaks $G_{AMP}$ v/s $F_{AMP}$ .....	28
Figura 30.- Ajuste para las variables tipo Categoría III: 3 Peaks $G_T$ v/s $F_T$ .....	29
Figura 31.- Representación de ajuste tipo Categoría III: 4 Peaks. ....	30
Figura 32.- Ajuste para las variables tipo Categoría III: 4 Peaks $A_{AMP}$ v/s $B_{AMP}$ .....	30
Figura 33.- Ajuste para las variables tipo Categoría III: 4 Peaks $A_T$ v/s $B_T$ .....	31
Figura 34.- Ajuste para las variables tipo Categoría III: 4 Peaks $C_{AMP}$ v/s $D_{AMP}$ .....	31
Figura 35.- Ajuste para las variables tipo Categoría III: 4 Peaks $C_T$ v/s $D_T$ .....	32
Figura 36.- Ajuste para las variables tipo Categoría III: 4 Peaks $E_{AMP}$ v/s $D_{AMP}$ .....	32
Figura 37.- Ajuste para las variables tipo Categoría III: 4 Peaks $E_T$ v/s $H_{AMP}$ .....	33
Figura 38.- Ajuste para las variables tipo Categoría III: 4 Peaks $G_{AMP}$ v/s $H_{AMP}$ .....	33
Figura 39.- Ajuste para las variables tipo Categoría III: 4 Peaks $G_T$ v/s $F_T$ .....	34
Figura 40.- Ajuste para las variables tipo Categoría III: 4 Peaks $I_{AMP}$ v/s $H_{AMP}$ .....	34
Figura 41.- Ajuste para las variables tipo Categoría III: 4 Peaks $I_T$ v/s $H_T$ .....	35
Figura 42.- Representación de ajuste tipo Categoría IV.....	36
Figura 43.- Ajuste para las variables tipo Categoría IV $A_{AMP}$ v/s $B_{AMP}$ .....	36
Figura 44.- Ajuste para las variables tipo Categoría IV $A_T$ v/s $B_T$ .....	37
Figura 45.- Ajuste para las variables tipo Categoría IV $D_{AMP}$ v/s $C_{AMP}$ .....	37
Figura 46.- Ajuste para las variables tipo Categoría IV $D_T$ v/s $C_T$ .....	38
Figura 47.- Diferentes funciones de densidad establecidas por (Anbazhagan, Anjali, Moustafa, & Al-Arifi, 2016). La densidad utilizada en este trabajo es la más general para suelos y rocas según indica el autor, la cual se muestra en color verde en la gráfica. ....	41
Figura 48.- Modelo predictivo de HVRSR para suelos tipo CII-1P.....	43
Figura 49.- $PSA_{promedio}$ reales y predichos para suelos tipo CII-1P.....	44
Figura 50.- Modelo predictivo de HVRSR para suelos tipo CIII-2P.....	45
Figura 51.- $PSA_{promedio}$ reales y predichos para suelos tipo CIII-2P.....	46
Figura 52.- Modelo predictivo de HVRSR para suelos tipo CIII-3P.....	47
Figura 53.- $PSA_{promedio}$ reales y predichos para suelos tipo CIII-3P.....	48
Figura 54.- Modelo predictivo de HVRSR para suelos tipo CIII-4P.....	49
Figura 55.- $PSA_{promedio}$ reales y predichos para suelos tipo CIII-4P.....	50
Figura 56.- Modelo predictivo de HVRSR para suelos tipo CIV-BA.....	51
Figura 57.- $PSA_{promedio}$ reales y predichos para suelos tipo CIV-BA.....	52

Figura 58.- Desviación estándar entre la función de amplificación observada promedio y la estimada para los cuatro modelos.....	54
Figura 59.- La bondad de los ajustes (Goodness of fits - GOFs), entre los espectros de respuesta de aceleraciones al 5% de amortiguamiento observados y predichos para cada uno de los cuatro modelos.....	55
Figura 60.- Obtención de la Magnitud del peak de MHVRSR a través del dato de su período....	56
Figura 61.- Peak de Microvibraciones para estaciones C01O-C22O.....	58
Figura 62.- Peak de Microvibraciones para estaciones C33O-C22O.....	58
Figura 63.- Peak de Microvibraciones para estaciones T02A-T05A. ....	59
Figura 64.- Correlación entre parámetros para CII - 1 Peak. ....	78
Figura 65.- Correlación entre parámetros para CIII - 2 Peak. ....	78
Figura 66.- Correlación entre parámetros para CIII - 3 Peak. ....	79
Figura 67.- Correlación entre parámetros para CIII - 4 Peak. ....	79
Figura 68.- Correlación entre parámetros para CIV - Banda Ancha.....	80
Figura 69.- Perfil de Velocidades Estación A05P.....	81
Figura 70.- Perfil de Velocidades Estación AP01.....	81
Figura 71.- Perfil de Velocidades Estación B01I.....	82
Figura 72.- Perfil de Velocidades Estación C01O.....	82
Figura 73.- Perfil de Velocidades Estación C04O.....	83
Figura 74.- Perfil de Velocidades Estación C16O.....	83
Figura 75.- Perfil de Velocidades Estación C19O.....	84
Figura 76.- Perfil de Velocidades Estación C20O.....	84
Figura 77.- Perfil de Velocidades Estación C33O.....	85
Figura 78.- Perfil de Velocidades Estación CO05.....	85
Figura 79.- Perfil de Velocidades Estación R02M.....	86
Figura 80.- Perfil de Velocidades Estación R07M.....	86
Figura 81.- Perfil de Velocidades Estación R12M.....	87
Figura 82.- Perfil de Velocidades Estación R14M.....	87
Figura 83.- Perfil de Velocidades Estación R18M.....	88
Figura 84.- Perfil de Velocidades Estación R21M.....	88
Figura 85.- Perfil de Velocidades Estación T01A.....	89
Figura 86.- Perfil de Velocidades Estación T02A.....	89

Figura 87.- Perfil de Velocidades Estación T03A.....	90
Figura 88.- Perfil de Velocidades Estación T04A.....	90
Figura 89.- Perfil de Velocidades Estación T07A.....	91
Figura 90.- Perfil de Velocidades Estación T10A.....	91
Figura 91.- Perfil de Velocidades Estación T20A.....	92
Figura 92.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones A05P-PB12.....	93
Figura 93.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones A200-C06O.....	93
Figura 94.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones C200-C22O.....	94
Figura 95.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones C33O-C06O.....	94
Figura 96.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones C33O-C22O.....	95
Figura 97.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones R02M-R03M. ....	95
Figura 98.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones R02M-R05M. ....	96
Figura 99.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones R12M-R03M. ....	96
Figura 100.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones R12M-R05M. ....	97
Figura 101.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones R14M-R03M. ....	97
Figura 102.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones R14M-R05M. ....	98
Figura 103.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones R18M-R03M. ....	98
Figura 104.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones R18M-R05M. ....	99
Figura 105.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones T01A-HMBCX.....	99
Figura 106.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones T01A-T05A. ....	100
Figura 107.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones T01A-T06A. ....	100
Figura 108.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones T01A-T08A. ....	101
Figura 109.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones T01A-T15A. ....	101
Figura 110.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones T02A-HMBCX.....	102
Figura 111.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones T02A-T05A. ....	102
Figura 112.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones T02A-T06A. ....	103
Figura 113.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones T02A-T08A. ....	103
Figura 114.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones T02A-T15A. ....	104
Figura 115.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones T03A-HMBCX.....	104
Figura 116.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones T03A-T05A. ....	105
Figura 117.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones T03A-T06A. ....	105
Figura 118.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones T03A-T08A. ....	106

Figura 119.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones T03A-T15A. ....	106
Figura 120.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones T04A-HMBCX. ....	107
Figura 121.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones T04A-T05A. ....	107
Figura 122.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones T04A-T06A. ....	108
Figura 123.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones T04A-T08A. ....	108
Figura 124.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones T04A-T15A. ....	109
Figura 125.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones T20A-PB11. ....	109
Figura 126.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones B01I-CCSP. ....	110
Figura 127.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones C01O-C06O. ....	110
Figura 128.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones C01O-C22O. ....	111
Figura 129.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones C04O-C06O. ....	111
Figura 130.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones C04O-C22O. ....	112
Figura 131.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones C19O-C06O. ....	112
Figura 132.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones C19O-C22O. ....	113
Figura 133.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones R07M-R03M. ....	113
Figura 134.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones R07M-R05M. ....	114
Figura 135.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones R21M-R03M. ....	114
Figura 136.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones R21M-R05M. ....	115
Figura 137.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones T07A-HMBCX. ....	115
Figura 138.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones T07A-T15A. ....	116
Figura 139.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones T10A-HMBCX. ....	116
Figura 140.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones T10A-PB11. ....	117
Figura 141.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones CO05-C06O. ....	117
Figura 142.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones CO05-C22O. ....	118
Figura 143.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones C16O-C06O. ....	118
Figura 144.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones C16O-C22O. ....	119
Figura 145.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones AP01-PB12. ....	119
Figura 146.- PSA reales y predichos estaciones A05P-PB12. ....	120
Figura 147.- PSA reales y predichos estaciones C20O-C06O. ....	120
Figura 148.- PSA reales y predichos estaciones C20O-C22O. ....	121
Figura 149.- PSA reales y predichos estaciones C33O-C06O. ....	121
Figura 150.- PSA reales y predichos estaciones C33O-C22O. ....	122

Figura 151.- PSA reales y predichos estaciones R02M-R03M.....	122
Figura 152.- PSA reales y predichos estaciones R02M-R05M.....	123
Figura 153.- PSA reales y predichos estaciones R12M-R03M.....	123
Figura 154.- PSA reales y predichos estaciones R12M-R05M.....	124
Figura 155.- PSA reales y predichos estaciones R14M-R03M.....	124
Figura 156.- PSA reales y predichos estaciones R14M-R05M.....	125
Figura 157.- PSA reales y predichos estaciones R18M-R03M.....	125
Figura 158.- PSA reales y predichos estaciones R18M-R05M.....	126
Figura 159.- PSA reales y predichos estaciones T01A-HMBCX. ....	126
Figura 160.- PSA reales y predichos estaciones T01A-T05A.....	127
Figura 161.- PSA reales y predichos estaciones T01A-T06A.....	127
Figura 162.- PSA reales y predichos estaciones T01A-T08A.....	128
Figura 163.- PSA reales y predichos estaciones T01A-T15A.....	128
Figura 164.- PSA reales y predichos estaciones T02A-HMBCX. ....	129
Figura 165.- PSA reales y predichos estaciones T02A-T05A.....	129
Figura 166.- PSA reales y predichos estaciones T02A-T06A.....	130
Figura 167.- PSA reales y predichos estaciones T02A-T08A.....	130
Figura 168.- PSA reales y predichos estaciones T02A-T15A.....	131
Figura 169.- PSA reales y predichos estaciones T03A-HMBCX. ....	131
Figura 170.- PSA reales y predichos estaciones T03A-T05A.....	132
Figura 171.- PSA reales y predichos estaciones T03A-T06A.....	132
Figura 172.- PSA reales y predichos estaciones T03A-T08A.....	133
Figura 173.- PSA reales y predichos estaciones T03A-T15A.....	133
Figura 174.- PSA reales y predichos estaciones T04A-HMBCX. ....	134
Figura 175.- PSA reales y predichos estaciones T04A-T05A.....	134
Figura 176.- PSA reales y predichos estaciones T04A-T06A.....	135
Figura 177.- PSA reales y predichos estaciones T04A-T08A.....	135
Figura 178.- PSA reales y predichos estaciones T04A-T15A.....	136
Figura 179.- PSA reales y predichos estaciones T20A-PB11. ....	136
Figura 180.- PSA reales y predichos estaciones B01I-CCSP.....	137
Figura 181.- PSA reales y predichos estaciones C01O-C06O. ....	137
Figura 182.- PSA reales y predichos estaciones C01O-C22O. ....	138

Figura 183.- PSA reales y predichos estaciones C04O-C06O. ....	138
Figura 184.- PSA reales y predichos estaciones C04O-C22O. ....	139
Figura 185.- PSA reales y predichos estaciones C19O-C06O. ....	139
Figura 186.- PSA reales y predichos estaciones C19O-C22O. ....	140
Figura 187.- PSA reales y predichos estaciones R07M-R03M. ....	140
Figura 188.- PSA reales y predichos estaciones R07M-R05M. ....	141
Figura 189.- PSA reales y predichos estaciones R21M-R03M. ....	141
Figura 190.- PSA reales y predichos estaciones R21M-R05M. ....	142
Figura 191.- PSA reales y predichos estaciones T07A-HMBCX. ....	142
Figura 192.- PSA reales y predichos estaciones T07A-T15A. ....	143
Figura 193.- PSA reales y predichos estaciones T10A-HMBCX. ....	143
Figura 194.- PSA reales y predichos estaciones T10A-PB11. ....	144
Figura 195.- PSA reales y predichos estaciones CO05-C06O. ....	144
Figura 196.- PSA reales y predichos estaciones CO05-C22O. ....	145
Figura 197.- PSA reales y predichos estaciones C16O-C06O. ....	145
Figura 198.- PSA reales y predichos estaciones C16O-C22O. ....	146
Figura 199.- PSA reales y predichos estaciones AP01-PB12. ....	146
Figura 200.- PSA reales y predichos estaciones CO05-C06O con modelo de amplificación Multipeak y Banda -Ancha. ....	147
Figura 201.- PSA reales y predichos estaciones CO05-C22O con modelo de amplificación Multipeak y Banda -Ancha. ....	148
Figura 202.- PSA reales y predichos estaciones C16O-C06O con modelo de amplificación Multipeak y Banda -Ancha. ....	148
Figura 203.- PSA reales y predichos estaciones C16O-C22O con modelo de amplificación Multipeak y Banda -Ancha. ....	149
Figura 204.- PSA reales y predichos estaciones AP01-PB12 con modelo de amplificación Multipeak y Banda -Ancha. ....	149
Figura 205.- Peak de Microvibraciones para estaciones C01O-C06O. ....	150
Figura 206.- Peak de Microvibraciones para estaciones C01O-C22O. ....	150
Figura 207.- Peak de Microvibraciones para estaciones C04O-C06O. ....	151
Figura 208.- Peak de Microvibraciones para estaciones C04O-C22O. ....	151
Figura 209.- Peak de Microvibraciones para estaciones C16O-C06O. ....	152

Figura 210.- Peak de Microvibraciones para estaciones C16O-C22O.....	152
Figura 211.- Peak de Microvibraciones para estaciones C20O-C06O.....	153
Figura 212.- Peak de Microvibraciones para estaciones C20O-C22O.....	153
Figura 213.- Peak de Microvibraciones para estaciones C33O-C06O.....	154
Figura 214.- Peak de Microvibraciones para estaciones C33O-C22O.....	154
Figura 215.- Peak de Microvibraciones para estaciones R07M-R03M.....	155
Figura 216.- Peak de Microvibraciones para estaciones R07M-R05M.....	155
Figura 217.- Peak de Microvibraciones para estaciones R12M-R03M.....	156
Figura 218.- Peak de Microvibraciones para estaciones R12M-R05M.....	156
Figura 219.- Peak de Microvibraciones para estaciones R18M-R03M.....	157
Figura 220.- Peak de Microvibraciones para estaciones R18M-R05M.....	157
Figura 221.- Peak de Microvibraciones para estaciones R21M-R03M.....	158
Figura 222.- Peak de Microvibraciones para estaciones R21M-R05M.....	158
Figura 223.- Peak de Microvibraciones para estaciones T01A-HMBCX.....	159
Figura 224.- Peak de Microvibraciones para estaciones T01A-T05A.....	159
Figura 225.- Peak de Microvibraciones para estaciones T01A-T06A.....	160
Figura 226.- Peak de Microvibraciones para estaciones T01A-T08A.....	160
Figura 227.- Peak de Microvibraciones para estaciones T01A-T15A.....	161
Figura 228.- Peak de Microvibraciones para estaciones T02A-HMBCX.....	161
Figura 229.- Peak de Microvibraciones para estaciones T02A-T05A.....	162
Figura 230.- Peak de Microvibraciones para estaciones T02A-T06A.....	162
Figura 231.- Peak de Microvibraciones para estaciones T02A-T08A.....	163
Figura 232.- Peak de Microvibraciones para estaciones T02A-T15A.....	163
Figura 233.- Peak de Microvibraciones para estaciones T03A-HMBCX.....	164
Figura 234.- Peak de Microvibraciones para estaciones T03A-T05A.....	164
Figura 235.- Peak de Microvibraciones para estaciones T03A-T06A.....	165
Figura 236.- Peak de Microvibraciones para estaciones T03A-T08A.....	165
Figura 237.- Peak de Microvibraciones para estaciones T03A-T15A.....	166
Figura 238.- Peak de Microvibraciones para estaciones T07A-HMBCX.....	166
Figura 239.- Peak de Microvibraciones para estaciones T07A-T15A.....	167
Figura 240.- Peak de Microvibraciones para estaciones T10A-HMBCX.....	167
Figura 241.- Peak de Microvibraciones para estaciones T10A-PB11.....	168

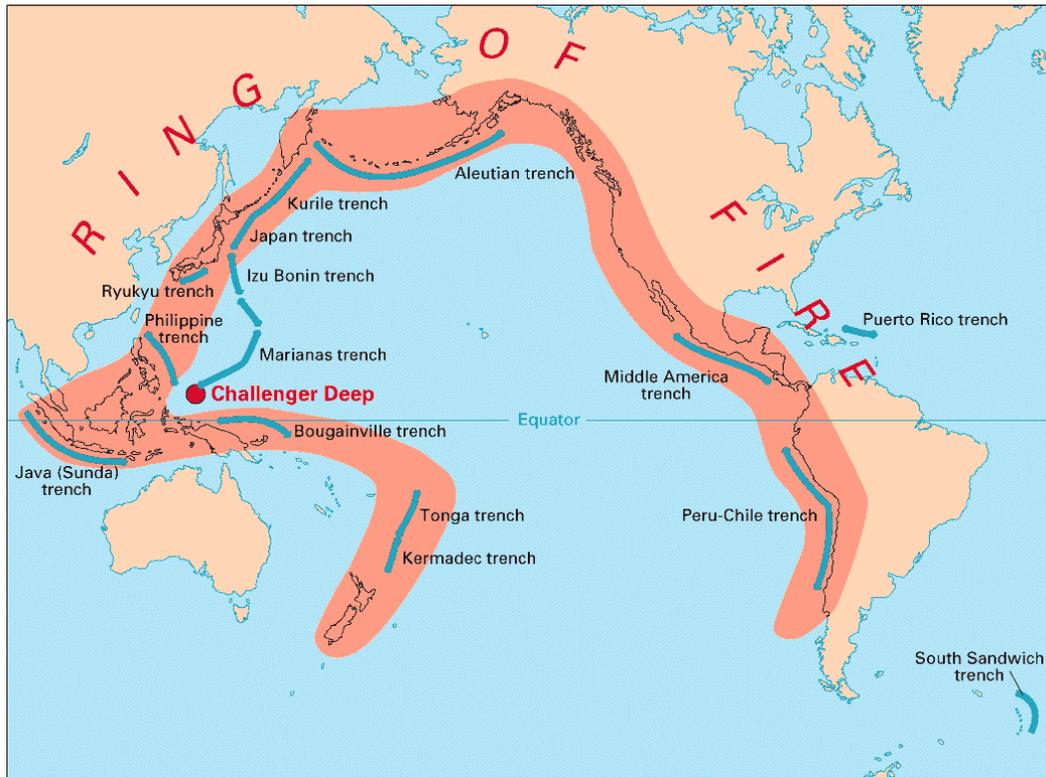
# 1. Introducción

Chile se caracteriza por ser un territorio altamente sísmico debido a la subducción de las placas tectónicas de Nazca y Sudamericana, pertenecientes al llamado “Cinturón o Anillo de Fuego del Pacífico” (Figura 1). Es este principal hecho el que genera un gran interés, además de una necesidad, de estudiar los eventos sísmicos ocurridos dentro del territorio nacional y los efectos que estos traen consigo, todo con el fin de mejorar cada vez más la normativa que rige a los proyectos de ingeniería civil que se realizan dentro del territorio nacional.

El comportamiento de cualquier objeto, en particular las estructuras, es idéntico al de un oscilador, por lo tanto, entender el comportamiento de estas, desde el punto de vista de las frecuencias, es importante. Teniendo esto en consideración, esta investigación busca abordar una de las tantas aristas relativas a la sismicidad, la cual tiene relación con los espectros de respuesta de un suelo. Los espectros de respuesta son una herramienta de gran utilidad dentro de la ingeniería sísmica, sirven para estudiar y analizar el comportamiento de las estructuras durante los terremotos y por ende la demanda sísmica que una estructura podría recibir. Un daño considerable debido al movimiento fuerte de los sismos puede ocurrir si la respuesta de una estructura se asemeja a las componentes del movimiento del suelo, mirado desde el punto de vista de las frecuencias, es decir, cuando la estructura entra en resonancia.

El espectro de diseño de la norma chilena (NCh433), está basado en la información obtenida de los sismos ocurridos a través de los años, por lo que se hace necesario poder ir complementando y a la vez actualizando esta información con la adicional obtenida de nuevos sismos. Otros autores han trabajado en esta tarea anteriormente, generando nuevas propuestas para espectros de diseño en base a una serie de parámetros medidos o calculados. Estas propuestas utilizan información obtenida de los espectros de respuesta promedio (HVARSR), o directamente de razones espectrales (HVSR), junto con algunas ecuaciones generadas que, en conjunto, permiten establecer dichas propuestas. Sin embargo, todos estos modelos se basan en la información obtenida desde registros sísmicos para generar los espectros, información la cual no siempre está disponible para un determinado suelo, lo cual significa una gran desventaja. Bajo este contexto surge la necesidad de poder generar espectros de respuesta, a través de un modelo, de una manera más eficiente y en lo posible aplicable a cualquier tipo de suelo sin la necesidad de dependencia de un gran número de registros sísmicos.

En este estudio se plantea la hipótesis de poder generar estos espectros de respuesta en base a los espectros en roca y a una función de amplificación dependiente de la información del peak de HVRSR. Esta información podría ser obtenida, por ejemplo, a partir de la medición de vibraciones ambientales, proceso el cual puede ser fácilmente implementado, a bajo costo y no depende del historial de registros sísmicos de la zona en estudio. El objetivo principal entonces será generar un modelo mediante el cual poder estimar un espectro de respuesta de un suelo solamente con información del peak de HVRSR. Cumplido este objetivo, se tendrá un modelo que podrá entregar en poco tiempo y de manera eficaz una buena estimación del espectro real de respuesta de un suelo.



*Figura 1.- Cinturón o Anillo de Fuego del Pacífico. La imagen corresponde al Servicio Geológico de los Estados Unidos (United States Geological Survey (USGS), 2020).*

## 1.1. Hipótesis

- Generar espectros de respuesta en base a espectros en roca e información del peak de HVRSR.
- 

## 1.2. Objetivos

### 1.2.1. Objetivo General

- Generar una propuesta de espectros de respuesta en suelo, mediante una metodología que permita caracterizar la influencia del suelo dado un espectro de respuesta en roca y sólo usando los parámetros del peak (Período y Amplificación) de los HVRSR de los distintos tipos de suelo.

### 1.2.2. Objetivos Específicos

- Revisión bibliográfica de las metodologías para caracterizar e incluir la respuesta del suelo en los espectros de respuesta.

- Clasificar las estaciones sísmicas chilenas según su tipo de suelo, a partir de una nueva base de datos compilada.
- Parametrización de los espectros de respuesta encontrados para cada estación según tipo de suelo y sus características.
- Propuestas para un nuevo factor de amplificación para llevar los espectros de respuesta en roca a espectros en suelo, en función del periodo y nivel de amplificación medidos en terreno.
- Estimación de la propagación de errores sobre los parámetros modelados que se han utilizado en el desarrollo de este trabajo.
- Validación del nuevo modelo para definir la forma para los nuevos espectros de respuesta de suelos en Chile propuestos.
- Definición de recomendaciones para la normativa chilena.

## **1.3. Metodología**

### **1.3.1. Revisión Bibliográfica**

Para el presente trabajo de tesis se realizó una exhaustiva revisión bibliográfica basada en la información obtenida desde diversos papers, tesis e investigaciones afines, de modo de poder comprender a cabalidad los conceptos y parámetros que se mencionarán en las siguientes páginas. Entre los más destacados dentro de este cúmulo de información, destacan conceptos como las distintas magnitudes con las cuales se mide la intensidad de un movimiento sísmico ( $M_s$ ,  $M_b$ ,  $M_w$ ), la razón de espectros de respuesta horizontal y vertical (HVRSR: High-to-Vertical Response Spectral Ratio), el parámetro  $V_{S30}$  y diversas clasificaciones de HVRSR implementadas por diversos autores, tales como Zhao (Zhao, y otros, 2006), Idini (Idini, 2016), entre otros.

Es necesario precisar que Idini (Idini, 2016), ya ha realizado procedimientos similares a los presentados en esta tesis utilizando espectros de respuesta de aceleraciones, trabajo el cual significó una extensión a los ya realizados por Nakamura (Nakamura, 1989), quien trabajó con Espectros de Fourier, razón por la cual el presente trabajo viene a complementar las investigaciones previamente realizadas por dichos autores.

### **1.3.2. Creación Base de Datos de Estaciones**

Para la creación de una base de datos robusta y completa, con toda la información necesaria respecto a las estaciones sísmicas ubicadas dentro del territorio chileno, se procedió a recopilar la información desde diversas fuentes, tales como la Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior (ONEMI, 2018), Centro Sismológico Nacional (CSN, 2018), Integrated Plate Boundary Observatory Chile (IPOC, 2018) y la Red de Cobertura Nacional de Acelerógrafos del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Chile (RENADIC, 2018).

La recopilación de los diferentes registros se ha realizado complementando la información utilizada por Idini (Idini, 2016), junto con la otorgada por el Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Chile.

### **1.3.3. Cálculo de Espectros de Respuesta y HVRSR**

Para la obtención de los espectros de respuesta y de las razones espectrales HVRSR se ha utilizado MATLAB (MATLAB, 2018), el cual ha servido como herramienta computacional para programar los distintos códigos utilizados en este Trabajo de Tesis, en específico, los dos ya mencionados.

### **1.3.4. Clasificación de Suelos**

La clasificación de los suelos se ha realizado tal y como la plantea Idini en su Trabajo de Tesis (Idini, 2016), al igual que otros autores como Zhao (Zhao, y otros, 2006). Esta se basa en una clasificación del suelo según el período predominante de este, además de una clasificación según la forma y nivel de amplificación del peak. Para esta última clasificación, se ha utilizado la misma metodología de Idini (Idini, 2016), en donde se ha optado por diferenciar los suelos en cinco categorías diferentes, según el número de peaks presentes en la razón espectral HVRSR.

### **1.3.5. Modelamiento de Parámetros para Factor de Amplificación**

La búsqueda de los parámetros a utilizar en el modelamiento teórico de las razones espectrales HVRSR, se ha realizado en base a dos valores significativos tomados desde las razones espectrales HVRSR empíricas observadas de cada estación, los cuales son catalogados como valles o peaks. Para estos, se ha buscado una correlación entre ellos, de modo de obtener un modelo teórico que entregue los valores de los valles, tanto en Período como en Amplitud, sólo como función del Período y Amplitud de los Peaks. La idea es, a futuro, poder obtener estos puntos Peak directamente de las vibraciones ambientales aplicando el método de Nakamura (Nakamura, 1989), y gracias al modelo estimar los puntos Valles. Cabe destacar que ya se han realizado trabajos anteriores similares bajo esta metodología, como los de Idini (Idini, 2016), y González (Gonzalez, 2017).

### **1.3.6. Replicación del Efecto de Sitio sobre Espectros en Roca**

Una vez obtenidos los modelos que parametrizan los HVRSR de cada estación, con ellos se podrá ponderar a un espectro en roca cercana y obtener una estimación del HVRSR real del suelo. Además, gracias a la información disponible del CSN (CSN, 2018), se podrá crear perfiles de suelo de algunas de estas estaciones, de modo de crear un modelo de propagación unidimensional de ondas de corte por el cual evaluar la amplificación y obtener un nuevo modelo de HVRSR. Para dicho procedimiento, se utilizará el software de distribución gratuita DEEPSOIL (Hashash, y otros, 2019).

### **1.3.7. Resultados y Estimación de Errores**

Se presentan los resultados obtenidos, la comparación entre los HVRSR reales, los obtenidos mediante el modelo con Maximun a Posteriori (MAP) y los obtenidos mediante el modelo de propagación unidimensional de ondas de corte, además de algunos errores asociados a estos, derivados de los procedimientos con los cuales se obtuvieron los diferentes modelos.

### **1.3.8. Aplicación con Información Empírica de Microvibraciones**

Se realiza la implementación del modelo con información empírica del peak de microvibraciones pertenecientes a estaciones de la red sismográfica.

### **1.3.9. Recomendaciones, Comentarios Finales y Conclusiones**

Se establecen ciertas recomendaciones y observaciones de cuidado para la correcta interpretación de los resultados obtenidos mediante las distintas metodologías. Se establecen algunos comentarios en líneas generales y se presenta la conclusión.

## 2. Marco Teórico y Empírico

### 2.1. Razón de Espectros Horizontal y Vertical (HVSr) y Razón de Espectros de Respuesta Horizontal y Vertical (HVRsr)

Para entender el origen de la razón espectral H/V, es necesario estudiar el desarrollo expuesto por Nakamura (Nakamura, 1989). En él se presenta una función de transferencia  $S_T$ , la cual se define como indica la ecuación (1), y se detalla más abajo.

$$S_T = S_{HS}/S_{HB} \quad (1)$$

En donde  $S_{HS}$  y  $S_{HB}$  corresponden a la componente horizontal de los espectros tanto del suelo (Soil), como del basamento rocoso (Bed-Rock). Además, se debe considerar el efecto de las ondas Rayleigh, ya que la componente horizontal del espectro de suelo es fácilmente afectada por dichas ondas superficiales, y como la mayor parte del ruido artificial producido por las distintas fuentes posibles se propaga en su mayoría en ondas de superficie del tipo Rayleigh, es que el efecto de estas ondas también debe ser incluido en la componente vertical de los espectros en superficie ( $S_{VS}$ ), aunque no así en la componente vertical de los espectros del basamento rocoso ( $S_{VB}$ ). Asumiendo que el movimiento vertical no es amplificado por las capas superficiales del suelo, se define la razón  $E_S$  como forma de representar el efecto de las ondas Rayleigh sobre el movimiento vertical.

$$S_S = S_{VS}/S_{VB} \quad (2)$$

Suponiendo la no existencia de estas ondas de superficie, la razón  $E_S = 1$ , y eventualmente será  $>1$  cuando si existan estas ondas.

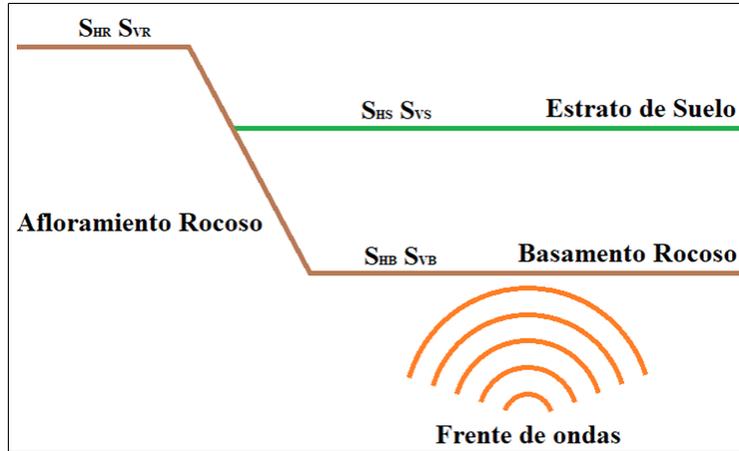
Por otro lado, Nakamura (Nakamura, 1989), asume que el efecto de las ondas Rayleigh es igual para ambas componentes (horizontal y vertical), por lo que define la razón  $S_{TT}$  como una medida más confiable de la función de transferencia, dado que se elimina el efecto de estas ondas sobre el suelo.

$$S_{TT} = \frac{S_T}{E_S} = \frac{S_{HS}}{S_{HB}} \cdot \frac{S_{VB}}{S_{VS}} = \frac{HVSr_S}{HVSr_B} \quad (3)$$

Donde  $HVSr_S$  y  $HVSr_B$  corresponden a las razones espectrales H/V (Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio), tanto del estrato superior del suelo como del basamento rocoso. Ambos valores se obtienen calculando la razón entre las componentes horizontales y verticales de los espectros de respuesta de aceleraciones. Finalmente, Nakamura (Nakamura,

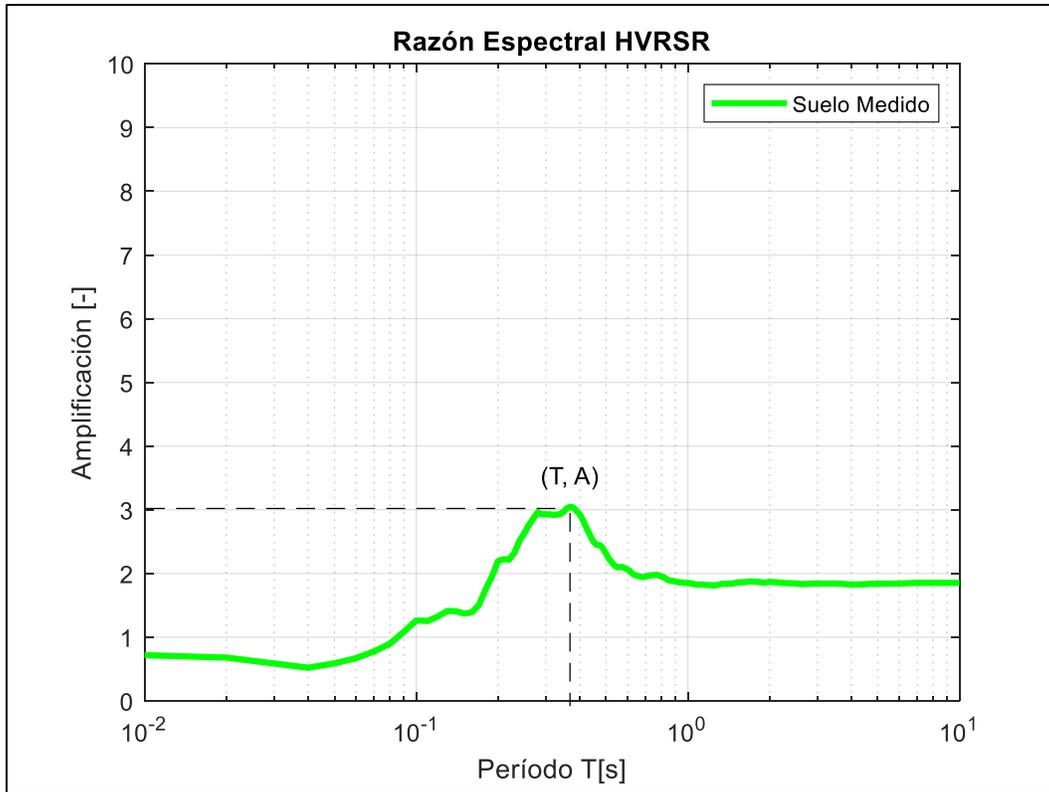
1989) establece que  $HVSR_B \approx 1.0$  para un rango de frecuencias relativamente ancho, sabiendo que en el basamento rocoso el frente de propagación de ondas es igual en todas las direcciones, lo cual indica que la función de transferencia de las capas superficiales del suelo puede ser estimada solamente con las aceleraciones medidas en superficie.

$$S_{TT} = \frac{HVSR_s}{HVSR_B} \approx HVSR_s \quad (4)$$



*Figura 2.- Esquema representativo de la estructura general de un suelo.*

La razón de espectros de respuesta H/V o *High-to-Vertical Response Spectral Ratio*, corresponde a la razón de los espectros de respuesta que se obtienen al pasar una determinada excitación a través de un modelo vibratorio de 1 grado de libertad (1GDL). Esto es un indicador de la amplificación al movimiento a la cual es expuesta una masa, dado el período de vibración predominante de un determinado sistema. La razón de espectros de respuesta H/V puede ser utilizada como una estimación empírica de la función de amplificación producida por el efecto de sitio entre el basamento rocoso y el estrato de suelo, ya que indicará los períodos a los cuales el suelo amplificará un movimiento sísmico, además del nivel de amplificación propiamente tal (Figura 2).



**Figura 3.- Razón Espectral HVRSR. Se aprecia el primer modo de vibrar del suelo sobre el cual es realizada la medición.**

## 2.2. Razón de Espectros Horizontal y Vertical de Microvibraciones

Si bien es cierto los modelos de amplificación que se propondrán serán construidos a partir de parámetros estimados en base a razones espectrales de respuesta de aceleraciones, estos necesitarán como parámetros de entrada sólo la información relativa a la amplificación del suelo (período fundamental y magnitud de amplificación del peak), para poder estimar los espectros de respuesta para un determinado suelo. La Razón de espectros de respuesta H/V de microvibraciones MHVRSR (Microtremor Horizontal-to-Vertical Response Spectral Ratio), es la herramienta idónea para la obtención de dicha información.

Los parámetros de los peaks de amplificación, en general, pueden ser estimados de buena forma mediante microvibraciones ambientales, siempre y cuando los procedimientos de obtención de dichos parámetros sean correctamente aplicados, tal como establecen Molnar y otros autores en su estudio del estado del arte de MHVRSR (Molnar, y otros, 2018). Estos procedimientos son particularmente útiles en zonas donde no se conoce la amplificación de un suelo debido a la falta de información sísmica, o en zonas donde derechamente existe una baja sismicidad (Molnar, y otros, 2018).

### 2.3. Clasificación según Nivel de Amplificación

Con la información sísmica perteneciente a cada estación (registros sísmicos), se obtendrá la razón espectral promedio  $HVRSR_{promedio}$  propia a dicha estación sísmica. Para ello, se ha de tomar cada registro sísmico de tres componentes (dos horizontales y una vertical), con los cuales se obtienen los espectros de respuesta de aceleraciones mediante el método de aceleración promedio desarrollado por Newmark (Newmark, 1959), para finalmente promediar aritméticamente los espectros horizontales y dividirlos por el espectro vertical y así obtener la razón espectral HVRSR del registro. Se ha utilizado Espectros de Respuesta con 5% de Amortiguamiento ya que son equivalentes, en términos de resultados obtenidos, a utilizar Espectros de Respuesta de Fourier (Yamazaki & Ansary, 1997). Además, se utilizó la media aritmética ya que esta, por construcción, es siempre mayor que la media geométrica. Obtenidas todas las razones espectrales por estación (una por cada registro), estas se han de promediar aritméticamente para obtener el  $HVRSR_{promedio}$  por estación. Según los resultados obtenidos se procederá a clasificar las estaciones siguiendo la misma clasificación utilizada por Idini (Idini, 2016), la cual se detalla a continuación:

*Tabla 1.- Categorías de clasificación de los suelos según su nivel de amplificación.*

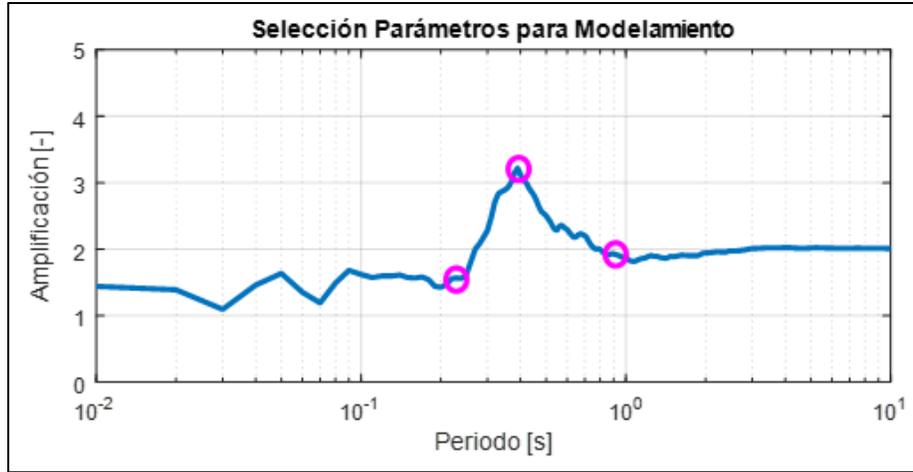
Categoría	Descripción
I	Plano o Roca
II	Un Peak
III	Multi-Peak
IV	Amplificación de Banda Ancha
V	Ninguna de las anteriores

### 2.4. Selección de Puntos Valle y Peak para el Diseño del Modelo Predictivo

Una vez calculado el  $HVRSR_{promedio}$  para cada estación, se procede a caracterizar el HVRSR por medio de la selección de puntos peaks y valles los cuales se usarán para la construcción del modelo que servirá para predecir los HVRSR de un determinado suelo, metodología similar a la usada por González en su memoria de título (Gonzalez, 2017). Para una gráfica con  $n$  puntos peak, se tendrá  $(n+1)$  puntos valle. Siguiendo esta idea, se tendrá que para una gráfica con un  $HVRSR_{promedio}$  del tipo banda ancha habrá un punto valle, dos puntos peak y luego otro punto valle, los cuales determinarán los vértices del trapecio formado.

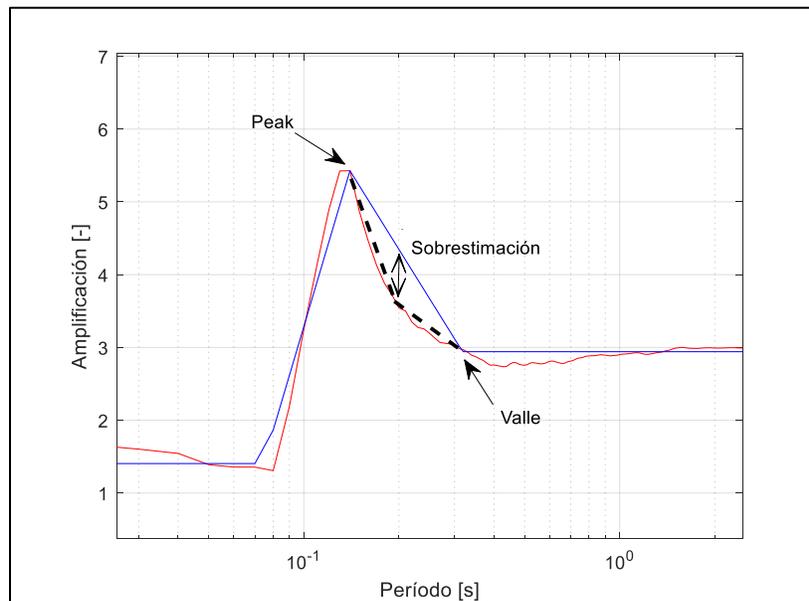
Para la elección de los valores peak y valle sobre un HVRSR, se seleccionan los puntos máximos para obtener las coordenadas de los puntos peak, mientras que para las coordenadas de los puntos valles se tomará, por inspección, la intersección de las rectas que definen la pendiente del peak y el estado “plano” de amplificación, tanto para la zona de períodos bajos como altos, tal como indica la Figura 3. La elección de los valores peak como

parámetros de entrada se debe a que estos pueden ser, en general, bien estimados por mediciones de vibraciones ambientales u otras metodologías de fácil implementación.

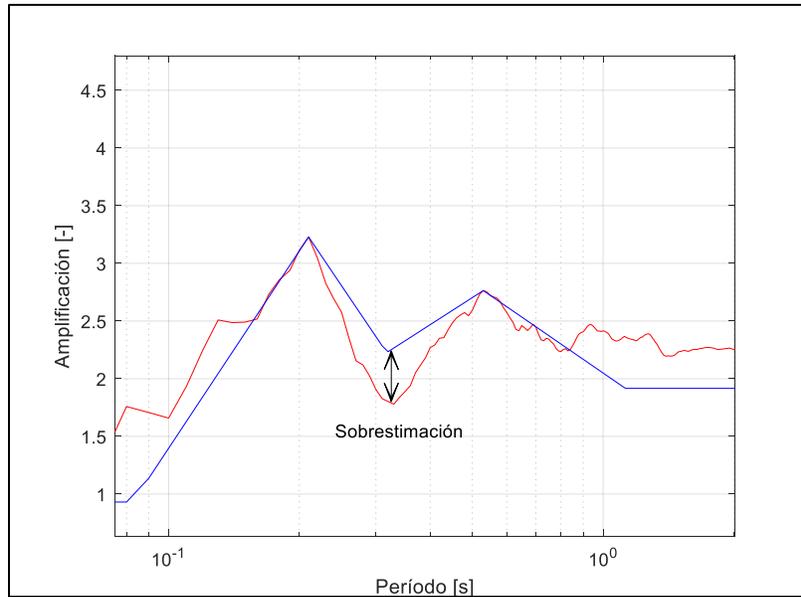


**Figura 4.- Determinación de los puntos que calibrarán el modelo (Caso Categoría II).**

Para el ejemplo de la Figura 3, que corresponde a una amplificación de Categoría II, se denotará, de izquierda a derecha, como punto  $A = A(A_T, A_{AMP})$  al primer valle,  $B = B(B_T, B_{AMP})$  al peak y  $C = C(C_T, C_{AMP})$  al segundo valle. Por extensión, las categorías con dos o más peak se denotarán de forma similar. Además, se considerarán los siguientes supuestos a la hora de estimar los puntos valle:



**Figura 5.- Selección de punto valle a los pies del peak. Se sobrestima la curvatura natural del peak suponiendo una pendiente a determinar entre ambos puntos.**

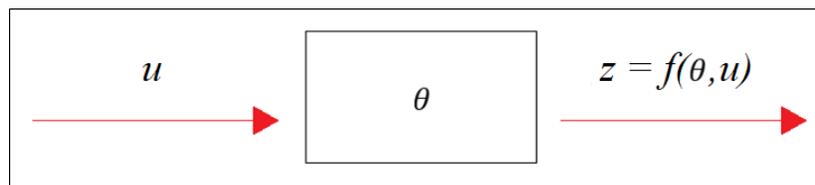


**Figura 6.- Para casos multipeak, se establecerá la coordenada de período del valle como un punto intermedio entre ambos peaks.**

Las Figuras 4 y 5 muestran las sobrestimaciones que se tendrán en consideración al momento de seleccionar la información preliminar para la calibración del modelo. La Figura 4 muestra la sobreestimación que se tendrá para los pares peak-valle justo al finalizar la zona de amplificación constante (períodos bajos), o justo antes de comenzar la zona de amplificación constante (períodos altos). La Figura 5 muestra la sobreestimación de los valles que se encuentren entre 2 puntos peak. Estas sobreestimaciones no necesariamente estarán presentes siempre, sin embargo, es posible que estas puedan ocurrir.

## 2.5. Actualización de Parámetros en Modelos de Sistemas: Estimación Maximum a Posteriori (MAP) y Teorema de Bayes

Tal como explican Ruiz y Taflanidis (Ruiz & Taflanidis, 2018), usualmente todo sistema puede ser descrito como una “caja negra”, definida con parámetros  $\theta$ , y que posee entradas  $u$  y salidas  $z$ , donde estas últimas dependen evidentemente de  $u$  y  $\theta$ . La Figura 6 representa una esquematización de esto.



**Figura 7.- Esquema de un sistema genérico.**

El resultado de esta “caja negra” es considerado como un modelo determinista, ya que para un par de  $\mathbf{u}$  y  $\boldsymbol{\theta}$  dados, se obtiene siempre el mismo  $z$ . Sin embargo, este modelo puede presentar cierto nivel de error, por lo que la manera típica de representar la respuesta real del sistema es considerando un error aditivo Gaussiano (error de media cero y desviación estándar  $\sigma_e$ ). Así, la respuesta real del sistema queda representada por la Ecuación (7).

$$y = z + e = f(\boldsymbol{\theta}, u) + e \quad (7)$$

Donde  $z = f(\boldsymbol{\theta}, u)$  corresponde a la respuesta determinista y  $e$  al error Gaussiano.

Sin embargo, esta respuesta real es ahora una variable probabilística, con un valor medio igual al modelo ( $f(\boldsymbol{\theta}, u)$ ), y una desviación estándar igual a la del error, lo que formalmente puede escribirse como indica la Ecuación (8).

$$p(y|\boldsymbol{\theta}, u) \sim N(f(\boldsymbol{\theta}, u), \sigma_e^2) \quad (8)$$

Ahora, si consideramos un set de mediciones reales (entradas y salidas). Podemos definir los vectores  $\hat{\mathbf{U}}$  e  $\hat{\mathbf{Y}}$  como indican las ecuaciones (9) y (10), respectivamente.

$$\hat{\mathbf{U}} = (u_1, \dots, u_n) \quad (9)$$

$$\hat{\mathbf{Y}} = (y_1, \dots, y_n) \quad (10)$$

Donde cada par  $(u_i, y_i)$ , corresponde a una medición específica (par entrada-salida). Luego, la forma general de la Ecuación (8) queda como indica la Ecuación (11).

$$p(\hat{\mathbf{Y}}|\boldsymbol{\theta}, \hat{\mathbf{U}}) \sim N(f(\boldsymbol{\theta}, \hat{\mathbf{U}}), \sigma_e^2) \quad (11)$$

Lo cual en palabras puede ser entendido como la probabilidad de obtener las salidas  $\hat{\mathbf{Y}}$  dados los parámetros  $\boldsymbol{\theta}$  y las entradas  $\hat{\mathbf{U}}$ , distribuye de forma normal con media  $f(\boldsymbol{\theta}, \hat{\mathbf{U}})$  y desviación típica  $\sigma_e$ .

Hasta este punto, se ha considerado a  $\boldsymbol{\theta}$  como conocido. Sin embargo, para el caso de esta investigación, que corresponde a relacionar las coordenadas de los puntos peak  $B_T$  y  $B_{AMP}$  (entradas) con las coordenadas de los puntos valle  $A_T$ ,  $A_{AMP}$ ,  $C_T$  y  $C_{AMP}$  (salidas) (caso Categoría II), los parámetros  $\boldsymbol{\theta}$  que definen estas relaciones no son conocidos, es decir, sólo conocemos las entradas y las salidas. Para encontrar cuál o cuáles son los parámetros  $\boldsymbol{\theta}$  que mejor se ajustan al set de mediciones  $(\hat{\mathbf{U}}, \hat{\mathbf{Y}})$ , se debe aplicar el Teorema de Bayes.

Sea  $\{A_1, A_2, \dots, A_i, \dots, A_n\}$  un conjunto de sucesos mutuamente excluyentes y exhaustivos, y tales que la probabilidad de cada uno de ellos es distinta de cero. Sea  $B$  un suceso cualquiera del que se conocen las probabilidades condicionales  $P(B|A_i)$ . Entonces, la probabilidad  $P(A_i|B)$ , viene dada por la expresión:

$$P(A_i|B) = \frac{P(B|A_i) \cdot P(A_i)}{P(B)} = \frac{P(B|A_i) \cdot P(A_i)}{\sum_{k=1}^n P(B|A_k) \cdot P(A_k)} \quad (12)$$

Llevando esto al caso en estudio, la Ecuación (12) puede ser formalmente escrita como:

$$p(\theta|\hat{Y}, \hat{U}) = \frac{p(\hat{Y}|\theta, \hat{U}) \cdot p(\theta)}{\int p(\hat{Y}|\theta, \hat{U}) \cdot p(\hat{Y}|\theta) d\theta} \quad (13)$$

Lo cual se entiende como la probabilidad de tener determinados parámetros  $\theta$ , dadas las entradas  $\hat{U}$  y salidas  $\hat{Y}$ . Entonces, conocidas las entradas y salidas del sistema, el método de *Maximum a Posteriori Estimation* (MAP), puede ser utilizado para encontrar los parámetros  $\theta$  que mejor se ajustan a la información empírica. Gracias al fundamento teórico en el que está erigido, este método entrega una base más robusta para la obtención de parámetros, ya que considera el error estadístico asociado a ellos, a diferencia de otros modelos de regresión lineal utilizados en investigaciones anteriores. Para comprender de mejor forma la implementación de este modelo, esta puede ser encontrada en la sección 9.2 de los anexos de este documento.

### 3. Obtención de Parámetros para el Modelamiento

#### 3.1. Estructuración de Base de Datos de Estaciones

La base de datos de estaciones que se ha creado corresponde a un catálogo construido en función de las distintas bases de datos disponibles hasta la fecha correspondientes a la Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior (ONEMI, 2018), Centro Sismológico Nacional (CSN, 2018), Integrated Plate Boundary Observatory Chile (IPOC, 2018) y la Red de Cobertura Nacional de Acelerógrafos del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Chile (RENADIC, 2018). Gracias a la información disponible se ha podido realizar un catastro de un total de **524 estaciones activas disponibles a lo largo de todo Chile, además de 16 en estado inactivo**. La estructuración que sigue el catálogo es la que se presenta en la Figura 8.

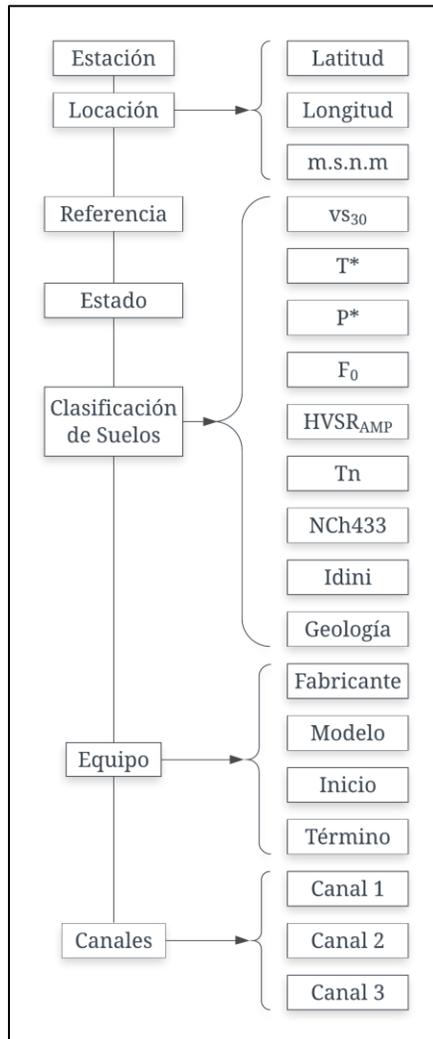


Figura 8.- Estructuración Base de Datos.

Donde se presentan las siguientes entradas:

- **Estación:** Nombre (ID) de la Estación.
- **Locación:**
  - *Latitud:* Latitud WGS 84 Estación.
  - *Longitud:* Longitud WGS 84 Estación.
  - *M.S.N.M.:* Altura en metros sobre el nivel del mar. (Clasificación CSN)
- **Referencia:** Localidad o Punto de Interés cercano a la ubicación de la Estación.
- **Estado:** Estado actual de la estación (Activo/Inactivo).
- **Clasificación de Suelos:**
  - *VS30:* Velocidad de Onda de Corte promedio de los primeros 30m de profundidad. (Clasificación CSN)
  - *T\*:* Rango de Período donde se produce amplificación. (Clasificación CSN)
  - *P\*:* Rango de amplificación. (Clasificación CSN)
  - *F<sub>0</sub>:* Valor del Período de amplificación. (Clasificación CSN)
  - *HVSR<sub>AMP</sub>:* Valor de Amplificación. (Clasificación CSN)
  - *T<sub>n</sub>:* Rango de Período donde se produce amplificación (Idini, 2016).
  - *NCh433:* Tipo de suelo según NCh433. (Clasificación RENADIC)
  - *Idini:* Clasificación del peak de amplificación (Idini, 2016).
  - *Geología:* Edad de la unidad Geológica donde se ubica la Estación. (Clasificación CSN)
- **Equipo:**
  - *Fabricante:* Fabricante del Equipo.
  - *Modelo:* Modelo del Equipo.
  - *Inicio:* Fecha de Inicio de operación del Equipo. (Si esta está disponible)
  - *Término:* Fecha de Término de operación del Equipo. (Si esta está disponible y/o corresponde)
- **Canales:**
  - *Canal 1:* Canal Horizontal 1.
  - *Canal 2:* Canal Horizontal 2.
  - *Canal 3:* Canal Vertical.

La base de datos de Registros a utilizar es una compilación de toda la información disponible públicamente, hasta la fecha de inicio de esta investigación, la cual corresponde a 272 de un total de 540 estaciones ubicadas a lo largo del territorio nacional.

### 3.2.Método de Aceleración Promedio y Razones Espectrales HVRSR

Para la obtención de las razones espectrales HVRSR se ha trabajado con todos los registros disponibles para las 272 estaciones ya mencionadas. Antes de proceder a la manipulación de los registros, se debe seleccionar el rango de filtros a utilizar sobre ellos, de modo de poder obtener información fidedigna y útil luego del procesamiento. Para este trabajo se ha seleccionado un único filtro para todos los registros, el cual corresponde a un filtro Butterworth pasa banda de 0.1 [Hz] a 25[Hz]. Estas frecuencias han sido elegidas en base a la información proporcionada por el fabricante de los equipos de medición, en este caso *Kinematics*, además de ser la comúnmente utilizada en procedimientos de este tipo. Adicionalmente, se ha realizado una corrección por línea de base a todos los registros a utilizar.

Luego del debido procesamiento, el método de aceleración promedio se ha utilizado tal y como se ha especificado en el capítulo anterior. Cabe destacar que cada registro está compuesto por tres mediciones de aceleración: dos en el plano y una en vertical, en donde cada una de estas componentes ha sido procesada con el método de aceleración promedio, para de esta forma, obtener un espectro de respuesta de aceleraciones en cada uno de los canales con los cuales construir el HVRSR. Así, para cada estación, se tiene un determinado número de espectros HVRSR (uno por cada evento registrado por la estación), los cuales se han promediado y se ha obtenido el  $HVRSR_{promedio}$  de la estación en cuestión.

Según la clasificación correspondiente a la Tabla 1, y descartando las estaciones en donde hay menos de tres registros, se ha establecido la siguiente distribución de estaciones:

*Tabla 2.- Número de registros por categoría (Para CIII los valores presentados corresponden a estaciones con 2, 3 y 4 peaks respectivamente).*

Categoría	Cantidad de Estaciones
I	26
II	68
III	33/15/5
IV	13
V	20

### 3.3.Modelo Maximum a Posteriori

Para el modelamiento de parámetros se ha establecido que sólo se trabajará en las categorías II, III y IV, ya que la categoría I corresponde a roca (estado plano de amplificación), mientras que la categoría V corresponde a suelos no clasificables en las categorías anteriores.

Conocidas las entradas y salidas del sistema (peaks y valles, respectivamente), el modelo MAP estimará los parámetros, y por ende la relación, que mejor representa, con el menor número de parámetros, a dicha información empíricamente medida.

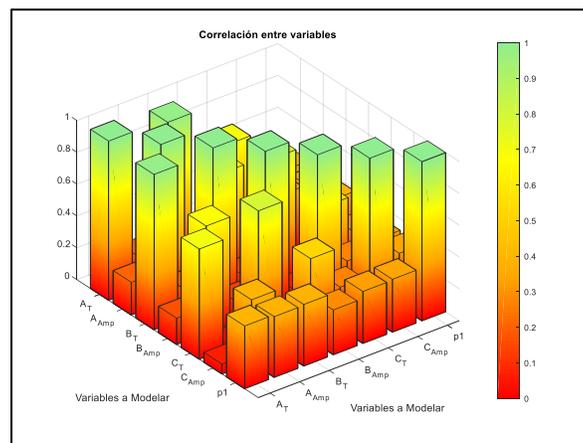
En cada caso, para realizar los ajustes se han utilizado 11 funciones distintas para predecir el comportamiento de los datos. Estas funciones han sido seleccionadas ya que son las más comunes y tienen el menor número de parámetros a encontrar (hasta 2), rigiéndose en base al principio de parsimonia. Cada una de estas tiene asociado un porcentaje correspondiente a la bondad del ajuste, el cual indica la probabilidad de que dicha función sea la más acertada para la predicción de los datos dada la cantidad de variables a modelar, aunque no necesariamente la única. En la Tabla 3 se establecen las 11 funciones a comparar.

**Tabla 3.- Funciones a utilizar en el modelo de Maximum a Posteriori.**

<b>Funciones Predictivas</b>			
$f_1(x) = a \cdot x^b$	$f_2(x) = a \cdot x^b + c$	$f_3(x) = a \cdot x + b$	$f_4(x) = a \cdot x^2 + b \cdot x + c$
$f_5(x) = a \cdot x^3 + b \cdot x^2 + c \cdot x + d$	$f_6(x) = a \cdot \ln(x) + b$	$f_7(x) = a \cdot \ln(x)$	$f_8(x) = a \cdot \sqrt{x}$
$f_9(x) = a \cdot \sqrt[3]{x}$	$f_{10}(x) = a \cdot \sqrt{x} + b$	$f_{11}(x) = a \cdot \sqrt[3]{x} + b$	-

Para establecer la relación entre las variables independientes (Peaks), y las dependientes (Valles), se deben establecer las correlaciones entre ellas para poder elegir que variables asociar entre sí. Como explican Ruiz y Taflanidis (Ruiz & Taflanidis, 2018), la correlación se mide con un parámetro que puede tomar valores en el rango [-1,1]. Si bien es cierto es el módulo de este valor el que interesa, el signo indica si la correlación es directa (positivo), o inversa (negativo). Para valores de correlación (valor absoluto), entre [0,0.33] se considerará una correlación baja; para valores entre ]0.33,0.66] se considerará una correlación media; finalmente, para valores entre ]0.66,1] se considerará una correlación alta. Lo ideal es seleccionar pares de variables dependiente-independiente que se encuentren en la categorización de alta correlación. De no existir esta posibilidad, se tomarán en las categorías inferiores en orden descendente.

A modo de ejemplificación, la Figura 8 muestra la correlación entre las variables correspondientes a suelos Categoría II. Esta y las demás gráficas se encuentran en los anexos.



**Figura 9.- Correlación entre parámetros para CII - 1 Peak.**

### 3.3.1. Parametrización Categoría II

Para la parametrización de los espectros en esta categoría, se debe encontrar la mejor relación entre los puntos peaks (B) y los puntos valle (A y C), donde cada punto posee coordenadas de Período (T) y Amplificación (Amp), por lo tanto se establecen dos variables independientes ( $B_T$  y  $B_{AMP}$ ), que corresponden a los parámetros de entrada del modelo, y cuatro variables dependientes ( $A_T$ ,  $A_{AMP}$ ,  $C_T$  y  $C_{AMP}$ ), correspondientes a las salidas de este.

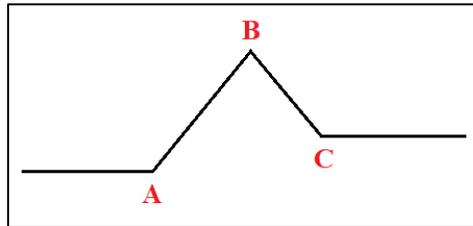


Figura 10.- Representación de ajuste tipo Categoría II.

Tabla 4.- Valor de Correlación entre variables para suelos Categoría II.

Variables	$A_T$	$A_{AMP}$	$C_T$	$C_{AMP}$
$B_T$	0.976	-	0.790	-
$B_{AMP}$	-	0.673	-	0.511

Las Figuras 10-13 muestran los mejores ajustes para cada variable dependiente. En la Tabla 4 se puede encontrar el resumen con los parámetros encontrados.

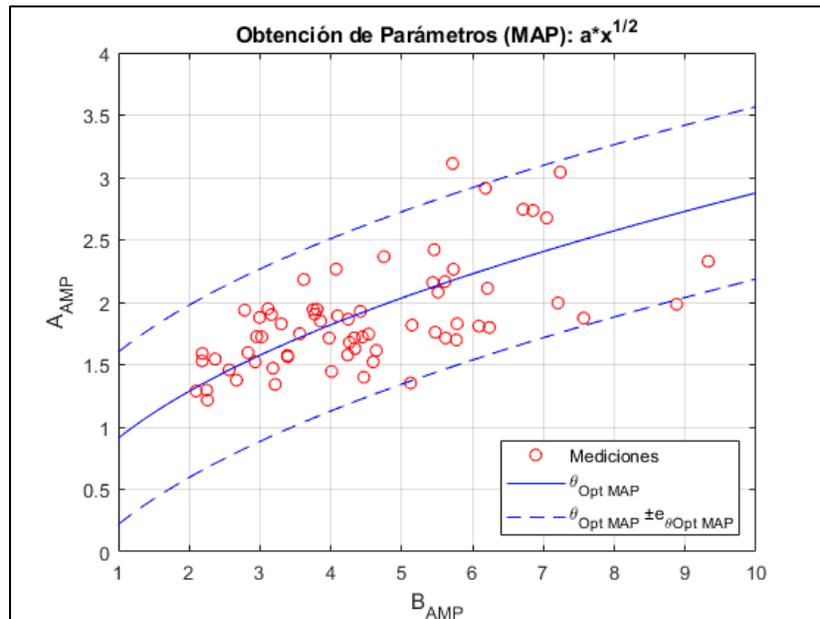


Figura 11.- Ajuste para las variables tipo Categoría II  $A_{AMP}$  v/s  $B_{AMP}$ .

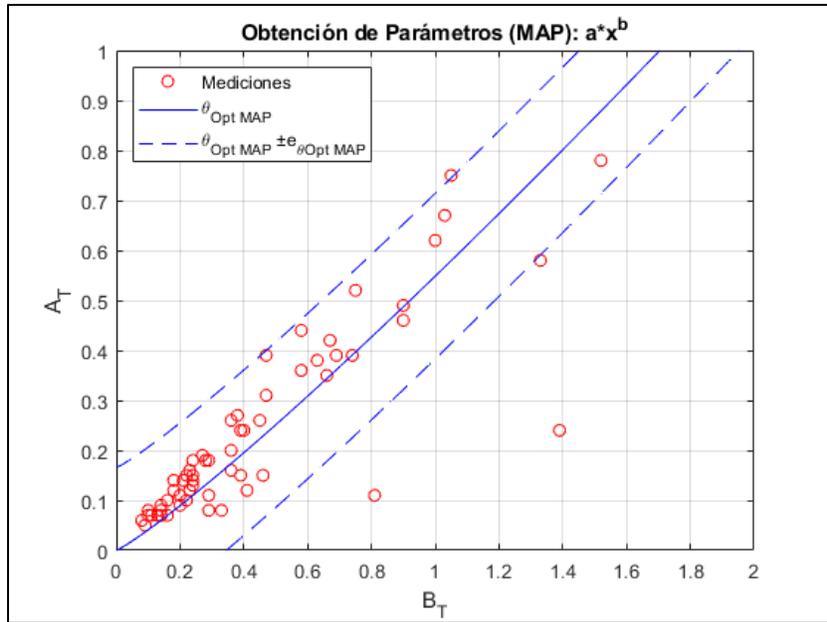


Figura 12.- Ajuste para las variables tipo Categoría II  $A_T$  v/s  $B_T$ .

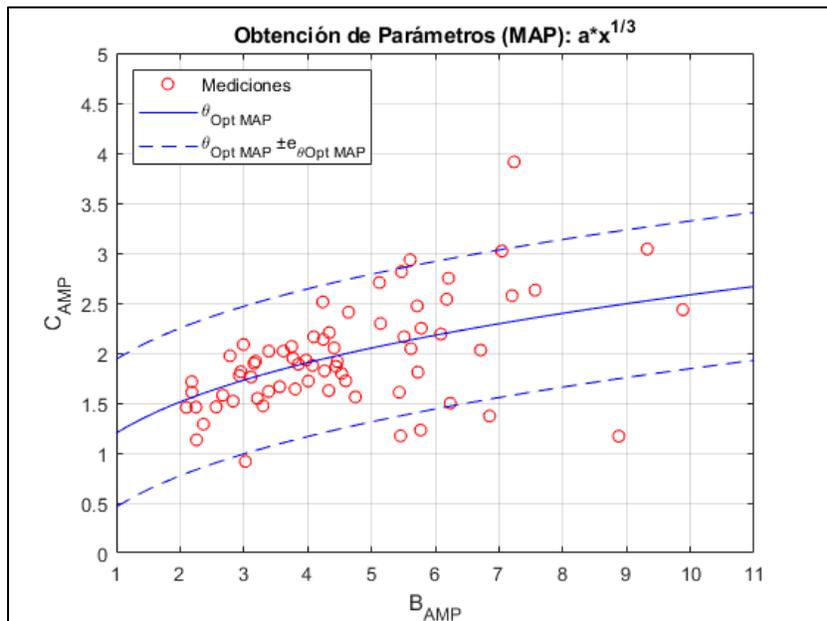


Figura 13.- Ajuste para las variables tipo Categoría II  $C_{AMP}$  v/s  $B_{AMP}$ .

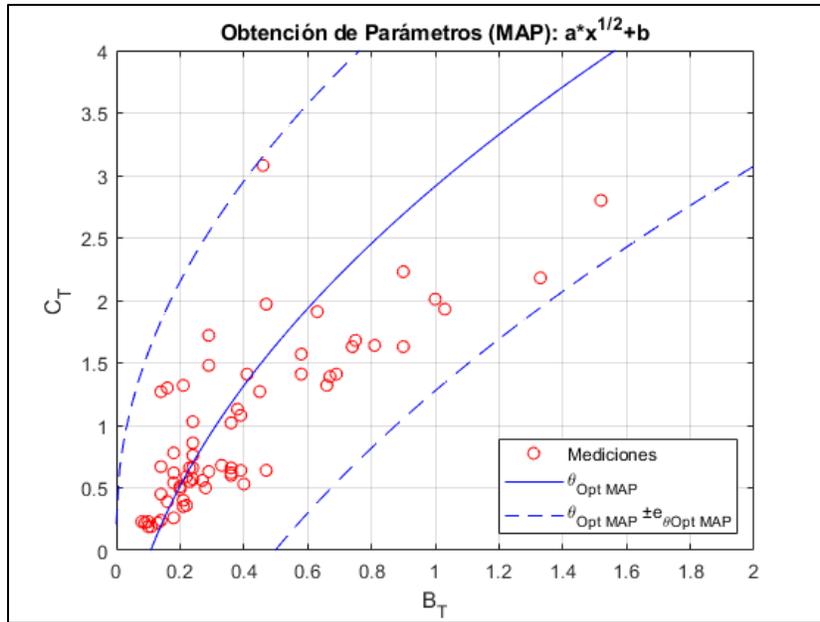


Figura 14.- Ajuste para las variables tipo Categoría II  $C_T$  v/s  $B_T$ .

Tabla 5.- Resumen parámetros tipo Categoría II.

Relación	Parámetros		Bondad del Ajuste
	$a$	$b$	
$A_{AMP} = a \cdot \sqrt{B_{AMP}}$	0.9097	-	92.60 %
$A_T = a \cdot (B_T)^b$	0.5486	1.1266	96.97 %
$C_{AMP} = a \cdot \sqrt[3]{B_{AMP}}$	1.1987	-	84.67 %
$C_T = a \cdot \sqrt{B_T} + b$	4.3403	-1.4274	86.84 %

### 3.3.2. Parametrización Categoría III

#### 3.3.2.1. CIII: 2 Peak

Para la parametrización de los espectros en esta categoría, se debe encontrar la mejor relación entre los puntos peaks (B y D) y los puntos valle (A, C y E), donde cada punto posee coordenadas de Período (T) y Amplificación (Amp), por lo tanto se poseen cuatro variables independientes ( $B_T$ ,  $B_{AMP}$ ,  $D_T$  y  $D_{AMP}$ ), que corresponden a los parámetros de entrada del modelo, y seis variables dependientes ( $A_T$ ,  $A_{AMP}$ ,  $C_T$ ,  $C_{AMP}$ ,  $E_T$  y  $E_{AMP}$ ), correspondientes a las salidas de este.

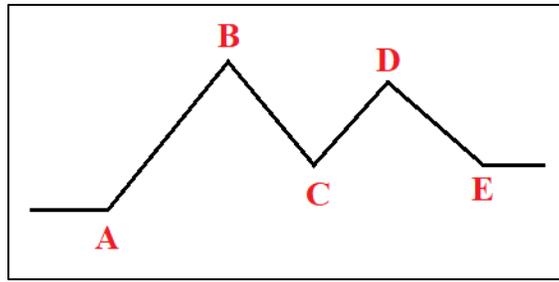


Figura 15.- Representación de ajuste tipo Categoría III: 2 Peaks.

Tabla 6.- Valor de Correlación entre variables para suelos Categoría III - 2 Peaks.

Variables	A <sub>T</sub>	A <sub>AMP</sub>	C <sub>T</sub>	C <sub>AMP</sub>	E <sub>T</sub>	E <sub>AMP</sub>
<b>B<sub>T</sub></b>	0.910	-	-	-	-	-
<b>B<sub>AMP</sub></b>	-	-	-	0.777	-	-
<b>D<sub>T</sub></b>	-	-	0.888	-	0.891	-
<b>D<sub>AMP</sub></b>	-	0.690	-	-	-	0.531

Las Figuras 15-20 muestran los mejores ajustes para cada variable dependiente. En la Tabla 5 se puede encontrar el resumen con los parámetros encontrados.

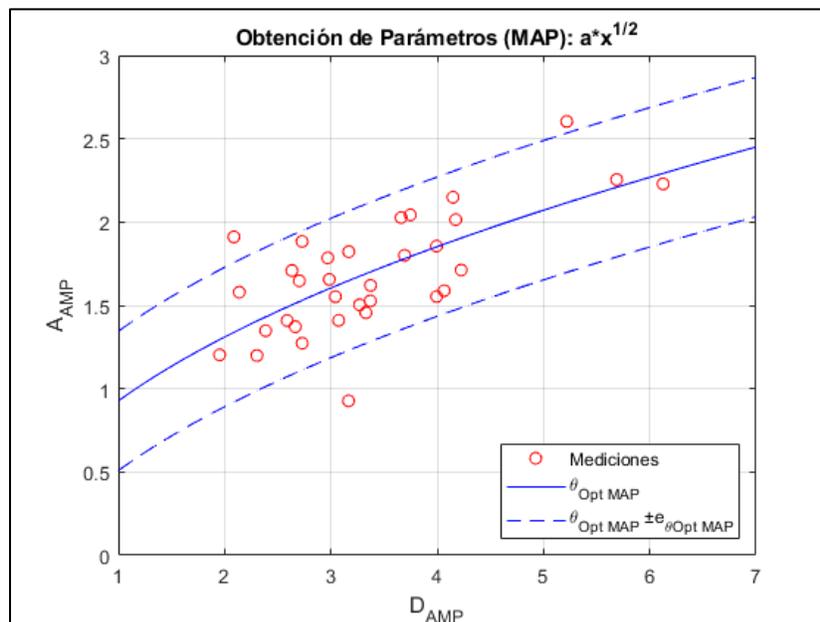


Figura 16.- Ajuste para las variables tipo Categoría III: 2 Peaks A<sub>AMP</sub> v/s D<sub>AMP</sub>.

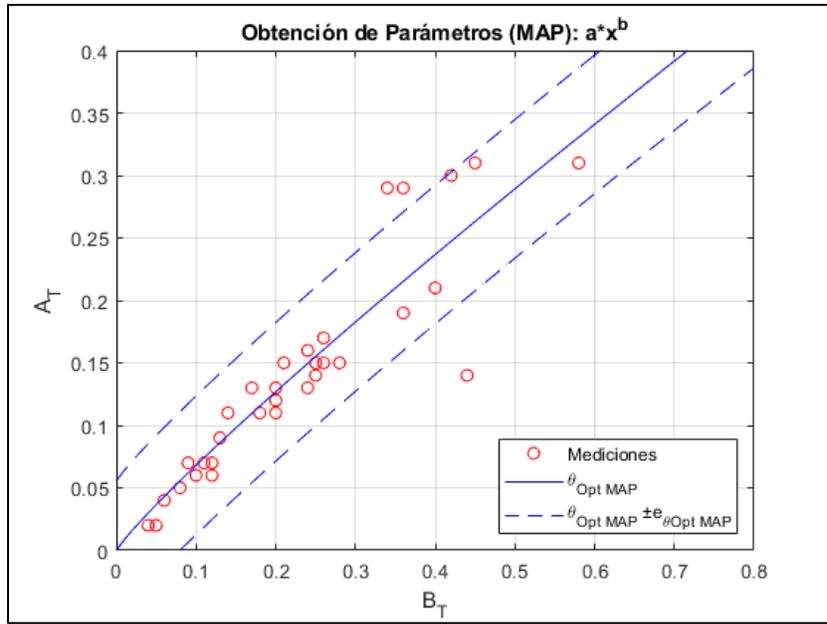


Figura 17.- Ajuste para las variables tipo Categoría III: 2 Peaks  $A_T$  v/s  $B_T$ .

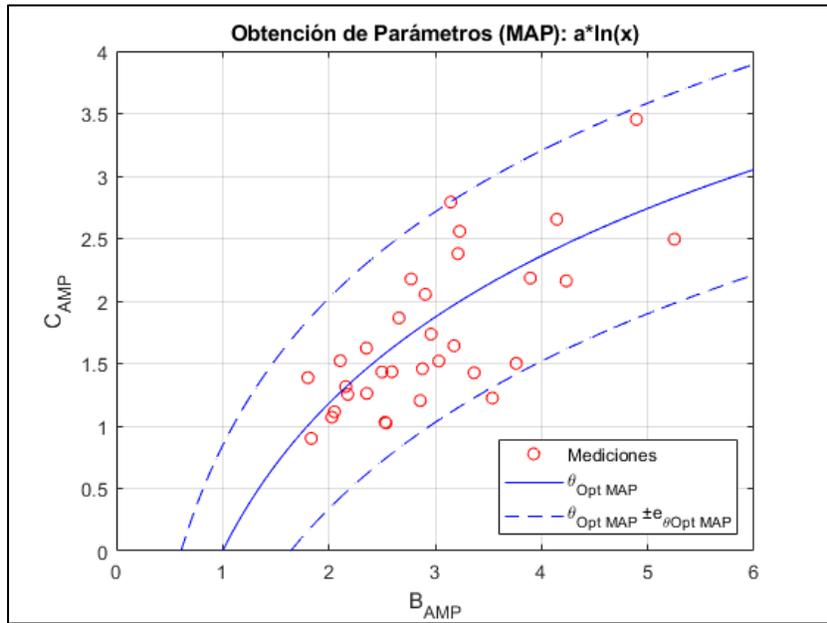


Figura 18.- Ajuste para las variables tipo Categoría III: 2 Peaks  $C_{AMP}$  v/s  $B_{AMP}$ .

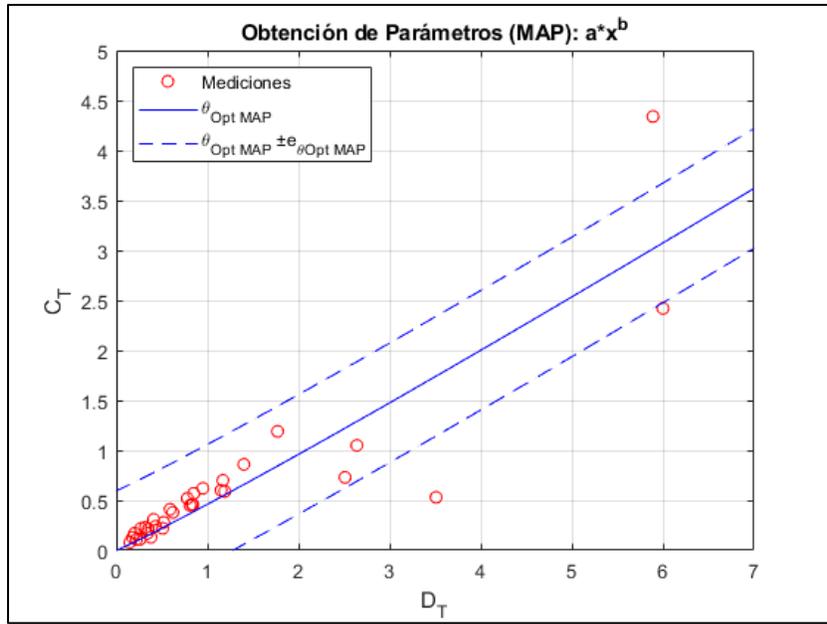


Figura 19.- Ajuste para las variables tipo Categoría III: 2 Peaks  $C_T$  v/s  $D_T$ .

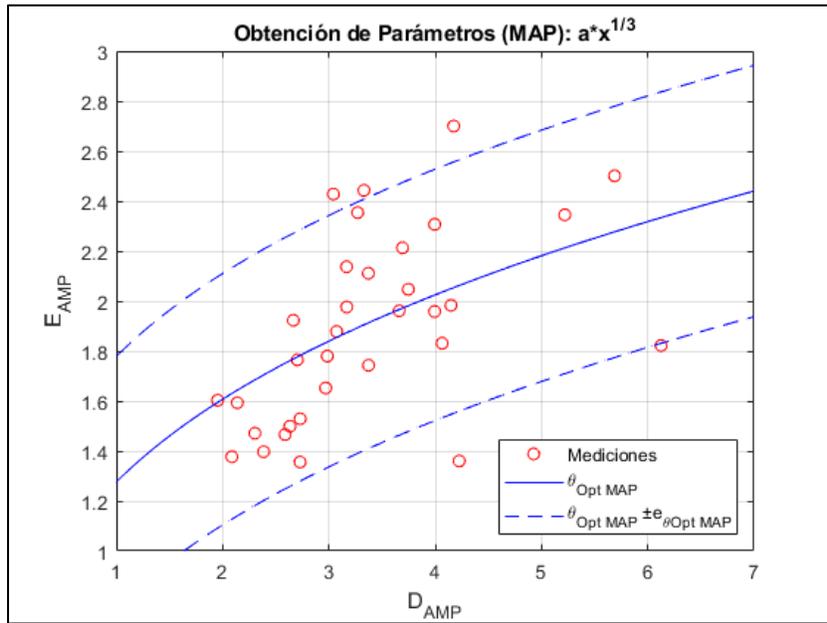


Figura 20.- Ajuste para las variables tipo Categoría III: 2 Peaks  $E_{AMP}$  v/s  $D_{AMP}$ .

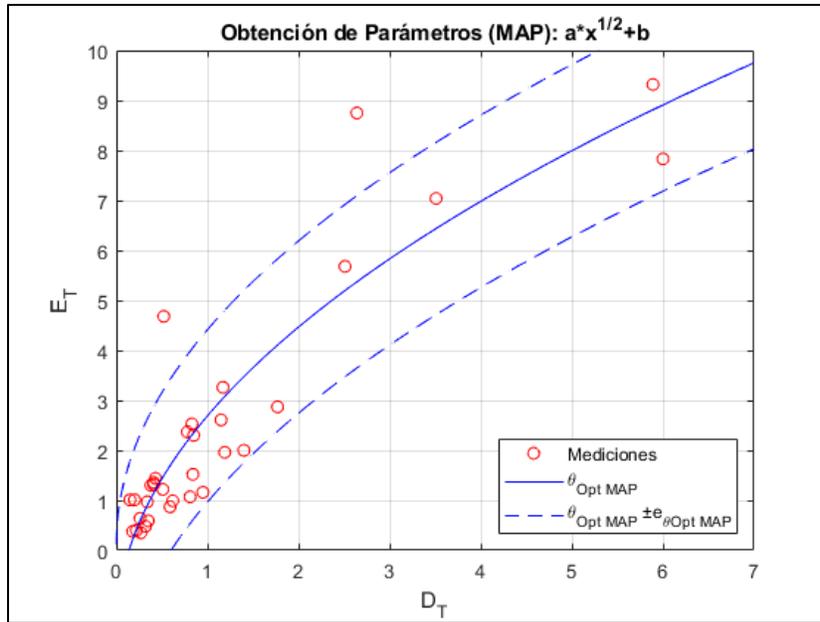


Figura 21.- Ajuste para las variables tipo Categoría III: 2 Peaks  $E_T$  v/s  $D_T$ .

Tabla 7.- Resumen parámetros tipo Categoría III: 2 Peaks.

Relación	Parámetros		Bondad del Ajuste
	$a$	$b$	
$A_{AMP} = a \cdot \sqrt{D_{AMP}}$	0.9262	-	80.34 %
$A_T = a \cdot (B_T)^b$	0.5397	0.8997	74.37 %
$C_{AMP} = a \cdot \ln(B_{AMP})$	1.7034	-	93.85 %
$C_T = a \cdot (D_T)^b$	0.4608	1.0594	53.26 %
$E_{AMP} = a \cdot \sqrt[3]{D_{AMP}}$	1.2756	-	63.44 %
$E_T = a \cdot \sqrt{D_T} + b$	4.2926	-1.6040	55.04 %

### 3.3.2.2. CIII: 3 Peak

Para la parametrización de los espectros en esta categoría, se debe encontrar la mejor relación entre los puntos peaks (B, D y F) y los puntos valle (A, C, E y G), donde cada punto posee coordenadas de Período (T) y Amplificación (Amp), por lo tanto se poseen seis variables independientes ( $B_T$ ,  $B_{AMP}$ ,  $D_T$ ,  $D_{AMP}$ ,  $F_T$  y  $F_{AMP}$ ), que corresponden a los parámetros de entrada del modelo, y ocho variables dependientes ( $A_T$ ,  $A_{AMP}$ ,  $C_T$ ,  $C_{AMP}$ ,  $E_T$ ,  $E_{AMP}$ ,  $G_T$  y  $G_{AMP}$ ), correspondientes a las salidas de este.

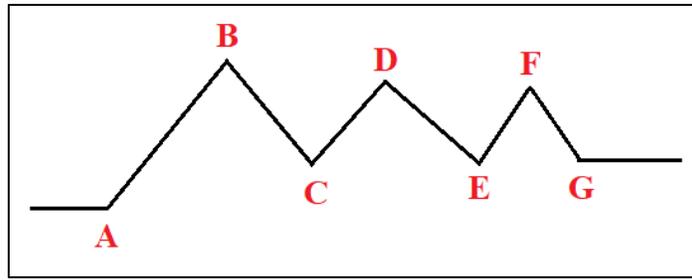


Figura 22.- Representación de ajuste tipo Categoría III: 3 Peaks.

Tabla 8.- Valor de Correlación entre variables para suelos Categoría III - 3 Peaks.

Variables	A <sub>T</sub>	A <sub>AMP</sub>	C <sub>T</sub>	C <sub>AMP</sub>	E <sub>T</sub>	E <sub>AMP</sub>	G <sub>T</sub>	G <sub>AMP</sub>
B <sub>T</sub>	0.959	-	0.923	-	-	-	-	-
B <sub>AMP</sub>	-	0.746	-	-	-	-	-	-
D <sub>T</sub>	-	-	-	-	0.906	-	-	-
D <sub>AMP</sub>	-	-	-	0.908	-	-	-	-
F <sub>T</sub>	-	-	-	-	-	-	0.816	-
F <sub>AMP</sub>	-	-	-	-	-	0.670	-	0.661

Las Figuras 22-29, muestran los mejores ajustes para cada variable dependiente. En la Tabla 6 se puede encontrar el resumen con los parámetros encontrados.

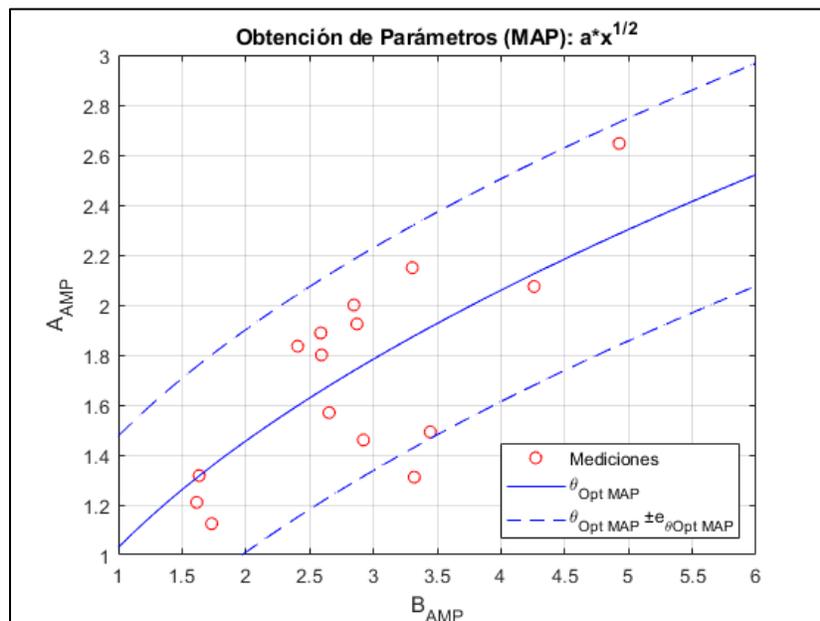


Figura 23.- Ajuste para las variables tipo Categoría III: 3 Peaks A<sub>AMP</sub> v/s B<sub>AMP</sub>.

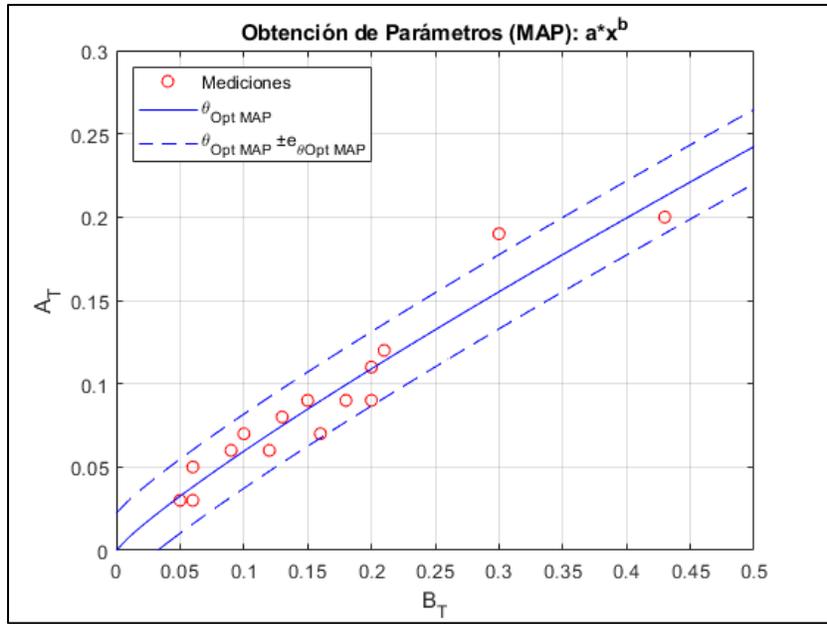


Figura 24.- Ajuste para las variables tipo Categoría III: 3 Peaks  $A_T$  v/s  $B_T$ .

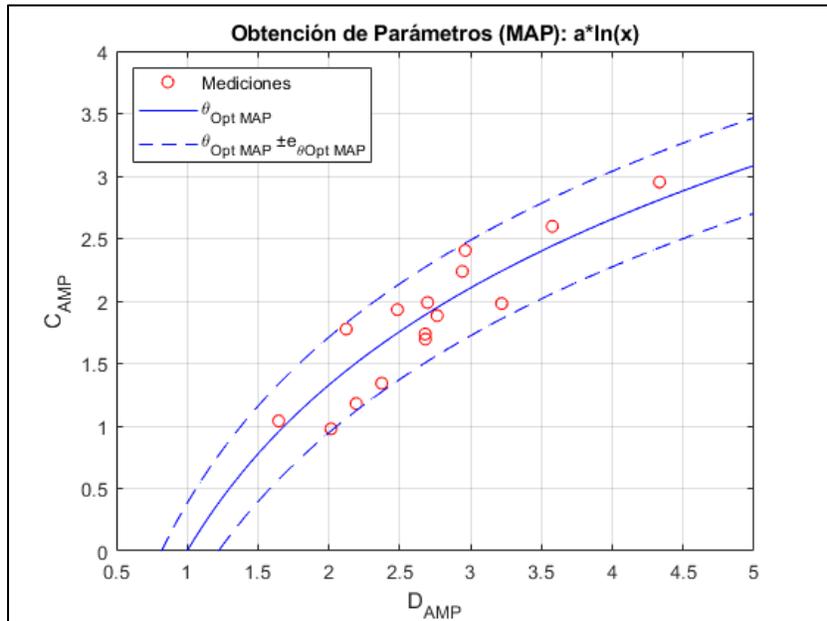


Figura 25.- Ajuste para las variables tipo Categoría III: 3 Peaks  $C_{AMP}$  v/s  $D_{AMP}$ .

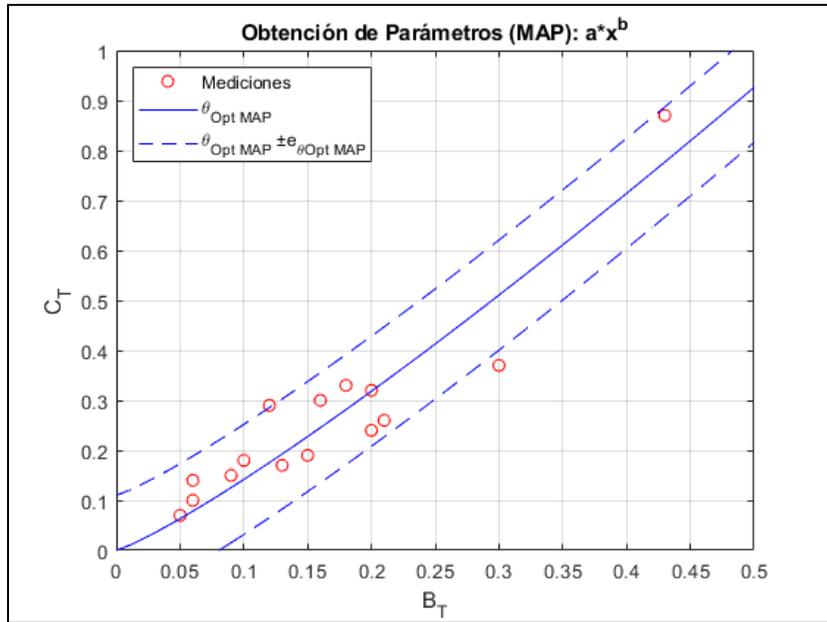


Figura 26.- Ajuste para las variables tipo Categoría III: 3 Peaks  $C_T$  v/s  $B_T$ .

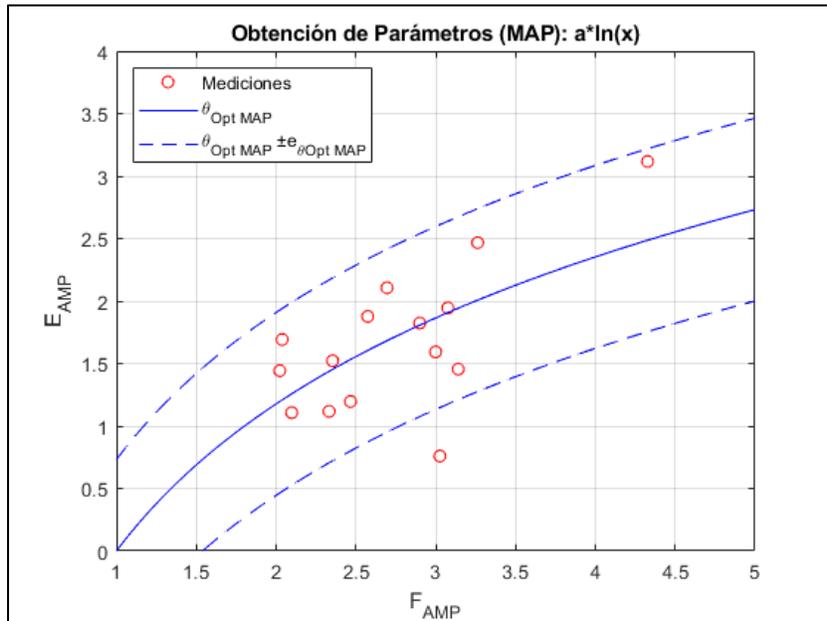


Figura 27.- Ajuste para las variables tipo Categoría III: 3 Peaks  $E_{AMP}$  v/s  $F_{AMP}$ .

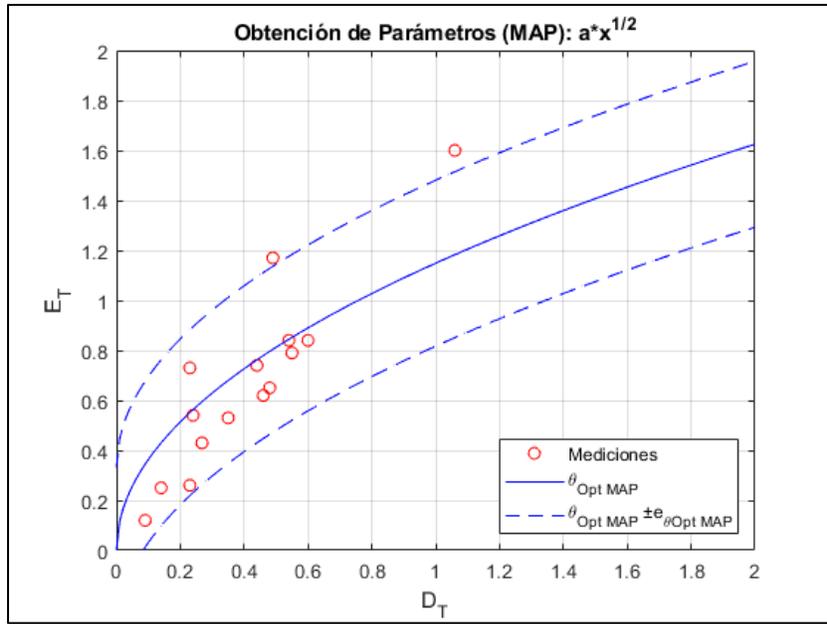


Figura 28.- Ajuste para las variables tipo Categoría III: 3 Peaks  $E_T$  v/s  $D_T$ .

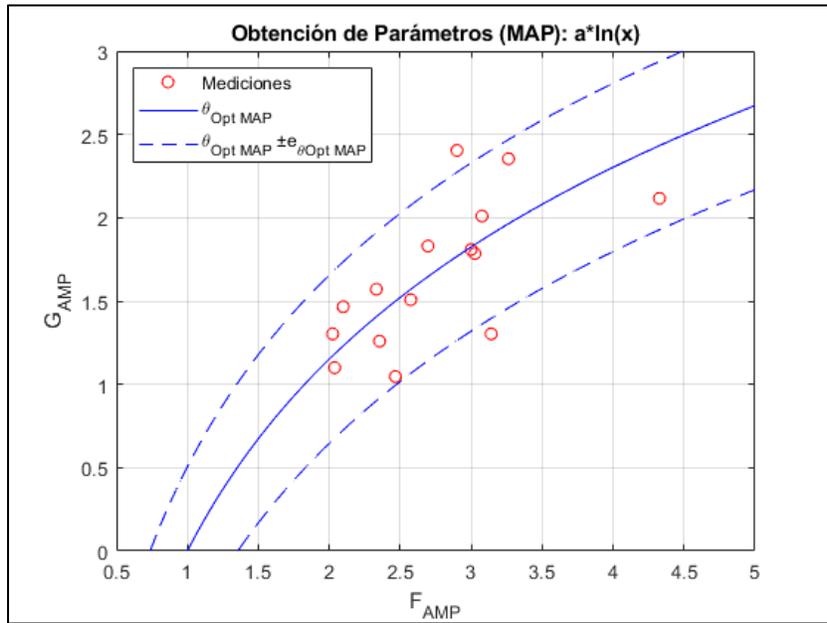


Figura 29.- Ajuste para las variables tipo Categoría III: 3 Peaks  $G_{AMP}$  v/s  $F_{AMP}$ .

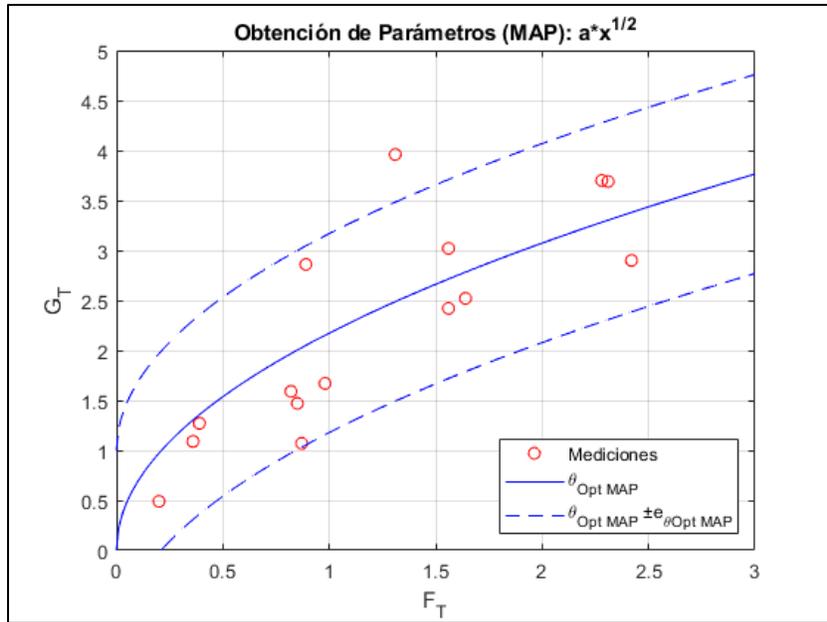


Figura 30.- Ajuste para las variables tipo Categoría III: 3 Peaks  $G_T$  v/s  $F_T$ .

Tabla 9.- Resumen parámetros tipo Categoría III: 3 Peaks.

Relación	Parámetros		Bondad del Ajuste
	$a$	$b$	
$A_{AMP} = a \cdot \sqrt{B_{AMP}}$	1.0295	-	63.64 %
$A_T = a \cdot (B_T)^b$	0.4437	0.8727	70.30 %
$C_{AMP} = a \cdot \ln(D_{AMP})$	1.9163	-	97.94 %
$C_T = a \cdot (B_T)^b$	2.0778	1.1657	80.17 %
$E_{AMP} = a \cdot \ln(F_{AMP})$	1.6973	-	71.19 %
$E_T = a \cdot \sqrt{D_T}$	1.1490	-	75.89 %
$G_{AMP} = a \cdot \ln(F_{AMP})$	1.6608	-	68.94 %
$G_T = a \cdot \sqrt{F_T}$	2.1731	-	80.41 %

### 3.3.2.3. CIII: 4 Peak

Para la parametrización de los espectros en esta categoría, se debe encontrar la mejor relación entre los puntos peaks (B, D, F y H) y los puntos valle (A, C, E, G e I), donde cada punto posee coordenadas de Período (T) y Amplificación (Amp), por lo tanto se poseen seis variables independientes ( $B_T$ ,  $B_{AMP}$ ,  $D_T$ ,  $D_{AMP}$ ,  $F_T$ ,  $F_{AMP}$ ,  $H_T$  y  $H_{AMP}$ ), que corresponden a los parámetros de entrada del modelo, y diez variables dependientes ( $A_T$ ,  $A_{AMP}$ ,  $C_T$ ,  $C_{AMP}$ ,  $E_T$ ,  $E_{AMP}$ ,  $G_T$ ,  $G_{AMP}$ ,  $I_T$  e  $I_{AMP}$ ), correspondientes a las salidas de este.

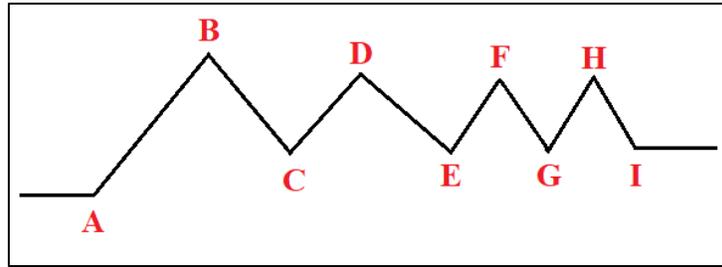


Figura 31.- Representación de ajuste tipo Categoría III: 4 Peaks.

Tabla 10.- Valor de Correlación entre variables para suelos Categoría III - 4 Peaks.

Variabes	A <sub>T</sub>	A <sub>AMP</sub>	C <sub>T</sub>	C <sub>AMP</sub>	E <sub>T</sub>	E <sub>AMP</sub>	G <sub>T</sub>	G <sub>AMP</sub>	I <sub>T</sub>	I <sub>AMP</sub>
<b>B<sub>T</sub></b>	0.862	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>B<sub>AMP</sub></b>	-	0.974	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>D<sub>T</sub></b>	-	-	0.970	-	-	-	-	-	-	-
<b>D<sub>AMP</sub></b>	-	-	-	0.998	-	0.977	-	-	-	-
<b>F<sub>T</sub></b>	-	-	-	-	-	-	0.757	-	-	-
<b>F<sub>AMP</sub></b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>H<sub>T</sub></b>	-	-	-	-	-	-	-	-	0.832	-
<b>H<sub>AMP</sub></b>	-	-	-	-	0.918	-	-	0.953	-	0.978

Las Figuras 31-40 muestran los mejores ajustes para cada variable dependiente. En la Tabla 7 se puede encontrar el resumen con los parámetros encontrados.

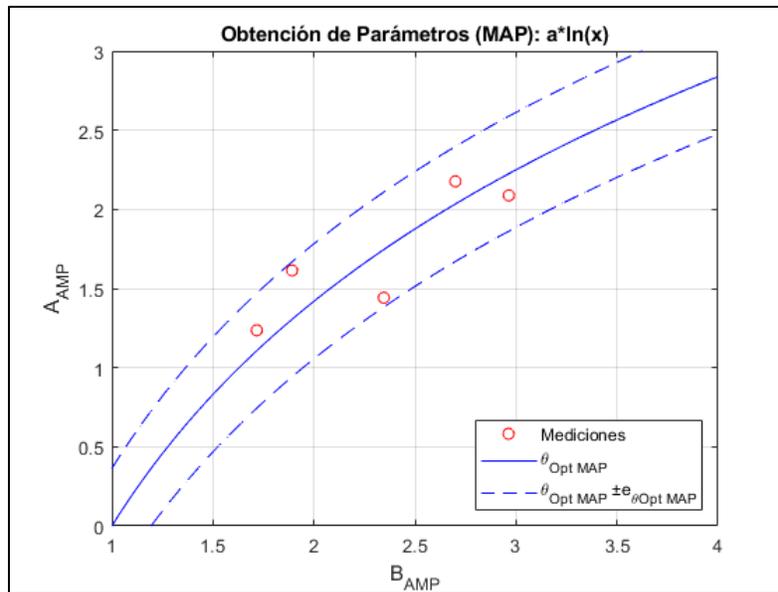


Figura 32.- Ajuste para las variables tipo Categoría III: 4 Peaks A<sub>AMP</sub> v/s B<sub>AMP</sub>.

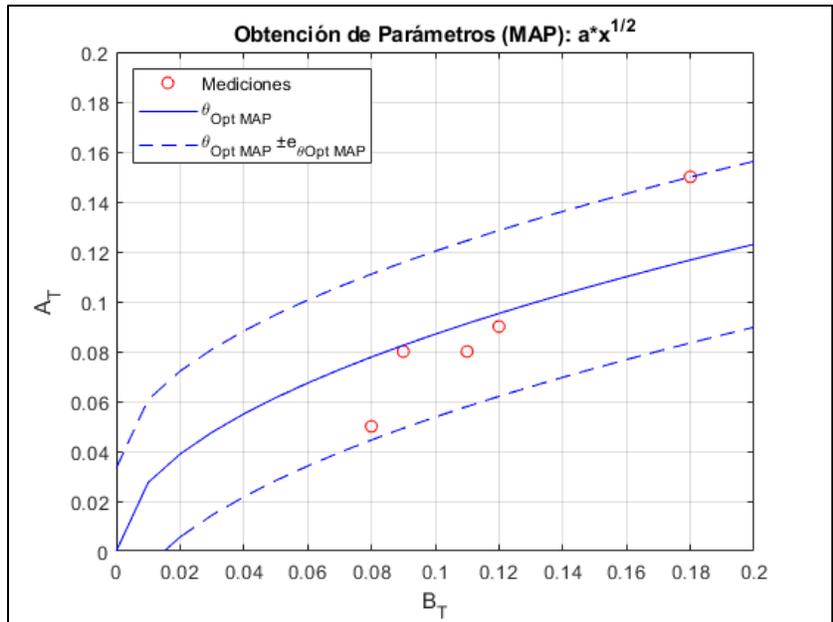


Figura 33.- Ajuste para las variables tipo Categoría III: 4 Peaks  $A_T$  v/s  $B_T$ .

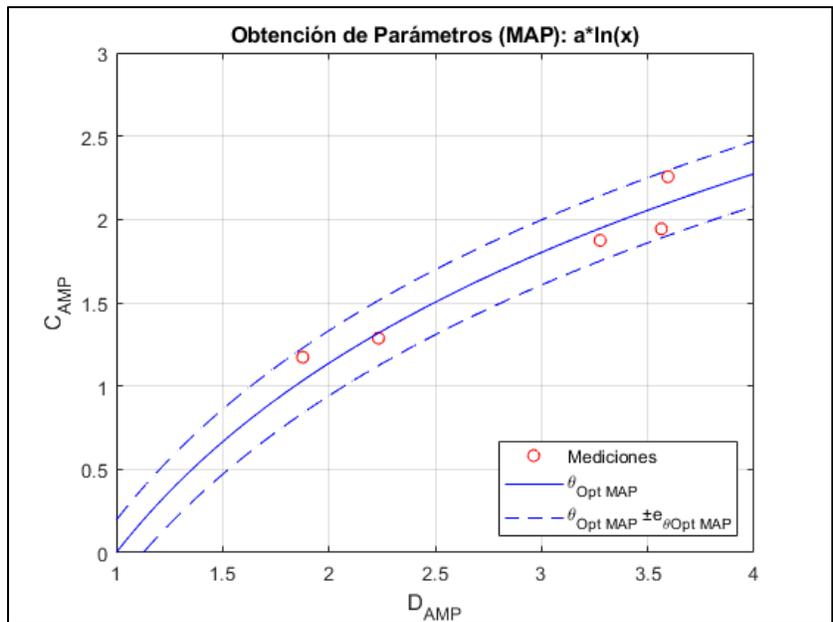


Figura 34.- Ajuste para las variables tipo Categoría III: 4 Peaks  $C_{AMP}$  v/s  $D_{AMP}$ .

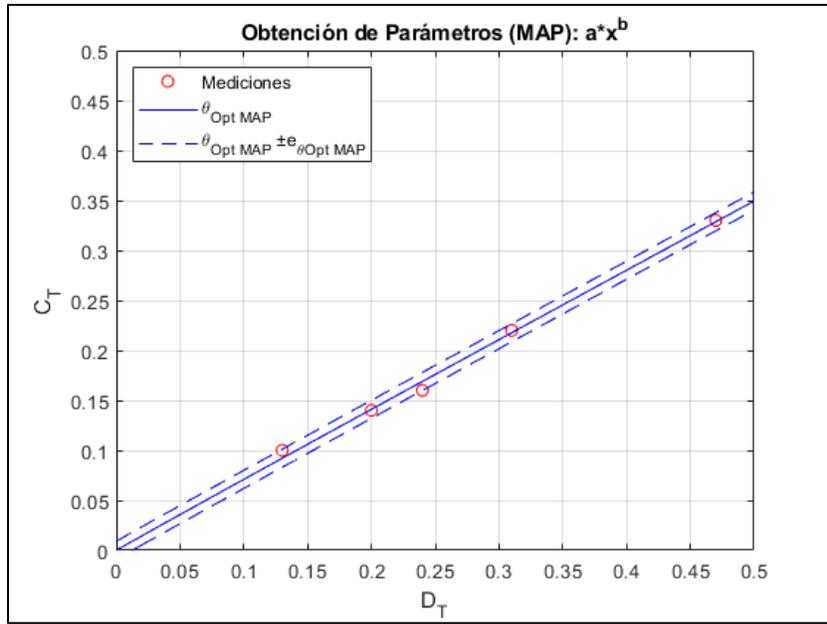


Figura 35.- Ajuste para las variables tipo Categoría III: 4 Peaks  $C_T$  v/s  $D_T$ .

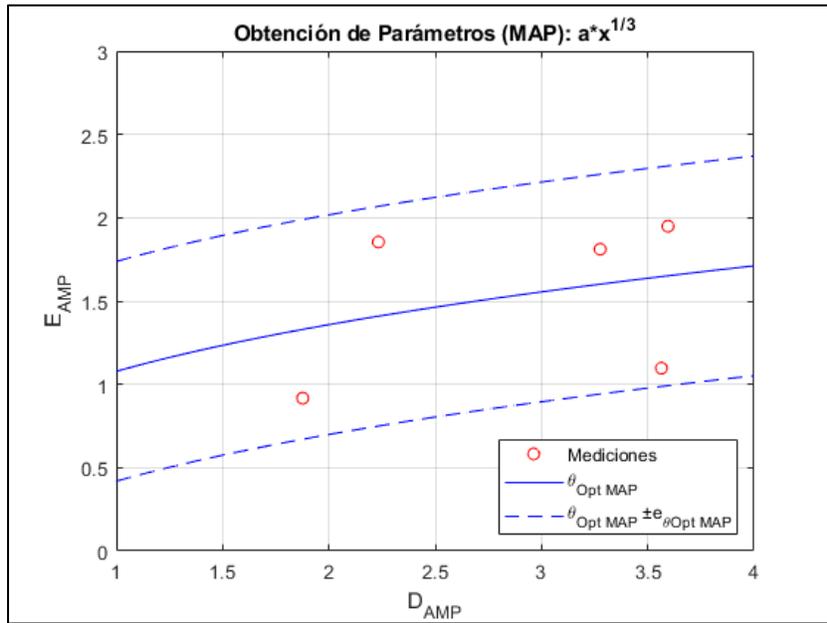


Figura 36.- Ajuste para las variables tipo Categoría III: 4 Peaks  $E_{AMP}$  v/s  $D_{AMP}$ .

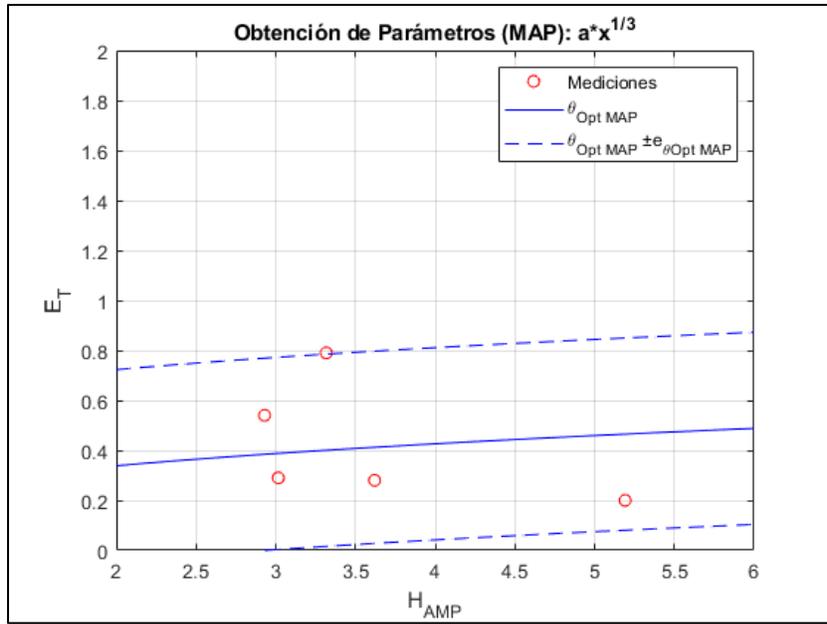


Figura 37.- Ajuste para las variables tipo Categoría III: 4 Peaks  $E_T$  v/s  $H_{AMP}$ .

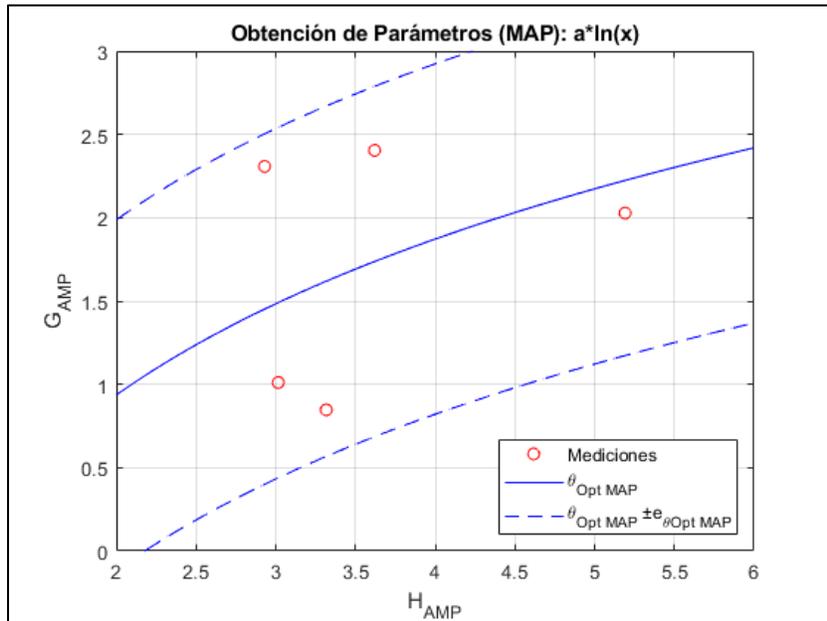


Figura 38.- Ajuste para las variables tipo Categoría III: 4 Peaks  $G_{AMP}$  v/s  $H_{AMP}$ .

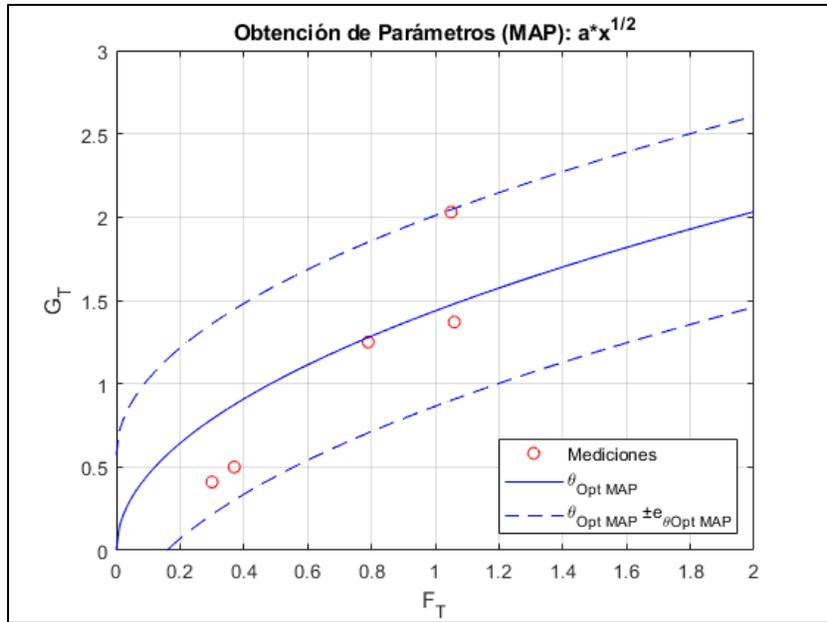


Figura 39.- Ajuste para las variables tipo Categoría III: 4 Peaks  $G_T$  v/s  $F_T$ .

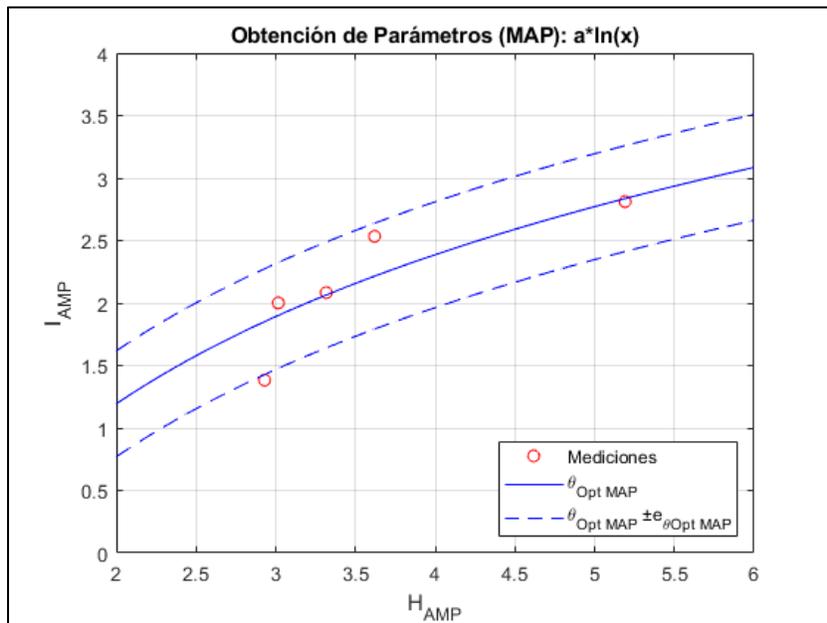


Figura 40.- Ajuste para las variables tipo Categoría III: 4 Peaks  $I_{AMP}$  v/s  $H_{AMP}$ .

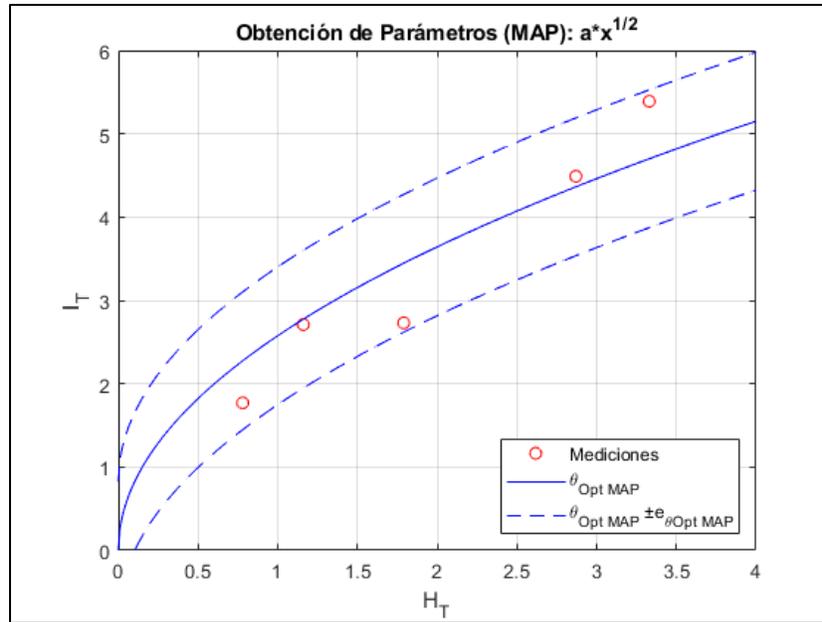


Figura 41.- Ajuste para las variables tipo Categoría III: 4 Peaks  $I_T$  v/s  $H_T$ .

Tabla 11.- Resumen parámetros tipo Categoría III: 4 Peaks.

Relación	Parámetros		Bondad del Ajuste
	$a$	$b$	
$A_{AMP} = a \cdot \ln(B_{AMP})$	2.0476	-	53.00 %
$A_T = a \cdot \sqrt{B_T}$	0.2750	-	63.82 %
$C_{AMP} = a \cdot \ln(D_{AMP})$	1.6401	-	89.80 %
$C_T = a \cdot (D_T)^b$	0.6941	0.9900	47.05 %
$E_{AMP} = a \cdot \sqrt[3]{D_{AMP}}$	1.0781	-	39.11 %
$E_T = a \cdot \sqrt[3]{H_{AMP}}$	0.2686	-	35.39 %
$G_{AMP} = a \cdot \ln(H_{AMP})$	1.3504	-	39.84 %
$G_T = a \cdot \sqrt{F_T}$	1.4371	-	64.45 %
$I_{AMP} = a \cdot \ln(H_{AMP})$	1.7219	-	65.36 %
$I_T = a \cdot \sqrt{H_T}$	2.5757	-	71.09 %

### 3.3.3. Parametrización Categoría IV

Para la parametrización de los espectros en esta categoría, se debe encontrar la mejor relación entre los puntos peaks (B y C) y los puntos valle (A y D), donde cada punto posee coordenadas de Período (T) y Amplitud (Amp), por lo tanto se poseen cuatro variables

independientes ( $B_T$ ,  $B_{AMP}$ ,  $C_T$  y  $C_{AMP}$ ), que corresponden a los parámetros de entrada del modelo, y cuatro variables dependientes ( $A_T$ ,  $A_{AMP}$ ,  $D_T$  y  $D_{AMP}$ ), correspondientes a las salidas de este.

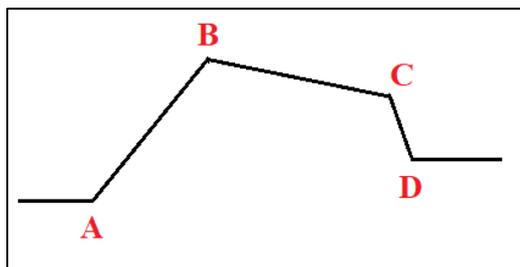


Figura 42.- Representación de ajuste tipo Categoría IV.

Tabla 12.- Valor de Correlación entre variables para suelos Categoría IV.

Variables	$A_T$	$A_{AMP}$	$D_T$	$D_{AMP}$
$B_T$	0.642	-	-	-
$B_{AMP}$	-	0.913	-	-
$C_T$	-	-	0.567	-
$C_{AMP}$	-	-	-	0.769

Las Figuras 42-45 muestran los mejores ajustes para cada variable dependiente. En la Tabla 8 se puede encontrar el resumen con los parámetros encontrados.

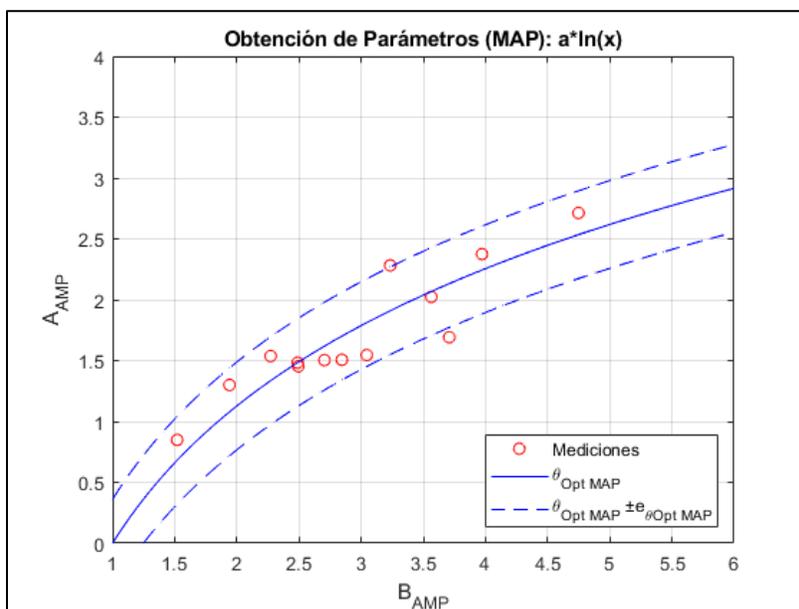


Figura 43.- Ajuste para las variables tipo Categoría IV  $A_{AMP}$  v/s  $B_{AMP}$ .

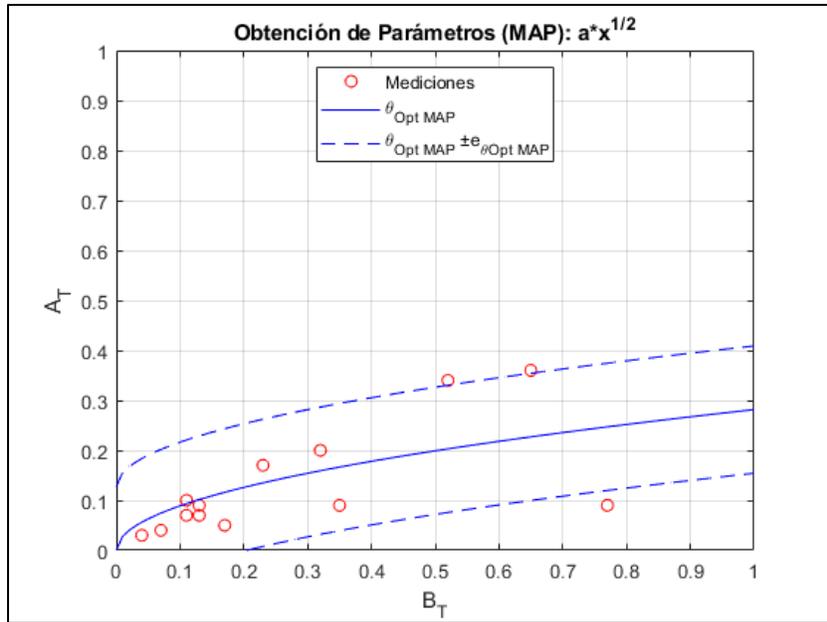


Figura 44.- Ajuste para las variables tipo Categoría IV  $A_T$  v/s  $B_T$ .

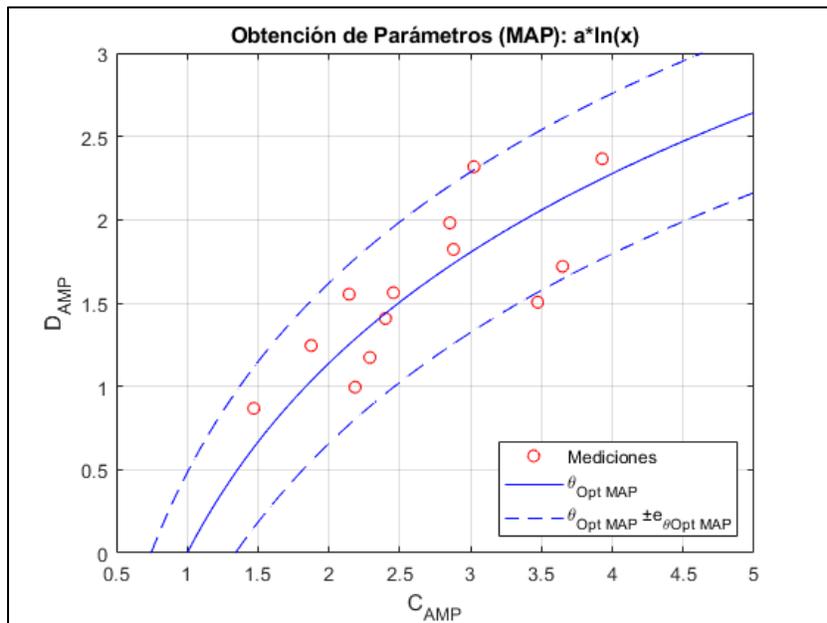


Figura 45.- Ajuste para las variables tipo Categoría IV  $D_{AMP}$  v/s  $C_{AMP}$ .

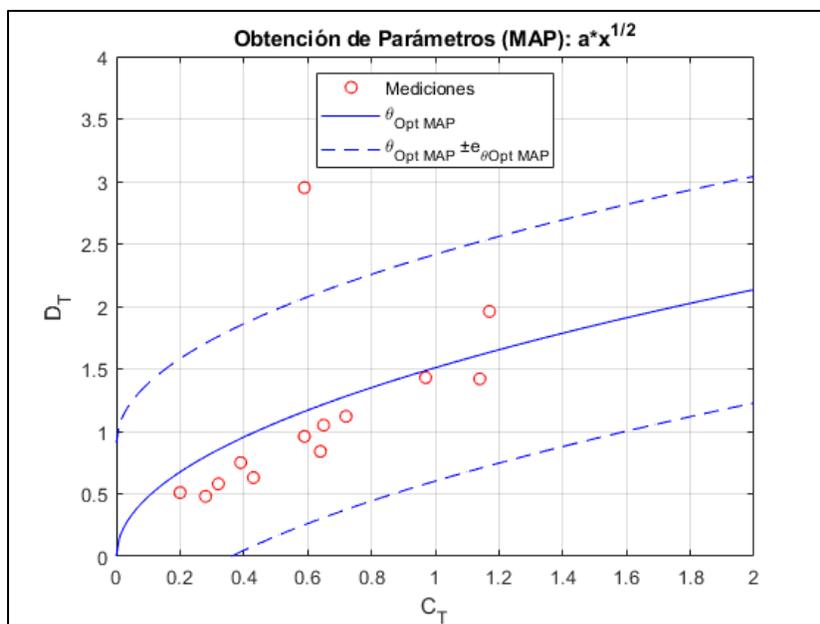


Figura 46.- Ajuste para las variables tipo Categoría IV  $D_T$  v/s  $C_T$ .

Tabla 13.- Resumen parámetros tipo Categoría IV.

Relación	Parámetros $a$	$b$	Bondad del Ajuste
$A_{AMP} = a \cdot \ln(B_{AMP})$	1.6269	-	93.67 %
$A_T = a \cdot \sqrt{B_T}$	0.2815	-	77.90 %
$D_{AMP} = a \cdot \ln(C_{AMP})$	1.6429	-	70.23 %
$D_T = a \cdot \sqrt{C_T}$	1.5091	-	76.39 %

Las estaciones con 3 o 4 peaks, tal como indica la Tabla 2, son menores en cantidad que el resto de las categorías, por lo que los resultados estimados podrían no reflejar un ajuste del todo correcto. Para el desarrollo de esta investigación esto no supone un impedimento ya que, en primer lugar, encontrar suelos con estas condiciones es inusual y, en segundo lugar, el enfoque principal de esta investigación está dirigido a las estaciones con 1 o 2 peaks.

#### **4. Validación del Modelo Maximum A Posteriori (MAP): Modelo de Propagación Unidimensional de Ondas de Corte (Modelo Multicapas)**

Para la validación del modelo Maximum A Posteriori (MAP), se hace necesaria la implementación de un modelo alternativo conocido, el cual demuestre la eficacia del modelo MAP. Gracias a este modelo se podrá corroborar y dar una evaluación de los resultados entregados por este último. Para dicho fin, se ha decidido elegir un modelo de propagación unidimensional de ondas de corte, el cual será referido de ahora en adelante como Modelo Multicapa. Este modelo representa al suelo y el comportamiento de este al aplicar un registro sísmico a través de él.

El Modelo Multicapa consiste en una representación simplificada de un perfil de suelo, compuesta por las  $n$  capas superiores de este según la información disponible para cada una de ellas (espesor, velocidad de onda de corte y peso específico), el cual es excitado en su base por un registro sísmico. Desde la primera capa hasta la capa  $n-1$  se consideran estratos de suelo, mientras que la  $n$ -ésima capa es considerada como un basamento rocoso, pero con cierta rigidez.

Para la implementación de este modelo se hace necesario construir los perfiles de suelo mediante la información disponible para cada estación en suelo. Para realizar esta tarea, en primer lugar, se debe hacer un cruce de información entre las estaciones en suelo Categorías (II-IV), cercanas a un sitio en roca (Categoría I), que se encuentren dentro de un radio inferior a 30km y los perfiles de velocidad entregados por CSN (CSN, 2018), asociados a las estaciones en suelo. Con esto, se obtendrá un registro de todas las estaciones Categoría II-IV disponibles para el análisis. En particular, para la estación B01I, se utilizó un perfil de suelo correspondiente a un sondaje realizado por IDIEM (Boroschek, Yáñez, Bejarano, Molnar, & Torres, 2012), en la localidad de San Pedro de la Paz, el cual se encuentra a una distancia aproximada de 1 [km] de la estación. La información de este listado se detalla en la Tabla 9.

Los perfiles de velocidad de onda de corte corresponden a los publicados por CSN (CSN, 2018), en su página web <http://evtdb.csn.uchile.cl/station/XXXX>, donde “XXXX” corresponde al nombre de la estación. (última revisión 26 de agosto de 2020).

Una vez recopilada toda la información, se procede a crear dichos perfiles dentro del programa DEEPSOIL, sin embargo, para poder completar esta tarea se requiere el dato del peso específico de cada estrato de cada suelo. Para la obtención de este valor, se han utilizado los resultados obtenidos por Anbazhagan (Anbazhagan, Anjali, Moustafa, & Al-Arifi, 2016), los cuales relacionan la densidad de un determinado estrato con la velocidad de onda de corte a través de este, donde la densidad obtenida será utilizada para estimar el peso específico. La Ecuación 14 es la más general planteada por Anbazhagan (Anbazhagan, Anjali, Moustafa, & Al-Arifi, 2016), donde junto a cada parámetro se presenta su desviación estándar.

**Tabla 14.- Estaciones con distancia menor a 30 [km], con información de suelo.**

Estación Suelo	Estación Roca	Estación Suelo	Estación Roca
A05P	PB12	R21M	R03M
AP01	PB12		R05M
B01I	CCSP	T01A	HMBCX
C01O	C06O		T05A
	C22O		T06A
C04O	C06O		T08A
	C22O		T15A
C16O	C06O	T02A	HMBCX
	C22O		T05A
C19O	C06O		T06A
	C22O		T08A
C20O	C06O		T15A
	C22O	T03A	HMBCX
C33O	C06O		T05A
	C22O		T06A
CO05	C06O		T08A
	C22O		T15A
R02M	R03M	T04A	HMBCX
	R05M		T05A
R07M	R03M		T06A
	R05M		T08A
R12M	R03M		T15A
	R05M	T07A	HMBCX
R14M	R03M		T15A
	R05M	T10A	HMBCX
R18M	R03M		PB11
	R05M	T20A	PB11

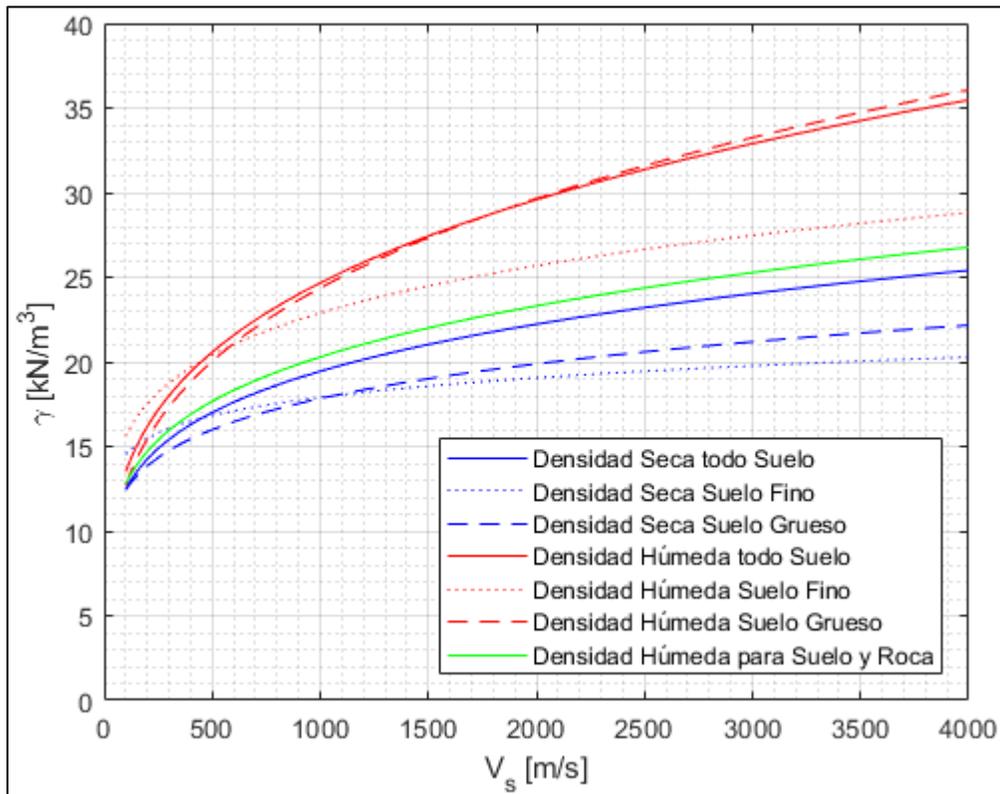
**Tabla 15.- Función de Estimación de Densidad utilizada (Anbazhagan, Anjali, Moustafa, & Al-Arifi, 2016).**

Función de Estimación de Densidad
$\rho_w = a \cdot (V_s)^b$
$a = 0.52$
$\sigma_a = 0.0144$
$b = 0.20$
$\sigma_b = 0.0033$

Además, se presentan los valores asociados a la desviación estándar de la estimación  $\sigma_s$ , el coeficiente de correlación  $\rho$ , y el coeficiente de determinación  $R^2$ .

**Tabla 16.- Estimadores Modelo de Cálculo de Densidad (Anbazhagan, Anjali, Moustafa, & Al-Arifi, 2016).**

Estimadores
$\sigma_s = 0.151$
$\rho = 0.935$
$R^2 = 0.875$



**Figura 47.- Diferentes funciones de densidad establecidas por (Anbazhagan, Anjali, Moustafa, & Al-Arifi, 2016). La densidad utilizada en este trabajo es la más general para suelos y rocas según indica el autor, la cual se muestra en color verde en la gráfica.**

Es necesario mencionar que esta estimación es sólo una aproximación utilizada para efectos prácticos de este trabajo y no pretende, bajo ningún motivo o circunstancia, reemplazar cualquier estimación o cálculo realizado, ya sea en terreno o en laboratorio, con los instrumentos necesarios y el personal debidamente calificado a un determinado suelo a estudiar.

Una vez creados los perfiles de suelo en DEEPSOIL (Hashash, y otros, 2019), se tomaron los registros en roca, componente por componente, se cambiaron a un formato

legible por el software y se agruparon como un primer input para el estrato de suelo, ya que estos corresponden, generalmente, a mediciones superficiales o de pocos metros de profundidad, por lo que se hace necesario realizar una deconvolución, de modo de obtener el registro en la base rocosa del perfil de suelo, en donde los registros fueron ingresados como “*within*” debido a que no pertenecen a afloramientos (“*outcrop*”). Para fines prácticos, y como no se dispone de mayor información, el último estrato de suelo correspondiente a cada suelo fue considerado como un “basamento rocoso”, que en realidad corresponden a un espacio semi-rígido con velocidades de onda de corte que fluctúan entre los 618~3038 [m/s] para los distintos escenarios analizados, lo cual habla, según la Norma NCh433 de suelos de categoría B o superior, con velocidades de onda de corte por sobre los 500 [m/s], correspondientes a Roca Blanda o fracturada o suelo muy denso o muy firme, hasta Roca y Suelo cementado.

El análisis realizado corresponde a un análisis lineal en el espacio de la frecuencia y el módulo de corte complejo se ha definido como sigue:

$$G^* = G \cdot (1 + 2 \cdot i \cdot \xi) \quad (15)$$

Donde  $i$  corresponde al módulo complejo, mientras que  $\xi$  corresponde al amortiguamiento, el cual se ha considerado 5% para todos los casos, ya que es el valor usual utilizado para este tipo de estudios.

Una vez procesados todos los registros por estación en suelo, cantidad que varía entre 17 y 186 eventos registrados en roca por cada estrato de suelo, se ha obtenido información del registro a través del perfil de suelos, además del resultado de la deconvolución, dato el cual es el de interés en este paso.

Con estos nuevos registros (deconvolución en la superficie del basamento rocoso), se procede a realizar el mismo análisis anterior, claro que esta vez sin seleccionar la opción de deconvolución que nos entrega el software.

Finalmente, se ha obtenido como resultado el espectro de aceleraciones, por componente para cada perfil. Con ello se podrá construir las razones espectrales HVRSR de cada uno de ellos.

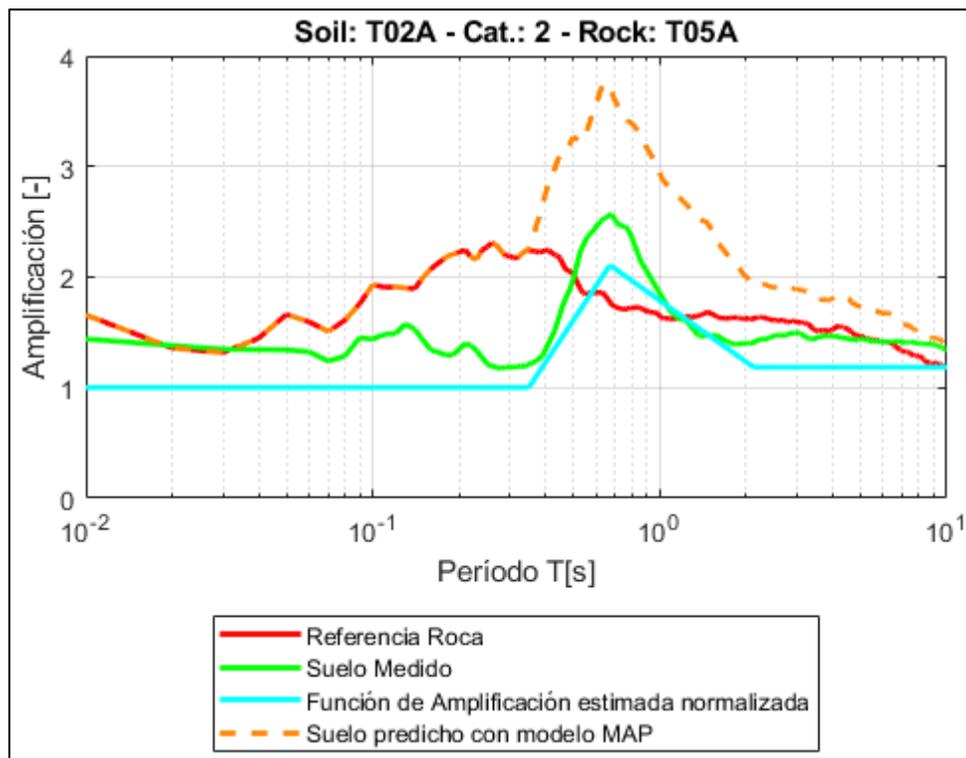
#### **4.1. Comparación de Espectros de Respuesta obtenidos con modelos MAP y Multicapa**

Debido a que el modelo MAP posee una componente probabilística, se hace necesario comparar sus resultados con algún otro modelo que entregue información directa de lo que está sucediendo en cada estación, así de este modo poder tener un parámetro de referencia para evaluar los resultados del modelo. Para ello es que se ha utilizado el modelo Multicapa, el cual está construido en base a información obtenida directamente del suelo (además de

otra estimada), y por ello es utilizado como el parámetro de referencia requerido para evaluar la efectividad del modelo MAP.

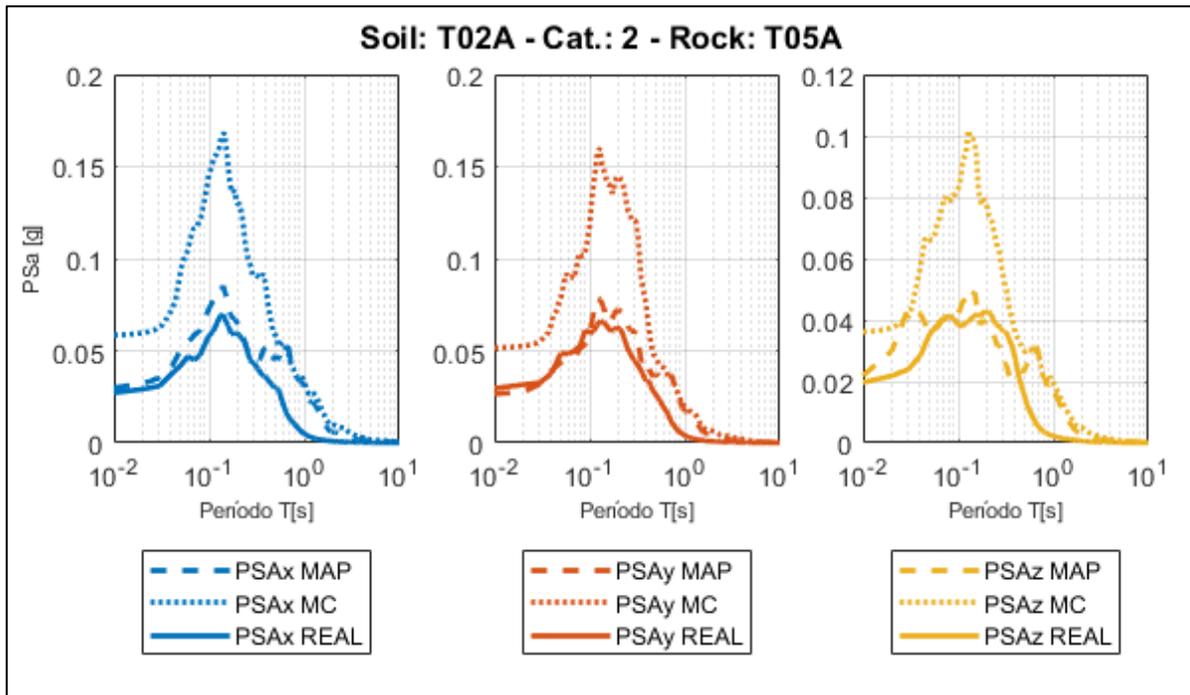
#### 4.1.1. Categoría II - 1 Peak

La Figura 46 muestra los resultados obtenidos mediante el Modelo MAP. La referencia en roca (Categoría I), se muestra de color rojo; El estrato de suelo en cuestión (Categoría II), se muestra de color verde; La función de amplificación obtenida con el Modelo MAP se indica en color cian; La predicción de la amplificación (referencia en roca ponderada por la función de amplificación), se indica en color naranja.



*Figura 48.- Modelo predictivo de HVRSR para suelos tipo CII-IP.*

A modo de ejemplificación, la Figura 47 muestra los resultados de los  $PSA_{promedio}$  obtenidos para el par de estaciones T02A (Suelo) – T05A (Roca). La ponderación entre la estimación del HVRSR obtenida mediante el Modelo MAP para un suelo de Categoría II y el espectro en roca correspondiente, entrega una estimación del espectro real del suelo. Los resultados para el resto de los pares de estaciones analizados correspondientes a esta categoría pueden ser encontrados en la sección de anexos.



*Figura 49.- $PSA_{promedio}$  reales y predichos para suelos tipo CII-1P.*

#### 4.1.2. Categoría III - 2 Peak

La Figura 48 muestra los resultados obtenidos mediante el Modelo MAP. La referencia en roca (Categoría I), se muestra de color rojo; El estrato de suelo en cuestión (Categoría III-2 Peak), se muestra de color verde; La función de amplificación obtenida con el Modelo MAP se indica en color cian; La predicción de la amplificación (referencia en roca ponderada por la función de amplificación), se indica en color naranja.

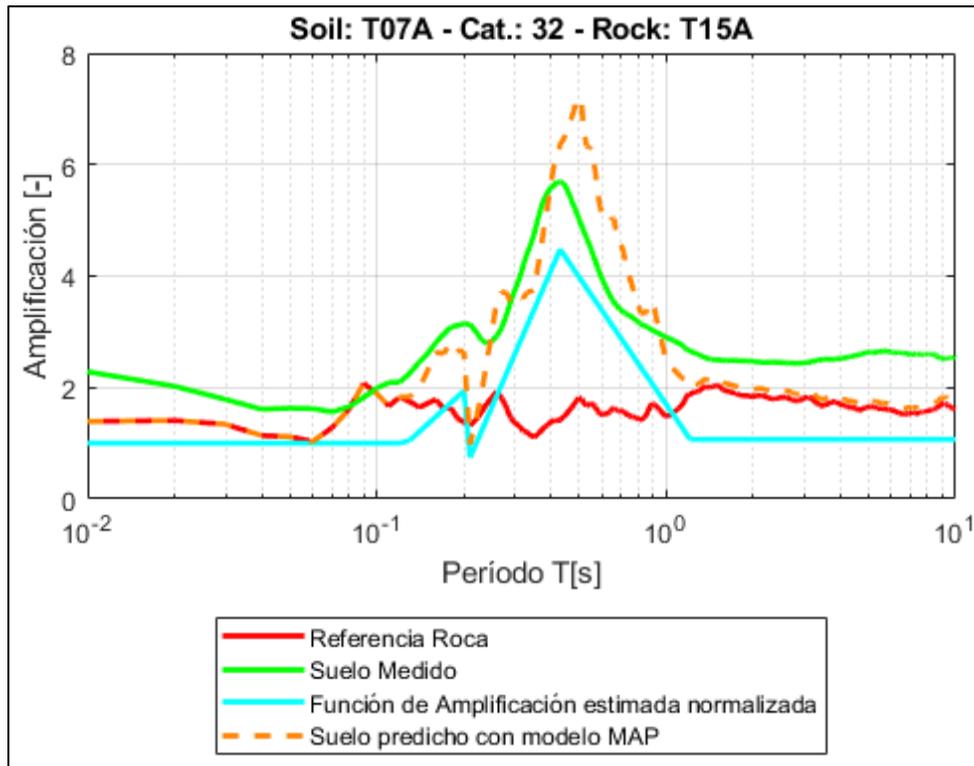
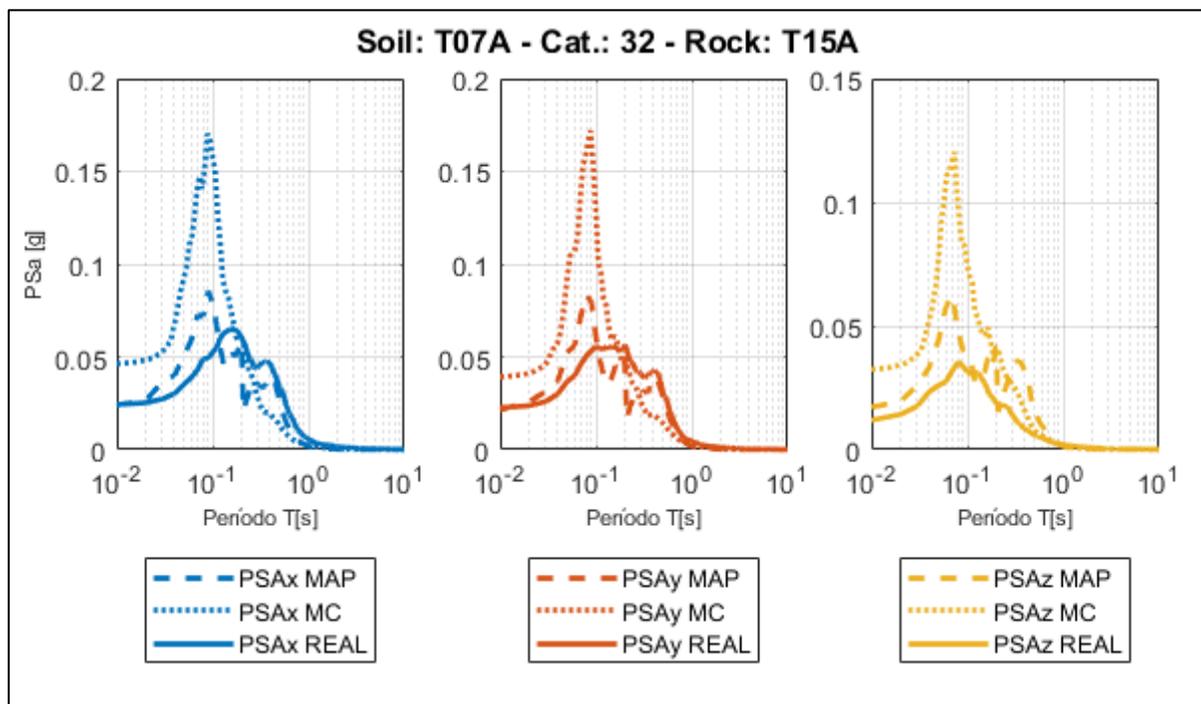


Figura 50.- Modelo predictivo de HVRSR para suelos tipo CIII-2P.

A modo de ejemplificación, la Figura 49 muestra los resultados de los  $PSA_{promedio}$  obtenidos para el par de estaciones T07A (Suelo) - T15A (Roca). La ponderación entre la estimación del HVRSR obtenida mediante el Modelo MAP para un suelo de Categoría III – 2 peak y el espectro en roca correspondiente, entrega una estimación del espectro real del suelo. Los resultados para el resto de los pares de estaciones analizados correspondientes a esta categoría pueden ser encontrados en la sección de anexos.



*Figura 51.- $PSA_{promedio}$  reales y predichos para suelos tipo CIII-2P.*

#### 4.1.3. Categoría III - 3 Peak

La Figura 50 muestra los resultados obtenidos mediante el Modelo MAP. La referencia en roca (Categoría I), se muestra de color rojo; El estrato de suelo en cuestión (Categoría III-3 Peak), se muestra de color verde; La función de amplificación obtenida con el Modelo MAP se indica en color cian; La predicción de la amplificación (referencia en roca ponderada por la función de amplificación), se indica en color naranja.

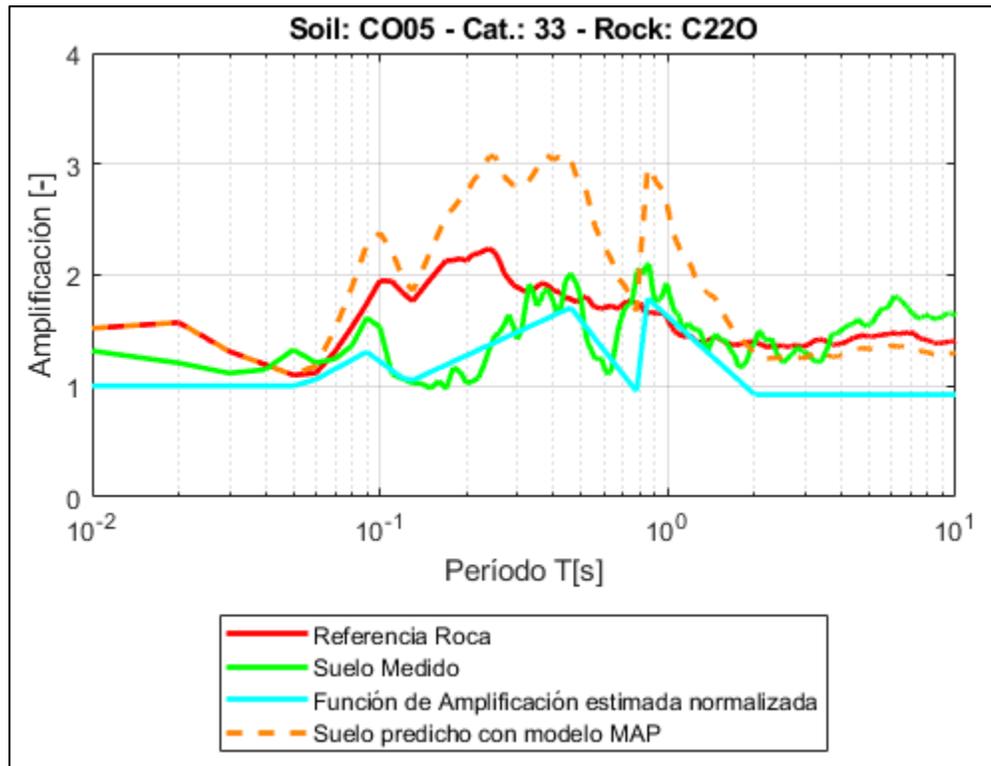


Figura 52.- Modelo predictivo de HVRSR para suelos tipo CIII-3P.

A modo de ejemplificación, la Figura 51 muestra los resultados de los  $PSA_{promedio}$  obtenidos para el par de estaciones CO05 (Suelo) – C220 (Roca). La ponderación entre la estimación del HVRSR obtenida mediante el Modelo MAP para un suelo de Categoría III – 3 peak y el espectro en roca correspondiente, entrega una estimación del espectro real del suelo. Los resultados para el resto de los pares de estaciones analizados correspondientes a esta categoría pueden ser encontrados en la sección de anexos.

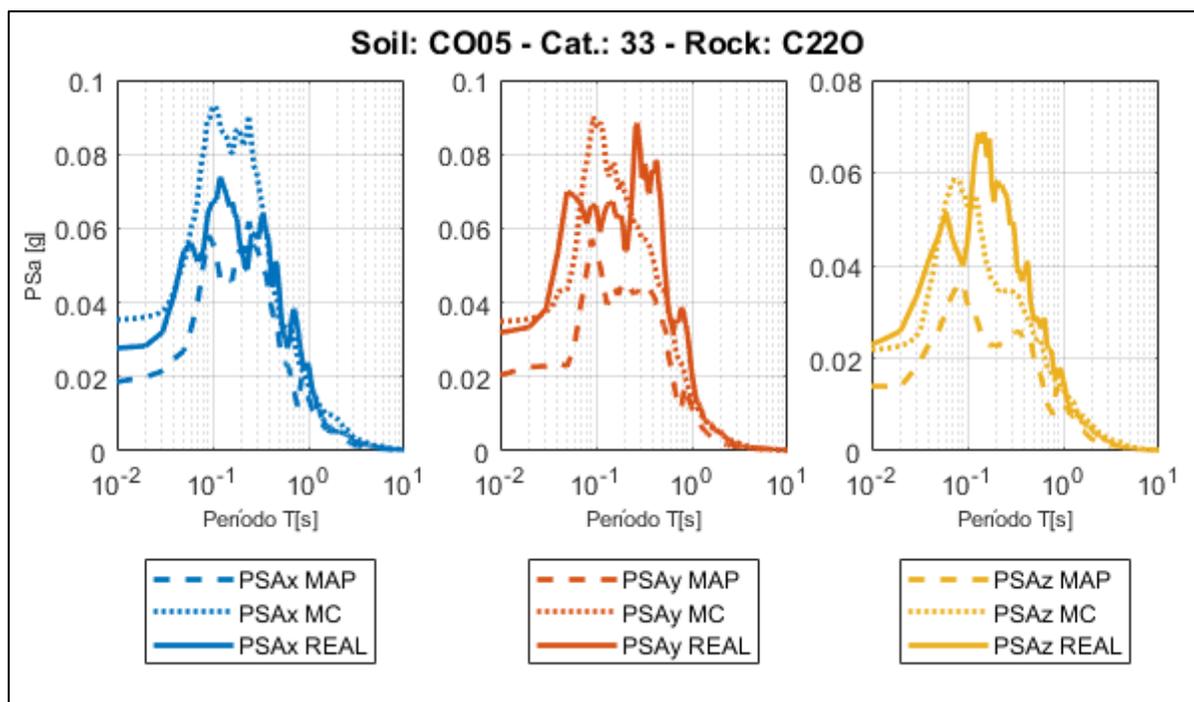


Figura 53.- $PSA_{promedio}$  reales y predichos para suelos tipo CIII-3P.

#### 4.1.4. Categoría III - 4 Peak

La Figura 52 muestra los resultados obtenidos mediante el Modelo MAP. La referencia en roca (Categoría I), se muestra de color rojo; El estrato de suelo en cuestión (Categoría III-4 Peak), se muestra de color verde; La función de amplificación obtenida con el Modelo MAP se indica en color cian; La predicción de la amplificación (referencia en roca ponderada por la función de amplificación), se indica en color naranja.

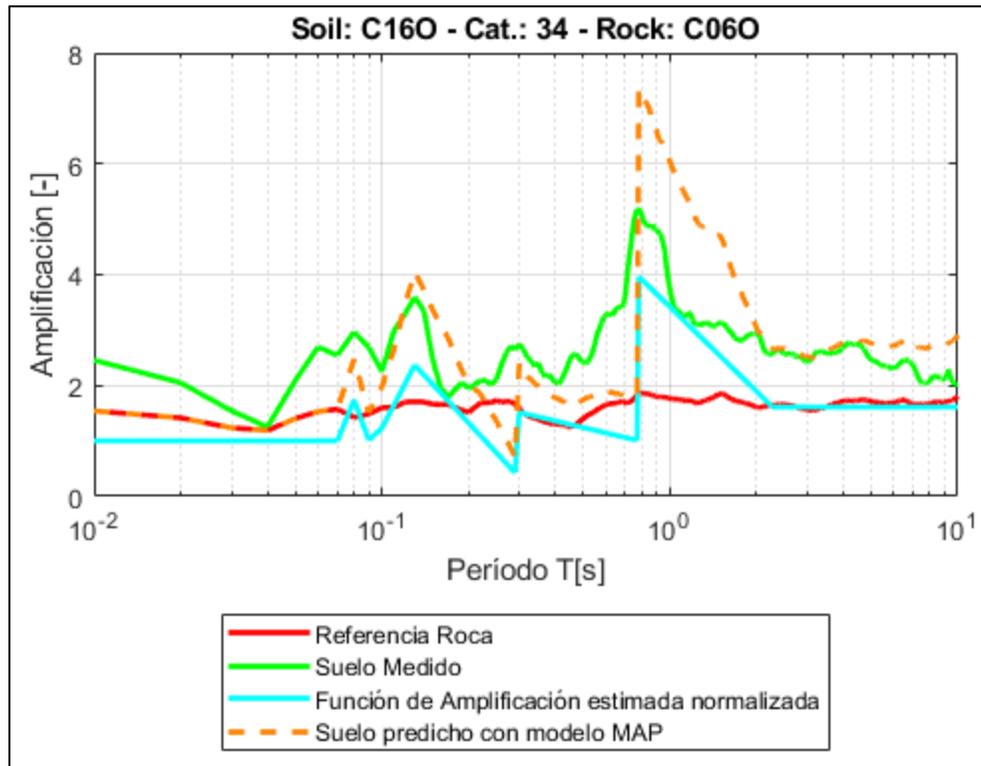


Figura 54.- Modelo predictivo de HVRSR para suelos tipo CIII-4P.

A modo de ejemplificación, la Figura 53 muestra los resultados de los  $PSA_{promedio}$  obtenidos para el par de estaciones C16O (Suelo) - C06O (Roca). La ponderación entre la estimación del HVRSR obtenida mediante el Modelo MAP para un suelo de Categoría III – 4 peak y el espectro en roca correspondiente, entrega una estimación del espectro real del suelo. Los resultados para el resto de los pares de estaciones analizados correspondientes a esta categoría pueden ser encontrados en la sección de anexos.

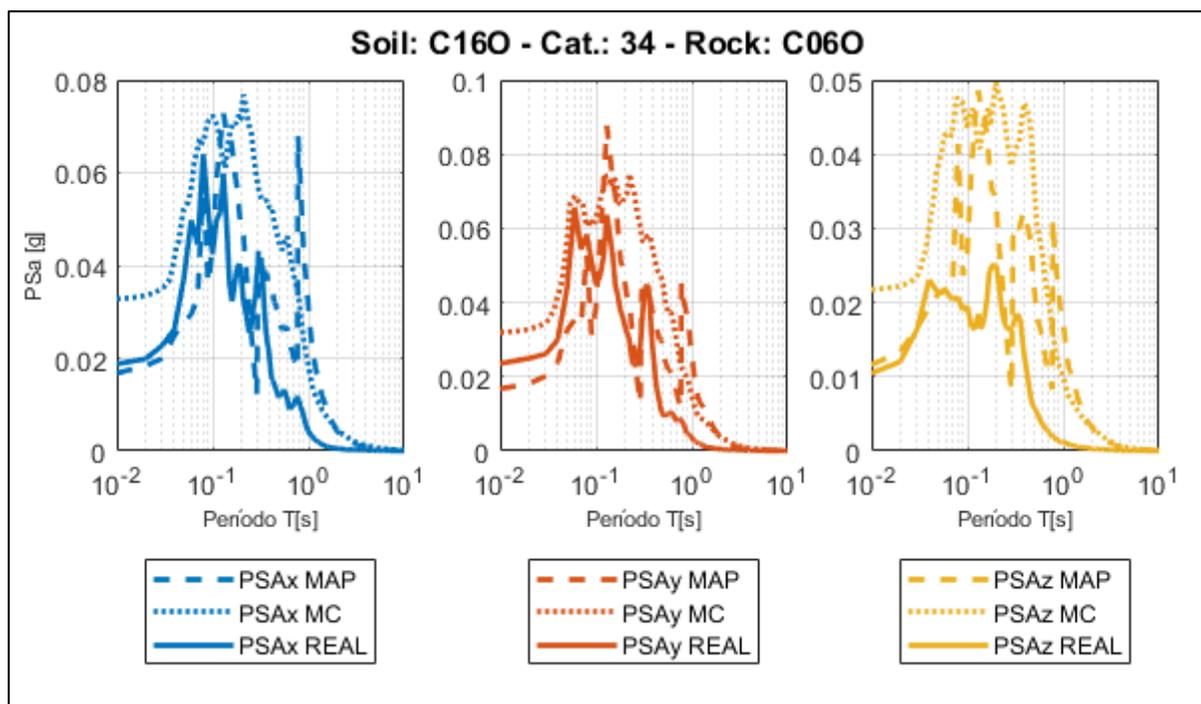


Figura 55.- $PSA_{promedio}$  reales y predichos para suelos tipo CIII-4P.

#### 4.1.5. Categoría IV - Banda Ancha

La Figura 54 muestra los resultados obtenidos mediante el Modelo MAP. La referencia en roca (Categoría I), se muestra de color rojo; El estrato de suelo en cuestión (Categoría IV), se muestra de color verde; La función de amplificación obtenida con el Modelo MAP se indica en color cian; La predicción de la amplificación (referencia en roca ponderada por la función de amplificación), se indica en color naranja.

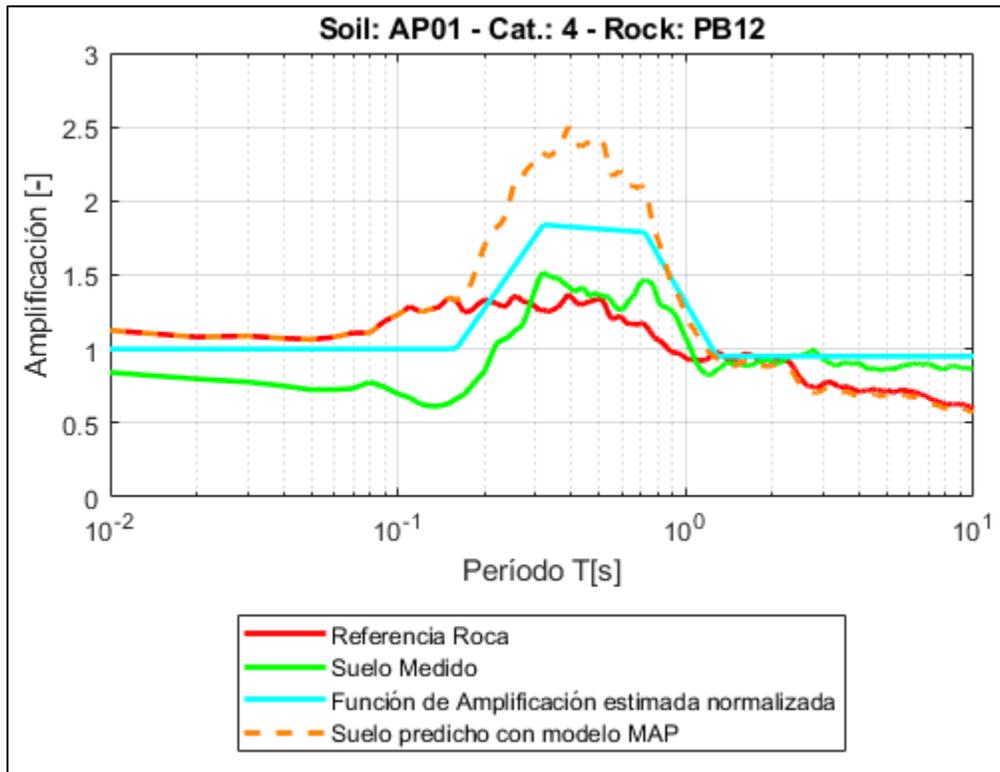
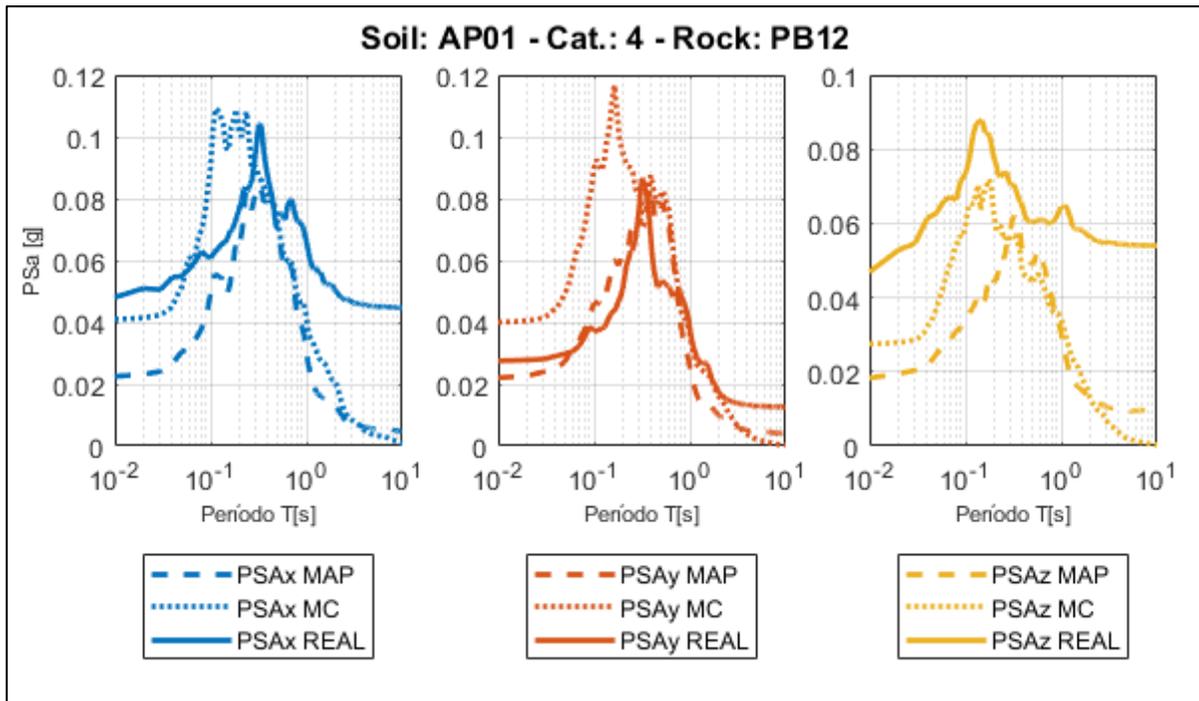


Figura 56.- Modelo predictivo de HVRSR para suelos tipo CIV-BA.

A modo de ejemplificación, la Figura 55 muestra los resultados de los  $PSA_{promedio}$  obtenidos para el par de estaciones AP01 (Suelo) - PB12 (Roca). La ponderación entre la estimación del HVRSR obtenida mediante el Modelo MAP para un suelo de Categoría IV y el espectro en roca correspondiente, entrega una estimación del espectro real del suelo. Los resultados para el resto de los pares de estaciones analizados correspondientes a esta categoría pueden ser encontrados en la sección de anexos.



*Figura 57.- $PSA_{promedio}$  reales y predichos para suelos tipo CIV-BA.*

## 5. Comparación con Otros Modelos y Estimación de Errores

Anteriormente, otros autores han trabajado con nuevas metodologías similares a la tratada en esta investigación, como las realizadas por Idini (Idini, 2016) y González (Gonzalez, 2017), en donde se presentan modelos que permiten estimar la respuesta en amplificación de un suelo, y permitir, de este modo, la predicción de espectros de respuesta para movimientos sísmicos, principalmente para suelos Categoría II. Para poder establecer que tan bueno es el ajuste y el modelo creado en este trabajo, es que se opta por utilizar la misma metodología de estimadores estadísticos utilizada por otros autores. En ella se ha de comparar los resultados del Modelo MAP con otros tres modelos obtenidos por González (Gonzalez, 2017). Para dicho análisis, se ha obtenido el valor de los residuales entre los datos observados y predichos para los espectros de respuesta de aceleraciones al 5% de amortiguamiento para un determinado periodo  $T_i$  y un evento  $j$ , para cada uno de los cuatro modelos utilizando la siguiente ecuación:

$$r_j(T_i) = \ln\left[\frac{O_j(T_i)}{P_j(T_i)}\right] \quad (17)$$

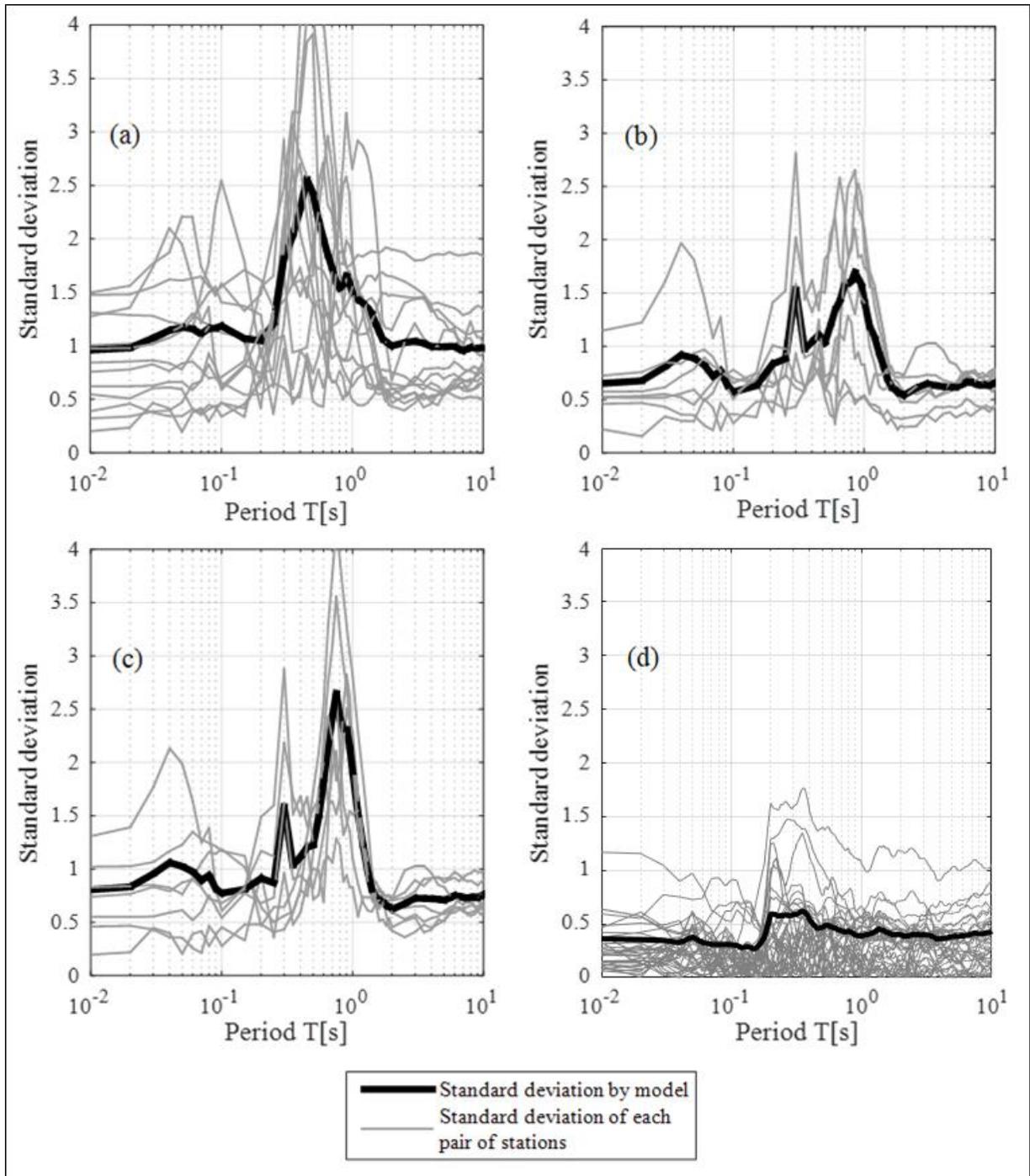
Donde  $O_j(T_i)$  y  $P_j(T_i)$  corresponden a los espectros de respuesta de aceleraciones observados y predichos, respectivamente. Luego, el modelo Bias es dado por la siguiente ecuación:

$$B(T_i) = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N r_j(T_i) \quad (18)$$

Y la desviación estándar por:

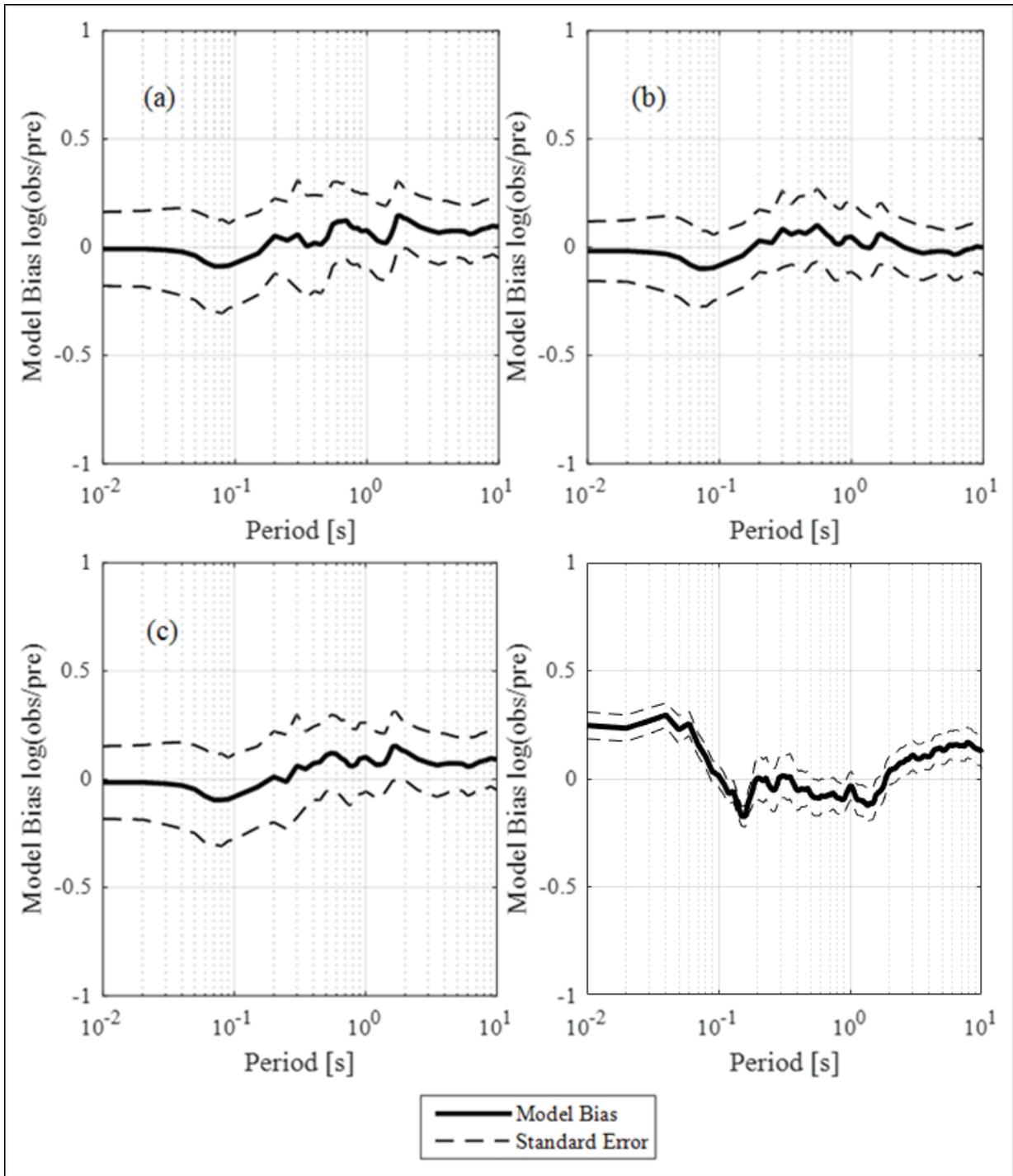
$$\sigma(T_i) = \left( \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N [r_j(T_i) - B(T_i)]^2 \right)^{1/2} \quad (19)$$

Las figuras 56 y 57 muestran la desviación estándar de las funciones de amplificación estimadas y el Bias asociado a cada modelo, respectivamente.



**Figura 58.-** Desviación estándar entre la función de amplificación observada promedio y la estimada para los cuatro modelos.

En la figura 56, los datos de entrada para cada uno de los modelos son: (a) *Modelo 1* - parámetros del peak de HVRSR; (b) *Modelo 2* – período y amplitud del peak de HVSR; (c) *Modelo 3* – periodo del peak de HVSR y amplificación estimada; (d) *Modelo MAP* – parámetros del peak de HVRSR



*Figura 59.- La bondad de los ajustes (Goodness of fits - GOFs), entre los espectros de respuesta de aceleraciones al 5% de amortiguamiento observados y predichos para cada uno de los cuatro modelos.*

## 6. Aplicación del Modelo MAP con Datos de Microvibraciones

Las microvibraciones o vibraciones ambientales corresponden a mediciones realizadas a nivel superficial del ruido sísmico de fondo, las cuales sirven para determinar diferentes propiedades mecánicas del suelo. En este caso, datos experimentales de mediciones ambientales han sido proporcionados de manera de poder usar la información del peak de HVRSR de microvibraciones (MHVRSR), como variables de entrada al modelo MAP, el cual, a partir de esta, estimará los espectros de respuesta de aceleraciones de las estaciones en donde se ha realizado dicha medición. Tal como indica Molnar (Molnar, y otros, 2018), estas mediciones son de gran valor en zonas de baja sismicidad o donde derechamente no hay datos de sismicidad.

La información de los peaks de MHVRSR ha sido recopilada a partir de los siguientes trabajos:

- **DA:** Damage Assessment of the 2015 Mw 8.3 Illapel Earthquake in the North-Central Chile (Fernández, Pastén, Ruiz, & Leyton, 2019).
- **SE:** Determinación de Efectos de Sitio en las Estaciones Sismológicas de las Regiones Metropolitana y de Valparaíso (Leon, Pastén, & Leyton, 2016).
- **SC:** Avances hacia una Clasificación Sísmica de Estaciones Sismológicas Chilenas (León, 2017).

En los tres documentos mencionados, la información correspondiente a los períodos de MHVRSR es proporcionada a través de una tabla con dichos valores, mientras que la magnitud de la amplificación del peak de MHVRSR ha debido ser estimada a partir de los gráficos contenidos en cada uno de los documentos. La Figura 60 muestra cómo se han estimado los valores, mientras que la Tabla 17 contiene la información obtenida de este proceso para cada una de las estaciones con información disponible.

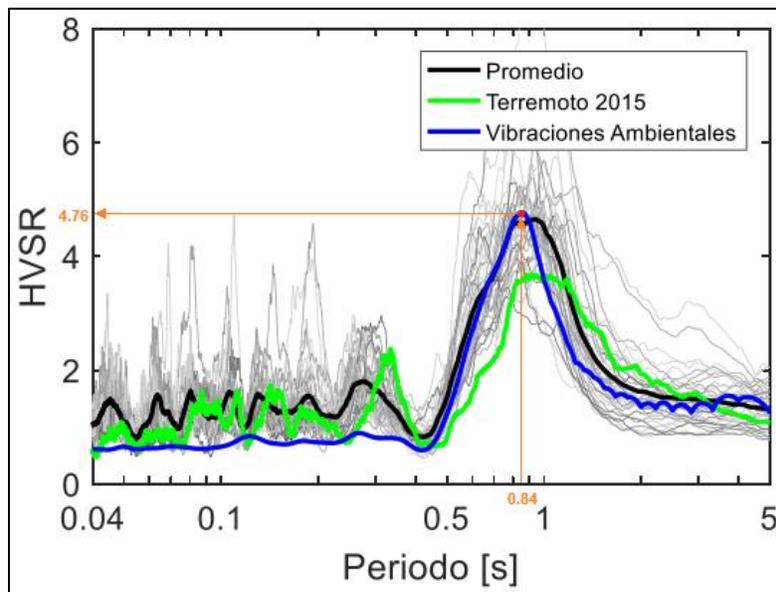


Figura 60.- Obtención de la Magnitud del peak de MHVRSR a través del dato de su período.

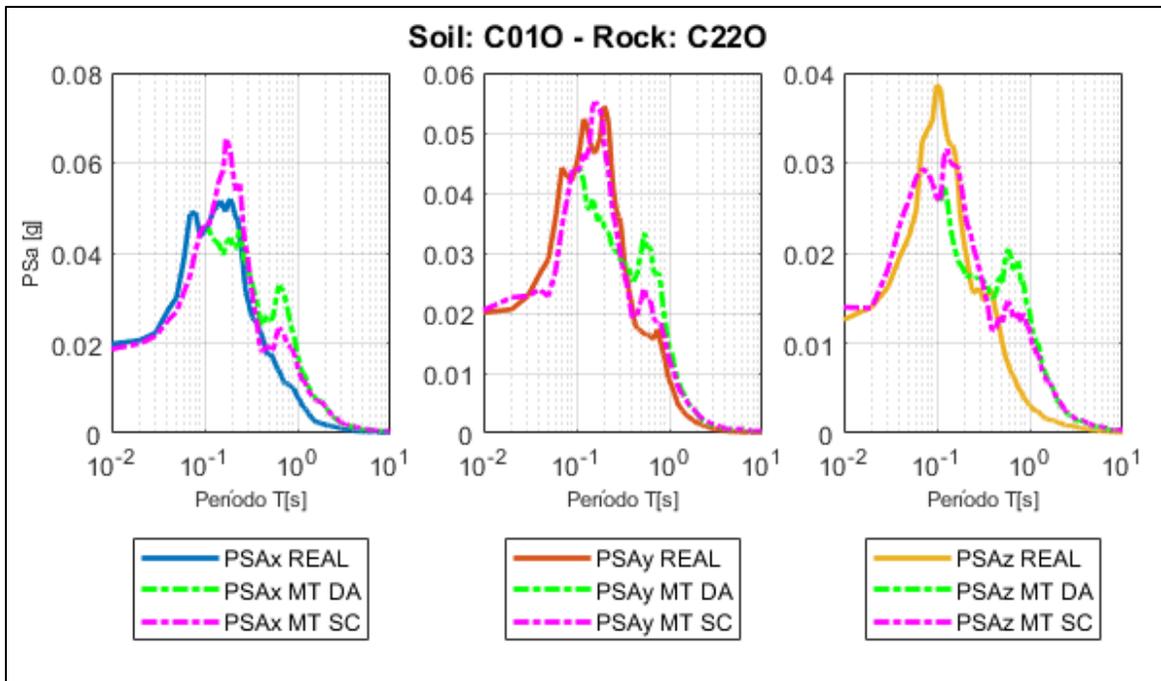
**Tabla 17.- Datos de microvibraciones Ambientales.**

Soil	Rock	DA		SE		SC			
		T [s]	Amp [-] <sup>1</sup>	T [s]	Amp [-] <sup>1</sup>	T [s]	Amp [-] <sup>1</sup>	T [s] <sup>2</sup>	Amp [-] <sup>1,2</sup>
C01O	C06O	0.77	2.77	-	-	0.17	1.89	0.88	2.09
C01O	C22O	0.77	2.77	-	-	0.17	1.89	0.88	2.09
C04O	C06O	1.17	4.14	-	-	0.10	3.81	1.17	5.46
C04O	C22O	1.17	4.14	-	-	0.10	3.81	1.17	5.46
C16O	C06O	0.77	7.69	-	-	-	-	-	-
C16O	C22O	0.77	7.69	-	-	-	-	-	-
C20O	C06O	0.85	4.90	-	-	0.84	4.76	-	-
C20O	C22O	0.85	4.90	-	-	0.84	4.76	-	-
C33O	C06O	0.34	2.07	-	-	0.28	2.13	-	-
C33O	C22O	0.34	2.07	-	-	0.28	2.13	-	-
R07M	R03M	-	-	-	-	1.16	2.74	-	-
R07M	R05M	-	-	-	-	1.16	2.74	-	-
R12M	R03M	-	-	0.78	4.45	0.78	4.46	-	-
R12M	R05M	-	-	0.78	4.45	0.78	4.46	-	-
R18M	R03M	-	-	0.33	3.57	0.33	3.54	-	-
R18M	R05M	-	-	0.33	3.57	0.33	3.54	-	-
R21M	R03M	-	-	2.79	9.85	2.79	9.75	-	-
R21M	R05M	-	-	2.79	9.85	2.79	9.75	-	-
T01A	HMBCX	-	-	-	-	0.51	1.86	-	-
T01A	T05A	-	-	-	-	0.51	1.86	-	-
T01A	T06A	-	-	-	-	0.51	1.86	-	-
T01A	T08A	-	-	-	-	0.51	1.86	-	-
T01A	T15A	-	-	-	-	0.51	1.86	-	-
T02A	HMBCX	-	-	-	-	0.53	2.48	-	-
T02A	T05A	-	-	-	-	0.53	2.48	-	-
T02A	T06A	-	-	-	-	0.53	2.48	-	-
T02A	T08A	-	-	-	-	0.53	2.48	-	-
T02A	T15A	-	-	-	-	0.53	2.48	-	-
T03A	HMBCX	-	-	-	-	0.13	6.15	-	-
T03A	T05A	-	-	-	-	0.13	6.15	-	-
T03A	T06A	-	-	-	-	0.13	6.15	-	-
T03A	T08A	-	-	-	-	0.13	6.15	-	-
T03A	T15A	-	-	-	-	0.13	6.15	-	-
T07A	HMBCX	-	-	-	-	0.29	2.99	-	-
T07A	T15A	-	-	-	-	0.29	2.99	-	-
T10A	HMBCX	-	-	-	-	0.29	2.88	-	-
T10A	PB11	-	-	-	-	0.29	2.88	-	-

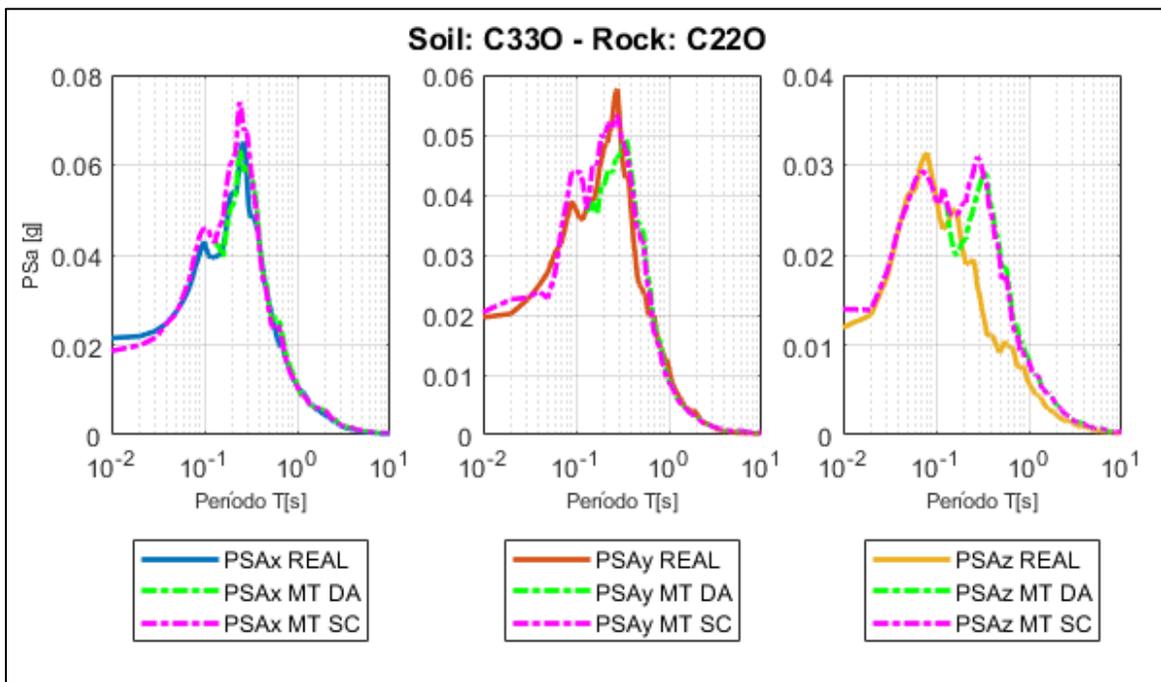
Las figuras 61-63 muestran algunos de los resultados obtenidos de este proceso, entregando como input la información de microvibraciones al modelo MAP. Estos y el resto de las estaciones pueden ser encontrados en los anexos de este documento.

<sup>1</sup> Magnitud de amplificaciones han sido estimadas a partir de los gráficos entregados en los documentos correspondientes.

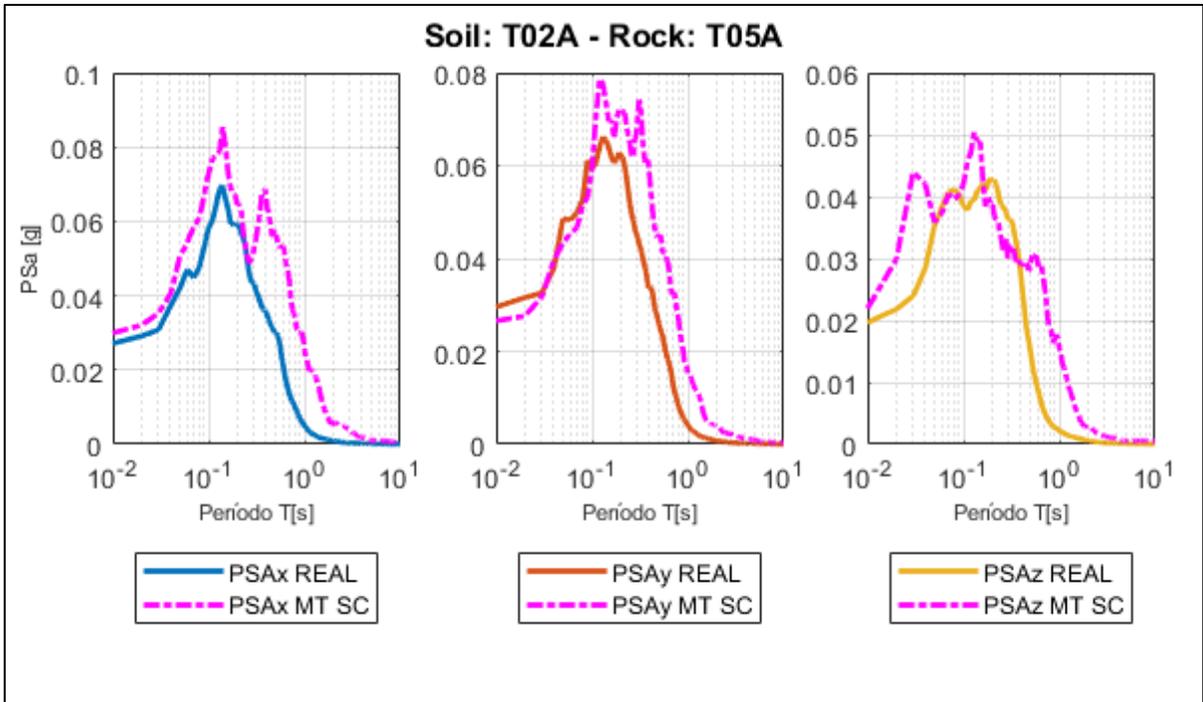
<sup>2</sup> Este documento categoriza estas estaciones como CIII (2 peaks), por lo que la información del segundo peak ha sido considerada también.



*Figura 61.- Peak de Microvibraciones para estaciones C010-C220.*



*Figura 62.- Peak de Microvibraciones para estaciones C330-C220.*



*Figura 63.- Peak de Microvibraciones para estaciones T02A-T05A.*

## 7. Conclusiones

La investigación realizada plantea la hipótesis de Generar espectros de respuesta en base a espectros en roca e información del peak de HVRSR. El modelo planteado para este fin requiere sólo de la información del peak de amplificación para poder estimar un espectro de respuesta, por lo que obtenerla de manera rápida y fácil, como con las metodologías de vibraciones ambientales, sería de gran utilidad.

En general, los resultados obtenidos son buenos ya que los espectros predichos son similares a los espectros reales, resultado el cual se da gracias a que las estimaciones de los parámetros que definen las rectas que constituyen el modelo tienen un buen porcentaje de bondad de ajuste, por sobre todo para las estaciones de categoría II (>~85%), las cuales corresponden a las estaciones de mayor interés. Las estaciones categoría IV también poseen, en general, buenos ajustes (>~70%). En ambos casos estos resultados se deben a que el número de parámetros a modelar es bajo. Para las estaciones de las categorías restantes (multipeak), se tienen ajustes de menor calidad (>~53%, >~64%; >~36%, para 2,3 y 4 peaks respectivamente).

El modelo multicapa utilizado indica que los resultados obtenidos por el primer modelo son coherentes ya que se han obtenido resultados similares a los obtenidos con la metodología anterior, a excepción de algunos casos particulares. Es importante destacar que este modelo de capas posee variadas limitaciones, dentro de las cuales se encuentran: (a) El modelo y el análisis utilizado es lineal, por lo que efectos de segundo orden como plastificaciones en los suelos de las estaciones no son observables; (b) Sólo se ha podido modelar las capas de suelos más superficiales, según la información disponible (hasta ~350[m] en el mejor de los casos); (c) Las densidades utilizadas en cada suelo son genéricas, obtenidas de modelos generados por otros autores (Anbazhagan, Anjali, Moustafa, & Al-Arifi, 2016), y no empíricas, lo cual podría no reflejar la densidad real del suelo perteneciente a cada estación.

Al comparar con otros modelos se observó que la desviación estándar de las predicciones versus la información empírica es considerablemente más baja que para cualquiera de los otros tres modelos con los cuales se comparó, teniendo todos los modelos un bias cercano a cero.

Al aplicar el modelo junto con la información empírica de mediciones ambientales, se han obtenido espectros de respuesta de aceleraciones similares a los reales, lo cual es un buen indicio de que el modelo es funcional. Todo esto se traduce finalmente a que el modelo planteado en esta investigación sirve como herramienta para obtener un primer acercamiento al espectro real del suelo, es decir, que con poca información inicial se puede obtener un resultado de alta calidad. Es necesario destacar que este resultado podría no corresponder exactamente al HVRSR real del suelo, por lo que debe ser utilizado con discreción y por personal que maneje de buena forma los conocimientos acerca de este tópico.

Finalmente, gracias a la estructuración de una nueva base de datos es posible llevar un mayor control de la información asociada a cada estación sísmica. Es importante que en el futuro y de manera que esta sea de utilidad para siguientes investigaciones, es que la base de datos se mantenga actualizada, de modo que esta pueda contener toda la información

posible que se encuentre a disposición para cada estación y así poder realizar estudios con un set de datos cada vez más grande.

## 7.1.Recomendaciones

En esta investigación se ha buscado una forma de poder obtener los espectros de respuesta reales del suelo a través de un modelo el cual requiera el mínimo de información posible dado el costo, ya sea de índole económico o de tiempo, que la obtención de dicha información pueda presentar. Para ello, se ha creado un modelo a partir de información empírica perteneciente a las estaciones en las cuales se encuentran los acelerógrafos de la red, más específicamente, registros de aceleraciones. La evidencia empírica indica que los HVRSR son un buen estimador de la amplificación que un suelo presenta al ser excitado por un movimiento sísmico proveniente desde las capas interiores de la corteza terrestre, por lo que poder modelar estos HVRSR para su correcta predicción resulta fundamental ya que con ellos se podrá obtener finalmente el espectro predicho del suelo. En particular, para los suelos de Categoría II, que son los más usuales de encontrar, se distinguen 4 zonas de amplificación. La primera de ellas corresponde a una amplificación uniforme de valor  $A_1$  desde los períodos más pequeños (0.01 [Hz]), hasta un determinado período  $T_1$ . La segunda, corresponde a un aumento lineal de la amplitud desde el periodo  $T_1$  con amplificación  $A_1$  hasta un periodo  $T_P > T_1$  con amplificación  $A_P > A_1$ . En tercer lugar, y de manera inversa, se observa una disminución de la amplificación, desde el periodo  $T_P$  hasta un periodo  $T_2 > T_P$ , con una amplificación que decrece desde  $A_P$  hasta  $A_2$ , respectivamente, donde además se observa que usualmente  $A_2 > A_1$ . Finalmente, se observa un último tramo de amplificación el cual nuevamente es constante y de amplitud  $A_2$ . Es por esto que la estimación más práctica es mediante cuatro rectas que definen cada tramo de amplificación ya mencionado. Como en otros trabajos solo se han utilizado regresiones lineales, es que acá se ha optado por un modelo con un método de inversión probabilístico para poder tener un mayor control sobre las incertidumbres asociadas a los procesos de estimación.

Se observa que los HVRSR modelados representan de manera fidedigna a los HVRSR reales, al menos en las estaciones de categoría II, entregando espectros de respuesta de aceleración muy parecidos a los reales, en la mayoría de los casos. Algunas diferencias aparecen cuando las estaciones clasificadas como Categoría I no son del todo planas, las cuales al ser multiplicadas por el modelo entregan espectros con leves diferencias en amplitud con respecto a los reales.

A modo de recomendación, si se requiere de la rigidez de cada estrato de suelo para un determinado proyecto, es importante que la medición se haga en lo posible de forma experimental ya sea en terreno o laboratorio, con la instrumentación adecuada y el personal calificado para ello. La aproximación utilizada dentro de esta investigación debe tratarse con sumo cuidado ya que se ha empleado para efectos prácticos y no pretende, bajo ningún motivo o circunstancia, ser reconocida como un reemplazo a la información experimental al momento en que este dato sea requerido.

## 8. Bibliografía

- Anbazhagan, P., Anjali, U., Moustafa, S., & Al-Arifi, N. (2016). Correlation of densities with shear wave velocities and SPT N values [Correlación de densidades con velocidades de onda de corte y valores N de SPT]. *Journal of Geophysics and Engineering*, 13(3), 320-341.
- Boroschek, R., Yáñez, F., Bejarano, I., Molnar, S., & Torres, A. (2012). *Caracterización Geotécnica Estaciones de Acelerógrafos de la Universidad de Chile*. IDIEM - FCFM. Santiago: Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Chile.
- Chopra, A. K. (1995). *Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering [Dinámica de Estructuras: Teoría y Aplicaciones en la Ingeniería Sísmica]* (Fourth ed.). Englewood Cliffs, N.J: Prentice Hall.
- CSN. (2018). *Centro Sismológico Nacional (CSN)*. Obtenido de <http://www.sismologia.cl/>
- DeMets, C., R.G. Gordon, D.F. Argus and S. Stein. (1994). Effect of recent revisions to the geomagnetic reversal time scale on estimate of current plate motions. *Geophys. Res. Lett.*, 21, 2191-2194.
- DerKiureghian, A. and P. Keshishian. (1997). *Effects of Incoherence, Wave Passage, and Spatially Varying Site Conditions on Bridge Response*. Technical Report NCEER-97-0010, Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research, Buffalo, New York.
- Espinosa, M. (2017). Análisis de la Demanda Sísmica de Diferentes Tipos de Sismos Chilenos en Base a la Atenuación de Alta Frecuencia. [Tesis de Pregrado]. Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Santiago, Chile.
- Fernández, J., Pastén, C., Ruiz, S., & Leyton, F. (2019). Damage Assessment of the 2015 Mw 8.3 Illapel Earthquake in the North-Central Chile. *Natural Hazards*(96), 269-283.
- Gonzalez, D. (2017). Generación de espectros de respuesta con sismos chilenos para suelos en función de su período fundamental y nivel de amplificación. [Tesis de Pregrado]. Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Santiago.
- Hashash, Y., Musgrove, M., Harmon, J., Groholski, D., Phillips, C., & Park, D. (2019). DEEPSOIL v7. Urbana-Champaign, IL.: Board of Trustees of University of Illinois [Junta Directiva de la Universidad de Illinois].
- Idini, B. (2016). Curvas de Atenuación para Terremotos Intraplaca e Interplaca en la Zona de Subducción Chilena. [Tesis de Pregrado]. Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Santiago, Chile.
- IPOC. (2018). *Integrated Plate Boundary Observatory Chile (IPOC)*. Obtenido de <https://www.ipoc-network.org/welcome-to-ipoc/>

- León, J. (2017). Avances hacia una Clasificación Sísmica de Estaciones Sismológicas Chilenas. [Tesis de Pregrado]. Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Santiago.
- León, J., Pastén, C., & Leyton, F. (2016). *Determinación de Efectos de Sitio en las Estaciones Sismológicas de las Regiones Metropolitana y de Valparaíso*. IX Congreso Chileno de Ingeniería Geotécnica, Valdivia, Chile.
- MATLAB. (2018). (R2018a). Natick, Massachusetts: The MathWorks Inc. Obtenido de <http://www.mathworks.com/products/matlab/>
- Molnar, S., Cassidy, J., Castellaro, S., Cornou, C., Crow, H., Hunter, J., . . . Yong, A. (2018). Application of Microtremor Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio (MHVSR) Analysis for Site Characterization: State of the Art [Aplicación de Razón Espectral Horizontal-Vertical de Microvibraciones. Análisis para Caracterización de Sitio: Estado del Arte]. *Surv Geophys*.
- Nakamura, Y. (1989). A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface using Microtremor on the Ground Surface [Un Método para la Estimación de las Características Dinámicas del Subsuelo usando Microvibraciones en la Superficie del Suelo]. *Quarterly Report of Railway Technical Research*(30), 25-33.
- Newmark, N. M. (1959). A Method of Computation for Structural Dynamics [Un Método de Computación para Dinámica Estructural]. *Journal of the Engineering Mechanics Division*, 85(3), 67-94.
- ONEMI. (2018). *Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior*. Obtenido de <http://www.onemi.cl/>
- Otarola, C. (2015). Generación de Acelerogramas Artificiales usando un Método Estocástico de Falla Finita, Aplicado a Terremotos de Subducción. [Tesis de Magíster]. Departamento de Geofísica, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Santiago, Chile.
- RENADIC. (2018). *Red de Cobertura Nacional de Acelerógrafos del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Chile*. Obtenido de <http://www.terremotosuchile.cl/>
- Ruiz, R., & Taflanidis, A. (2018). *Uncertainty Quantification [Cuantificación de Incertidumbres]*. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile & Universidad de Notre Dame.
- Silva, R. (2017). Generación de Acelerogramas Sintéticos del Terremoto de Tohoku en Japón Considerando Efectos de Sitio. [Tesis de Pregrado]. Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Santiago, Chile.
- Taylor, D. (2007). *Calibración del modelo del puente Marga Marga considerando variación espacial del movimiento sísmico a nivel de cepa y estribo*. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad de Chile.

- United States Geological Survey (USGS). (2018). *20 Largest Earthquakes in the World*. Recuperado el 14 de Septiembre de 2018, de <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/browse/largest-world.php>
- United States Geological Survey (USGS). (2020). *Ring of Fire*. Recuperado el 15 de Junio de 2020, de <https://pubs.usgs.gov/gip/dynamic/fire.html>
- Yamazaki, F., & Ansary, M. (1997). Horizontal-to-Vertical Spectrum Ratio of Earthquake Ground Motion for Site Characterization. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 26(7), 671-689.
- Zhao, J., Irikura, K., Zhang, J., Fukushima, Y., Somerville, P., Asano, A., . . . Ogawa, H. (2006). An Empirical Site-Classification Method for Strong-Motion Stations in Japan Using H/V Response Spectral Ratio [Un Método Empírico para la Clasificación de Sitio para Estaciones de Movimiento Fuerte en Japón usando razones espectrales de respuesta H/V]. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 96(3), 914-925.

# Anexos

## Anexo A - Catálogo de Estaciones

**Tabla 18.- Base de Datos de Estaciones (Parte 1).**

Estación	Localización [m, n, m]		Referencia	Estado	VQ(10) [m/s]	T <sup>*</sup>	P <sup>*</sup>	Ec [m/s]	Clasificación de Subest.	Idioma	Geología	Fabricante	Equipos	Canal 1	Canal 2	Canal 3
	Latitud	Longitud							IVSimp	IVSimp			Modelo			
A01C	27.073	-70.827	ESTADOMUNICIPALDE CALDERA	ACTIVA	748	H					Pt m		Epienor FBA- Basalt Serial 1458	E	N	Z
A01P	23.640	-70.396	SERVUJALANTOPAGASTA	ACTIVA							Qbav		Epienor FBA- Basalt Serial 1494			
A01R	18.219	-69.321	REIN CHUCUO	ACTIVA	248		0.52	3			Mg		Epienor FBA- Basalt Serial 1503			
A02C	44.728	-72.683	TENENCA-PUECO GUSMES	ACTIVA							Jg		Epienor FBA- Basalt Serial 1260			
A02F	23.101	-70.849	CAMPING CORO	ACTIVA							Pt m		Epienor FBA- Basalt Serial 1299	E	N	Z
A02P	17.935	-69.477	TENENCA MISIONES	ACTIVA							ORGR		Epienor FBA- Basalt Serial 1489			
A03C	27.262	-70.774	REGANIMUNICIPAL DE SAN VICENTE	ACTIVA	648		6.71	3			Pt m		Epienor FBA- Basalt Serial 1052			
A03F	23.453	-70.441	AEROPUERTO CERRO MORINO	ACTIVA							Qb		Epienor FBA- Basalt Serial 1178	E	N	Z
A03P	18.497	-69.154	REIN GUALATHE	ACTIVA							PP11		Epienor FBA- Basalt Serial 1272			
A04C	45.573	-72.078	SERVUJALANTOPAGASTA	ACTIVA	534		1.13	3			Ql		Epienor FBA- Basalt Serial 1223	E	N	Z
A04F	23.667	-70.401	AERODROMO DE CHAMONATE	ACTIVA	483		1.6	1			Qf		Epienor FBA- Basalt Serial 1176	E	N	Z
A05P	18.834	-69.784	HOSPITAL MILITAR DE ANTOFAGASTA	ACTIVA	632		6.3	2			ORGR		Epienor FBA- Basalt Serial 1268			
A05C	27.361	-70.340	REIN COPAPO	ACTIVA	444						Qf		Epienor FBA- Basalt Serial 1312	E	N	Z
A05F	22.891	-69.321	REIN COPAPO	ACTIVA	446						MP1C		Epienor FBA- Basalt Serial 1240	E	N	Z
A05P	18.486	-70.301	SUBCOMISARIA FUERZAS ESPECIALES (FEE)	ACTIVA	208		0.78	2			Ql p1		Epienor FBA- Basalt Serial 1270	E	N	Z
A06C	27.349	-70.348	3RA COMISARIA CHILE CHICO	ACTIVA	483		5.81	2			Qf		Epienor FBA- Basalt Serial 1386	E	N	Z
A06F	23.344	-69.658	TELECOM COPAPO	ACTIVA	500		2.5	1			MP1C		Epienor FBA- Basalt Serial 1291			
A06P	18.770	-70.293	TENENCA MARIANA	ACTIVA	444		2.51	3			Qf		Epienor FBA- Basalt Serial 1251			
A07C	27.374	-70.318	4TA COMISARIA DE GUARAPUNDE	ACTIVA	444		2.51	3			Qf		Epienor FBA- Basalt Serial 1082			
A07F	21.628	-69.551	REGANIMUNICIPAL DE SAN VICENTE	ACTIVA	560						MP11		Epienor FBA- Basalt Serial 1491			
A07P	18.446	-70.293	REIN GUALATHE	ACTIVA	226		0.33	3			Qf		Epienor FBA- Basalt Serial 1538			
A07Y	43.773	-72.955	SUBCOMISARIA CHINGONORO	ACTIVA	2127						Mg		Epienor FBA- Basalt Serial 1228			
A08C	27.360	-70.338	REIN PAUL MARIN BALMACEDA	ACTIVA	997						Qf		Epienor FBA- Basalt Serial 1532	E	N	Z
A08F	23.186	-68.906	TRANSET- BRELAT	ACTIVA	444						Qb		Epienor FBA- Basalt Serial 1153			
A08P	18.480	-70.351	CLUB DE VOTOS	ACTIVA	500						Qf		Epienor FBA- Basalt Serial 1532			
A09C	28.575	-70.753	ESTADOMUNICIPAL DE CHALARA	ACTIVA	531						MP1C		Epienor FBA- Basalt Serial 1522	E	N	Z
A09F	23.826	-67.482	HOSPITAL PENUCAL DE HUASCO	ACTIVA	1054						Qf		Epienor FBA- Basalt Serial 1150	E	N	Z
A09P	18.480	-70.325	REIN LAGO	ACTIVA	483						Qf		Epienor FBA- Basalt Serial 1265			
A09Y	44.747	-72.214	MUSEO DEL MORRO	ACTIVA	483						Ql		Epienor FBA- Basalt Serial 1186			
A10C	28.580	-70.758	RECINTO AOP VILLA AMBAGUAL	ACTIVA	352						Qf		Epienor FBA- Basalt Serial 1376	E	N	Z
A10F	25.411	-70.484	ESTADOMUNICIPAL DE VALLENAR	ACTIVA	352						Qf		Epienor FBA- Basalt Serial 1056			
A10P	18.480	-70.297	3RA COMISARIA TACNA	ACTIVA	404		1.4	3			Qf		Epienor FBA- Basalt Serial 1261			
A11C	18.400	-70.353	SODIMAC ARICA	ACTIVA	804						ORGR		Epienor FBA- Basalt Serial 1413	E	N	Z
A11F	21.628	-69.551	REGANIMUNICIPAL DE SAN VICENTE	ACTIVA	402						MP1C		Epienor FBA- Basalt Serial 1442			
A11P	18.479	-70.271	AERODROMO VALLENAR SECTOR SUR	ACTIVA	560						Qbav		Epienor FBA- Basalt Serial 1555	E	N	Z
A11Y	48.479	-72.271	REIN RIO LOAJUANANI	ACTIVA	402		1.89	1			Qf		Epienor FBA- Basalt Serial 1181	E	N	Z
A12C	28.594	-70.557	SUBSTACION ELECTRICA CERRO CHUÑO	ACTIVA	560		2.2	1			MP1C		Epienor FBA- Basalt Serial 1443	E	N	Z
A12F	27.496	-68.902	SUBCOMISARIA VILLA O'HIGGINS	ACTIVA	531						Qb		Epienor FBA- Basalt Serial 1443			
A12P	18.452	-70.057	AERODROMO VALLENAR SECTOR NORTE	ACTIVA	474						MP1C		Epienor FBA- Basalt Serial 1555	E	N	Z
A13C	27.496	-68.902	REIN PISCOCHILE	ACTIVA	350						Qbav		Epienor FBA- Basalt Serial 1428	E	N	Z
A13F	27.049	-70.156	ESTADOMUNICIPAL DE COPIPILLA	ACTIVA	350						Qf		Epienor FBA- Basalt Serial 1428			
A13P	18.519	-70.179	REIN SAN MIGUEL DE AZARA	ACTIVA	531		1.3	1			Qf		Epienor FBA- Basalt Serial 1269	E	N	Z
A14C	26.342	-70.612	ESTADOMUNICIPAL DE CHAMARAL	ACTIVA	474						MP1C		Epienor FBA- Basalt Serial 1311	E	N	Z
A14F	22.093	-70.200	ESTACIONAMIENTO MUNICIPALIDAD DE TOCOPILLA	ACTIVA	474		0.42	2			Qf		Epienor FBA- Basalt Serial 1160			
A14P	18.351	-70.316	AEROPUERTO CHACALUITA	ACTIVA	350						PP1C		Epienor FBA- Basalt Serial 1262	E	N	Z
A15C	26.392	-70.048	BOMBOS DE DIEGO DE ALMAGRO	ACTIVA	350		1.1	2			Qb		Epienor FBA- Basalt Serial 1525	E	N	Z
A15F	23.704	-70.431	UNIVERSIDAD DE ANTOFAGASTA	ACTIVA	350						Qf		Epienor FBA- Basalt Serial 1435	E	N	Z
A15P	18.472	-69.313	REIN SAN VICENTE	ACTIVA	404						MP1C		Epienor FBA- Basalt Serial 1413	E	N	Z
A16C	22.108	-70.210	ESCUELA ALEJANDRO OCHOA	ACTIVA	531						Qb		Epienor FBA- Basalt Serial 1236			
A16F	19.160	-70.180	ESCUELA ALEJANDRO OCHOA	ACTIVA	531						Qb		Epienor FBA- Basalt Serial 1315			
A16P	26.753	-69.906	TEHRINGA DE CARRETERAS CLOVA	ACTIVA	531						Qf		Epienor FBA- Basalt Serial 1320	E	N	Z
A17C	27.460	-68.919	REIN ENCAÑA DEL ORO	ACTIVA	1170						Qf		Epienor FBA- Basalt Serial 1239	E	N	Z
A17F	27.460	-68.919	PISCINA MUNICIPAL CALAMA	ACTIVA	1170						Qf		Epienor FBA- Basalt Serial 1466			
A17P	18.853	-69.143	SALAR DE SUFRE	ACTIVA	1170						Qf		Epienor FBA- Basalt Serial 1183			
A18C	27.503	-70.887	BARRONDUILLATERRONS PARTICULARES DEL SR. IVANCIJO	ACTIVA	57						Qf		Epienor FBA- Basalt Serial 1466			
A18F	27.457	-68.929	PISCALCACHAMA	ACTIVA	57						Qf		Epienor FBA- Basalt Serial 1398	E	N	Z
A18P	18.139	-69.282	REGIMIENTON° 4 TUCUMANILCO	ACTIVA	57						Qf		Epienor FBA- Basalt Serial 1297	E	N	Z

Tabla 19.- Base de Datos de Estaciones (Parte 2).

Estación	Localización		Referencia	Estado	V30 (m/s)	T <sup>*</sup>	P <sup>*</sup>	F <sub>0</sub> [Hz]	Clasificación de Suelos			Geología	Fabricante	Equipos	Canales	
	Latitud	Longitud							Im.s.n.m.l	IVSbamp	Tn				NMI	NCH33
A19C	-27.830	-70.108	955	ACTIVA	507	SVI A	2.5				QI		Epensor/FBA- Basit Serial 1379	E	N	Z
A19E	-23.489	-70.412	102	ACTIVA		SVI B					QI		Epensor/FBA- Basit Serial 1180	E	N	Z
A19P	-18.493	-70.299	375	ACTIVA	727						QI		Epensor/FBA- Basit Serial 1266	E	N	Z
A20C	-27.617	-69.343	3747	ACTIVA							KIC		Epensor/FBA- Basit Serial 1498	E	N	Z
A20F	-22.454	-68.910	2296	ACTIVA		SVI C					QI		Epensor/FBA- Basit Serial 973	E	N	Z
A20P	-16.448	-69.881	1667	ACTIVA							PII C		Epensor/FBA- Basit Serial 1323	E	N	Z
A21C	-28.083	-71.148	15	ACTIVA							TJg		Epensor/FBA- Basit Serial 1378	E	N	Z
A21E	-25.408	-70.488	10	ACTIVA							QI		Epensor/FBA- Basit Serial 1373	E	N	Z
A22C	-28.755	-70.486	800	ACTIVA		SVI B					QI		Epensor/FBA- Basit Serial 1365	E	N	Z
A22F	-22.909	-68.201	2450	ACTIVA							MO3		Epensor/FBA- Basit Serial 1273	E	N	Z
A23C	-28.973	-70.216	3290	ACTIVA		SVI B					QI		Epensor/FBA- Basit Serial 1372	E	N	Z
A23F	-27.337	-68.651	2534	ACTIVA		SVI B					QI		Epensor/FBA- Basit Serial 1177	E	N	Z
A24C	-29.098	-70.461	1605	ACTIVA		SVI C					QI		Epensor/FBA- Basit Serial 1380	E	N	Z
A24F	-27.610	-70.263	536	ACTIVA							QI		Epensor/FBA- Basit Serial 1238	E	N	Z
A25C	-28.955	-70.896	813	ACTIVA		SVI A					MP1C		Epensor/FBA- Basit Serial 1524	E	N	Z
A25F	-27.226	-68.257	3756	ACTIVA							PII C		Epensor/FBA- Basit Serial 1216	E	N	Z
A26C	-25.227	-71.010	780	ACTIVA							JK3		Epensor/FBA- Basit Serial 1461	E	N	Z
A26F	-25.109	-70.946	818	ACTIVA							Jg		Epensor/FBA- Basit Serial 1484	E	N	Z
A27C	-27.327	-70.531	398	ACTIVA	473	SVI B	6.7				MP1C		Epensor/FBA- Basit Serial 1392	E	N	Z
A27F	-27.462	-70.322	390	ACTIVA							MP1C		Epensor/FBA- Basit Serial 1516	E	N	Z
A28C	-27.462	-70.242	485	ACTIVA	522	SVI B	6.9				QI		Epensor/FBA- Basit Serial 1516	E	N	Z
A28F	-25.108	-69.527	2706	ACTIVA							PE3		Epensor/FBA- Basit Serial 1229	E	N	Z
A29C	-27.432	-70.240	464	ACTIVA	622						QI		Epensor/FBA- Basit Serial 1384	E	N	Z
A29F	-27.164	-70.682	1209	ACTIVA							MP1C		Epensor/FBA- Basit Serial 1242	E	N	Z
A30C	-27.070	-70.820	411	ACTIVA	1572						PII m		Epensor/FBA- Basit Serial 1385	E	N	Z
AC01	-26.148	-70.599	346	ACTIVA							CPg		Guarip CME5T Sensor/Qua terra 330 Linear Phase Com	E	N	Z
AC02	-26.836	-69.129	3980	ACTIVA							MP1C		Guarip CME5T Sensor/Qua terra 330 Linear Phase Com	E	N	Z
AC03	-27.239	-70.746	321	ACTIVA							PII m		Guarip CME5T Sensor/Qua terra 330 Linear Phase Com	E	N	Z
AC04	-26.205	-71.074	249	ACTIVA		SVI A					plano		Guarip CME5T Sensor/Qua terra 330 Linear Phase Com	E	N	Z
AC05	-26.836	-70.274	1287	ACTIVA							QI		Guarip CME5T Sensor/Qua terra 330 Linear Phase Com	E	N	Z
AC06	-27.357	-70.355	380	ACTIVA	1246						QI		CWG-5T, DC1.100 x, 0.255 V/m/A**2, 4 g clip level	E	N	Z
ACA	-18.479	-70.307		ACTIVA									QDR			
ACER	-18.479	-70.308		ACTIVA									KINEMETRICS			
ACER	-18.479	-70.308		ACTIVA	432						C		5MA-1.5015	L	T	Z
ACHA	-18.315	-70.314		ACTIVA							F*		ETNA 2797	E	N	Z
ACO	-18.471	-70.313		ACTIVA	389						C		5MA-1.5004	L	T	Z
ACOS	-18.471	-70.311		ACTIVA									QDR			
ACRU	-18.491	-70.311		ACTIVA							III		ETNA 2796	E	N	Z
AP01	-27.952	-68.179	2442	ACTIVA							Q3		Epensor, DC to 200 Hz, 20V differential full s	E	N	Z
AS	-33.467	-70.652		ACTIVA									SS42			
AT0D	-26.285	-70.101		RETIRADO									QDR			
AM0	-31.158	-70.159		ACTIVA									QDR			
AM0	-31.158	-70.159		RETIRADO							D		QDR 760	T	L	Z
AM0	-31.021	-71.544		ACTIVA	315								ETNA			
ANT0	-23.681	-70.411		ACTIVA									ETNA 2803	E	N	Z
ANT0	-23.681	-70.411		ACTIVA									Epensor, DC to 200 Hz, 20V differential full s	E	N	Z
ANTU	-33.569	-70.634	640	ACTIVA									Epensor, DC to 200 Hz, 20V differential full s	E	N	Z
AP01	-18.371	-70.342	31	ACTIVA	335	SVI B	0.53				Q1		Epensor, DC to 200 Hz, 20V differential full s	E	N	Z
ARIC	-18.482	-70.313		ACTIVA							plano		ETNA 8.15	N	E	Z
ARIE	-18.493	-70.312		ACTIVA							IV		ETNA			
ARH	-18.483	-70.314		RETIRADO							III		ETNA			
AV01	-44.421	-72.648	9	ACTIVA							VI		CWG-5T, DC1.100 x, 0.255 V/m/A**2, 4 g clip level	E	N	Z
AV02	-46.484	-73.195	79	ACTIVA	308						Mg		CWG-5T, DC1.100 x, 0.255 V/m/A**2, 4 g clip level	E	N	Z
AV03	-47.253	-72.591	206	ACTIVA	274						Q1		CWG-5T, DC1.100 x, 0.255 V/m/A**2, 4 g clip level	E	N	Z
				ACTIVA							DC4		CWG-5T, DC1.100 x, 0.255 V/m/A**2, 4 g clip level	E	N	Z



Tabla 21.- Base de Datos de Estaciones (Parte 4).

Estación	Localización		Elevación (m.s.n.m.)	Referencia	Estado	Clasificación de Sismos					Geología	Fabricante	Equipos		Cables		
	Latitud	Longitud				V30 (m/s)	T <sub>1</sub>	P <sub>1</sub>	F <sub>0</sub> (Hz)	Th (NM)			NCH433	Idini	Modelo	Chal1	Chal2
C160	-23.879	-71.271	34	ESCUELA CAJAL SAN PEDRO	ACTIVA				1.3					Episensor/FBA-Basitl Serial 1271	E	N	Z
C170	-23.904	-71.238	73	REGIMIENTO DE INFANTERIA N° 21	ACTIVA									Episensor/FBA-Basitl Serial 1377	E	N	Z
C180	-30.278	-70.669	1239	REFERENCIADO	ACTIVA									Episensor/FBA-Basitl Serial 1377	E	N	Z
C190	-30.278	-71.239	73	REFERENCIADO	ACTIVA									Episensor/FBA-Basitl Serial 1377	E	N	Z
C200	-30.283	-71.239	73	HOSPITAL SAN CARLOS COLIMBARO	ACTIVA				1.24					Episensor/FBA-Basitl Serial 1377	E	N	Z
C210	-31.869	-71.493	76	CENTRO EDUCACIONAL SEMILLAS ESCUELOS	ACTIVA				1.25					Episensor/FBA-Basitl Serial 1249	E	N	Z
C220	-24.966	-71.351	36	UNIVERSIDAD CATOLICA DEL NORTE (GUAYACAN)	ACTIVA									Episensor/FBA-Basitl Serial 1249	E	N	Z
C230	-31.784	-70.970	458	ESTADIO MUNICIPAL DE SAMANCA	ACTIVA				2.1					Episensor/FBA-Basitl Serial 1415	E	N	Z
C240	-29.955	-71.301	11	6TA COMPAÑIA DE BOMBEROS DE FERRETIAS	ACTIVA									Episensor/FBA-Basitl Serial 1440	E	N	Z
C250	-31.944	-70.610	1137	ESCUELA BASICA DE BATICLO	ACTIVA				0.77					Episensor/FBA-Basitl Serial 1423	E	N	Z
C260	-30.259	-71.490	10	CAMPAMENTO DIRECCION VIALIDAD TONGOV	ACTIVA									Episensor/FBA-Basitl Serial 1426	E	N	Z
C270	-29.384	-70.745	1683	ESCUELA RURAL BASICA LOS MORROS	ACTIVA				1.87					Episensor/FBA-Basitl Serial 1424	E	N	Z
C280	-29.290	-71.308	50	POSTA DE PUEBLO DE CHORO	ACTIVA									Episensor/FBA-Basitl Serial 1427	E	N	Z
C290	-30.601	-71.201	197	GOBIERNO DEL LIMARI (OVALLE)	ACTIVA				1.1					Episensor/FBA-Basitl Serial 1419	E	N	Z
C300	-30.855	-70.707	903	ESCUELA SANTA BERNARDITA DE PEDREGAL	ACTIVA				6.51					Episensor/FBA-Basitl Serial 1429	E	N	Z
C330	-29.911	-71.251	30	ESTADIO LA PORTADA LA SERENA	ACTIVA				3.2					Episensor/FBA-Basitl Serial 1249	E	N	Z
CALA	-22.459	-68.930		Calama Hospital	ACTIVA									ETNA 2804	E	N	Z
CALD	-27.073	-70.825		Calama Hospital	ACTIVA									QDR	E	N	Z
CAU	-36.000	-72.220		Guaqueñes	ACTIVA									QDR	E	N	Z
CBCH	-32.427	-71.069		Cabildo	ACTIVA									QDR	E	N	Z
CCHZ	-36.603	-72.078	123	CHILLAN	ACTIVA									Episensor 200 Hz 2.5 Volt per g/Quanterra 330 Line	L	T	Z
CCHC	-33.425	-70.614			ACTIVA									K2			
CCSP	-36.844	-73.109	84	CONCEPCION SAN PEDRO	ACTIVA									Episensor 200 Hz 5 Volt per g/MM Rock Actual w.5			
CHAT	-18.315	-70.314			ACTIVA									ETNA			
CHIL	-36.604	-72.104		Chillán Viejo	ACTIVA									ETNA			
C001	-29.977	-70.094	2157	JUNTAS DEL TORO	ACTIVA									QDR			
C002	-31.204	-71.000	1190	COMBARBALA	ACTIVA				4.22					QDR			
C003	-30.839	-70.689	1003	EL PEDREGAL	ACTIVA									QDR			
C004	-31.043	-70.975	2401	LOS PEALEBROS	ACTIVA									QDR			
C005	-29.919	-71.238	101	LA SERENA	ACTIVA									QDR			
C006	-30.674	-71.635	246	FRAY JORGE	ACTIVA									QDR			
COLB	-35.720	-71.430		Colbun	ACTIVA									QDR			
CONB5	-36.822	-73.060		Constitución 1385	RETIRADO									QDR			
CONB5	-35.300	-73.320		Concepción Colegio Inmaculada Concepción	ACTIVA									QDR			
CONC	-36.828	-73.049		Concepción Plaza	ACTIVA									QDR			
CONC2	-36.828	-73.048		Concepción Plaza	ACTIVA									QDR			
CONC2	-36.828	-73.048		Concepción Plaza	ACTIVA									QDR			
CONC2	-36.828	-73.048		Concepción Plaza	ACTIVA									QDR			
COP	-35.340	-72.406		Constitución Hospital	ACTIVA									QDR			
COP	-27.374	-70.322		Copapa Hospital	ACTIVA									QDR			
COP1	-27.374	-70.322		Copapa Hospital	ACTIVA									QDR			
COPC	-45.573	-72.081	235	CODIAHUQUE	ACTIVA									QDR			
CRMA	-33.509	-70.771		Maipo Centro de Referencia de Salud	RETIRADO									QDR			
CSCH	-33.321	-71.411		Casa Blanca Teatro Municipal	ACTIVA									QDR			
CURI	-34.990	-71.237		Cura	ACTIVA									QDR			
CUY	-19.160	-70.180		Cura	ACTIVA									QDR			
CUYA	-19.160	-70.180		Cura	ACTIVA									QDR			
CVCB	-34.768	-71.116		Convento Viejo	ACTIVA									QDR			
DG01	-33.456	-70.662	609	BODEGA DGF MULTIPARAMETRICA	ACTIVA									QDR			
DGF	-33.470	-70.670		Geofisica Uchile	ACTIVA									QDR			
END	-33.450	-70.670		Santiago Endesa	ACTIVA									QDR			
FAR1	-33.338	-70.259	2770	FAR1	ACTIVA									QDR			
FCFW	-33.457	-70.663		Civil Uchile	ACTIVA									QDR			
FSR	-33.479	-70.694	781	FALDA DE SAN RAMON	ACTIVA									QDR			
RUBA	-20.135	-69.735		Fuerte Baquedano	ACTIVA									QDR			
G001	-19.669	-69.194	3809	CHUSMIZA	ACTIVA									QDR			

Tabla 22.- Base de Datos de Estaciones (Parte 5).

Estación	Localización		Elevación (m.s.n.m.)	Referencia	Estado	Clasificación de Sismos				Geología	Fabricante	Modelo	Cables						
	Latitud	Longitud				V30 (m/s)	T* P*	Fo (Hz)	IVSbamp				Th (NM)	NCH33	Idini	Chal1	Chal2	Chal3	
G002	-25.163	-69.590	2550	MINA GUANACO	ACTIVA														
G003	-27.594	-70.235	730	COPILPO(TERRAAMARILLA)	ACTIVA														
G004	-30.173	-70.799	2076	TOLOO OBSERVATORY, VICUMA	ACTIVA														
G005	-35.010	-71.930	488	HUALANE	ACTIVA														
G006	-39.584	-71.472	1258	CURRREHUE(PIASO MANMUIL MALU)	ACTIVA														
G007	-43.114	-73.664	178	MILLADEO HILL, QUELON	ACTIVA														
G008	-48.465	-72.557	1000	VILLA OHIGGINS	ACTIVA														
G009	-51.271	-72.338	372	CERRO CASTILLO	ACTIVA														
G010	-53.155	-71.050	652	PUNTA ARENAS	ACTIVA														
H001	-23.570	-70.379		PLATE BOUNDARY (Humberstone)	ACTIVA														
H002	-20.278	-69.888	1152		ACTIVA														
H003	-34.165	-70.743			RETIRADO														
H004	-33.501	-70.579		Puente Alto Hospital Sotero del Rio	RETIRADO														
H005	-33.578	-70.581			ACTIVA														
H006	-33.501	-70.579		Peñalolen Hospital Luis Tiram	ACTIVA														
H007	-19.996	-69.767		HUALANE	ACTIVA														
H008	-34.976	-71.806		HUALANE	RETIRADO														
H009	-34.970	-71.820		Hualane 1985	ACTIVA														
H010	-34.976	-71.806		Hualane Hospital	ACTIVA														
H011	-19.996	-69.767		Hualane	ACTIVA														
H012	-31.683	-71.168		Hualane	ACTIVA														
H013	-31.680	-71.170		Hualane	ACTIVA														
H014	-34.970	-72.220		Hualane	ACTIVA														
H015	-20.252	-70.132		Hualane Escuela Chilpana	RETIRADO														
H016	-20.252	-70.132		Hualane Escuela Chilpana	ACTIVA														
H017	-20.252	-70.132		Hualane Escuela Chilpana	ACTIVA														
H018	-20.252	-70.132		Hualane Escuela Chilpana	ACTIVA														
H019	-20.252	-70.132		Hualane Escuela Chilpana	ACTIVA														
H020	-20.252	-70.132		Hualane Escuela Chilpana	ACTIVA														
H021	-20.252	-70.132		Hualane Escuela Chilpana	ACTIVA														
H022	-20.252	-70.132		Hualane Escuela Chilpana	ACTIVA														
H023	-20.252	-70.132		Hualane Escuela Chilpana	ACTIVA														
H024	-20.252	-70.132		Hualane Escuela Chilpana	ACTIVA														
H025	-20.252	-70.132		Hualane Escuela Chilpana	ACTIVA														
H026	-20.252	-70.132		Hualane Escuela Chilpana	ACTIVA														
H027	-20.252	-70.132		Hualane Escuela Chilpana	ACTIVA														
H028	-20.252	-70.132		Hualane Escuela Chilpana	ACTIVA														
H029	-20.252	-70.132		Hualane Escuela Chilpana	ACTIVA														
H030	-20.252	-70.132		Hualane Escuela Chilpana	ACTIVA														
H031	-20.252	-70.132		Hualane Escuela Chilpana	ACTIVA														
H032	-20.252	-70.132		Hualane Escuela Chilpana	ACTIVA														
H033	-20.252	-70.132		Hualane Escuela Chilpana	ACTIVA														
H034	-20.252	-70.132		Hualane Escuela Chilpana	ACTIVA														
H035	-20.252	-70.132		Hualane Escuela Chilpana	ACTIVA														
H036	-20.252	-70.132		Hualane Escuela Chilpana	ACTIVA														
H037	-20.252	-70.132		Hualane Escuela Chilpana	ACTIVA														
H038	-20.252	-70.132		Hualane Escuela Chilpana	ACTIVA														
H039	-20.252	-70.132		Hualane Escuela Chilpana	ACTIVA														
H040	-20.252	-70.132		Hualane Escuela Chilpana	ACTIVA														
H041	-20.252	-70.132		Hualane Escuela Chilpana	ACTIVA														
H042	-20.252	-70.132		Hualane Escuela Chilpana	ACTIVA														
H043	-20.252	-70.132		Hualane Escuela Chilpana	ACTIVA														
H044	-20.252	-70.132		Hualane Escuela Chilpana	ACTIVA														
H045	-20.252	-70.132		Hualane Escuela Chilpana	ACTIVA														
H046	-20.252	-70.132		Hualane Escuela Chilpana	ACTIVA														
H047	-20.252	-70.132		Hualane Escuela Chilpana	ACTIVA														
H048	-20.252	-70.132		Hualane Escuela Chilpana	ACTIVA														
H049	-20.252	-70.132		Hualane Escuela Chilpana	ACTIVA														
H050	-20.252	-70.132		Hualane Escuela Chilpana	ACTIVA														
H051	-20.252	-70.132		Hualane Escuela Chilpana	ACTIVA														
H052	-20.252	-70.132		Hualane Escuela Chilpana	ACTIVA														
H053	-20.252	-70.132		Hualane Escuela Chilpana	ACTIVA														
H054	-20.252	-70.132		Hualane Escuela Chilpana	ACTIVA														
H055	-20.252	-70.132		Hualane Escuela Chilpana	ACTIVA														
H056	-20.252	-70.132		Hualane Escuela Chilpana	ACTIVA														
H057	-20.252	-70.132		Hualane Escuela Chilpana	ACTIVA														
H058	-20.252	-70.132		Hualane Escuela Chilpana	ACTIVA														
H059	-20.252	-70.132		Hualane Escuela Chilpana	ACTIVA														
H060	-20.252	-70.132		Hualane Escuela Chilpana	ACTIVA														
H061	-20.252	-70.132		Hualane Escuela Chilpana	ACTIVA														
H062	-20.252	-70.132		Hualane Escuela Chilpana	ACTIVA														
H063	-20.252	-70.132		Hualane Escuela Chilpana	ACTIVA														
H064	-20.252	-70.132		Hualane Escuela Chilpana	ACTIVA														
H065	-20.252	-70.132		Hualane Escuela Chilpana	ACTIVA														
H066	-20.252	-70.132		Hualane Escuela Chilpana	ACTIVA														
H067	-20.252	-70.132		Hualane Escuela Chilpana	ACTIVA														
H068	-20.252	-70.132		Hualane Escuela Chilpana	ACTIVA														
H069	-20.252	-70.132		Hualane Escuela Chilpana	ACTIVA														
H070	-20.252	-70.132		Hualane Escuela Chilpana	ACTIVA														
H071	-20.252	-70.132		Hualane Escuela Chilpana	ACTIVA														
H072	-20.252	-70.132		Hualane Escuela Chilpana	ACTIVA														
H073	-20.252	-70.132		Hualane Escuela Chilpana	ACTIVA														
H074	-20.252	-70.132		Hualane Escuela Chilpana	ACTIVA														
H075	-20.252	-70.132		Hualane Escuela Chilpana	ACTIVA														
H076	-20.252	-70.132		Hualane Escuela Chilpana	ACTIVA														
H077	-20.252	-70.132		Hualane Escuela Chilpana	ACTIVA														
H078	-20.252	-70.132		Hualane Escuela Chilpana	ACTIVA														
H079	-20.252	-70.132		Hualane Escuela Chilpana	ACTIVA														
H080	-20.252	-70.132		Hualane Escuela Chilpana	ACTIVA														
H081	-20.252	-70.132		Hualane Escuela Chilpana	ACTIVA														
H082	-20.252	-70.132		Hualane Escuela Chilpana	ACTIVA														
H083	-20.252	-70.132		Hualane Escuela Chilpana	ACTIVA														
H084	-20.252	-70.132		Hualane Escuela Chilpana	ACTIVA														
H085	-20.252	-70.132		Hualane Escuela Chilpana	ACTIVA														
H086	-20.252	-70.132		Hualane Escuela Chilpana	ACTIVA														
H087	-20.252	-70.132		Hualane Escuela Chilpana	ACTIVA														
H088	-20.252	-70.132		Hualane Escuela Chilpana	ACTIVA														
H089	-20.252	-70.132		Hualane Escuela Chilpana	ACTIVA														
H090	-20.252	-70.132		Hualane Escuela Chilpana	ACTIVA														
H091	-20.252	-70.132		Hualane Escuela Chilpana	ACTIVA														
H092	-20.252	-70.132		Hualane Escuela Chilpana	ACTIVA														
H093	-20.252	-70.132		Hualane Escuela Chilpana	ACTIVA														
H094	-20.252	-70.132		Hualane Escuela Chilpana	ACTIVA														
H095	-20.252	-70.132		Hualane Escuela Chilpana	ACTIVA														
H096	-20.252	-70.132		Hualane Escuela Chilpana	ACTIVA														
H097	-20.252	-70.132		Hualane Escuela Chilpana	ACTIVA														
H098	-20.252	-70.132		Hualane Escuela Chilpana															



Tabla 24.- Base de Datos de Estaciones (Parte 7).

Estación	Localización		Referencia	Estado	V30 [m/s]	T*	F*	F0 [Hz]	Clasificación de Suelos		Geología	Equipos		Canales	
	Latitud	Longitud							[m.s.n.m.]	Tn		NM	NM433	Idini	Fabricante
M061	-35.536	-71.486	0	ACTIVA	358		1.15		2		Cl	KINEMETRICS	Episensor FBA- Basalt Serial 1310	E	
M071	-35.092	-72.020	0	ACTIVA							P4b	KINEMETRICS	Episensor FBA- Basalt Serial 1460	E	
M081	-35.998	-72.310	0	ACTIVA	425		2.34		2		Cl	KINEMETRICS	Episensor FBA- Basalt Serial 1515	E	
M091	-35.591	-72.881	0	ACTIVA	400	III	2.56		2		P4b	KINEMETRICS	Episensor FBA- Basalt Serial 1483	E	
M101	-35.843	-72.851	0	ACTIVA	402						Cl	KINEMETRICS	Episensor FBA- Basalt Serial 1084	E	
M111	-35.440	-71.832	100	ACTIVA	482	III	6.87		3		P1R	KINEMETRICS	Episensor FBA- Basalt Serial 1296	E	
M121	-35.431	-71.880	98	ACTIVA	524						P1R	KINEMETRICS	Episensor FBA- Basalt Serial 1296	E	
M131	-35.431	-71.880	98	ACTIVA	524						P1R	KINEMETRICS	Episensor FBA- Basalt Serial 1296	E	
M141	-35.431	-71.880	98	ACTIVA	524	SVI	1.75		2		P1R	KINEMETRICS	Episensor FBA- Basalt Serial 1445	E	
M151	-35.240	-72.432	120	ACTIVA	329		6.74				Cl	KINEMETRICS	Episensor FBA- Basalt Serial 1445	E	
M161	-35.240	-72.432	120	ACTIVA	302		6.74		1		Cl	KINEMETRICS	Episensor FBA- Basalt Serial 1445	E	
M171	-35.640	-71.594	0	ACTIVA	484		0.35		2		P4b	KINEMETRICS	Episensor FBA- Basalt Serial 1529	E	
M181	-35.824	-70.995	0	ACTIVA							Cl	KINEMETRICS	Episensor FBA- Basalt Serial 1462	E	
M191	-35.139	-70.477	0	ACTIVA							Cl	KINEMETRICS	Episensor FBA- Basalt Serial 1456	E	
M202	-35.763	-71.418	237	ACTIVA							Cl	KINEMETRICS	OMG-5T, DC 100 s, 0.255 Vm/s <sup>2</sup> , 4g clip level	E	
MAR	-33.047	-71.510		ACTIVA		VI	F*	banda				KINEMETRICS	ETNA 1215, ODR, SMA-1	N	E
MAR1	-33.048	-71.510		ACTIVA								KINEMETRICS	ETNA	E	
MAR2	-33.047	-71.510		ACTIVA								KINEMETRICS	ETNA	E	
MAR3	-33.048	-71.511		ACTIVA								KINEMETRICS	ETNA	E	
MAT	-33.961	-71.874		ACTIVA	380							KINEMETRICS	SMA-1	L	T
MBO3	-33.494	-70.510	1087	ACTIVA		VI	F*	banda			OM2c	KINEMETRICS	Episensor 200 Hz 10 Volt per g/Quanterra 330 Linea	E	N
MBO5	-33.392	-70.738	765	ACTIVA		III	D*	0.39			OM2b	KINEMETRICS	Episensor 200 Hz 10 Volt per g/Quanterra 330 Linea	E	N
MBO6	-33.340	-70.643	616	ACTIVA							OM2c	KINEMETRICS	OMG-5T, DC 100 s, 0.255 Vm/s <sup>2</sup> , 4g clip level	E	
MBO7	-23.103	-70.446		RETIRADO								KINEMETRICS	ETNA 2794	E	N
MELP	-33.680	-71.220		ACTIVA		III	D*	0.38				KINEMETRICS	ODR	E	N
MET	-33.514	-70.805		ACTIVA		VI	B	banda				KINEMETRICS	K2-938	E	N
MGO1	-54.932	-67.630	57	ACTIVA							Cl	KINEMETRICS	OMG-5T, DC 100 s, 0.255 Vm/s <sup>2</sup> , 4g clip level	E	
MGO2	-52.781	-69.224	82	ACTIVA							Cl	KINEMETRICS	OMG-5T, DC 100 s, 0.255 Vm/s <sup>2</sup> , 4g clip level	E	
MGO3	-53.848	-70.463	83	ACTIVA							Cl	KINEMETRICS	OMG-5T, DC 100 s, 0.255 Vm/s <sup>2</sup> , 4g clip level	E	
MGO4	-52.857	-71.570	82	ACTIVA							Cl	KINEMETRICS	OMG-5T, DC 100 s, 0.255 Vm/s <sup>2</sup> , 4g clip level	E	
MGO5	-51.678	-72.503	99	ACTIVA							K5imp	KINEMETRICS	ETNA 6.150 full sc	E	N
MGH	-22.758	-70.281		ACTIVA		VI	F*	banda				KINEMETRICS	ETNA	E	N
MGIH	-22.725	-70.282		ACTIVA		IV	D*	0.48				KINEMETRICS	ETNA 6.154	E	N
MICE	-23.080	-70.410		ACTIVA		I	A*	plano				KINEMETRICS	ETNA 6.156	E	N
MIPU	-23.078	-70.385		ACTIVA								KINEMETRICS	Episensor, DC to >200 Hz, SV differential full sc	E	N
MJ02	-35.763	-71.418	237	ACTIVA	469		1.23		1		Cl	KINEMETRICS	Episensor, DC to >200 Hz, SV differential full sc	E	
MN1CX	-19.131	-69.596	2304	ACTIVA		II	B*	0.17			PP1r	GURALP	GFZCX1980/FBA/ST10.0/PE-1	E	N
MOCX	-32.232	-71.507		ACTIVA	300		D					KINEMETRICS	ODR	X	Y
MT01	-33.864	-71.251	310	ACTIVA		VI	F*	banda			CP8	KINEMETRICS	Episensor, DC to >200 Hz, SV differential full sc	E	N
MT02	-33.259	-71.138	323	ACTIVA							Cl	KINEMETRICS	Episensor, DC to >200 Hz, SV differential full sc	E	N
MT03	-33.494	-70.510	1087	ACTIVA							OM2c	KINEMETRICS	Episensor 200 Hz 10 volt per g/Quanterra 330	E	N
MT04	-33.466	-70.136	1922	ACTIVA							OM2c	KINEMETRICS	Episensor, DC to >200 Hz, 20V differential	E	
MT05	-33.392	-70.738	765	ACTIVA		IV	D*	0.45			OM2b	KINEMETRICS	Episensor, DC to >200 Hz, SV differential full sc	T	L
MT07	-32.976	-71.016	2234	ACTIVA							K1ag	KINEMETRICS	OMG-5T, DC 100 s, 0.255 Vm/s <sup>2</sup> , 4g clip level	E	
MT08	-33.405	-70.133	2045	ACTIVA							OM2c	KINEMETRICS	Episensor, DC to >200 Hz, 20V differential	E	
MT09	-33.776	-70.989	1371	ACTIVA		I	A*	plano			K12c	KINEMETRICS	OMG-5T, DC 100 s, 0.255 Vm/s <sup>2</sup> , 4g clip level	T	L
MT10	-33.273	-70.537	1410	ACTIVA							PP1r	KINEMETRICS	Episensor, DC to >200 Hz, 20V differential	E	

Tabla 25.- Base de Datos de Estaciones (Parte 8).

Estación	Localización		[m.s.n.m.]	Referencia	Estado	VSD (m/s)	T*	F <sub>o</sub> [Hz]	Clasificación de Suelos		Grología	Fabricante	Equipos		Canales	
	Latitud	Longitud							HVS/Stamp	Tn, NM			MCH433	Idini	Modelo	Canal 1
MT12	-33.733	-70.549	727	PIROQUE	ACTIVA					Q1			Epensior, DC to 200 Hz, 20V differential fulls			
MT13	-33.744	-70.286	1198	SAN ALFONSO	ACTIVA					Q1			CMG5T, DC 100 s, 0.235 Vm/s <sup>2</sup> , 4g clip level			
MT14	-33.396	-70.536	855	CALANI	ACTIVA					Q1			Epensior, DC to 200 Hz, 20V differential fulls			
MT15	-33.599	-70.506	784	LAS VIZCACHAS	ACTIVA					PI3t			Epensior, DC to 200 Hz, 20V differential fulls			
OR161	-32.904	-71.172		Ormué	ACTIVA	391										
OR162	-32.624	-70.672			ACTIVA											
PAR10	-31.198	-71.611		Plante Amolambas	ACTIVA					C						
PAP	-32.507	-71.449		Espudo	ACTIVA	517				C*	0.24					
PAT	-20.808	-70.194			ACTIVA					B						
PATCX	-20.821	-70.153	832/830	PLATE BOUNDARY (Punta Parache)	ACTIVA					III	C*	0.27				
PB01	-21.043	-69.487	900	PLATE BOUNDARY STATION (Huairacando)	ACTIVA					I	A*	plano				
PB02	-21.320	-69.896	1015	PLATE BOUNDARY STATION	ACTIVA					I	A*	plano				
PB03	-22.048	-69.753	1460	PLATE BOUNDARY STATION (El Tigre)	ACTIVA					I	A*	plano				
PB04	-22.334	-70.749	1520/1530	PLATE BOUNDARY STATION (Mantos de La Luna)	ACTIVA					I	A*	plano				
PB05	-22.853	-70.302	1150	PLATE BOUNDARY STATION (Michilli)	ACTIVA					I	A*	plano				
PB06	-22.706	-69.272	1440	PLATE BOUNDARY STATION (Padre de Valdivia)	ACTIVA					I	A*	plano				
PB07	-21.727	-69.886	1570/1560	PLATE BOUNDARY STATION (Cerro Tatabs)	ACTIVA					I	A*	plano				
PB08	-20.141	-69.153	3060/3070	PLATE BOUNDARY STATION (Macraza)	ACTIVA					I	A*	plano				
PB09	-21.796	-69.242	1530	PLATE BOUNDARY STATION (Oulligua)	ACTIVA					I	A*	plano				
PB10	-23.513	-70.254	250	PLATE BOUNDARY STATION (Luna López)	ACTIVA					I	A*	plano				
PB11	-19.761	-69.656	1400/1410	PLATE BOUNDARY STATION (Quebrada Aricilla)	ACTIVA	1044		0.67		IV	D*	0.65				
PB12	-18.614	-70.328	908	PLATE BOUNDARY STATION (CERRO CARAMACA)	ACTIVA					IV	D*	0.43				
PB13	-18.336	-69.502	4480/4730	PLATE BOUNDARY STATION (Cerro Chapulima)	ACTIVA					IV	D*	0.43				
PB14	-24.628	-70.404	2620	PLATE BOUNDARY STATION (Cerro Parana)	ACTIVA					IV	D*	0.51				
PB15	-23.208	-69.471	1830	PLATE BOUNDARY STATION (Sierra Gorda)	ACTIVA					IV	D*	0.51				
PB16	-28.235	-69.208	4480	PLATE BOUNDARY STATION (Cerro Chapulima)	ACTIVA					IV	D*	0.51				
PB17	-21.534	-68.730	3650	PLATE BOUNDARY STATION (Cerro Chapulima)	ACTIVA					IV	D*	0.51				
PB18	-27.590	-69.480	4109/4155	PLATE BOUNDARY STATION (Liquene)	ACTIVA					PI3t						
PB19	-23.905	-69.391	2480	PICO DE ORO	ACTIVA					PEG						
PIC	-34.387	-72.014			ACTIVA											
PICA	-20.492	-68.330		Pico Hospital	ACTIVA					B*	0.21					
PICH	-34.380	-72.020		Pichimu	ACTIVA	623										
PIS	-19.595	-70.211		Pisagua	ACTIVA					I	A*	plano				
PJEA	-23.076	-70.385			ACTIVA											
POCO	-18.452	-70.067		Pocochile	ACTIVA					VI	B	banda				
PPAT	-20.810	-70.200		Puerto Patente	ACTIVA											
PSGCX	-19.597	-70.223	966	PLATE BOUNDARY STATION (Pisagua)	ACTIVA	1639				I	A	plano				
PUT	-18.195	-69.559		RETRADO	RETRADO											
PUTR	-18.195	-69.559		Putre	ACTIVA											
PX01	-20.764	-69.889	980	IPOC Station Victoria (15 km W of Victoria)	ACTIVA					Hard Rock						
PX02	-18.963	-70.198	990	IPOC STATION QUEBRADA CAMARONES (60 km S of Arica)	ACTIVA					J31						
PX03	-20.403	-69.831	990	IPOC STATION EL HUARANGO (Tirana, Pozo Almonte)	ACTIVA					Qn						
QUIN	-33.170	-71.700		Quina	ACTIVA	595										
ROSA	-33.392	-70.200	523	WALL HORN CULUBA	ACTIVA					Q1						
ROSA	-33.263	-70.200	523	CLUB MARCOLEUBA	ACTIVA	724				Q1						
ROSA	-33.263	-70.200	523	MARCOLEUBA	ACTIVA					Q1						
ROSA	-33.263	-70.200	523	COMANDO DE TELECOMUNICACIONES DEL EJERCITO	ACTIVA					Q1						
ROSA	-33.263	-70.200	523	COMANDO DE TELECOMUNICACIONES DEL EJERCITO	ACTIVA					Q1						
ROSA	-33.263	-70.200	523	ACADEMIA DE GUERRA	ACTIVA	635				Q1						
PX04	-19.903	-70.108	794	IPOC STATION (Caleta Buena)	ACTIVA					Hard Rock						
PX05	-21.940	-70.061	1890	IPOC STATION (Caleta Cochran)	ACTIVA					Hard Rock						



Tabla 27.- Base de Datos de Estaciones (Parte 10).

Estación	Locación		Referencia	Estado	V30 (m/s)	T*	F <sub>0</sub> (Hz)	HVS Ramp	Tr. NM	MCH433	Idmi	Geología	Equipos		Canales		
	Latitud	Longitud											Fabricante	Modelo	Canal 1	Canal 2	Canal 3
TAL	-35.430	-71.665	Talca Colegio Integrado San Pio X	RETIRADO	648					B			KINEMETRICS	SWA-1 4567	L	T	Z
TALA	-33.660	-70.920	Talagante	ACTIVA									KINEMETRICS	ODR 670	T	L	Z
TALFAL	-25.407	-70.486		ACTIVA										SWA-1	E	N	Z
TLL	-30.170	-70.805	TOLOLO	ACTIVA	2260							Ks 3a	Episensor 200 Hz 2.5 Volt per g/Quanterra 330 Line		E	N	Z
TOC	-22.093	-70.201		ACTIVA							plano			SWA-1 6736	L	T	Z
TOCO	-22.090	-70.201	Tocopiella	ACTIVA					I	A*				ETNA 6152	L	T	Z
TOKP	-22.094	-70.209	Tocopiella Puerto	ACTIVA													
TOR	-33.100	-70.750	Las Tórtolas	ACTIVA											NIDE		
V01A	-33.053	-71.622	8VA COMISARIA FLORIDA	ACTIVA	607	sII B	6.04	2	VI	P*	banda	Jsg	KINEMETRICS	Episensor FBA-Basalt Serial 1078	E	N	Z
V02A	-33.023	-71.538	5TA COMISARIA MIRAFLORES	ACTIVA	596	sII C	6.04	2	II	B*	0.14	Jsg	KINEMETRICS	Episensor FBA-Basalt Serial 1138	E	N	Z
V03A	-33.051	-71.439	2DA COMISARIA COQUIPE	ACTIVA	575	sII C	5.5	3	II	A*	0.12	PP1m	KINEMETRICS	Episensor FBA-Basalt Serial 1138	E	N	Z
V04A	-32.251	-70.931	TERENCIA PERDICA	ACTIVA	537				III	D*	0.43	Ks2	KINEMETRICS	Episensor FBA-Basalt Serial 1167	E	N	Z
V05A	-32.970	-71.342	TERENCIA PERDICA	ACTIVA								MP1c		Episensor FBA-Basalt Serial 1167	E	N	Z
V06A	-33.037	-71.833	PRIVILEGIADO SAN FRANCISCO	ACTIVA								Jsg		Episensor FBA-Basalt Serial 1029			
V07A	-33.037	-71.833	PRIVILEGIADO SAN FRANCISCO	ACTIVA	549	sVI B	5.72	1				Jsg		Episensor FBA-Basalt Serial 1152	E	N	Z
V08A	-32.845	-71.669	PRIVILEGIADO SAN FRANCISCO	ACTIVA	344		0.93	3				PP1m		Episensor FBA-Basalt Serial 1190	E	N	Z
V09A	-33.020	-71.550	POBLACION VERGARA OFICINA TRANSITO MUNICIPAL	ACTIVA	212	sIV B	1.75	2	IV	E*	0.7	Oh	KINEMETRICS	Episensor FBA-Basalt Serial 1975	E	N	Z
V10A	-33.048	-71.605	CONGRESO NACIONAL	ACTIVA	837	sVI B	2.05	3	II	A*	0.13	MP1c	KINEMETRICS	Episensor FBA-Basalt Serial 1080	E	N	Z
V11A	-32.756	-70.725	3RA COMISARIA SAN FELIPE	ACTIVA	347							Oh		Episensor FBA-Basalt Serial 1051	E	N	Z
V12A	-32.450	-70.237	DIRECCION DE VIALIDAD MOP LA LIGUA	ACTIVA	357		3.52	3				Jsg		Episensor FBA-Basalt Serial 1089	E	N	Z
V13A	-32.506	-71.442	RETEN PAPUDO	ACTIVA								PP1m		Episensor FBA-Basalt Serial 1087	E	N	Z
V14A	-33.322	-71.410	EDIFICIO SERVICIOS PUBLICOS CASABLANCA	ACTIVA	323		2.05	3				QI		Episensor FBA-Basalt Serial 1072	E	N	Z
V15A	-32.915	-71.233	REGIMIENTO DE CABALLERIA BUINDADA GRANADEROS QUILLOTA	ACTIVA	477		5.6	2				QI		Episensor FBA-Basalt Serial 1070	E	N	Z
V16A	-33.591	-71.605	HOSPITAL IST SAN ANTONIO	ACTIVA	281		0.95	2				QI		Episensor FBA-Basalt Serial 1490	E	N	Z
V17A	-33.605	-71.614	ESTADIO MUNICIPAL DE SAN ANTONIO	ACTIVA	492	sIII C	4.1	3				PP1m		Episensor FBA-Basalt Serial 1082	E	N	Z
V18A	-33.052	-71.338	COMISARIA DE PERABLANCA	ACTIVA	321		2.6	2				QI		Episensor FBA-Basalt Serial 1055	E	N	Z
V19A	-32.846	-70.330	CUARTEL PORTILLO- ESCUELA DE MONTAÑA	ACTIVA								PP1c		Episensor FBA-Basalt Serial 1987			
V20A	-33.641	-78.831	TERENCIA ISLA ROBINSON RUSOE	ACTIVA	733							QI		Episensor FBA-Basalt Serial 1044			
V21A	-32.840	-70.604	ESTADIO MUNICIPAL DE LOS ANDES	ACTIVA	854		8.5	1				Jsg		Episensor FBA-Basalt Serial 1152			
V22A	-33.020	-71.636	ESCUELA NAVAL	ACTIVA								Jsg		Episensor FBA-Basalt Serial 1156			
V23A	-33.031	-71.584	ESTADIO ITALIANO	ACTIVA								Trig		Episensor FBA-Basalt Serial 1526			
V24A	-33.622	-71.613	ESCUELA DE INGENIEROS EJERCITO	ACTIVA													
V01	-33.023	-71.637	TORPEDERAS	ACTIVA	882	sII C	7.49	1	II	B*	0.14	Jsg	KINEMETRICS	CMG-ST, DC 100 s, 0.235 V/m/s <sup>2</sup> , 4g clip level	T	L	Z
V03	-32.764	-70.551	SAN ESTEBAN	ACTIVA	937	sVI A			VI	F*	banda	QI	KINEMETRICS	CMG-ST, DC 100 s, 0.235 V/m/s <sup>2</sup> , 4g clip level	E	N	Z
V04	-33.643	-78.830	JUAN FERNANDEZ	ACTIVA								PP1c		CMG-ST, DC 100 s, 0.235 V/m/s <sup>2</sup> , 4g clip level			
V05	-33.657	-71.614	SANTO DOMINGO	ACTIVA	485	sIV A	2.2	2	IV	D*	0.59	PP1m	KINEMETRICS	CMG-ST, DC 100 s, 0.235 V/m/s <sup>2</sup> , 4g clip level	T	L	Z
V06	-32.561	-71.298	CATAPILCO	ACTIVA								MP1c		CMG-ST, DC 100 s, 0.235 V/m/s <sup>2</sup> , 4g clip level	E	N	Z
V07	-33.048	-71.605	VALPARAISO ALMIRANTE	ACTIVA	360					C			KINEMETRICS	SWA-1 4567	L	T	Z
V08	-33.831	-73.239	Valdivia Hospital	RETIRADO	274					D			KINEMETRICS	ODR 761	T	L	Z
V09	-28.576	-70.755		ACTIVA													
V10	-28.577	-70.755	Valleolar Licoe Santa Maria	ACTIVA	1421					A			KINEMETRICS	ODR	T	L	Z
V11	-33.030	-71.620	Valparaiso UITSM	ACTIVA									KINEMETRICS	SWA-1 6976	L	T	Z
V12	-20.254	-70.134	Ventanas	ACTIVA	331					D			KINEMETRICS	LOG	E	N	Z
V13	-32.730	-71.620	Ventanas	ACTIVA	1215					D					E	N	Z
V14	-31.920	-71.500	Virre del Mar Centro	RETIRADO	273					D			KINEMETRICS	ODR 675	T	L	Z
V15	-33.034	-71.596		ACTIVA										SWA-1	E	N	Z
V16	-32.570	-71.470	Ze pillar	ACTIVA	605					B			KINEMETRICS	ODR	E	N	Z

## Anexo B - Implementación del Modelo MAP

### Anexo B.1 - Correlación de Variables

```
close all
clear all
clc

%% Data de Peaks y Valles

aa = [];
at = [];
ba = [];
bt = [];
ca = [];
ct = [];

%% Coeficientes de correlación

Datos = [at' aa' bt' ba' ct' ca'];
Z = corrcoef(Datos);
Z = abs(Z);

figure
nn = size(Datos);
label = ["A_T", "A_A_m_p", "B_T", "B_A_m_p", "C_T", "C_A_m_p"];
b = bar3(Z);
set(gca, 'XTick', [1:1:nn(2)], 'XTickLabel', label, 'YTick', [1:1:nn(2)], 'YTickLabel', label, 'FontSize', 7)
for k = 1:length(b)
    zdata = b(k).ZData;
    b(k).CData = zdata;
    b(k).FaceColor = 'interp';
end

%% Gráficas

R=[~]; % Vector color rojo
G=[~]; % Vector color verde
B=[~]; % Vector color azul

RGB=[R,G,B];
colormap(RGB)
colorbar
caxis([0 1])
xlabel('Variables a Modelar')
ylabel('Variables a Modelar')
title('Correlación entre variables')
```

## Anexo B.2 - Actualización de Parámetros

A modo de ejemplo, se muestra la implementación para relacionar las variables  $A_{AMP}$  v/s  $B_{AMP}$  para los suelos Categoría II. Como el código es reiterativo para las 11 funciones, sólo se muestra como ejemplo 1 de ellas y luego la parte final obtenidos los 11 procesamientos.

```
clear all
close all
clc

%% Aa vs Ba

ba = [~];
aa = [~];

%%

u_d = ba';
y_d = aa';

labelx = 'B_A_m_p';
labeley = 'A_A_m_p';

u_o = 1:0.01:7; % límite de gráficas
limy = [1 4]; % límite de gráficas
Locat = 'SouthEast';

%% MAXIMIZACION MAP 1-11: a*x^b
M1 = "a*x^b";

% Calculo de p(theta)

mu = [0 0]; % valor medio del prior
s = [100 100]; % desviacion estandar del prior
cov = diag(s.^2) % covarianza del prior
p_theta = @(theta) mvnpdf(theta,mu,cov); %prior PDF

% Calculo de max.

M = length(u_d);
lb = [-100 -100];
ub = [100 100];
theta0 = mu;

h = @(theta,u) theta(1)*u.^theta(2); %black box
J = @(theta,u,y) mean((y-h(theta,u)).^2); %error medio cuadratico
fun = @(theta) - M/2*log(J(theta,u_d,y_d)) - M/2*log(2*pi) - 1/2*M +
log(p_theta(theta)); %log likelihood

myfun = @(theta) -fun(theta);
```

```

[theta_opt_MAP, fval, exitflag, output, lambda, grad_MAP, hessian] =
fmincon(myfun, theta0, [], [], [], [], lb, ub);

% ÓPTIMO

theta1 = theta_opt_MAP
grad1 = grad_MAP

cov_opt_MAP = inv(hessian) % covarianza del posterior
des_opt_MAP = sqrt(diag(cov_opt_MAP)) % desviacion estandar de theta
cof_var_MAP = des_opt_MAP./theta_opt_MAP' % coeficiente variacion

sig2 = J(theta_opt_MAP, u_d, y_d); % varianza del error
sig_MAP = sqrt(J(theta_opt_MAP, u_d, y_d)); % desviacion estandar del error

Log_EV(1) = length(mu)/2*log(2*pi) - fval - 1/2*log(det(hessian));

figure
hold on
box on
grid on
plot(u_d, y_d, 'or')
plot(u_o, h(theta_opt_MAP, u_o), 'b')
plot(u_o, h(theta_opt_MAP, u_o)+1.6449*sig_MAP, '--b')
plot(u_o, h(theta_opt_MAP, u_o)-1.6449*sig_MAP, '--b') % 90% de certeza
xlabel(labelx)
ylim(limy)
ylabel(labely)
title('Obtención de Parámetros (MAP): a*x^b')
legend('Mediciones', '\theta_O_p_t_M_A_P', ['\theta_O_p_t_M_A_P '
char(177) 'e_\theta_O_p_t_M_A_P'], 'Location', Locat)

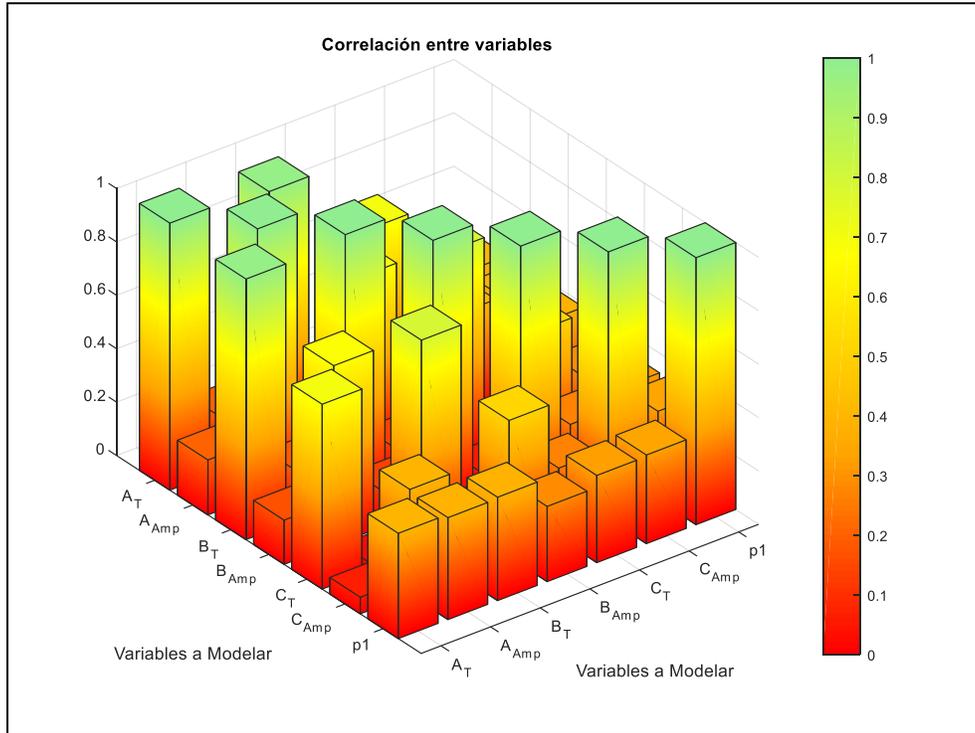
%% Luego de procesadas las 11 funciones:

EV = sum(exp(Log_EV)); % exp(Log_EV(1)) + ... + exp(Log_EV(11))

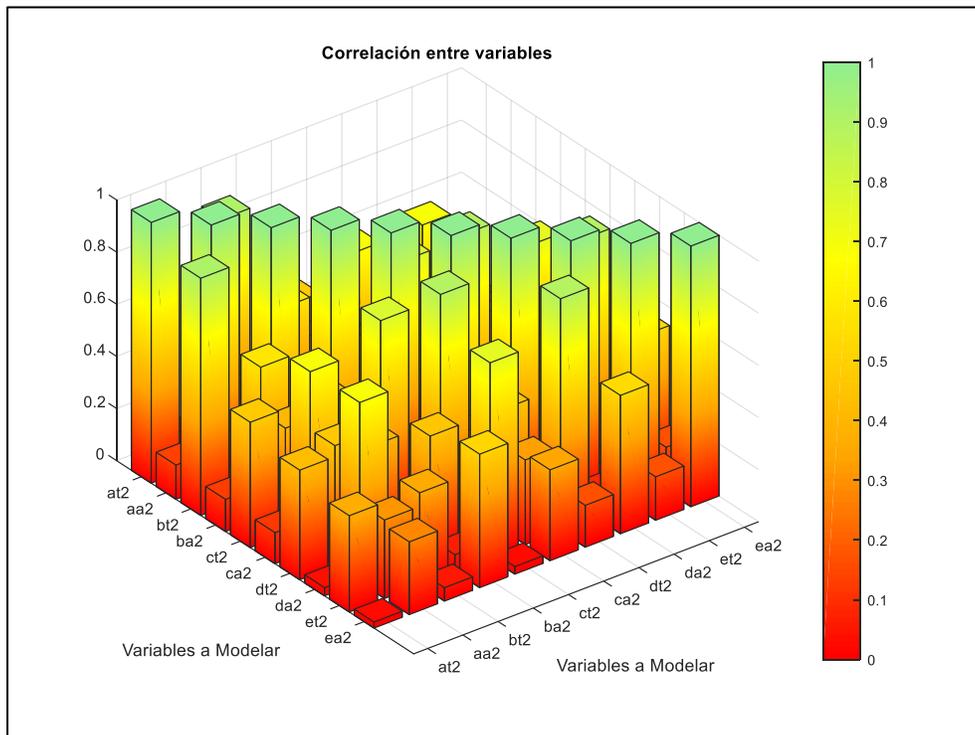
Prob = exp(Log_EV)./EV*100;
Models = [M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11]; % once modelos definidos
MName = ["M1: ", "M2: ", "M3: ", "M4: ", "M5: ", "M6: ", "M7: ", "M8: ", "M9: ",
"M10: ", "M11: "];
Models = strcat(MName', Models)';
ProbFinal = [Models; round(Prob, 2)]' % Probabilidad final de c/modelo [%]

```

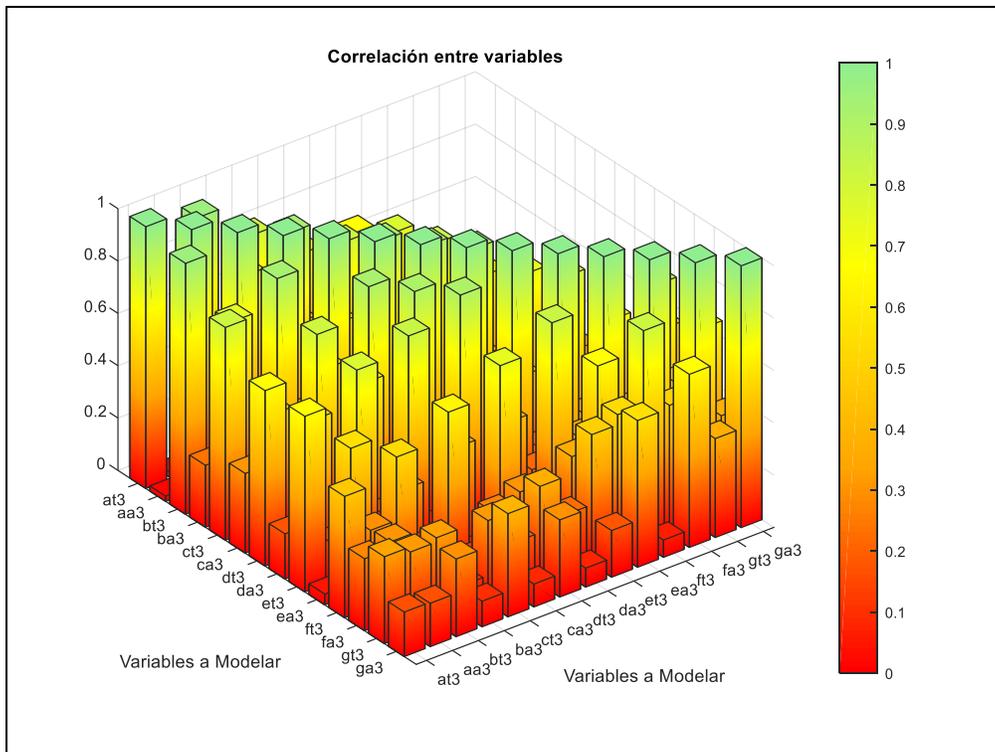
## Anexo C - Correlaciones entre variables para modelamiento



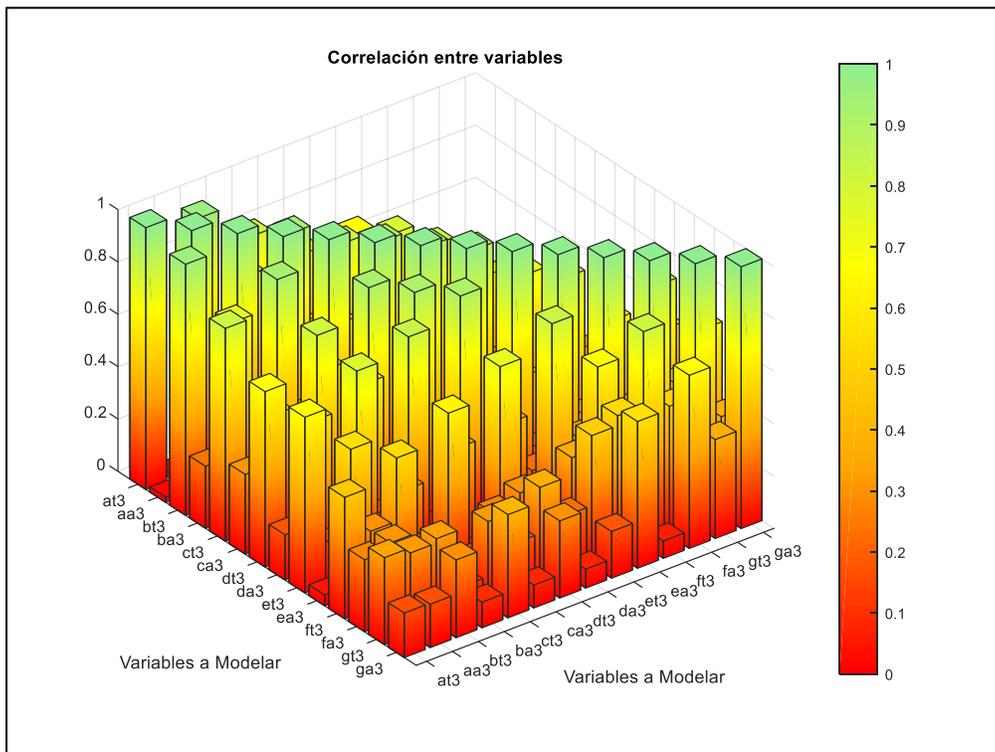
*Figura 64.- Correlación entre parámetros para CII - 1 Peak.*



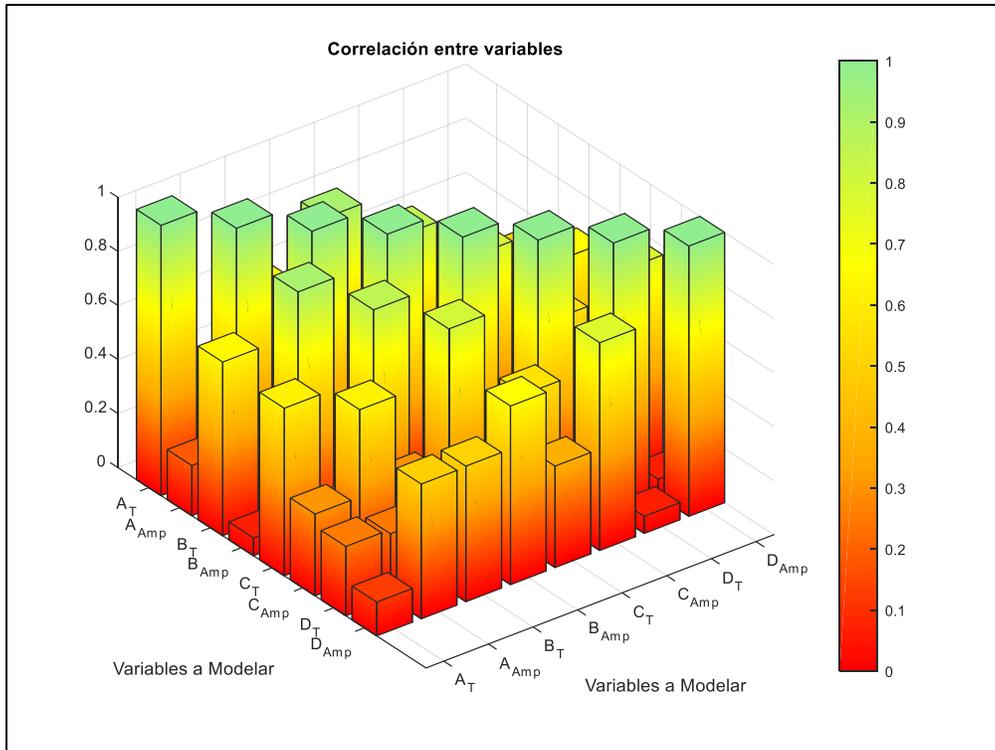
*Figura 65.- Correlación entre parámetros para CIII - 2 Peak.*



**Figura 66.- Correlación entre parámetros para CIII - 3 Peak.**

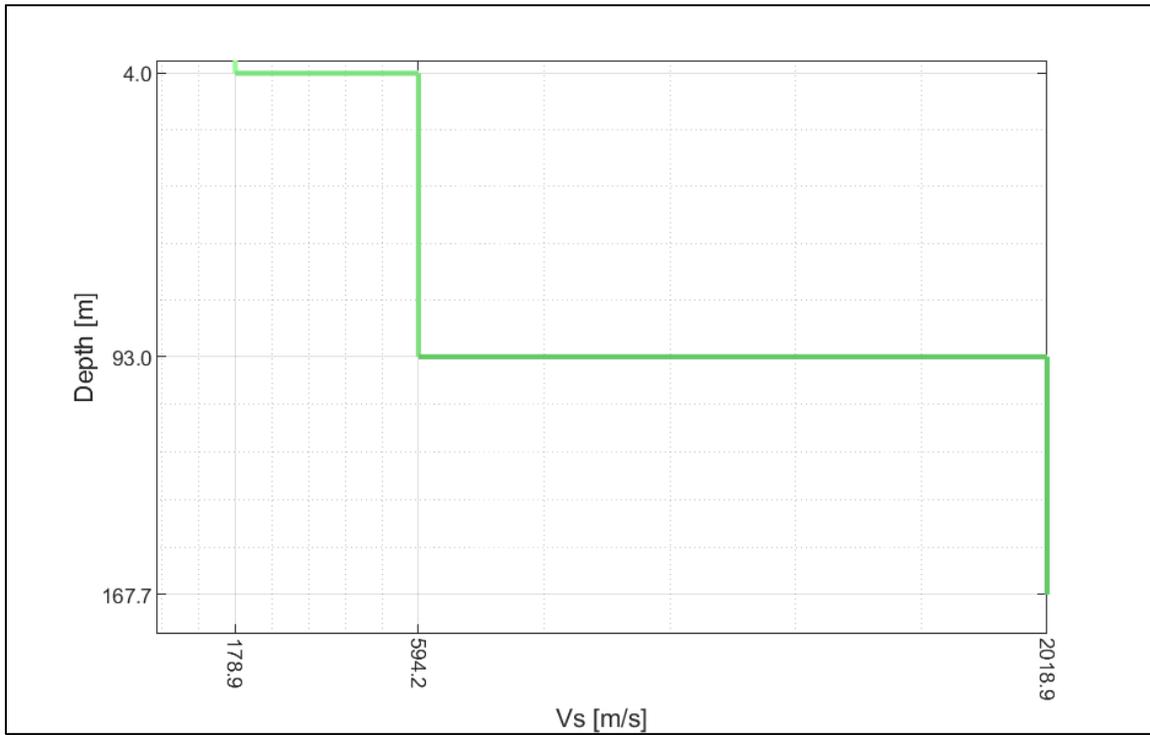


**Figura 67.- Correlación entre parámetros para CIII - 4 Peak.**

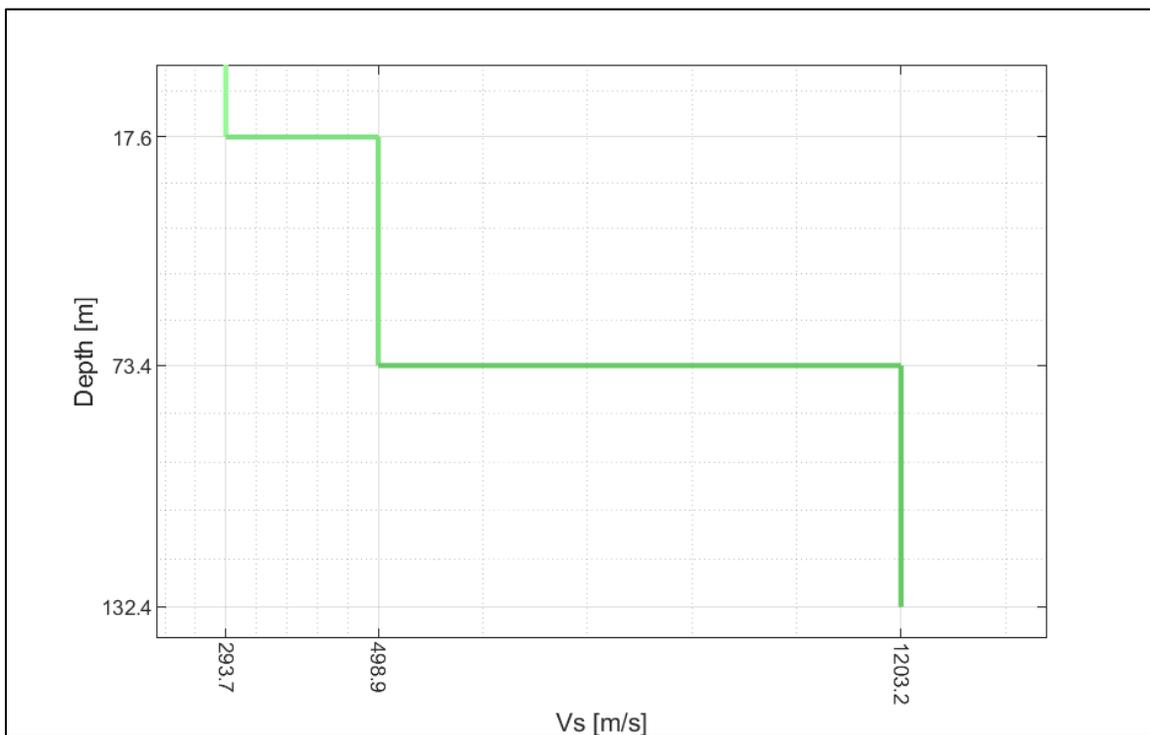


**Figura 68.- Correlación entre parámetros para CIV - Banda Ancha.**

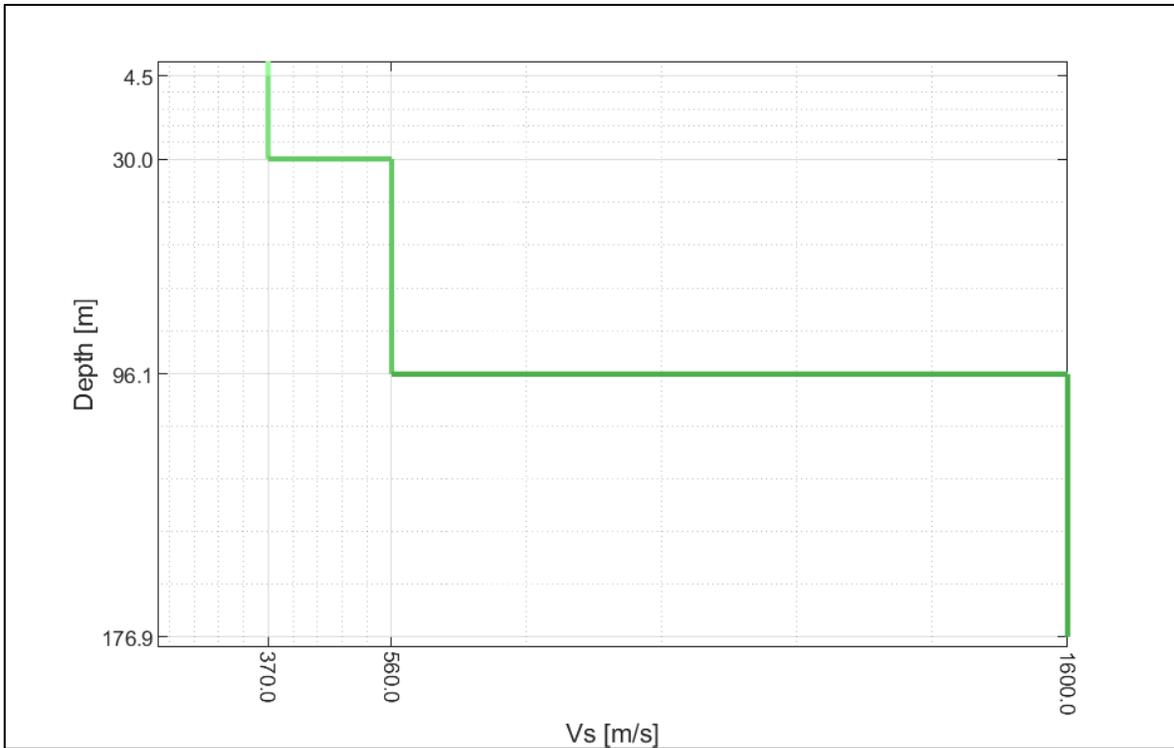
## Anexo D - Perfiles de Velocidad



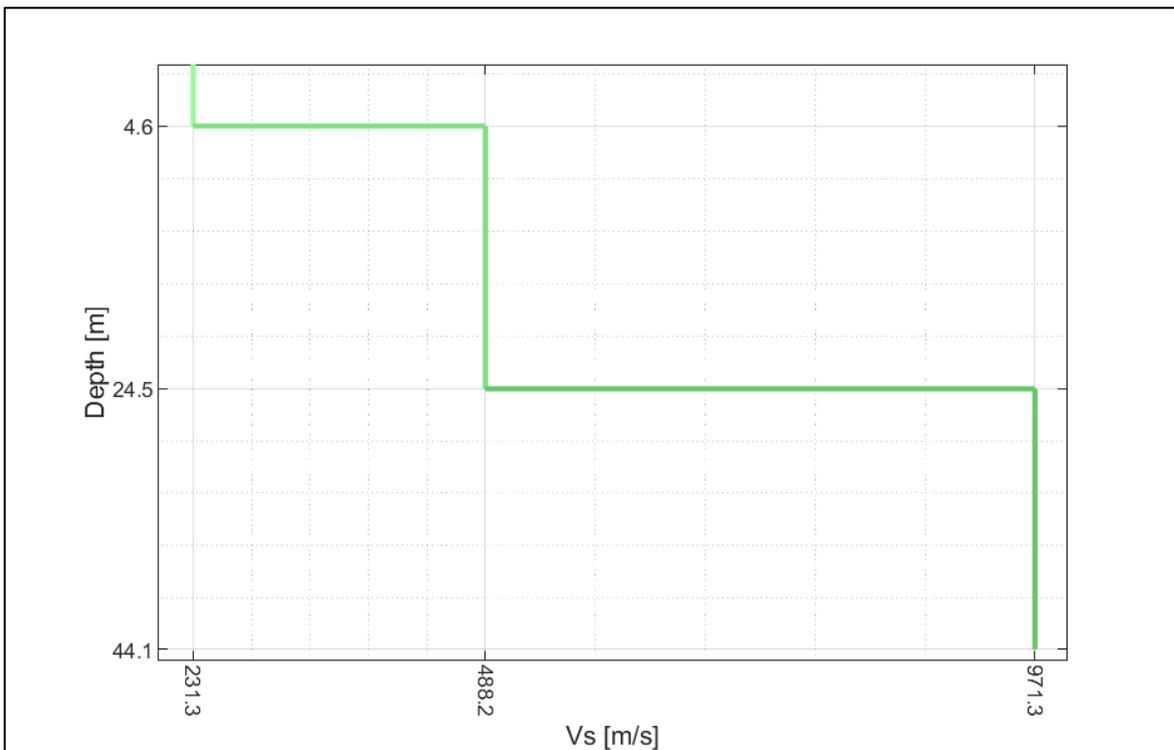
*Figura 69.- Perfil de Velocidades Estación A05P.*



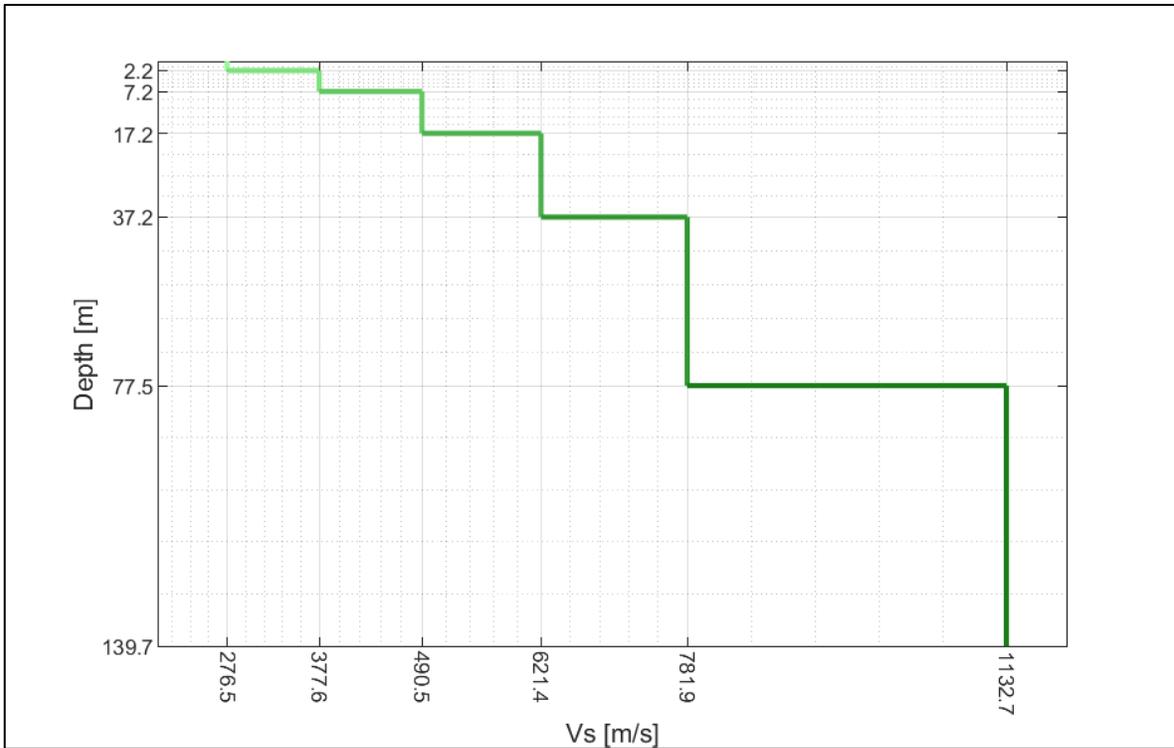
*Figura 70.- Perfil de Velocidades Estación AP01.*



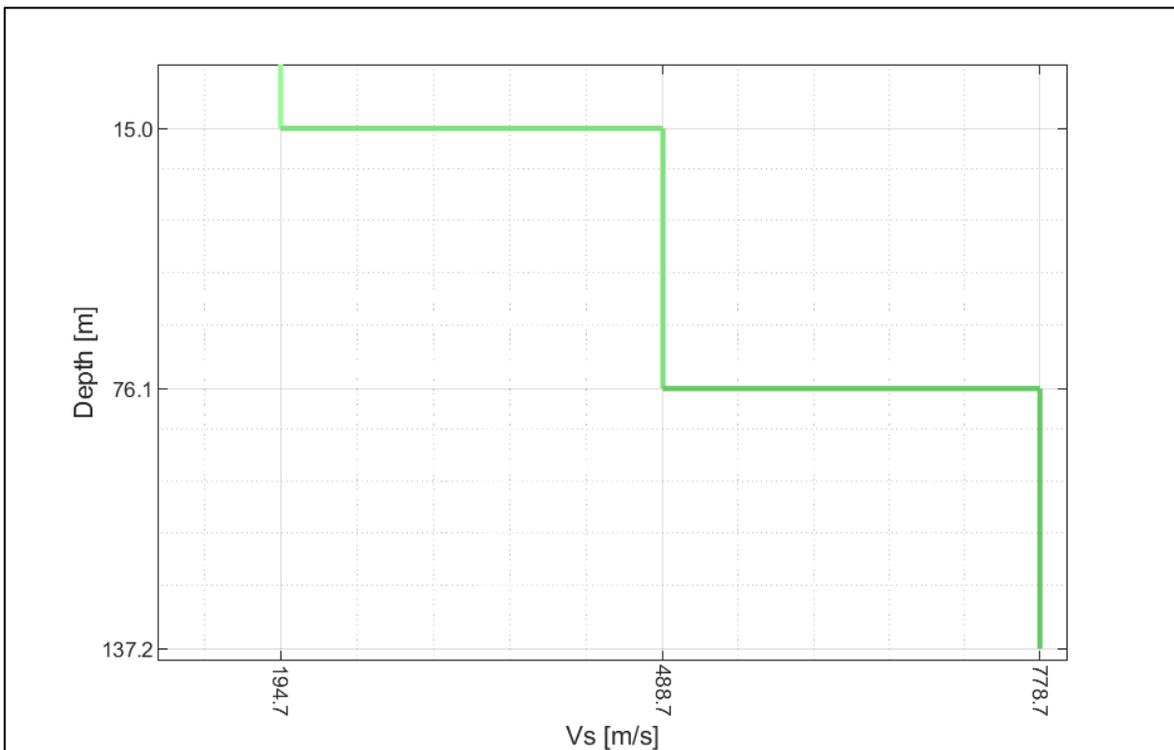
**Figura 71.- Perfil de Velocidades Estación B01I.**



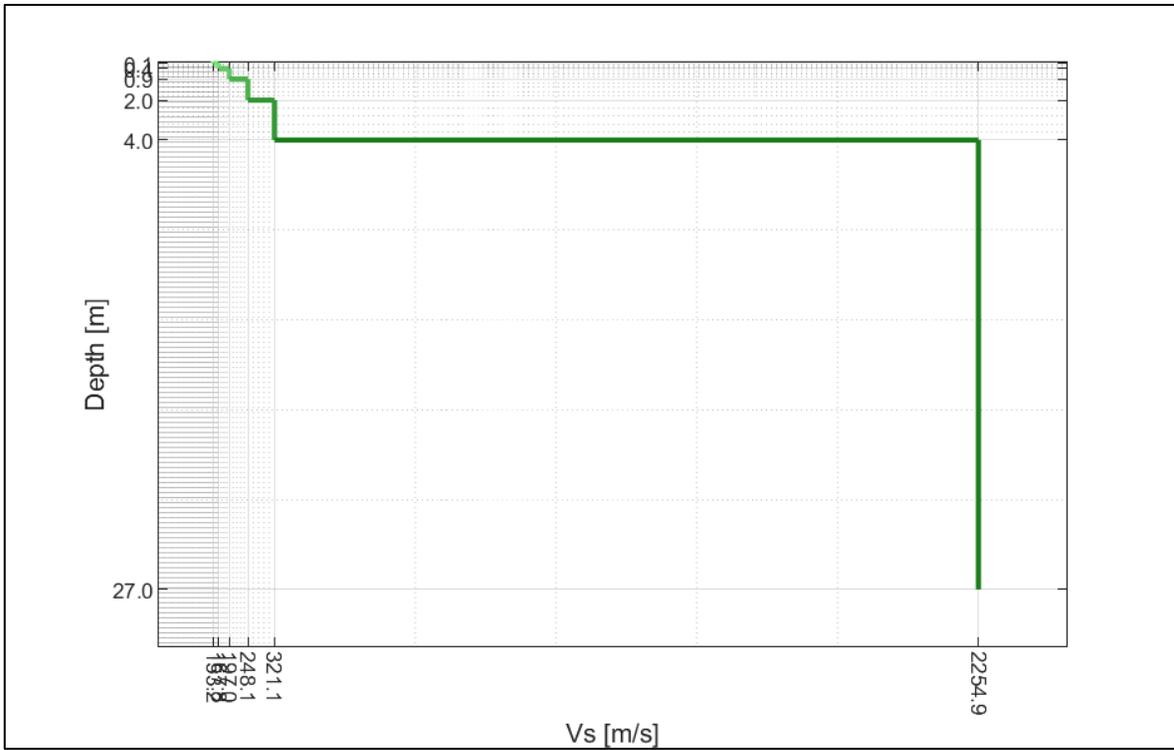
**Figura 72.- Perfil de Velocidades Estación C01O.**



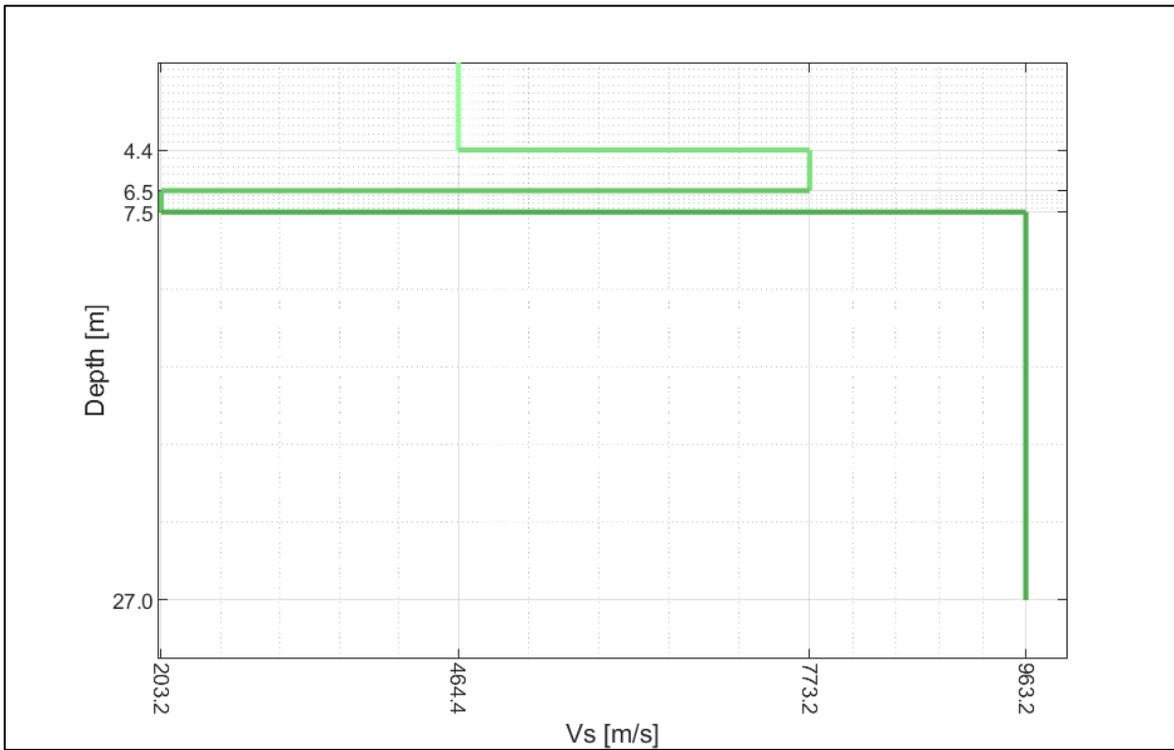
**Figura 73.- Perfil de Velocidades Estación C040.**



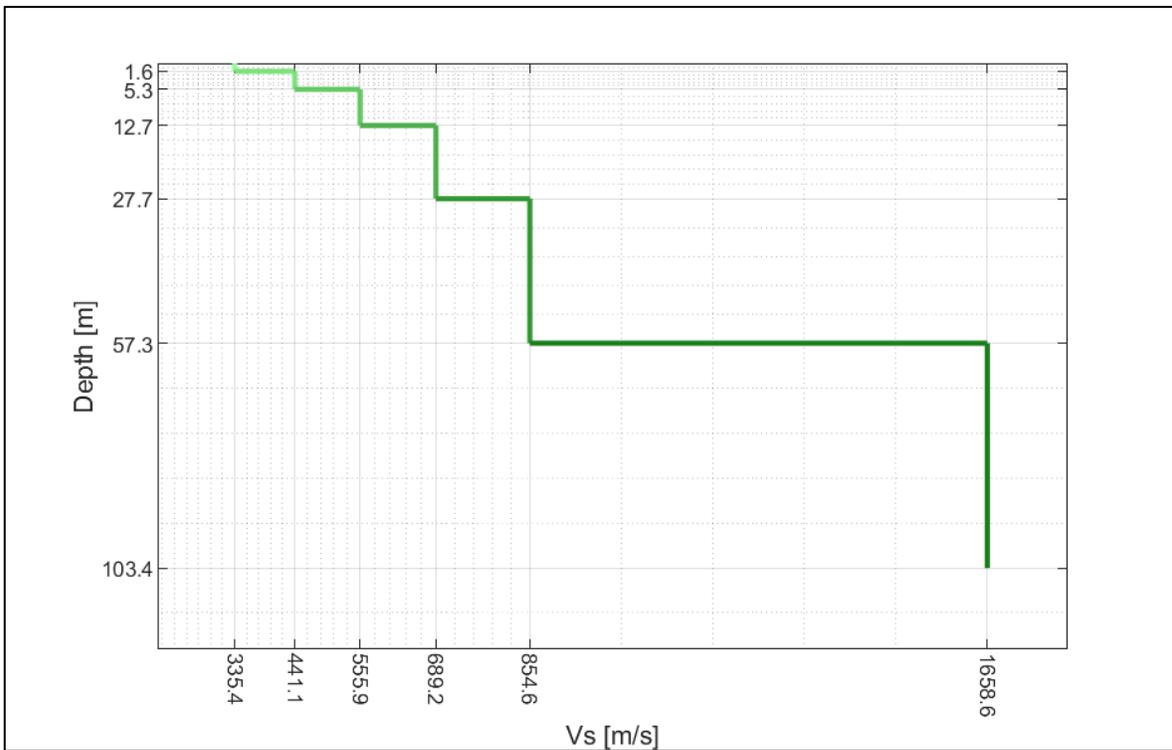
**Figura 74.- Perfil de Velocidades Estación C160.**



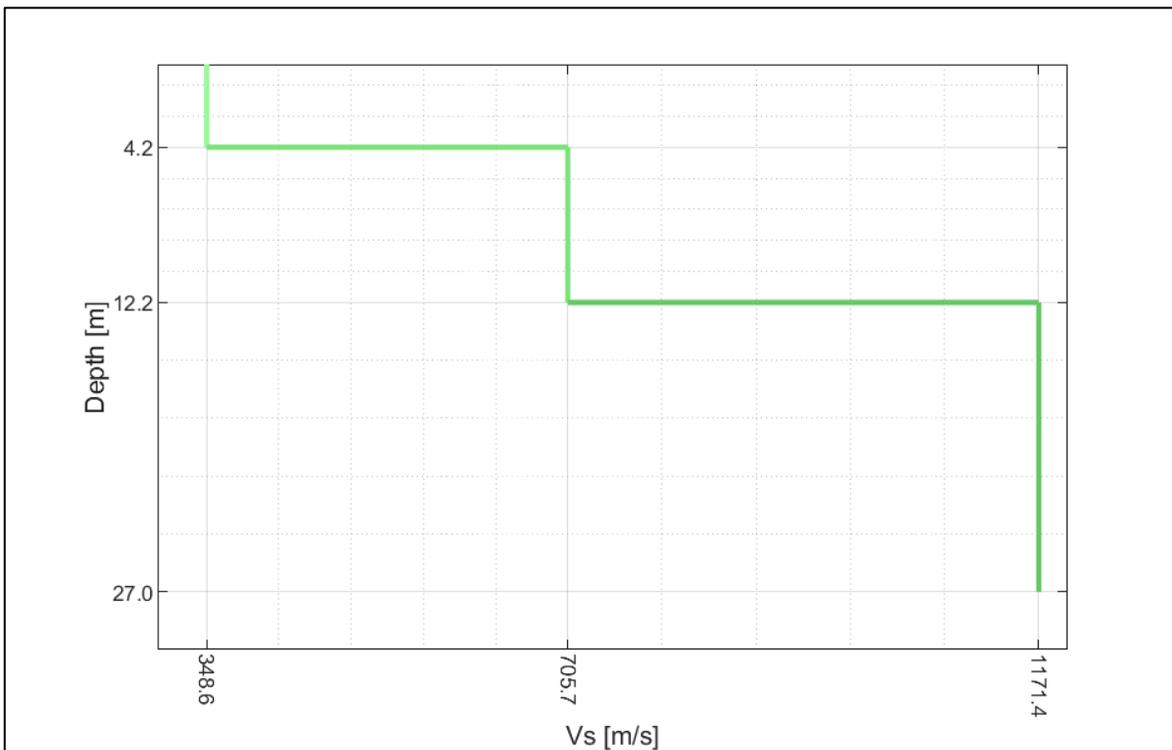
**Figura 75.- Perfil de Velocidades Estación C190.**



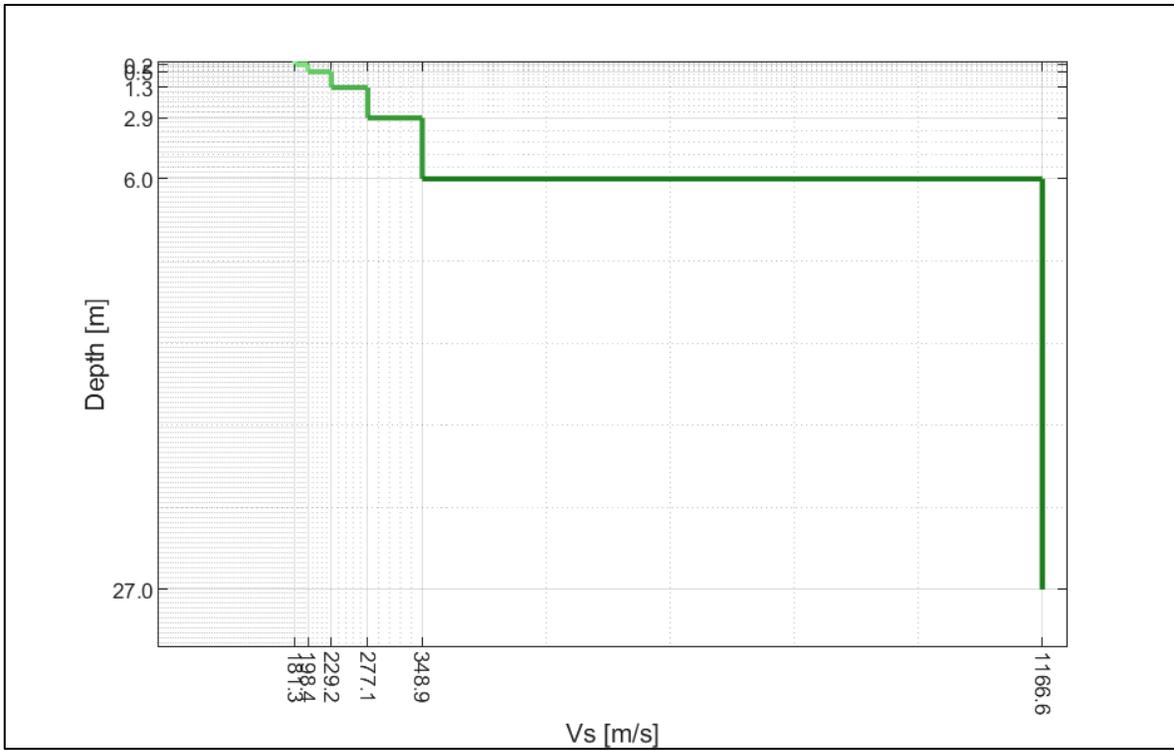
**Figura 76.- Perfil de Velocidades Estación C200.**



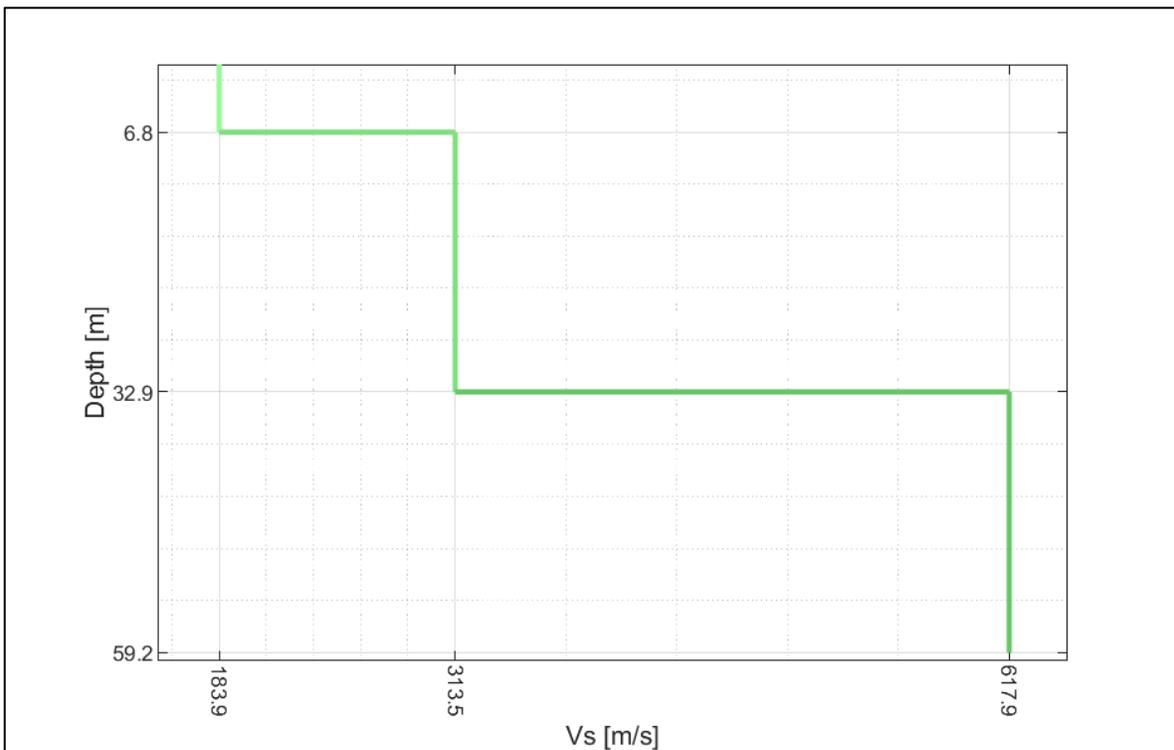
**Figura 77.- Perfil de Velocidades Estación C330.**



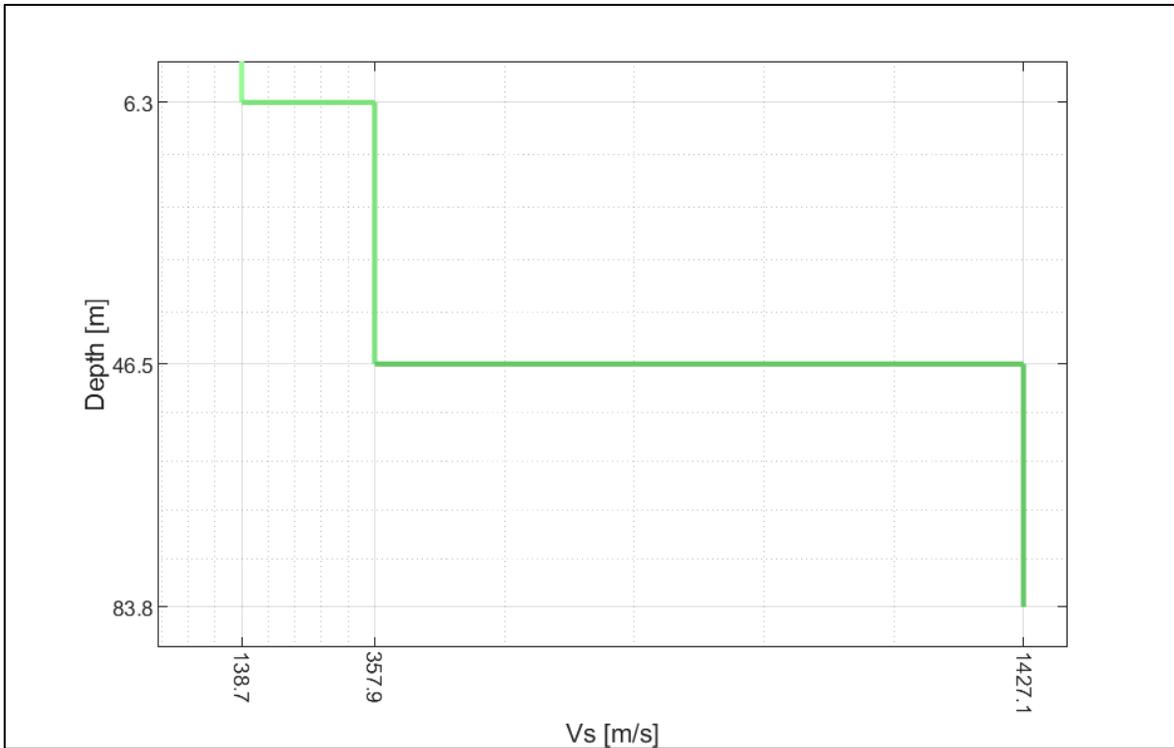
**Figura 78.- Perfil de Velocidades Estación CO05.**



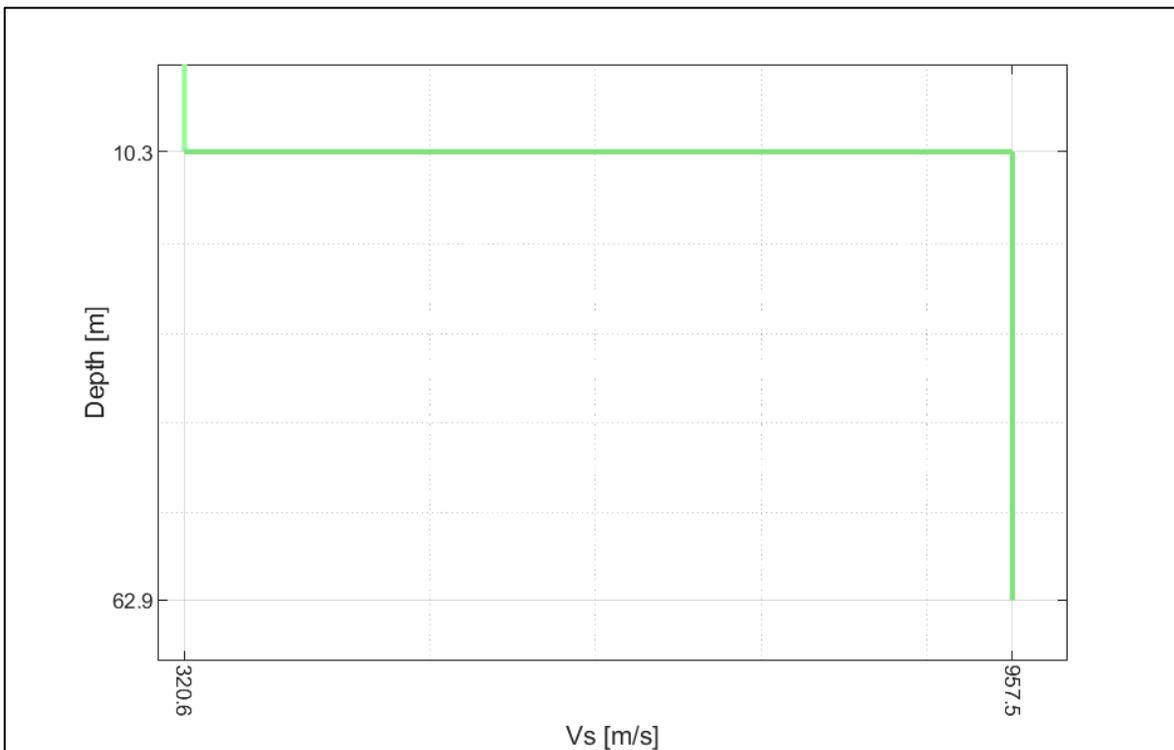
**Figura 79.- Perfil de Velocidades Estación R02M.**



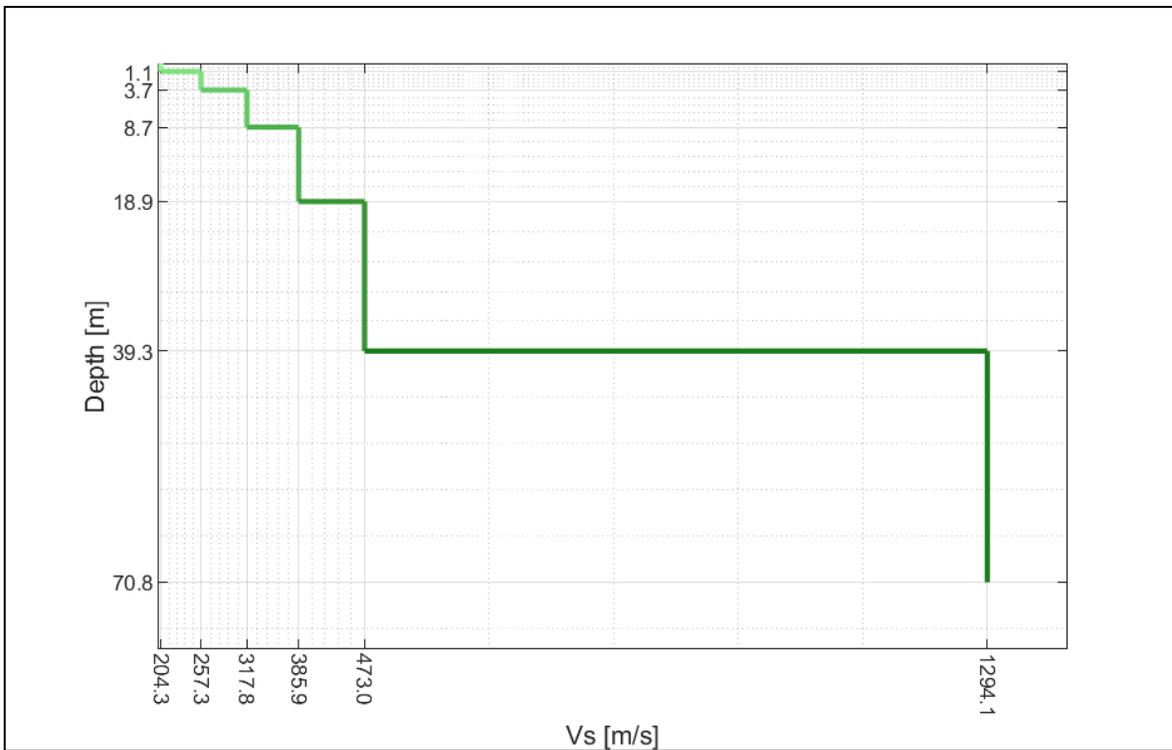
**Figura 80.- Perfil de Velocidades Estación R07M.**



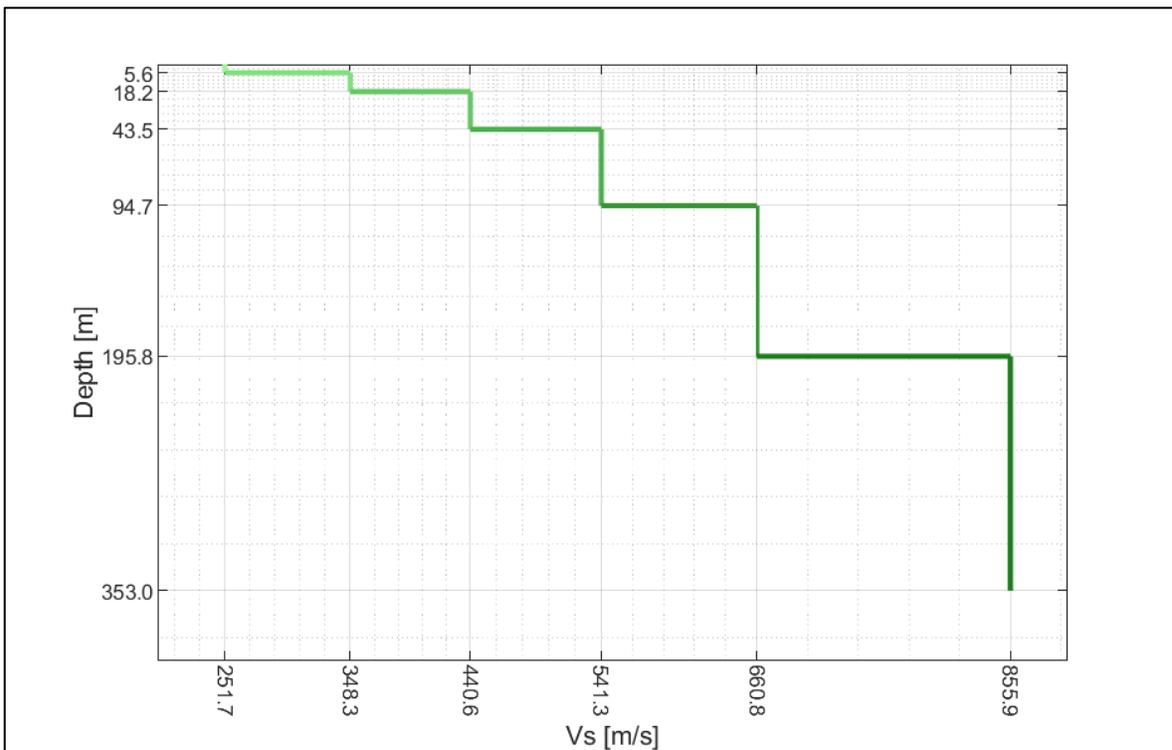
**Figura 81.- Perfil de Velocidades Estación R12M.**



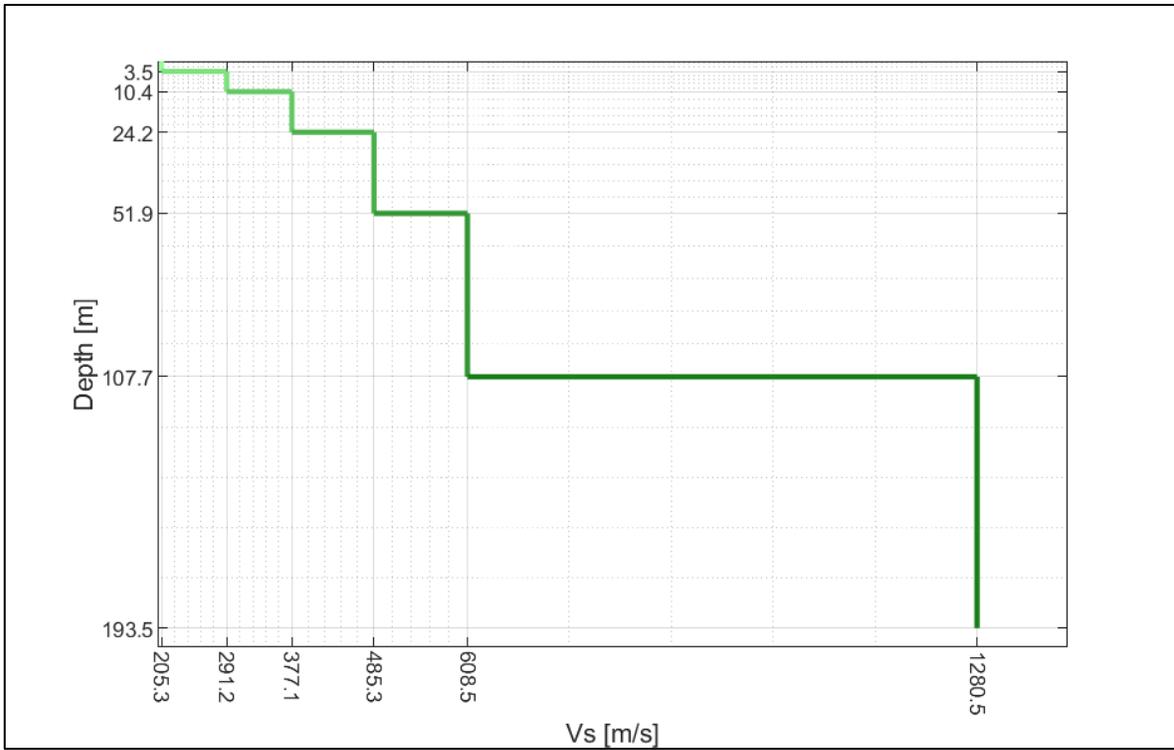
**Figura 82.- Perfil de Velocidades Estación R14M.**



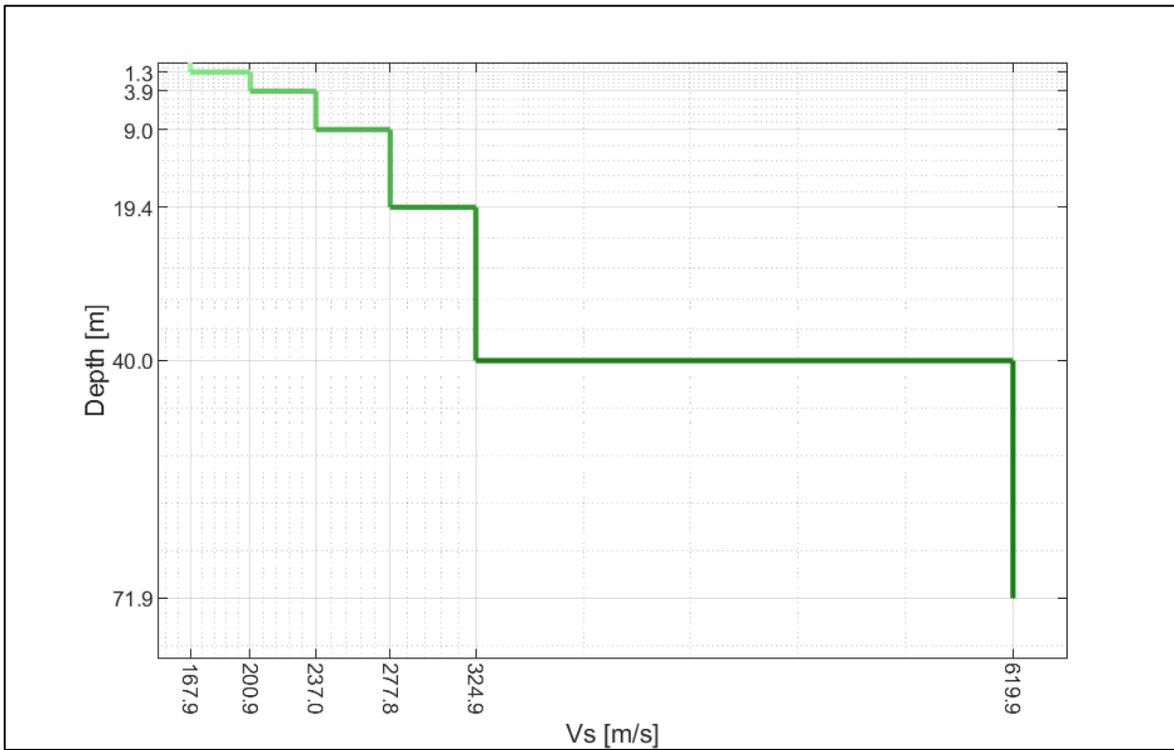
**Figura 83.- Perfil de Velocidades Estación R18M.**



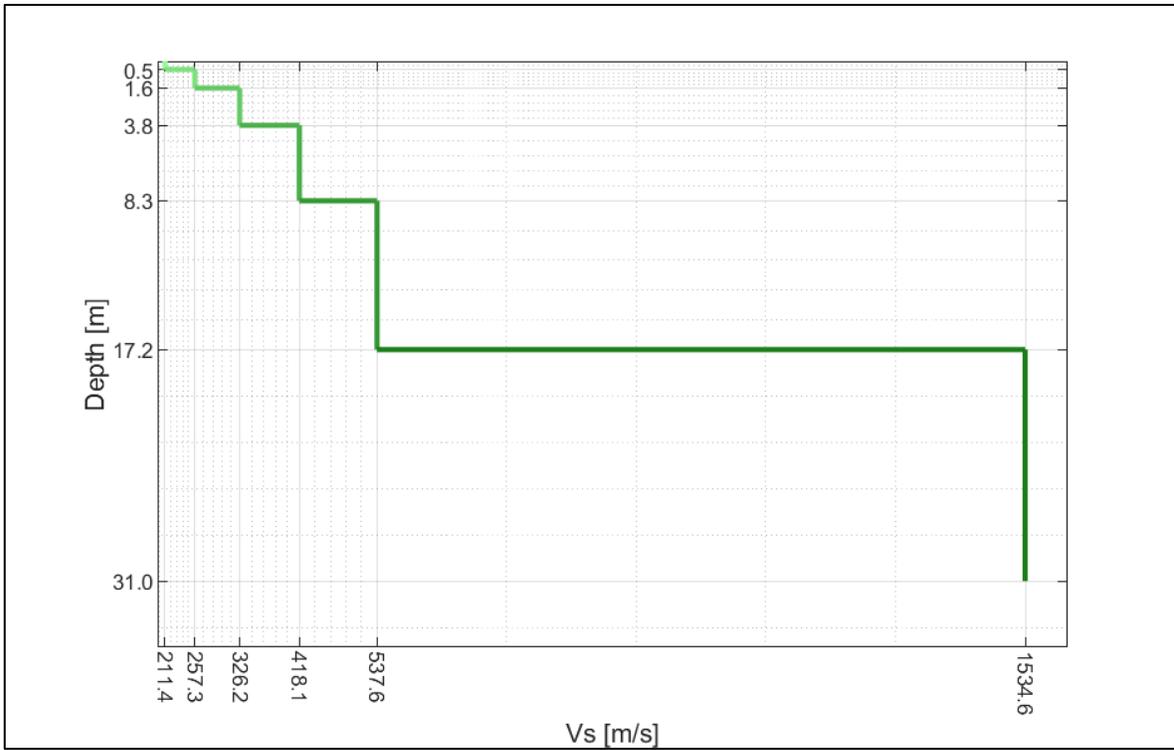
**Figura 84.- Perfil de Velocidades Estación R21M.**



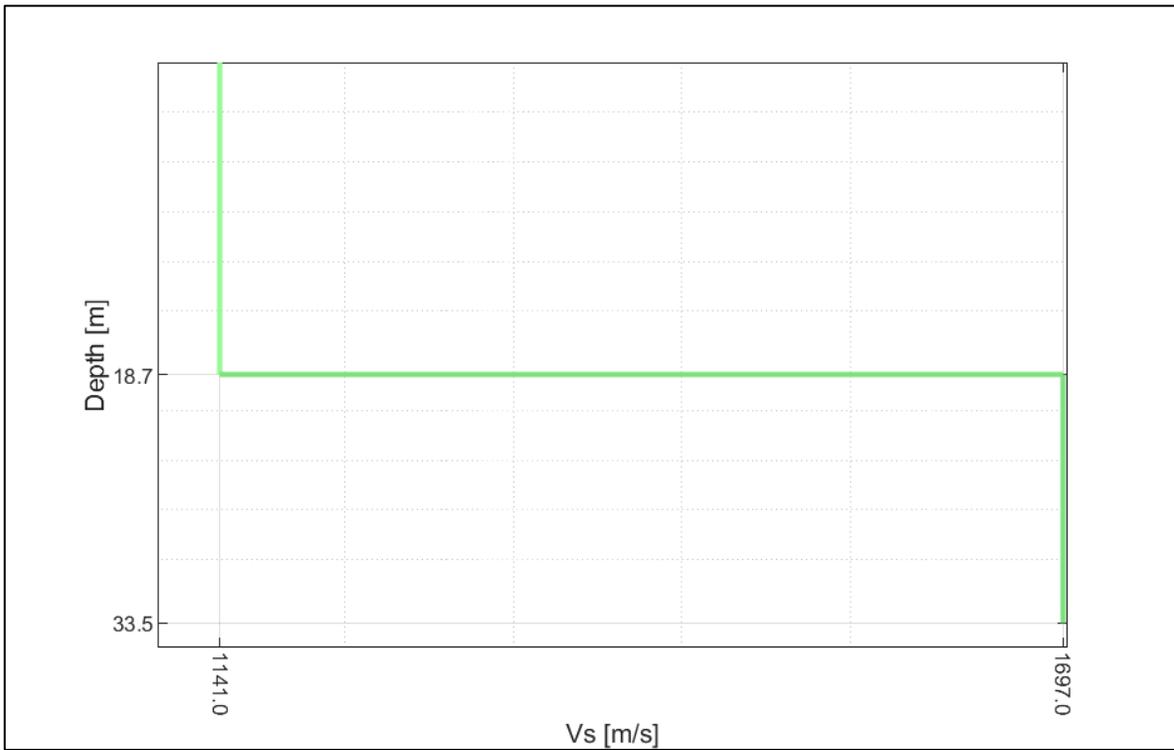
**Figura 85.- Perfil de Velocidades Estación T01A.**



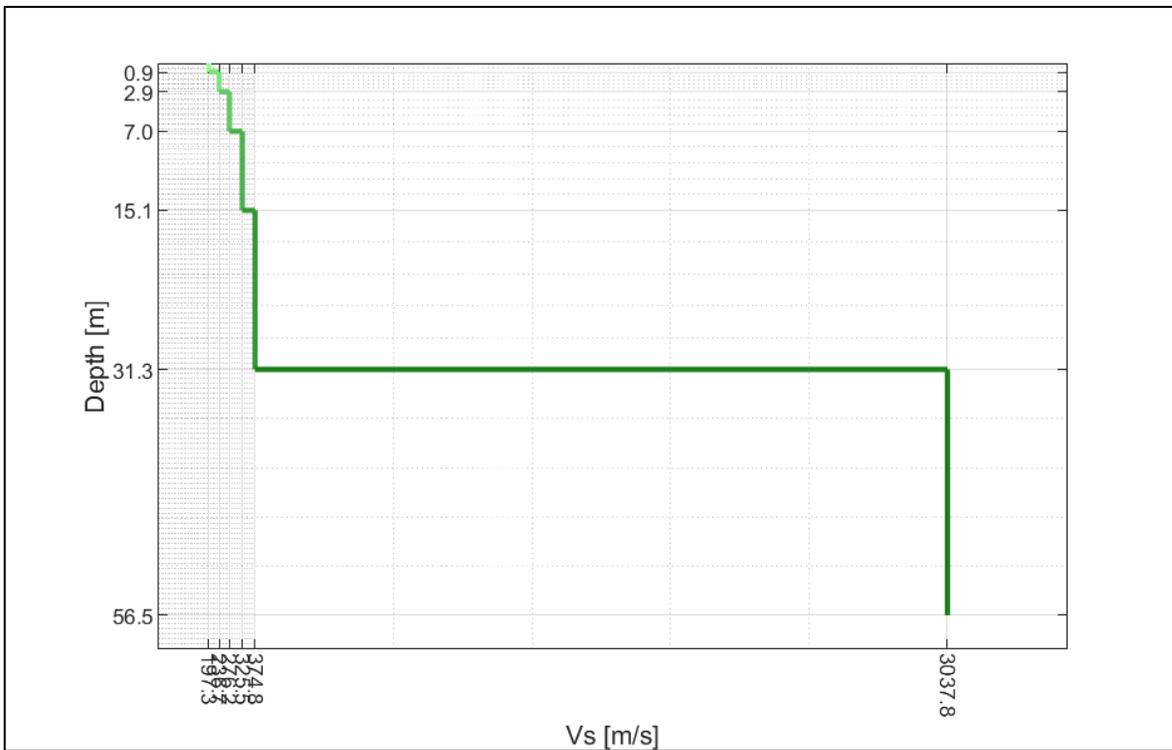
**Figura 86.- Perfil de Velocidades Estación T02A.**



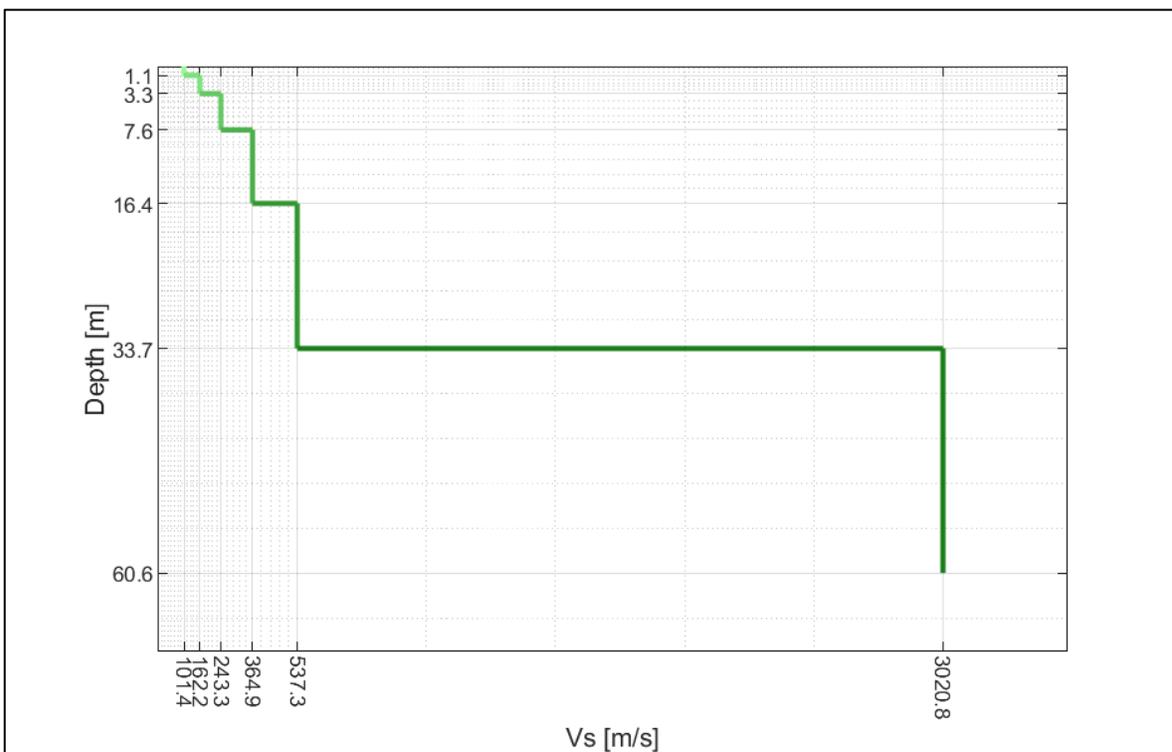
**Figura 87.- Perfil de Velocidades Estación T03A.**



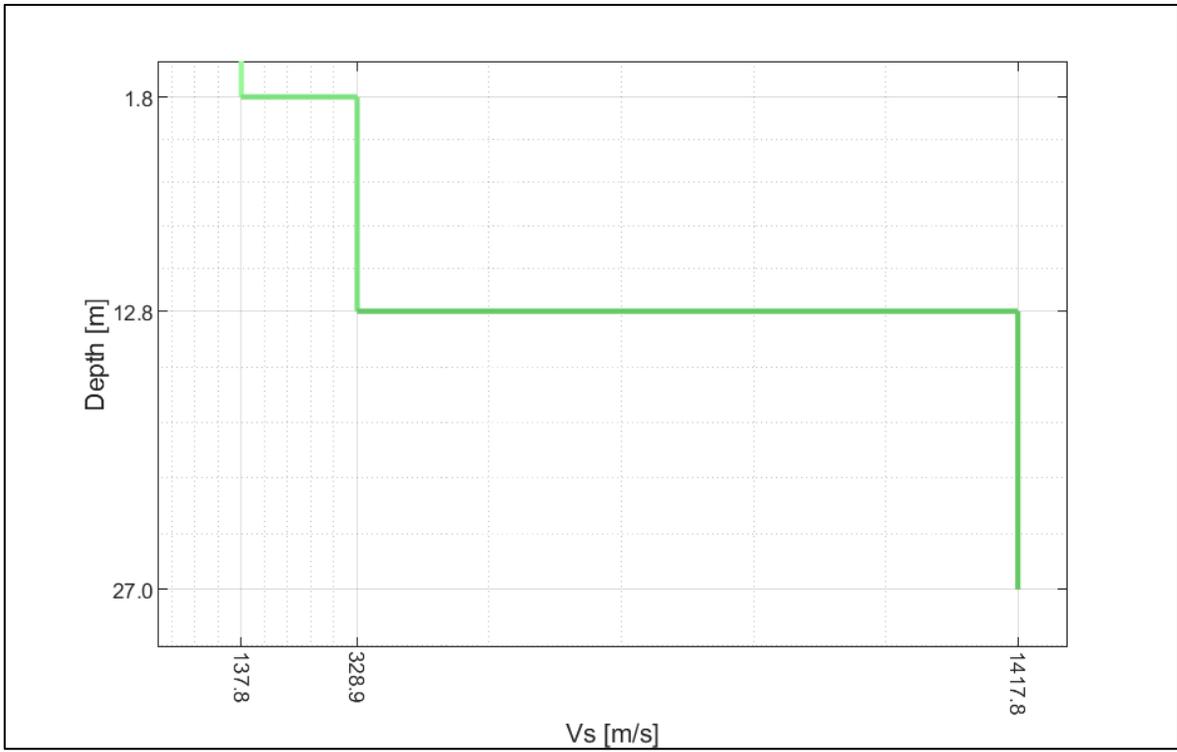
**Figura 88.- Perfil de Velocidades Estación T04A.**



**Figura 89.- Perfil de Velocidades Estación T07A.**



**Figura 90.- Perfil de Velocidades Estación T10A.**



*Figura 91.- Perfil de Velocidades Estación T20A.*

## Anexo E - Modelo predictivo de HVRSR

### Anexo E.1 - Categoría II - 1 Peak

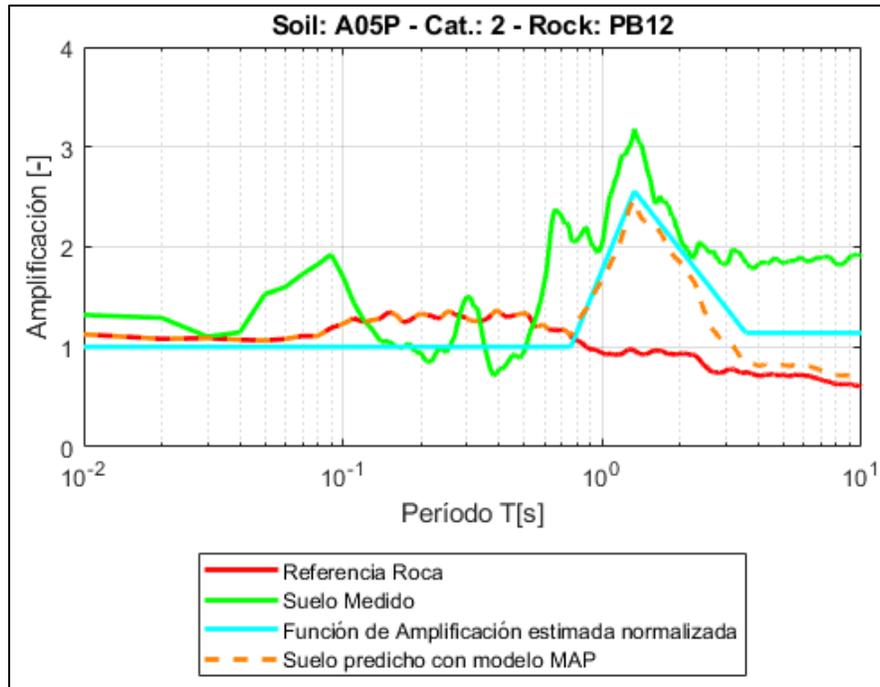


Figura 92.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones A05P-PB12.

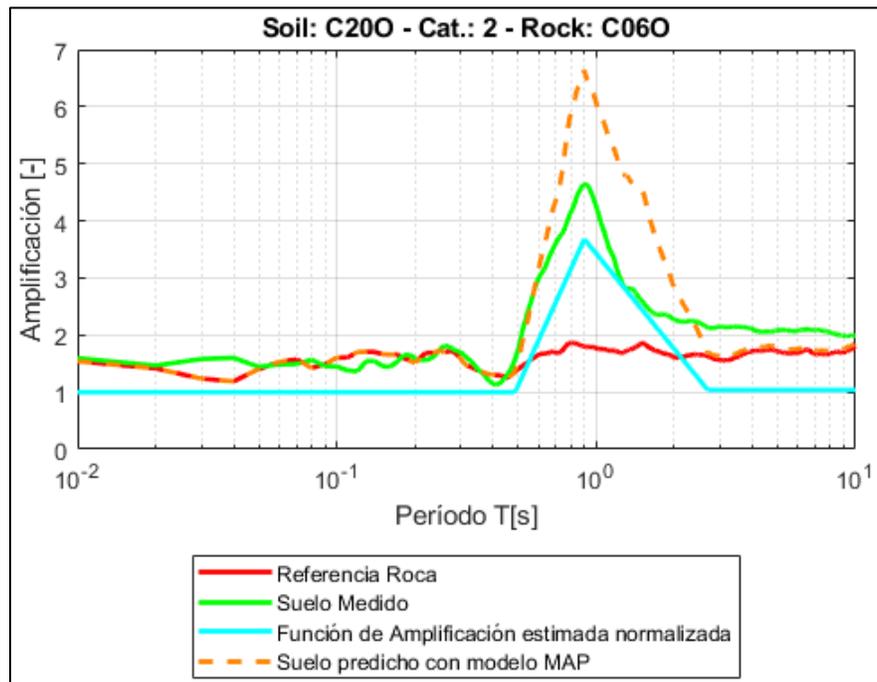
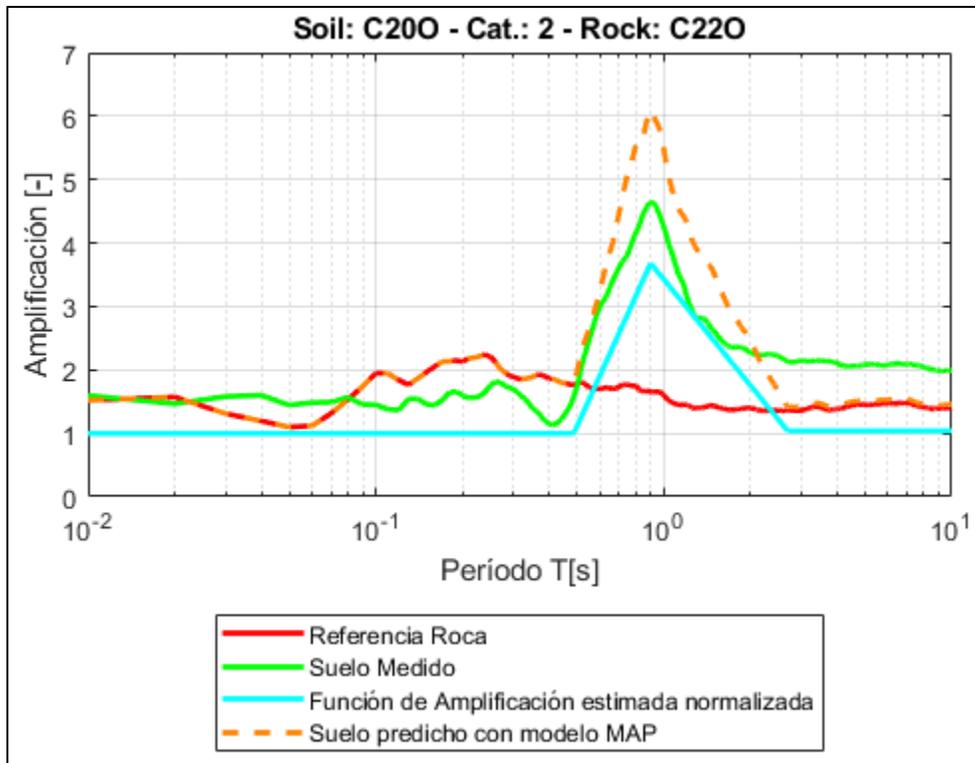
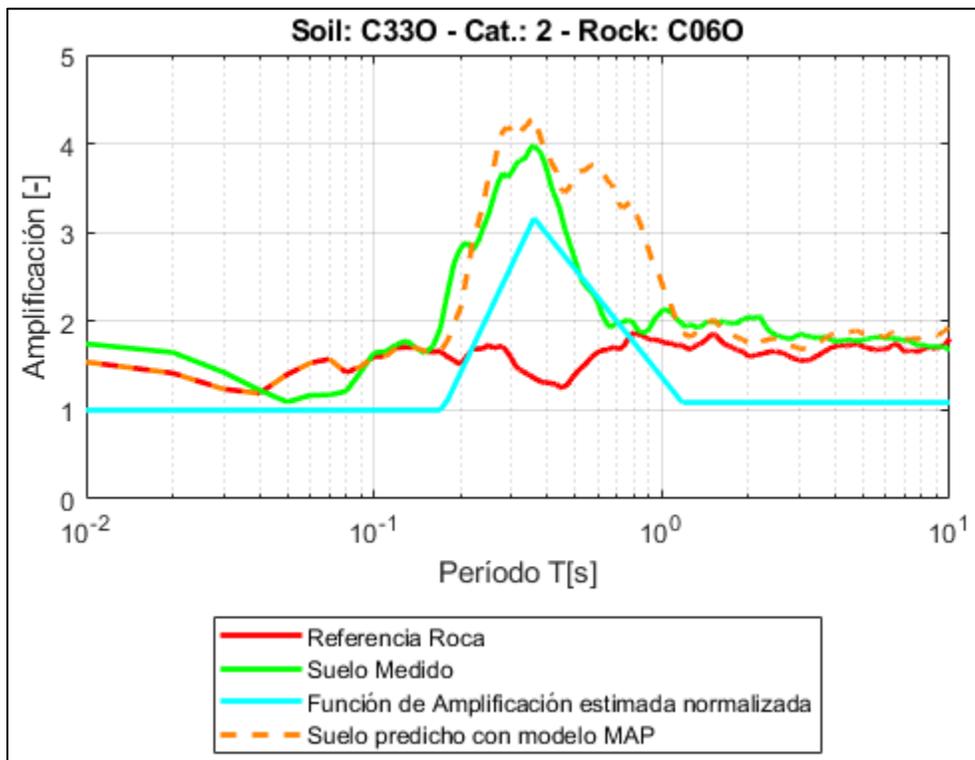


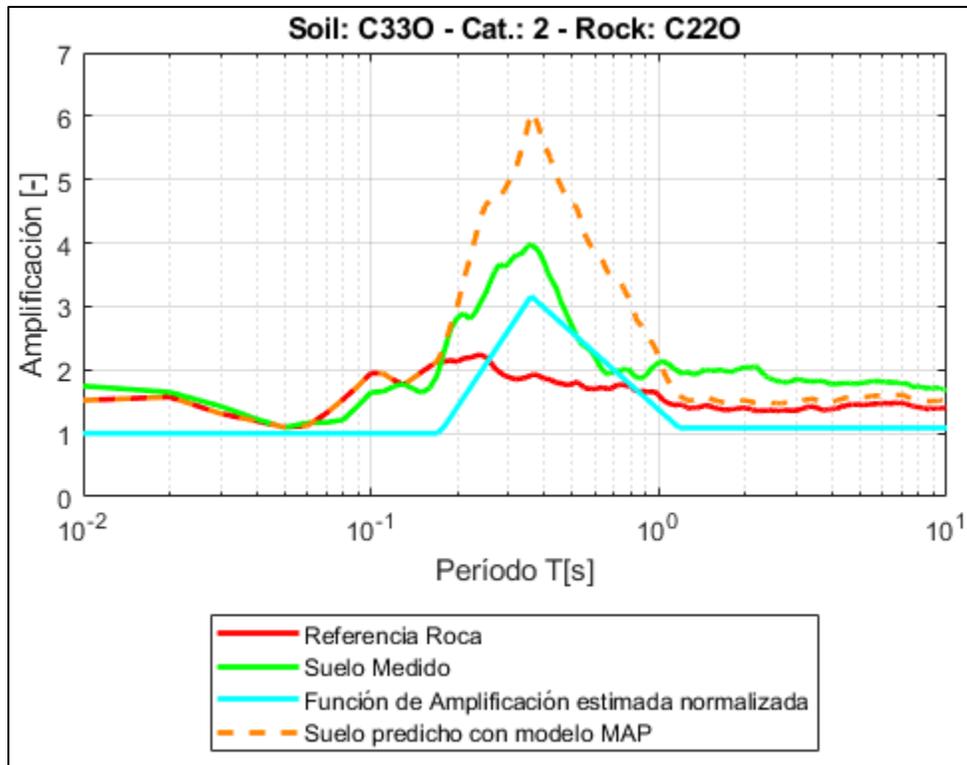
Figura 93.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones A200-C060.



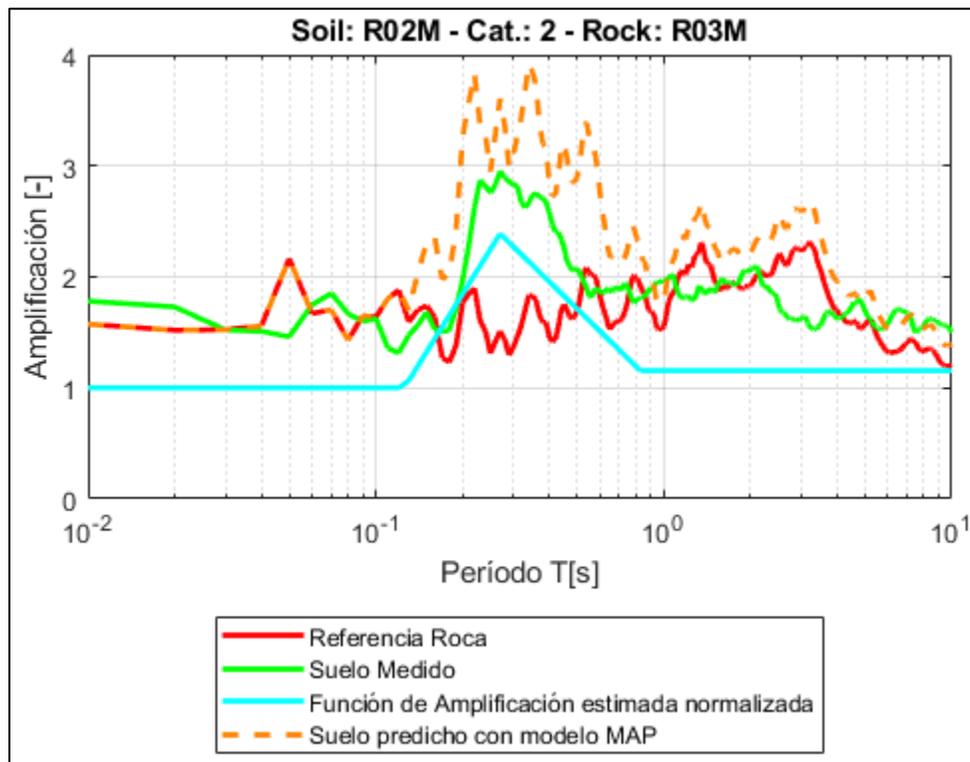
*Figura 94.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones C200-C220.*



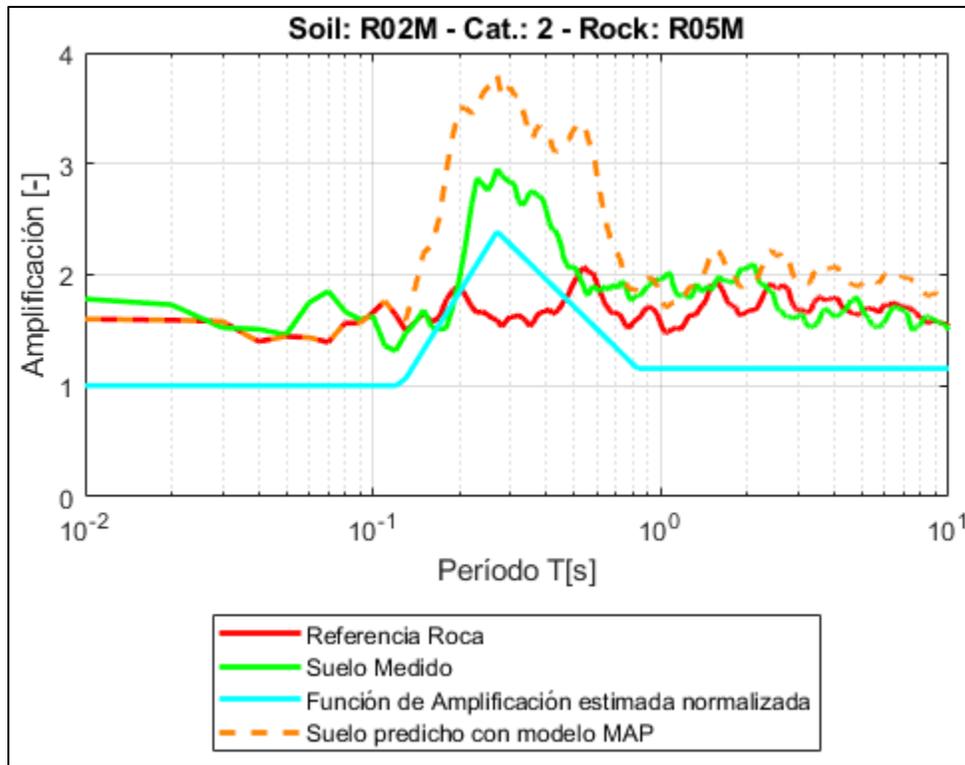
*Figura 95.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones C330-C060.*



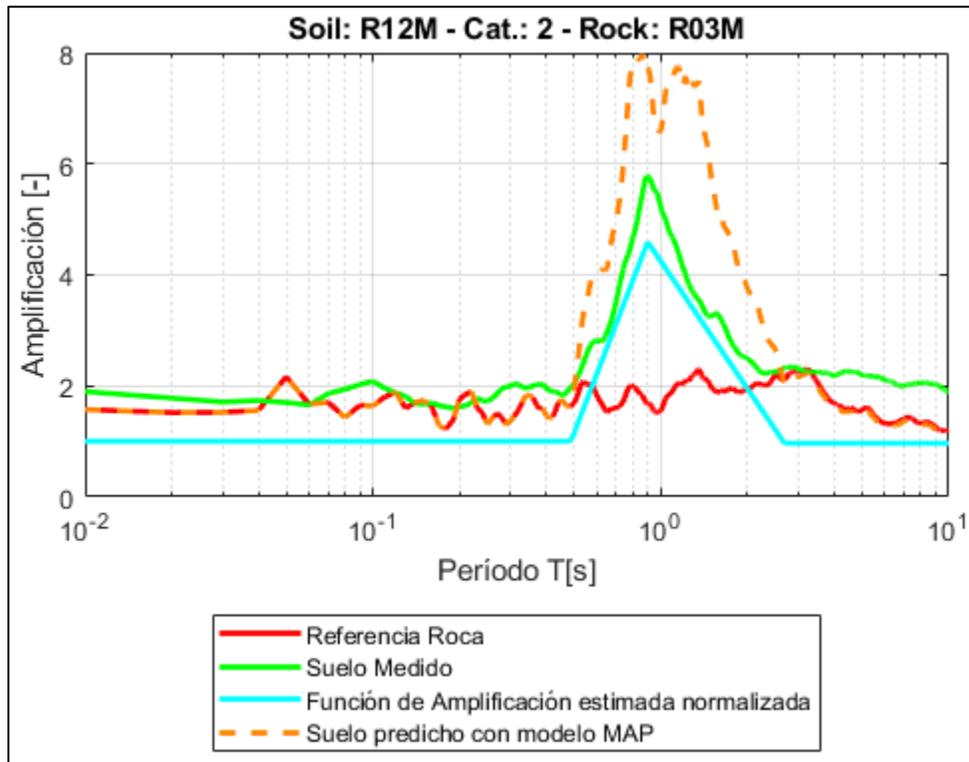
*Figura 96.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones C330-C220.*



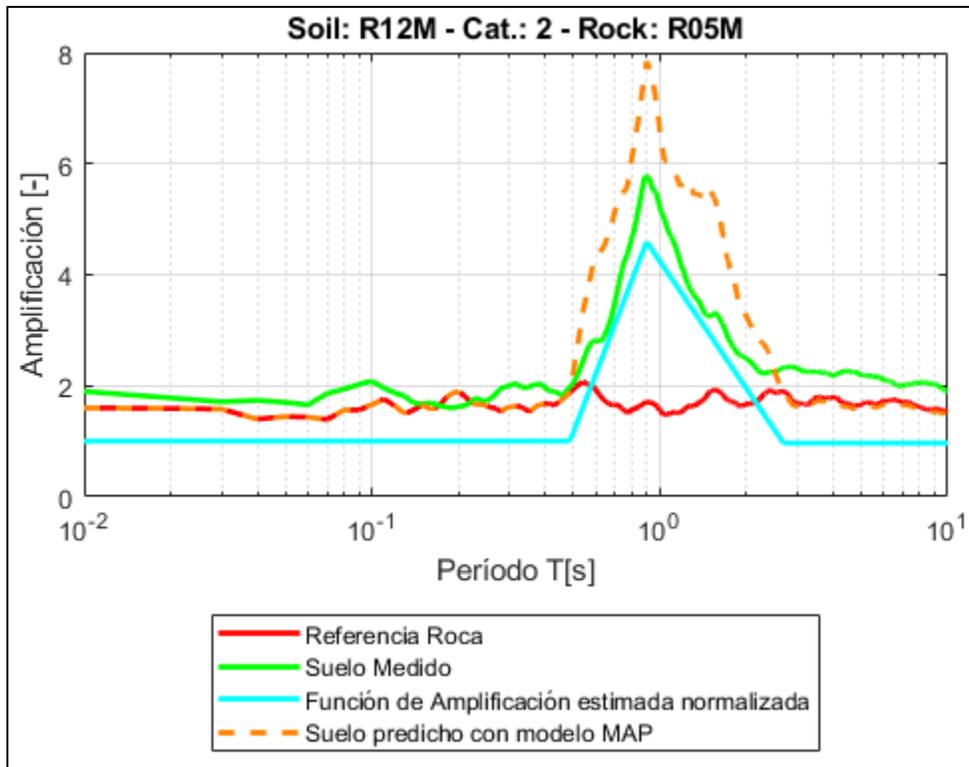
*Figura 97.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones R02M-R03M.*



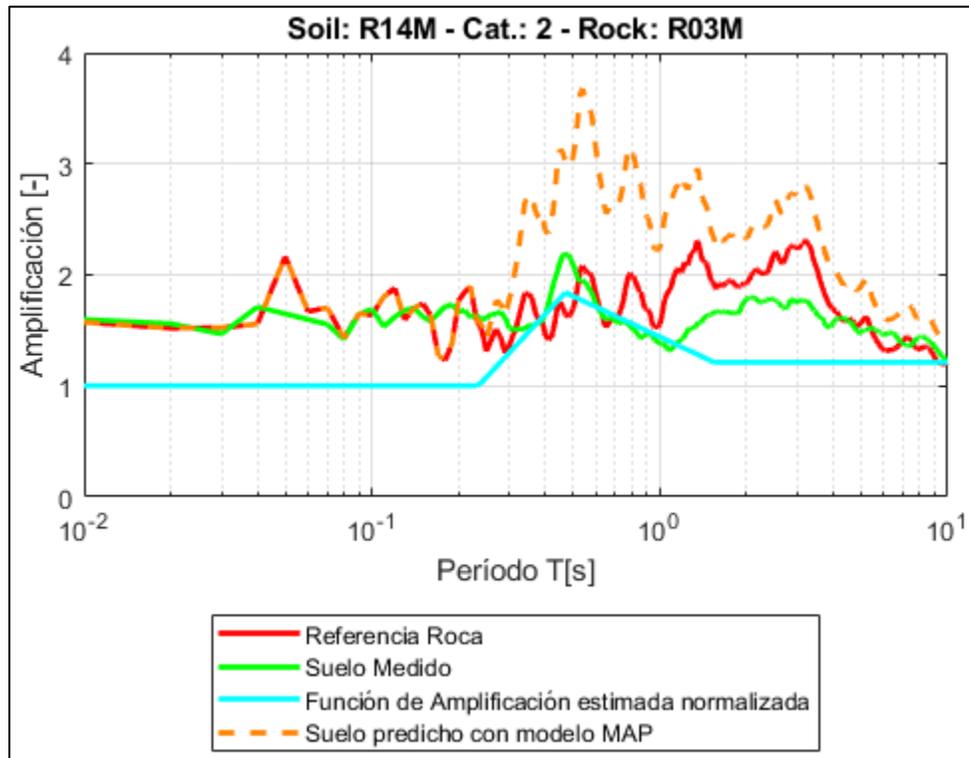
*Figura 98.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones R02M-R05M.*



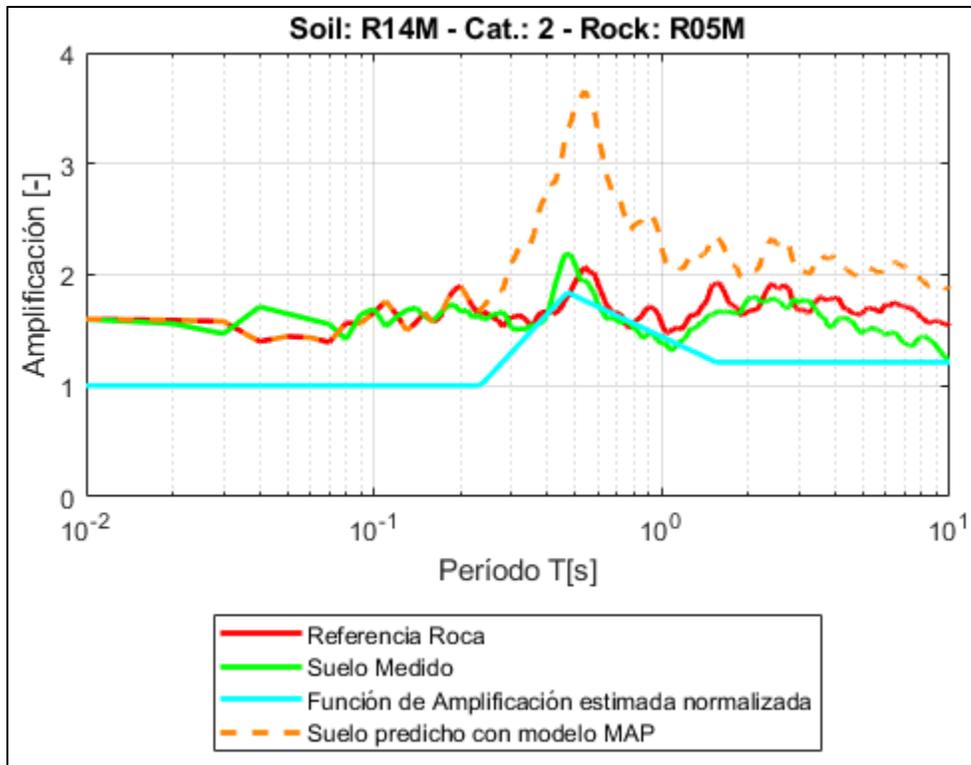
*Figura 99.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones R12M-R03M.*



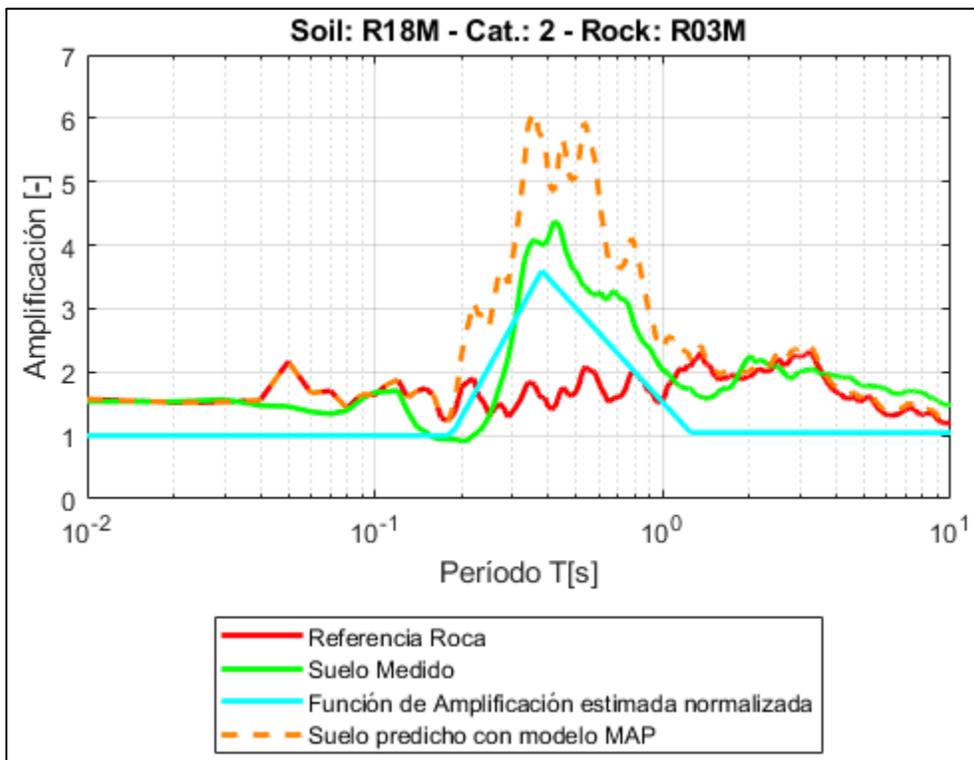
*Figura 100.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones R12M-R05M.*



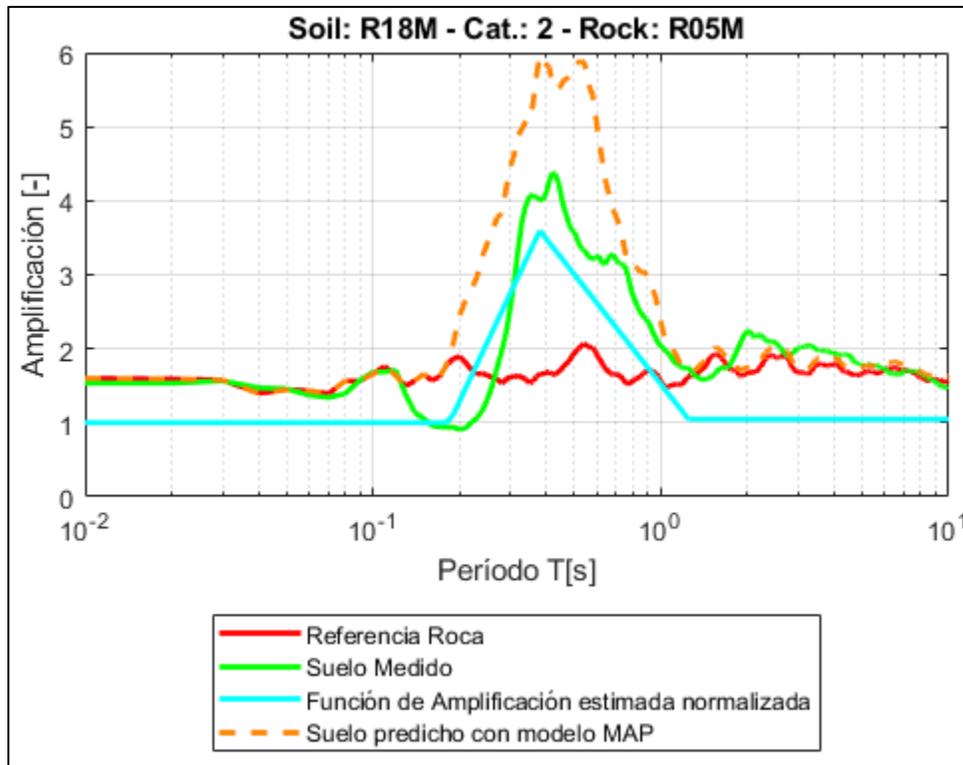
*Figura 101.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones R14M-R03M.*



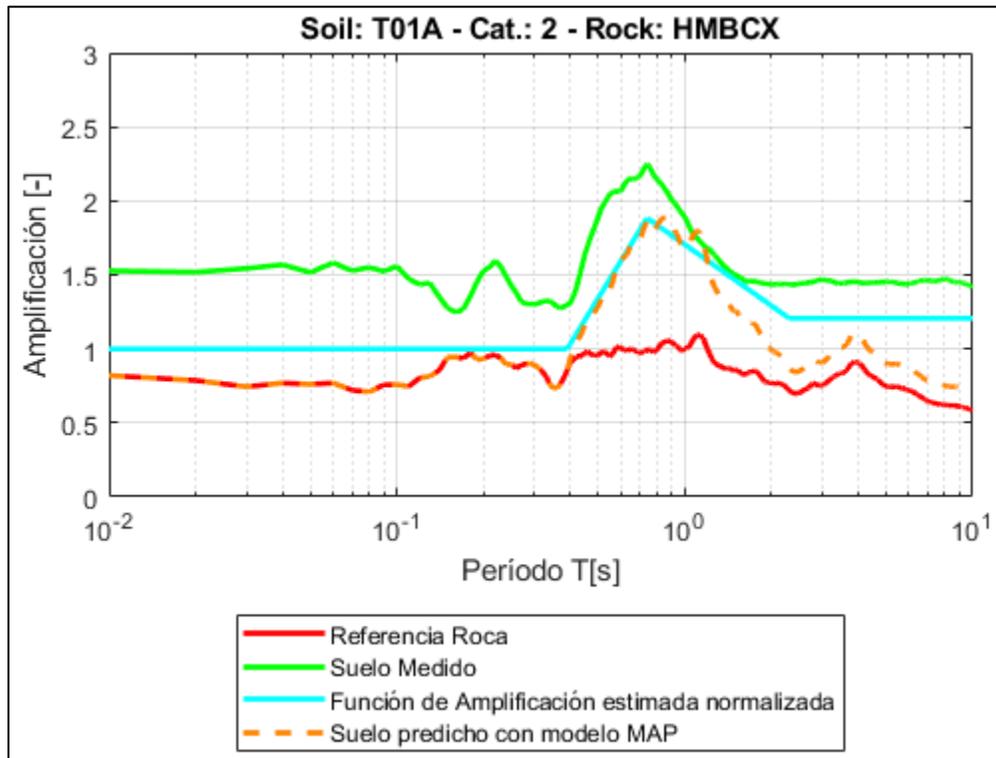
*Figura 102.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones R14M-R05M.*



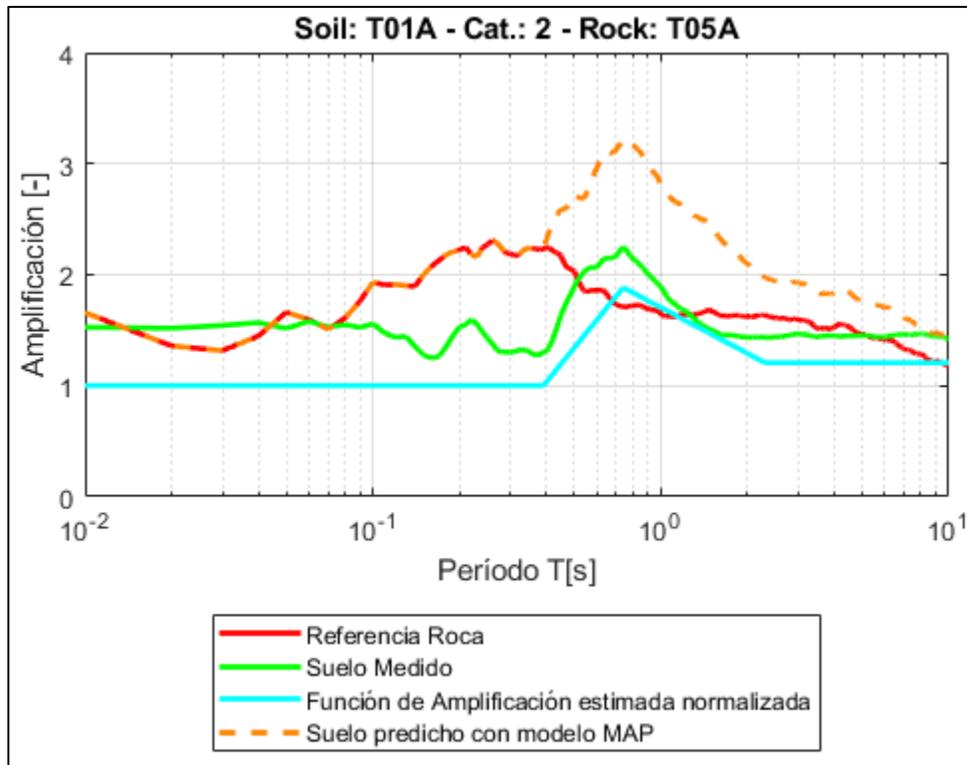
*Figura 103.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones R18M-R03M.*



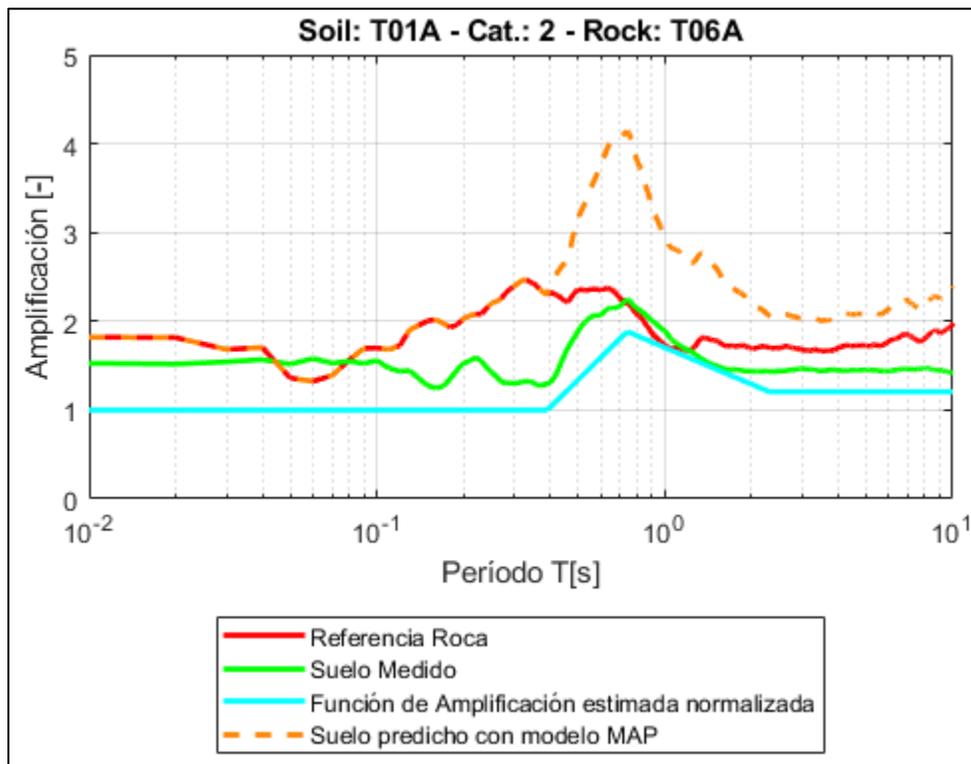
*Figura 104.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones R18M-R05M.*



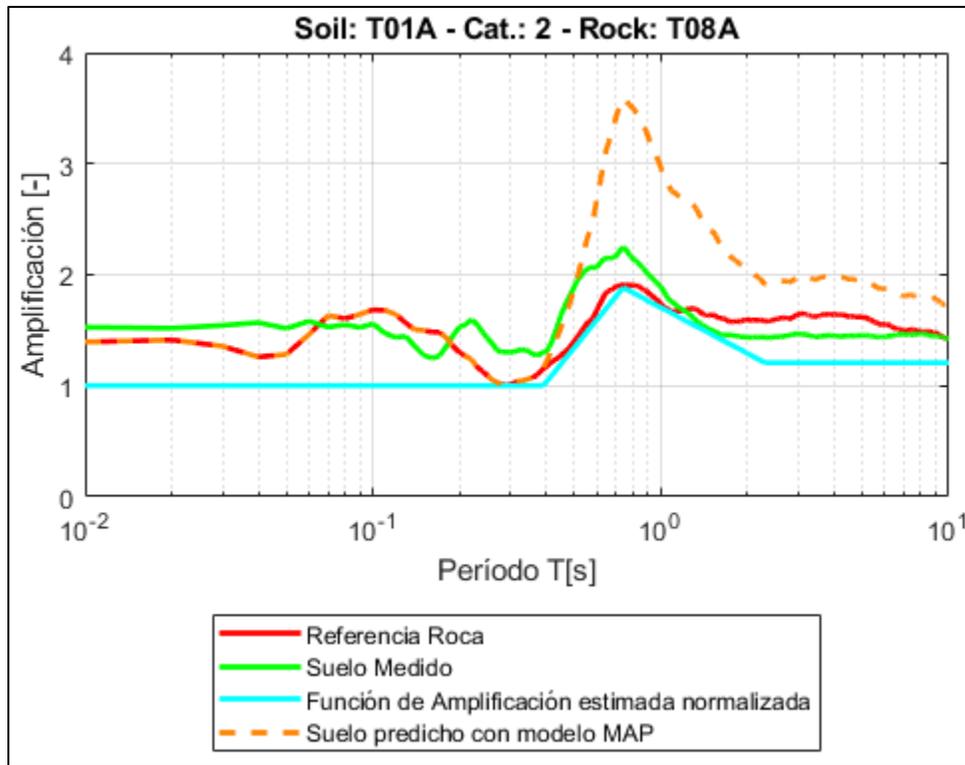
*Figura 105.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones T01A-HMBCX.*



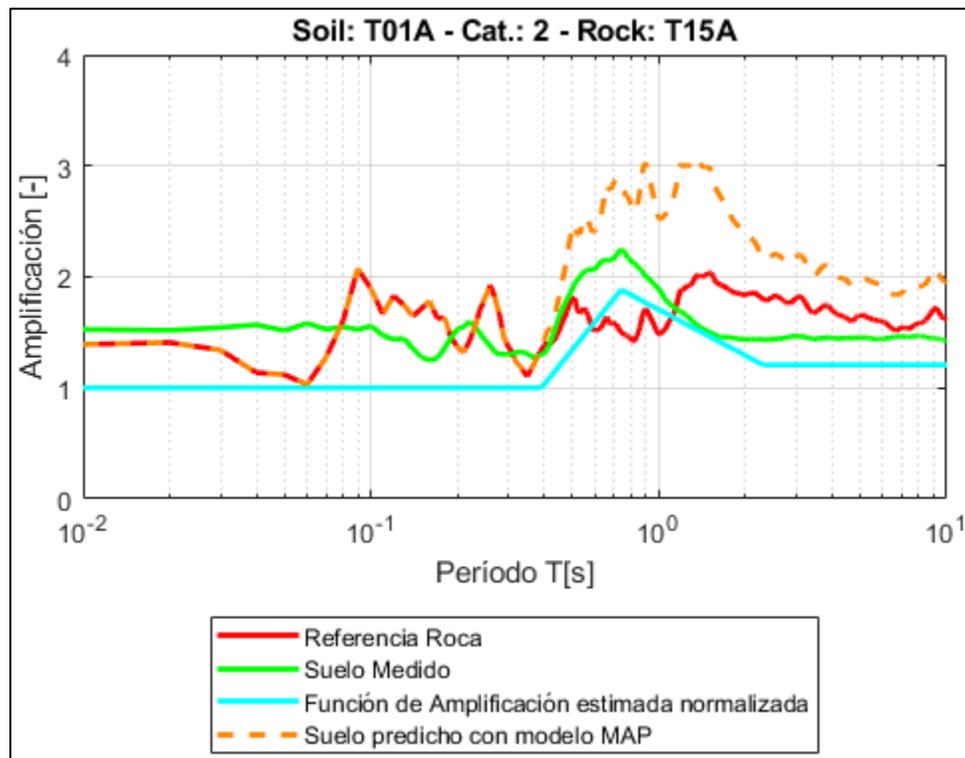
*Figura 106.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones T01A-T05A.*



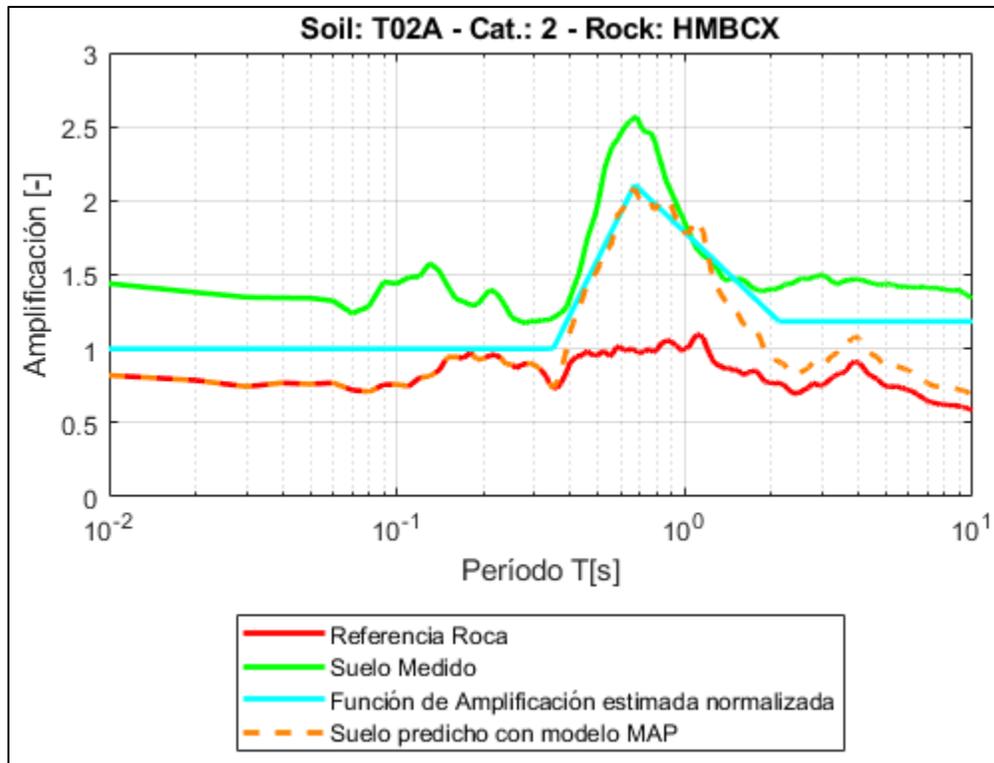
*Figura 107.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones T01A-T06A.*



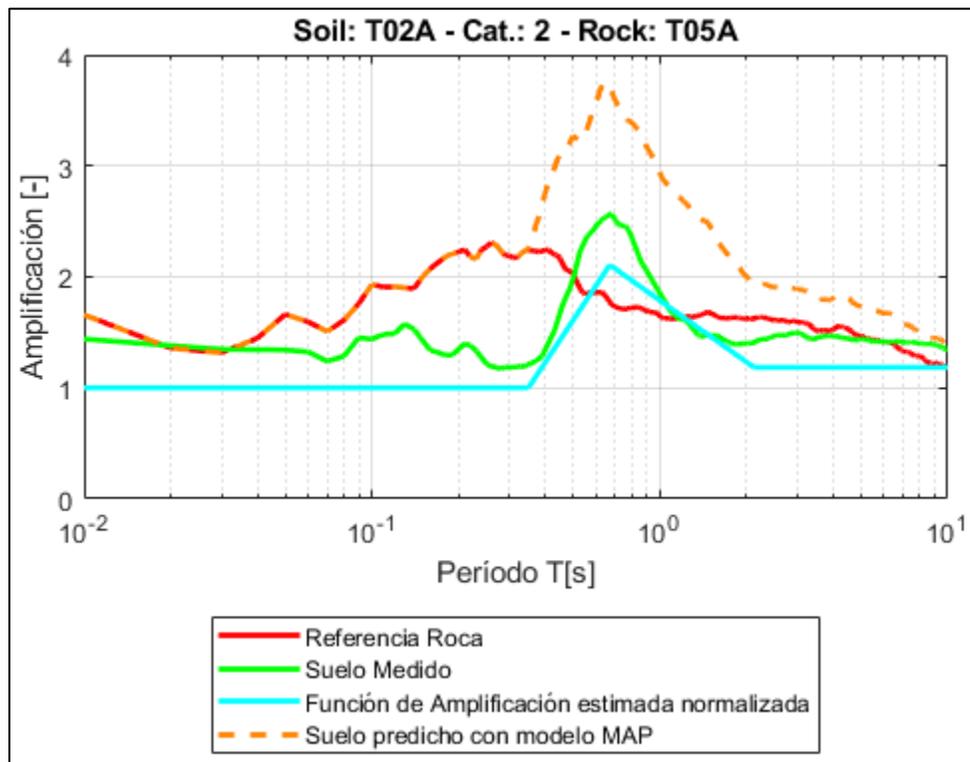
*Figura 108.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones T01A-T08A.*



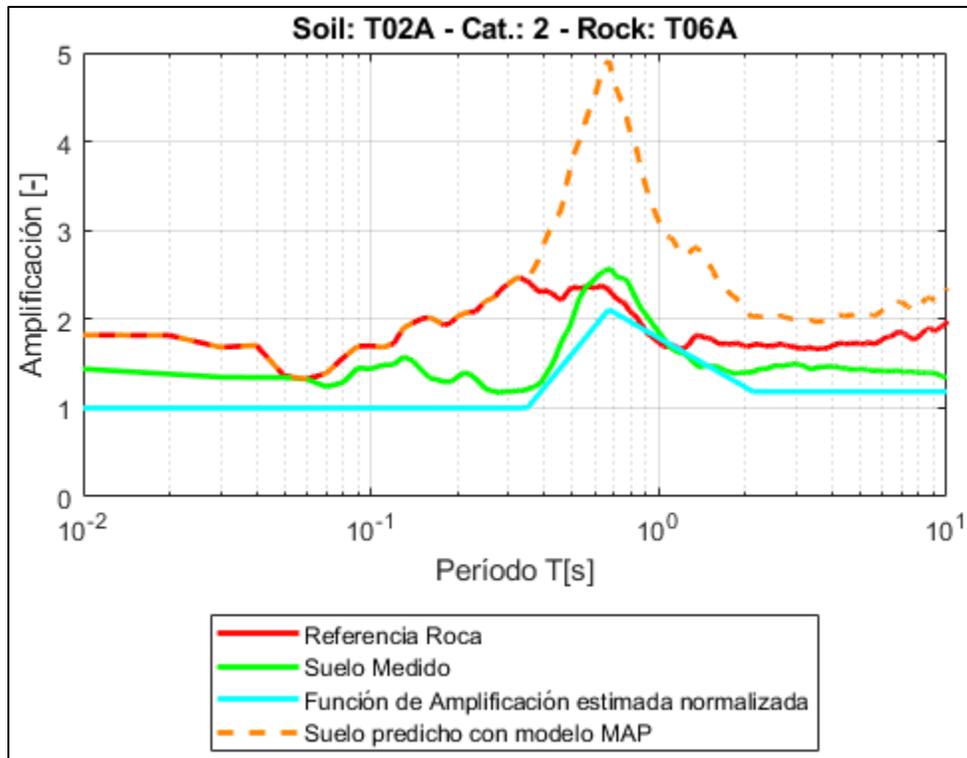
*Figura 109.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones T01A-T15A.*



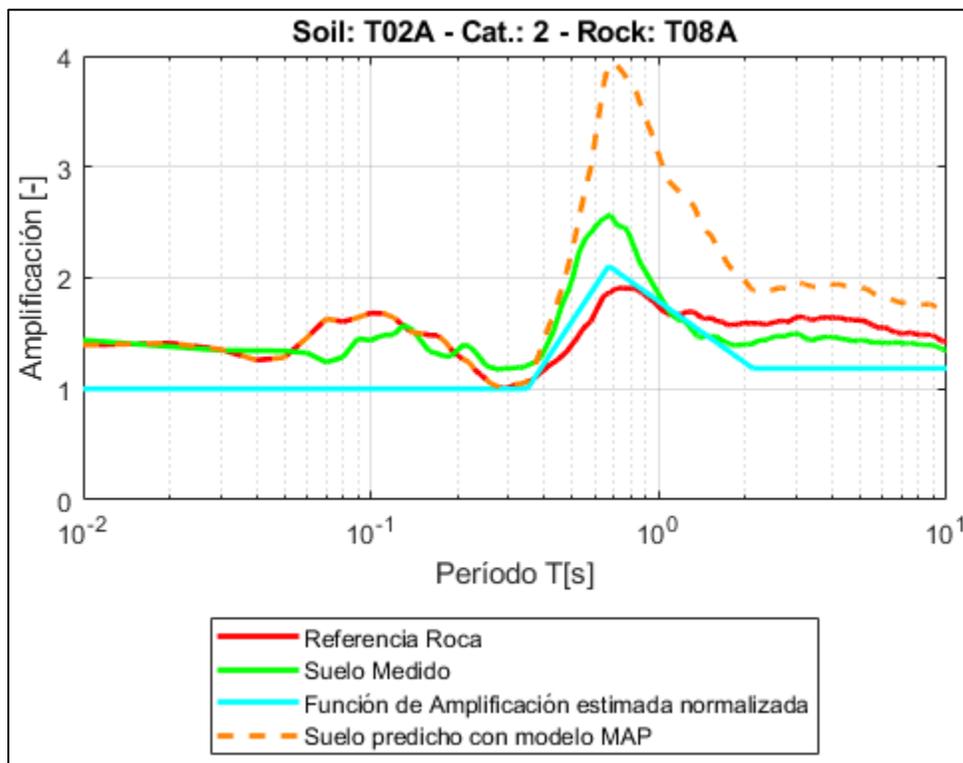
*Figura 110.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones T02A-HMBCX*



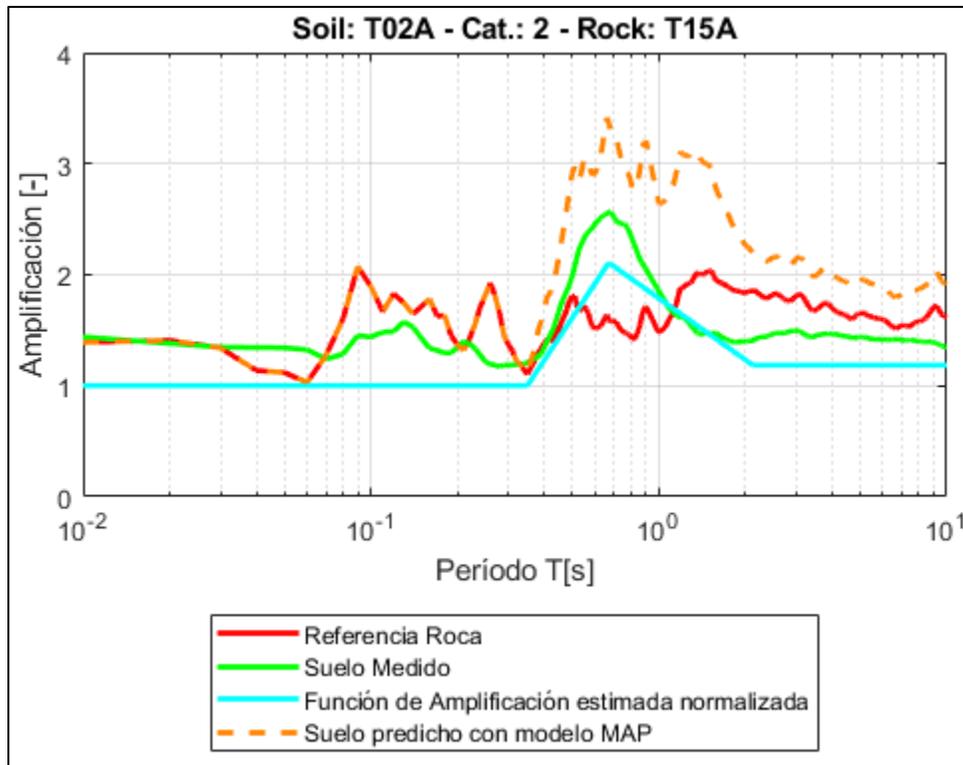
*Figura 111.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones T02A-T05A.*



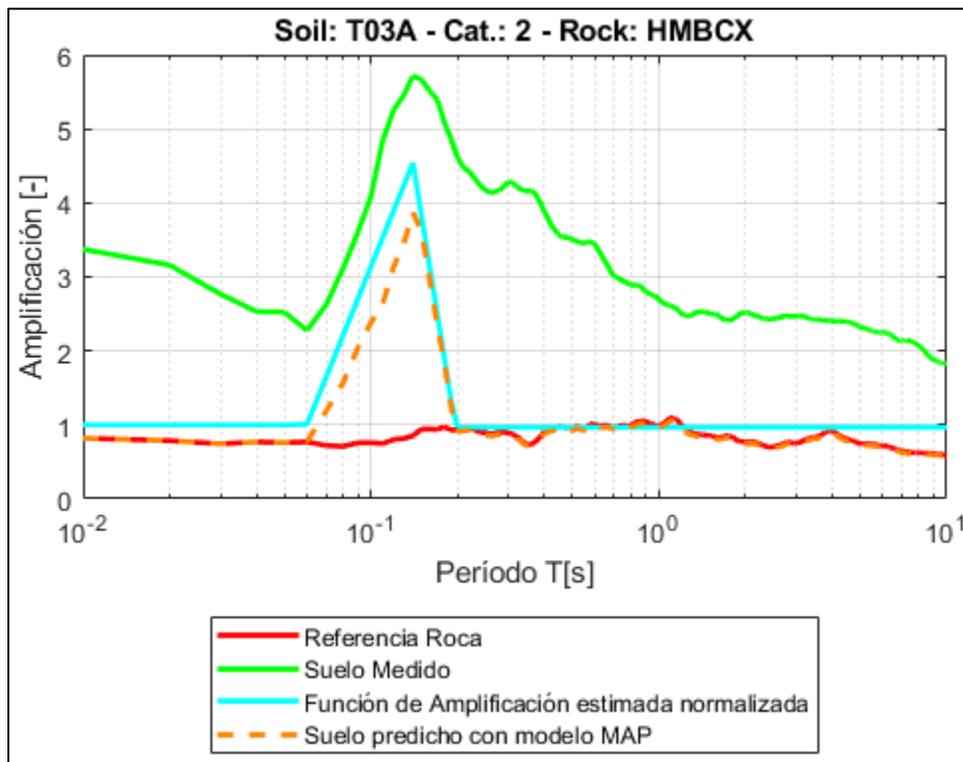
*Figura 112.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones T02A-T06A.*



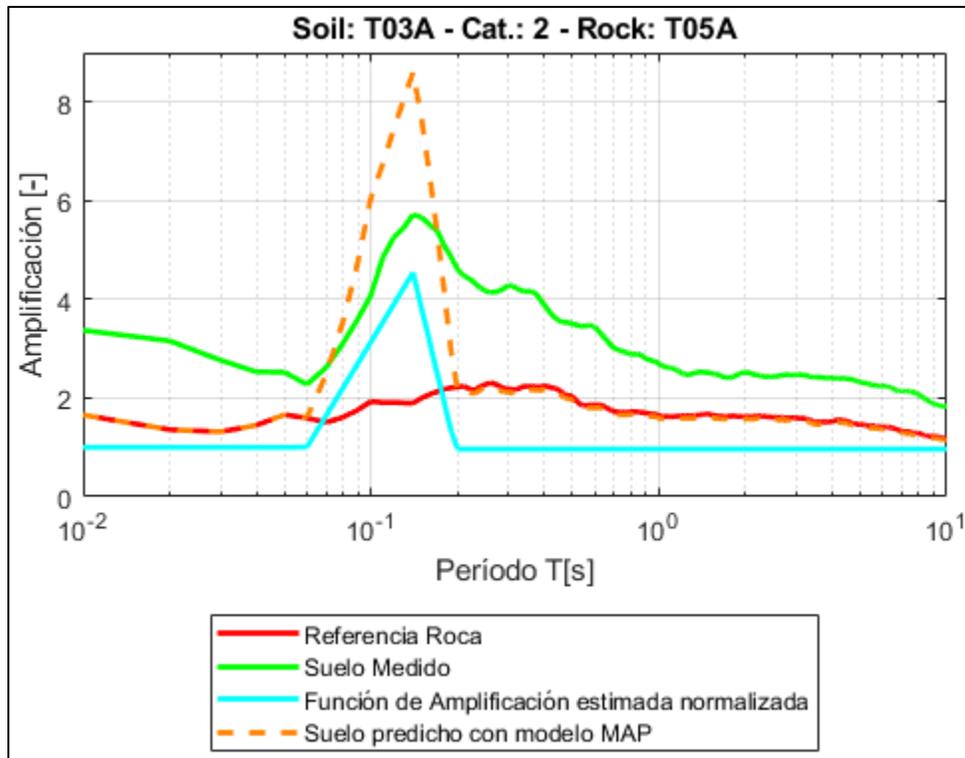
*Figura 113.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones T02A-T08A.*



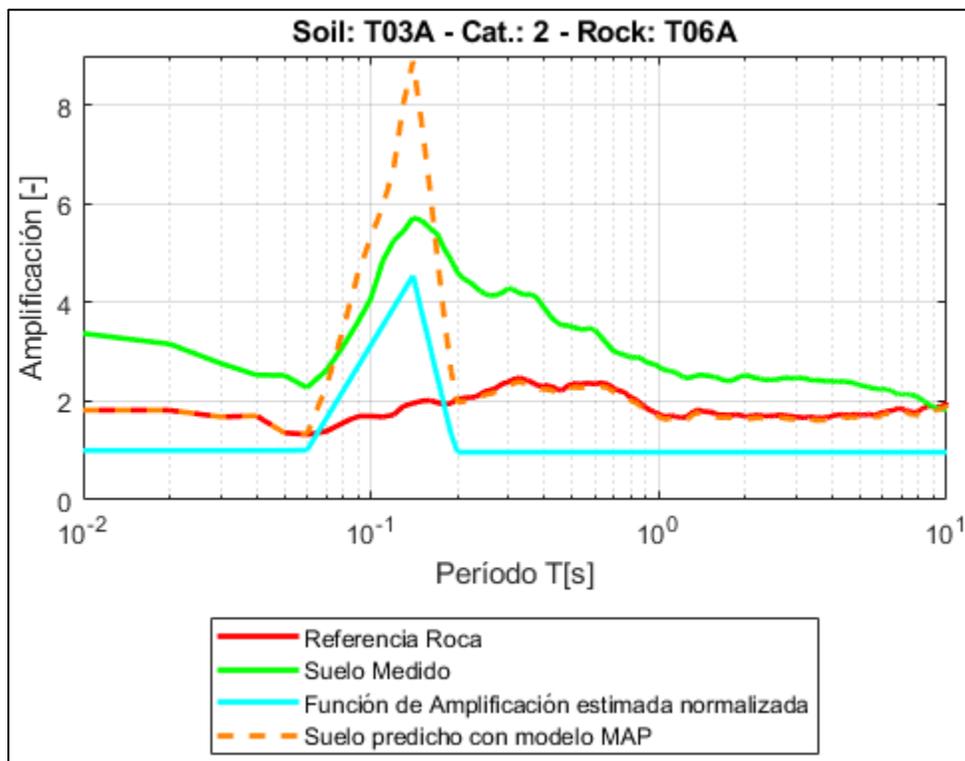
*Figura 114.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones T02A-T15A.*



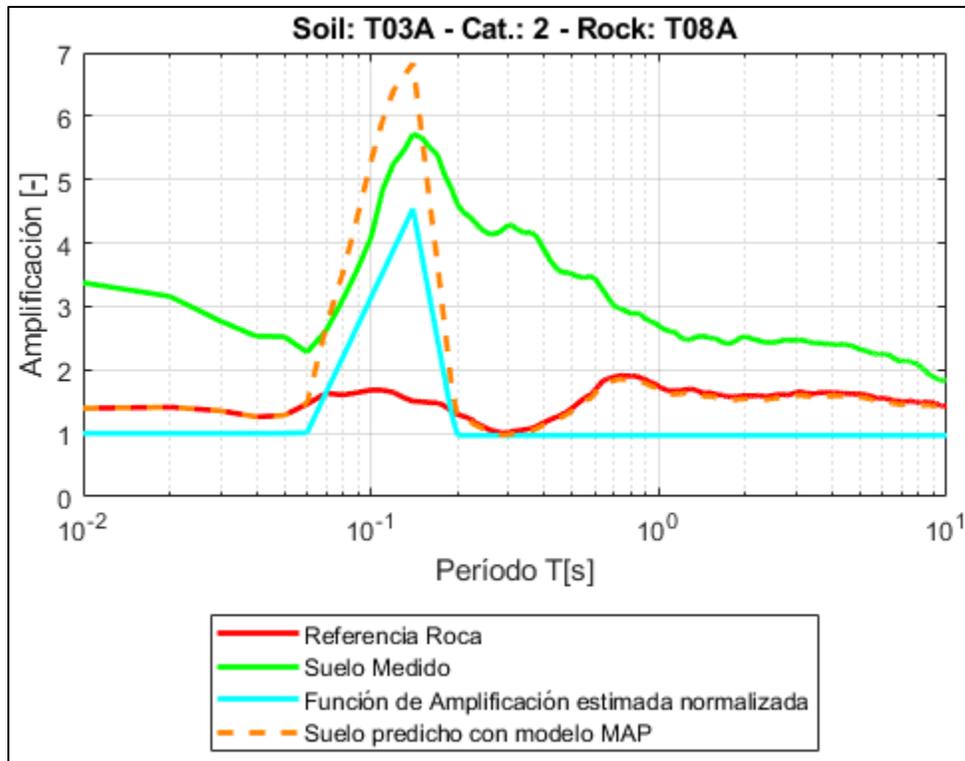
*Figura 115.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones T03A-HMBCX.*



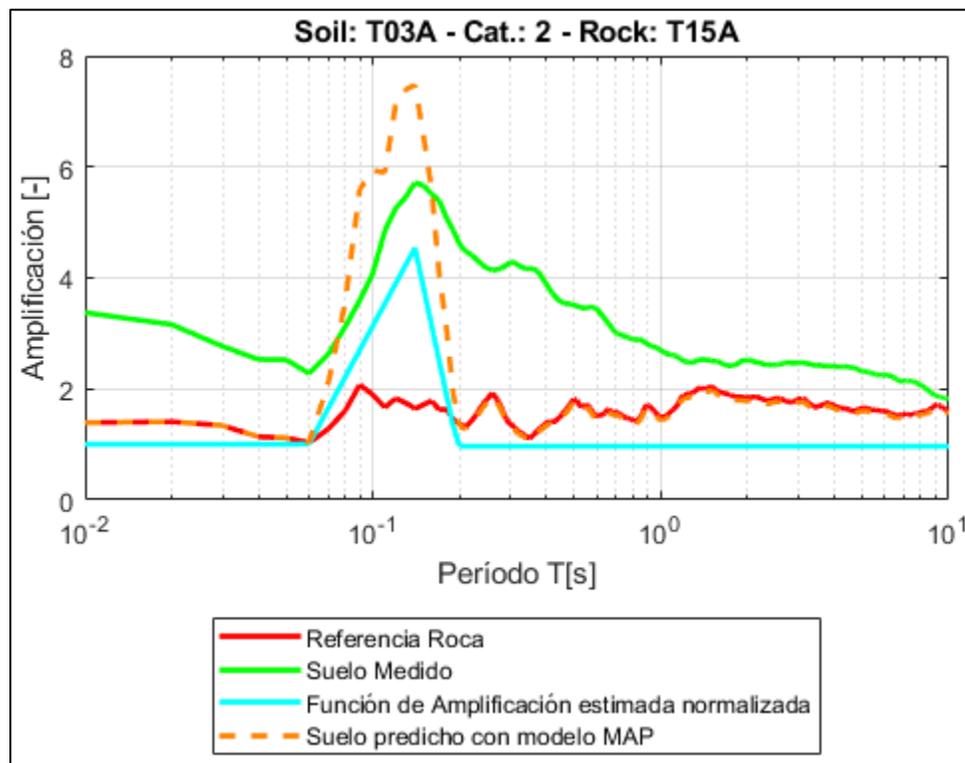
*Figura 116.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones T03A-T05A.*



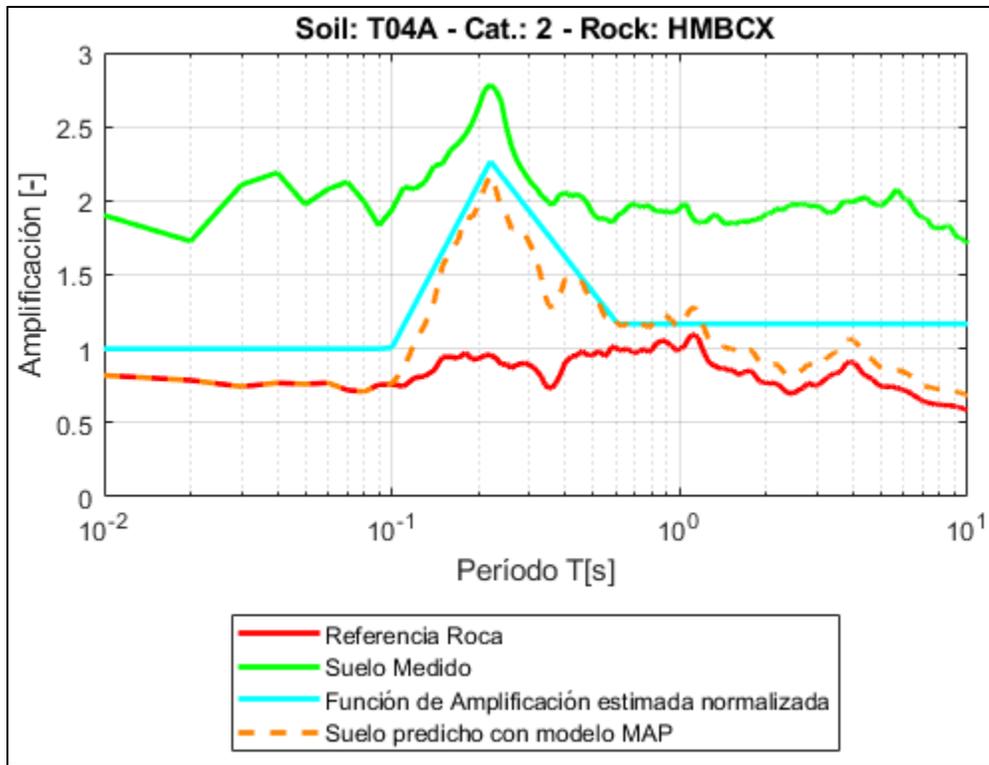
*Figura 117.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones T03A-T06A.*



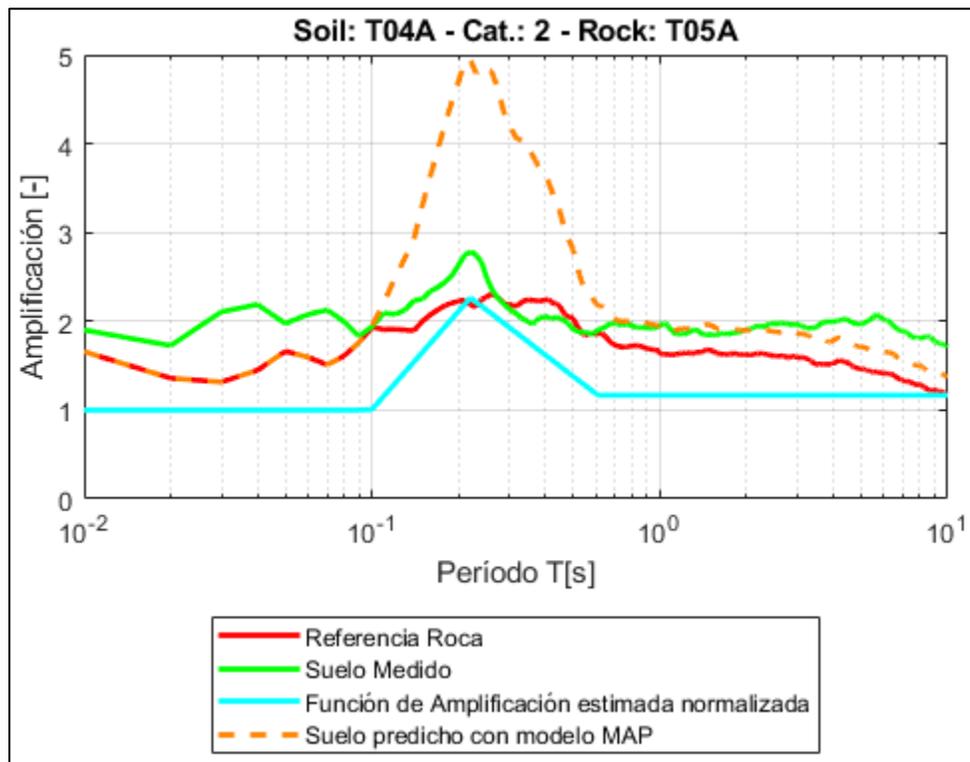
*Figura 118.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones T03A-T08A.*



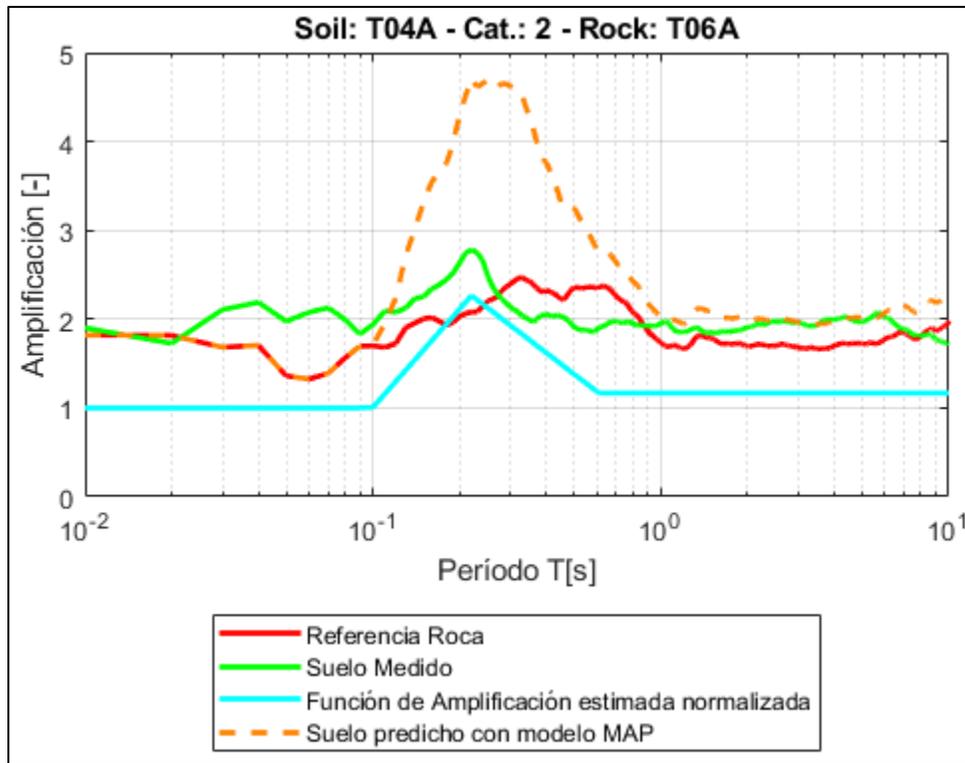
*Figura 119.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones T03A-T15A.*



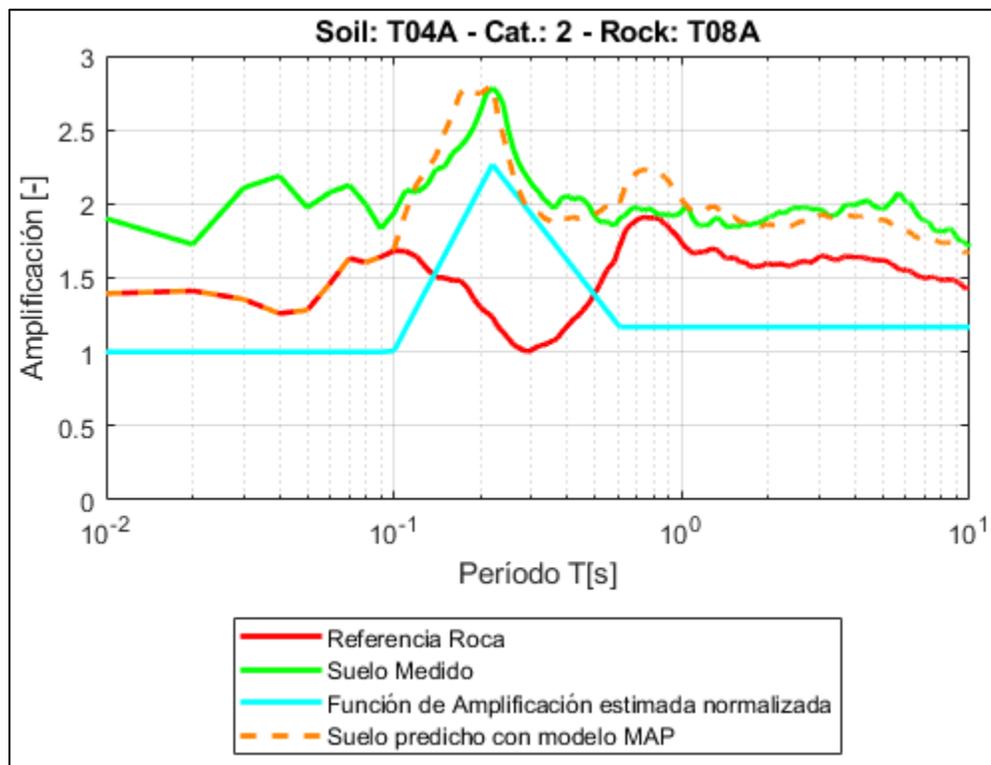
*Figura 120.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones T04A-HMBCX.*



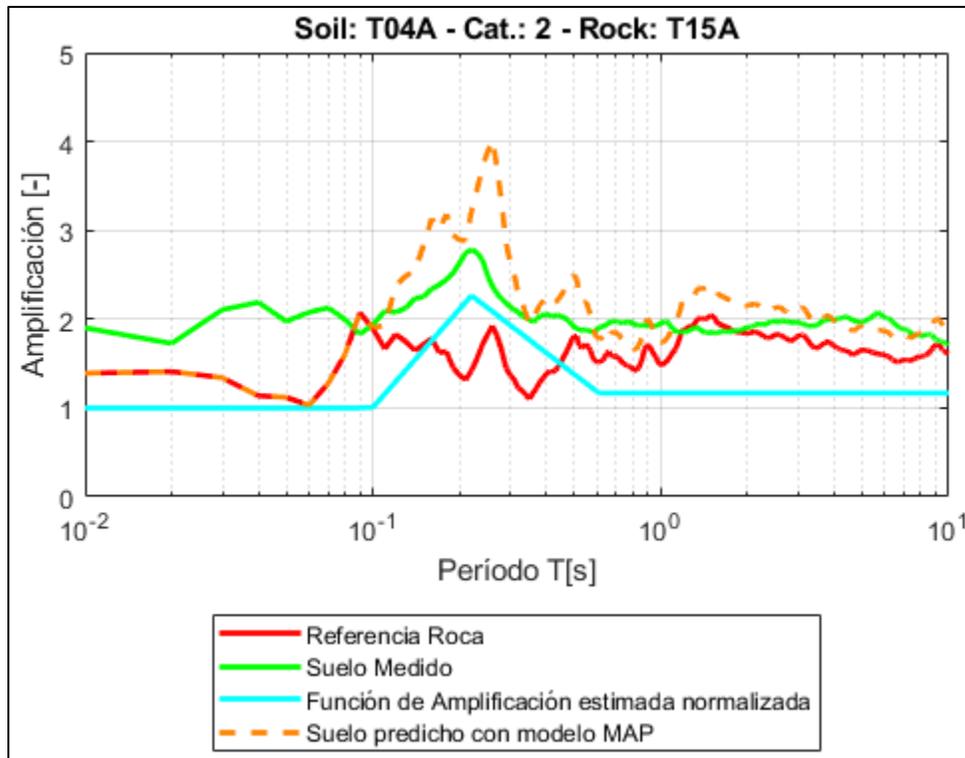
*Figura 121.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones T04A-T05A.*



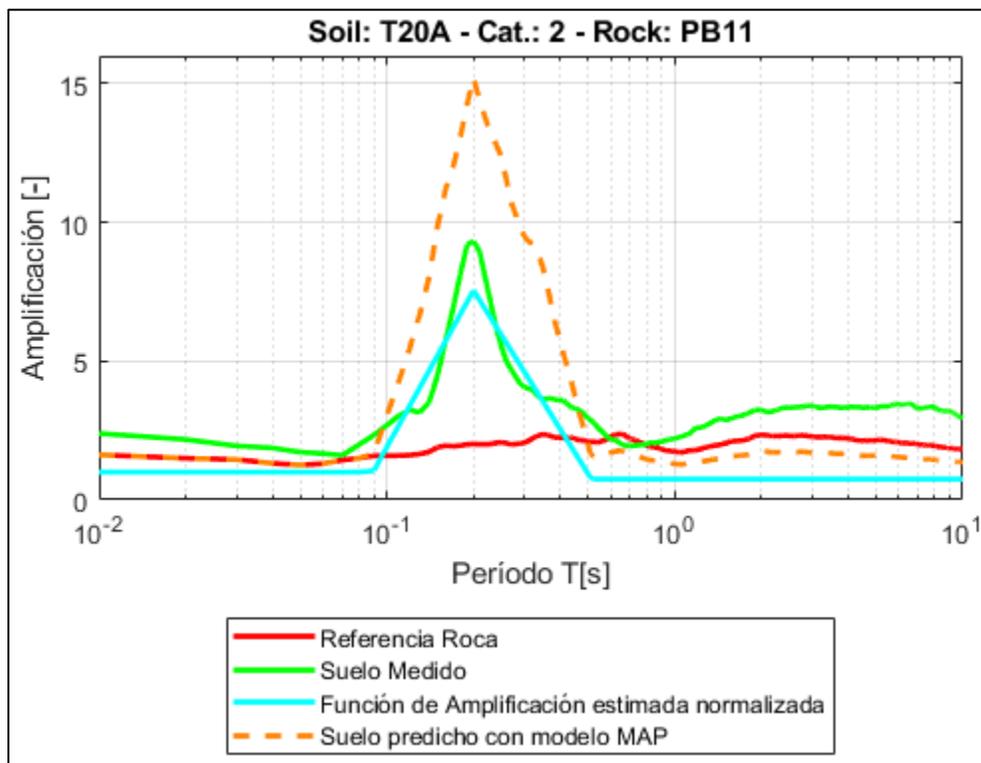
*Figura 122.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones T04A-T06A.*



*Figura 123.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones T04A-T08A.*



*Figura 124.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones T04A-T15A.*



*Figura 125.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones T20A-PB11.*

Anexo E.2 - Categoría III - 2 Peak

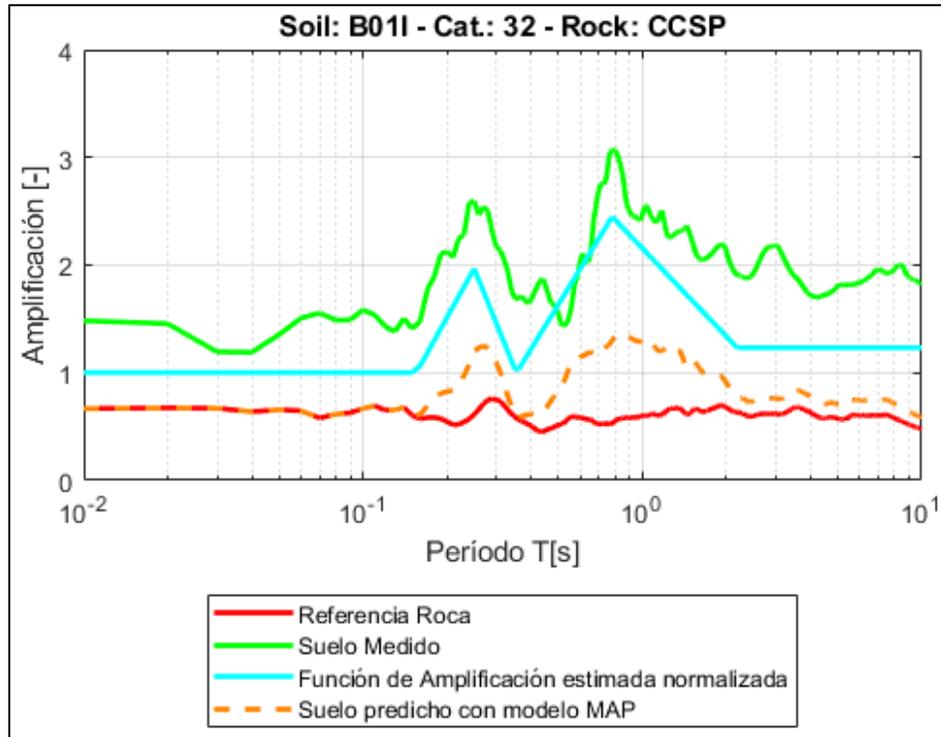


Figura 126.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones B01I-CCSP.

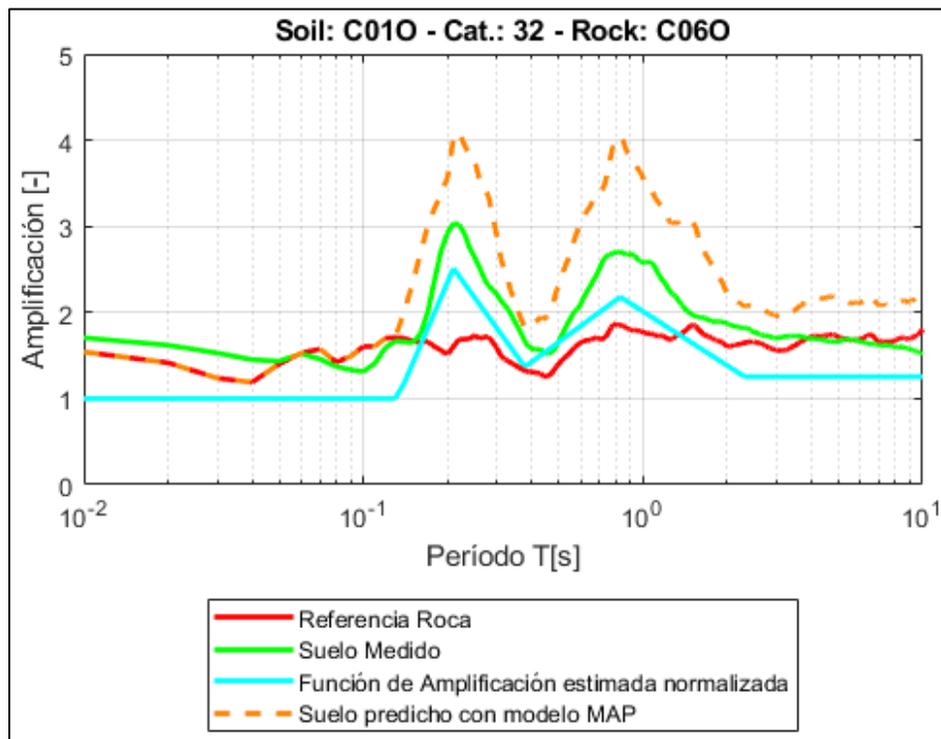
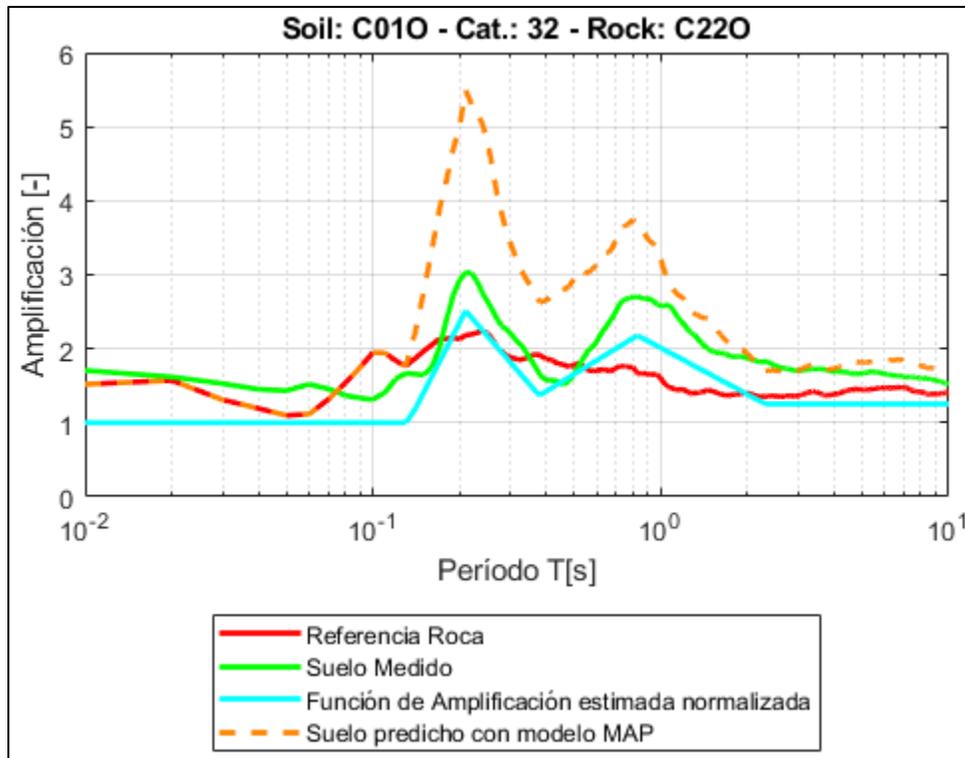
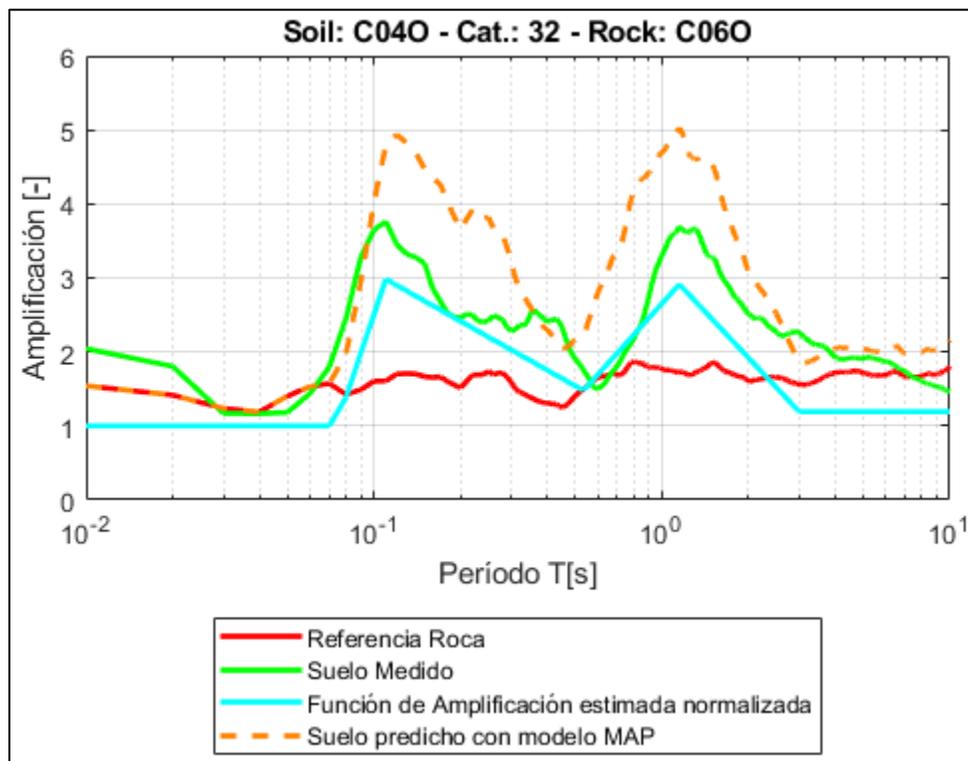


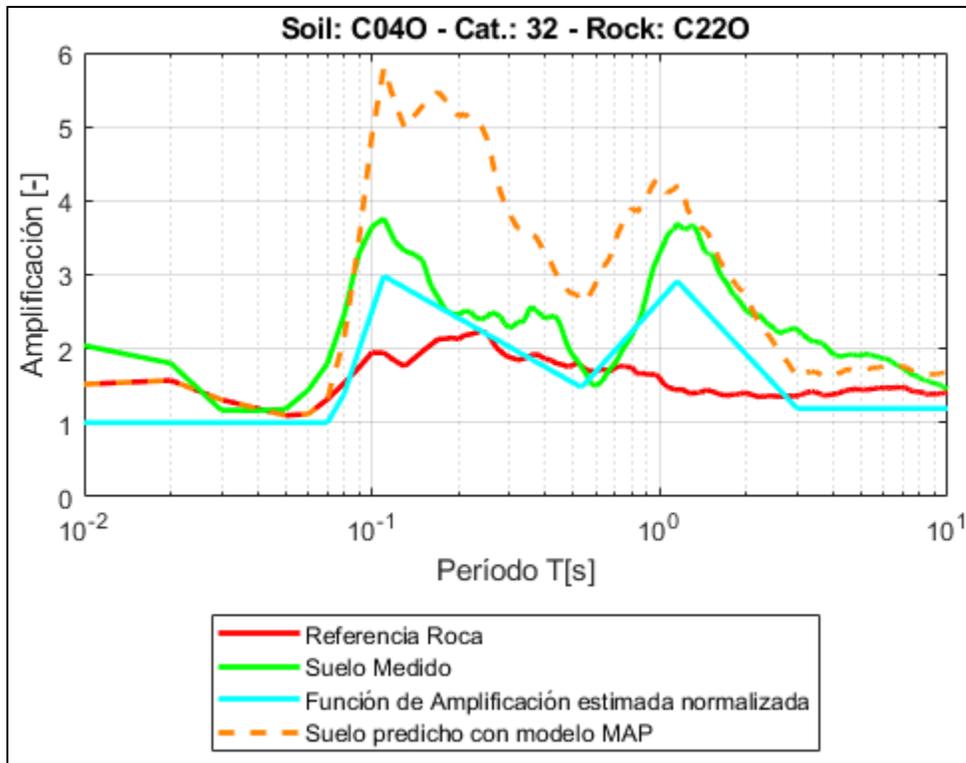
Figura 127.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones C01O-C06O.



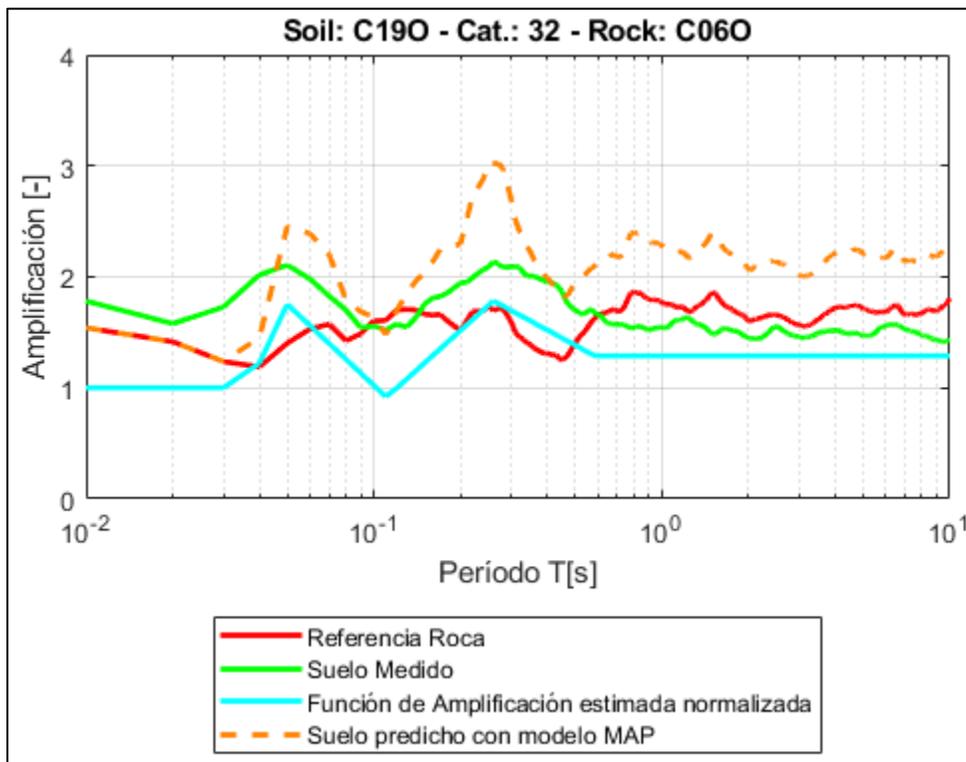
*Figura 128.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones C010-C220.*



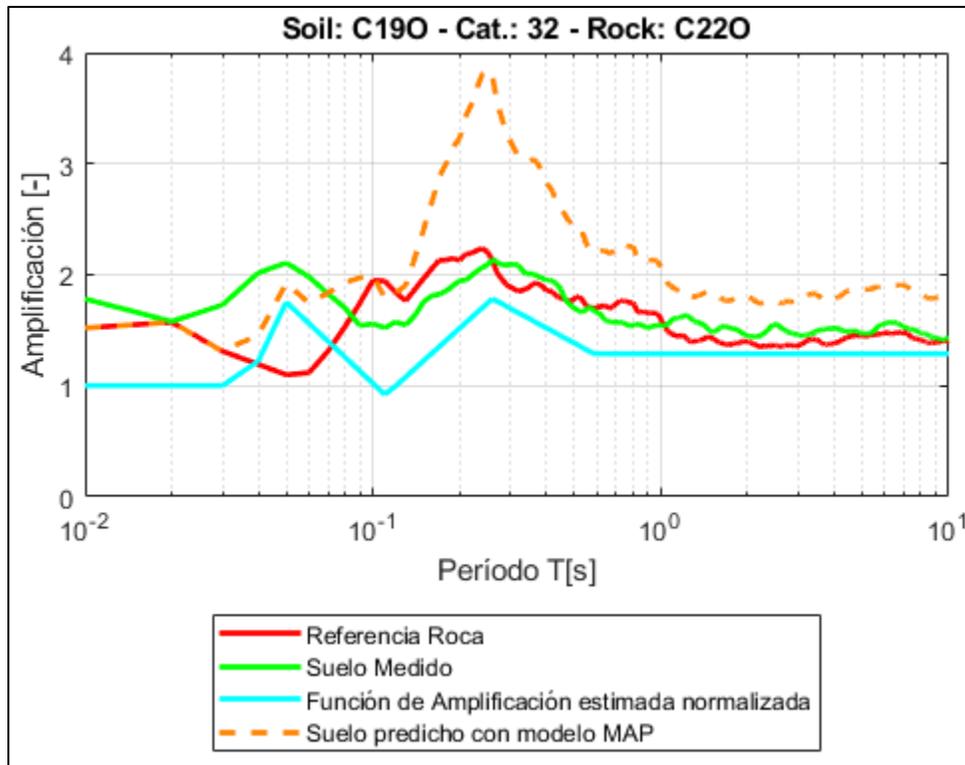
*Figura 129.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones C040-C060.*



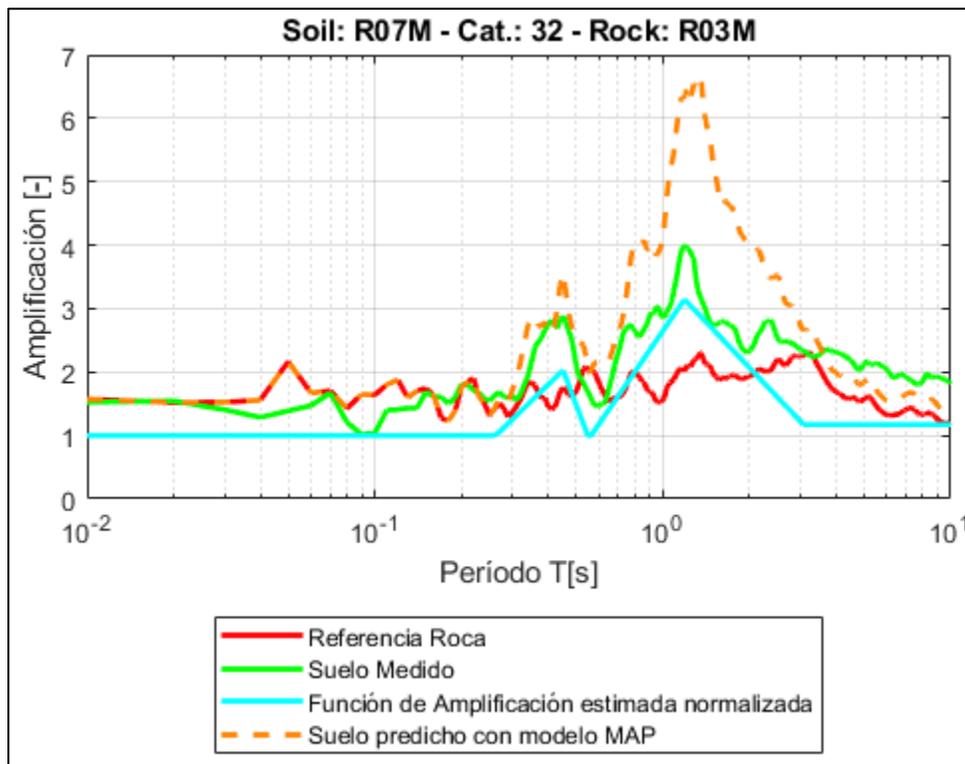
*Figura 130.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones C040-C220.*



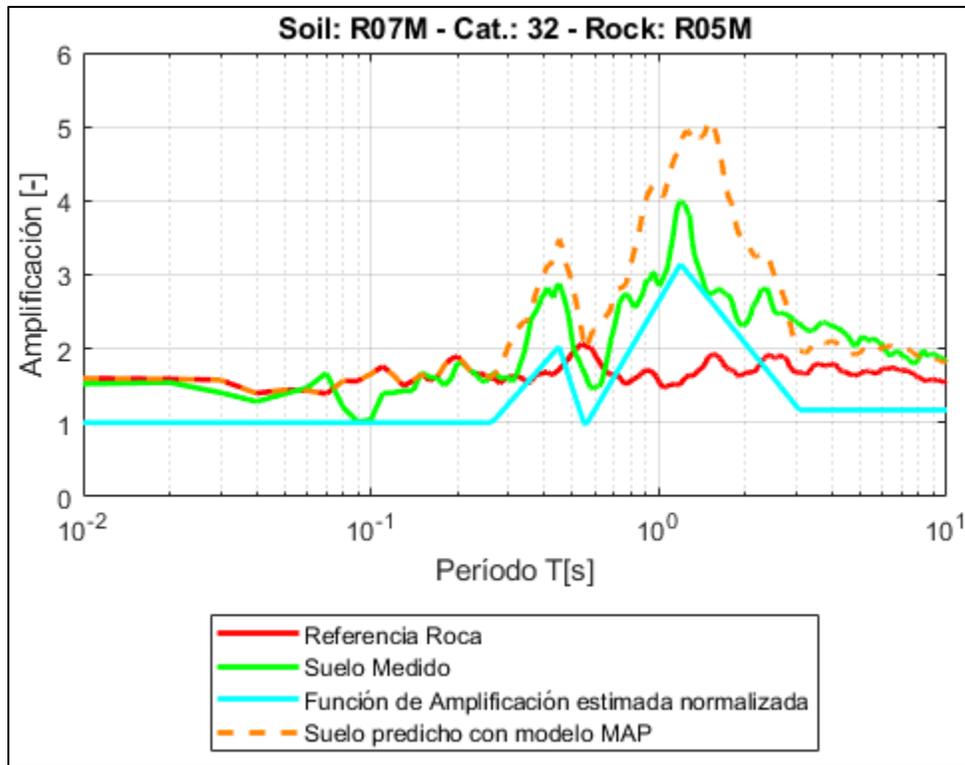
*Figura 131.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones C190-C060.*



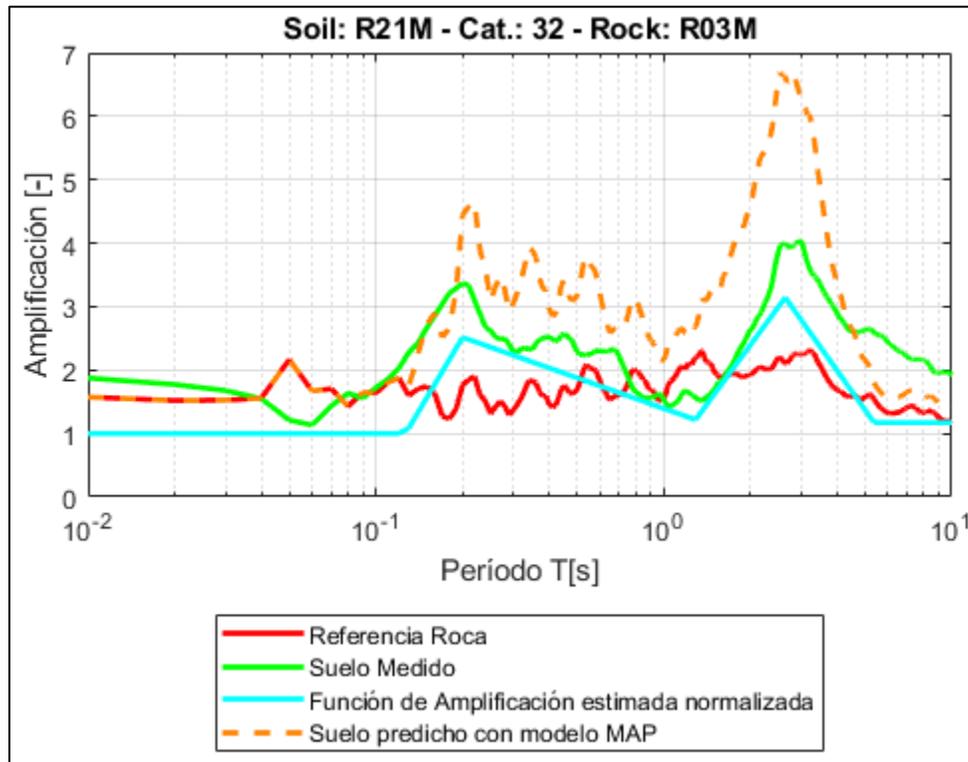
*Figura 132.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones C190-C220.*



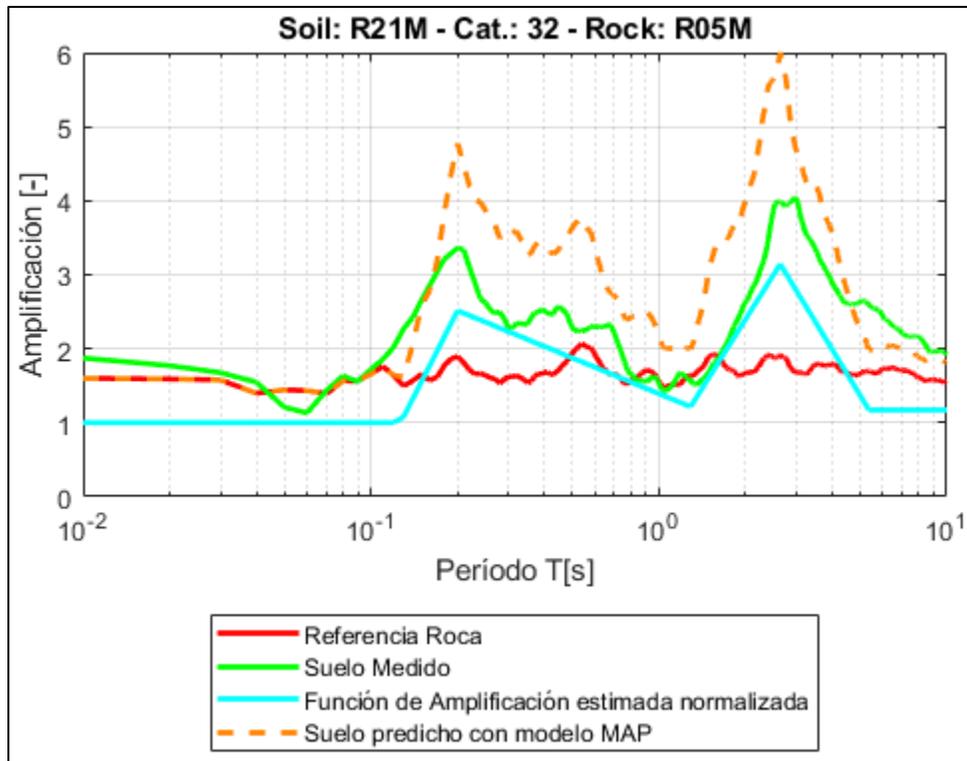
*Figura 133.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones R07M-R03M.*



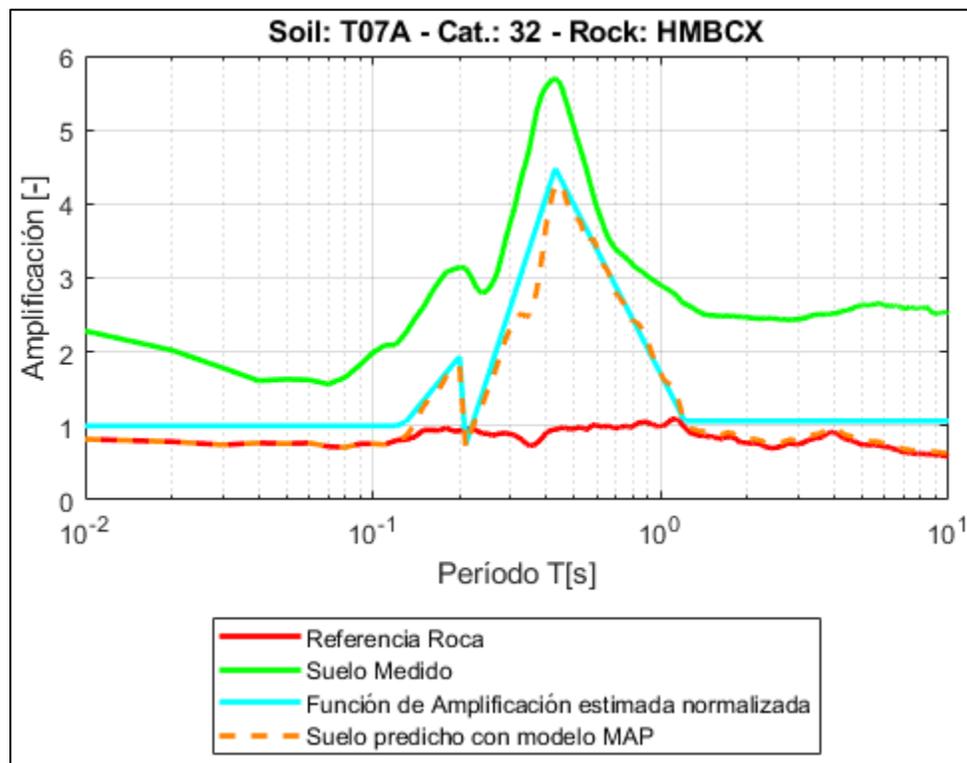
*Figura 134.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones R07M-R05M.*



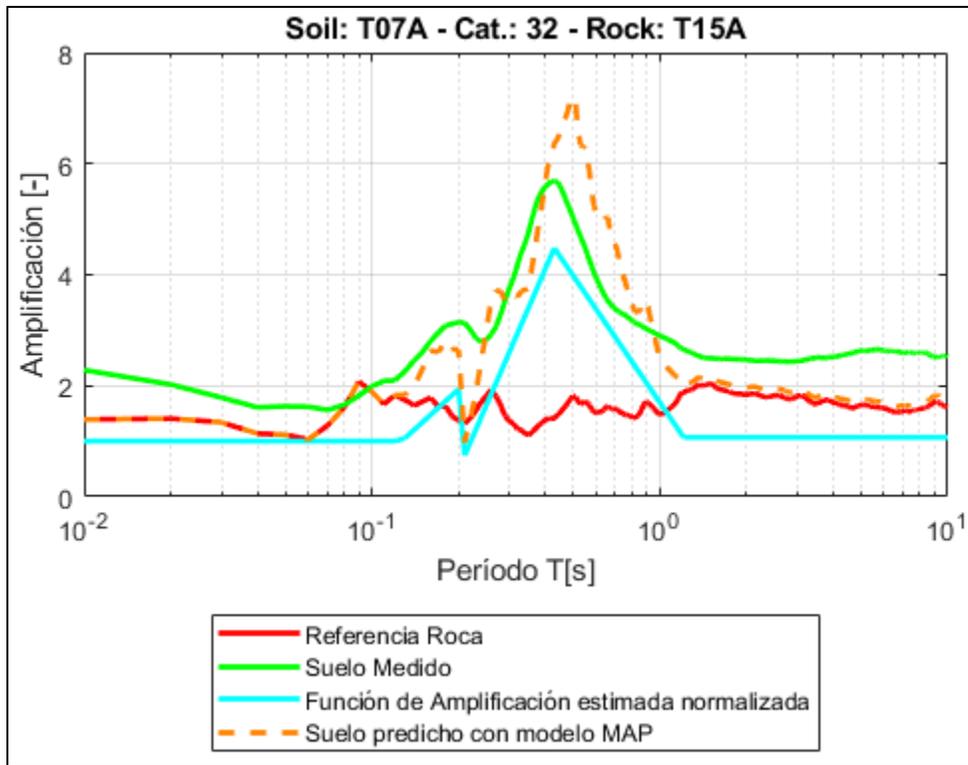
*Figura 135.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones R21M-R03M.*



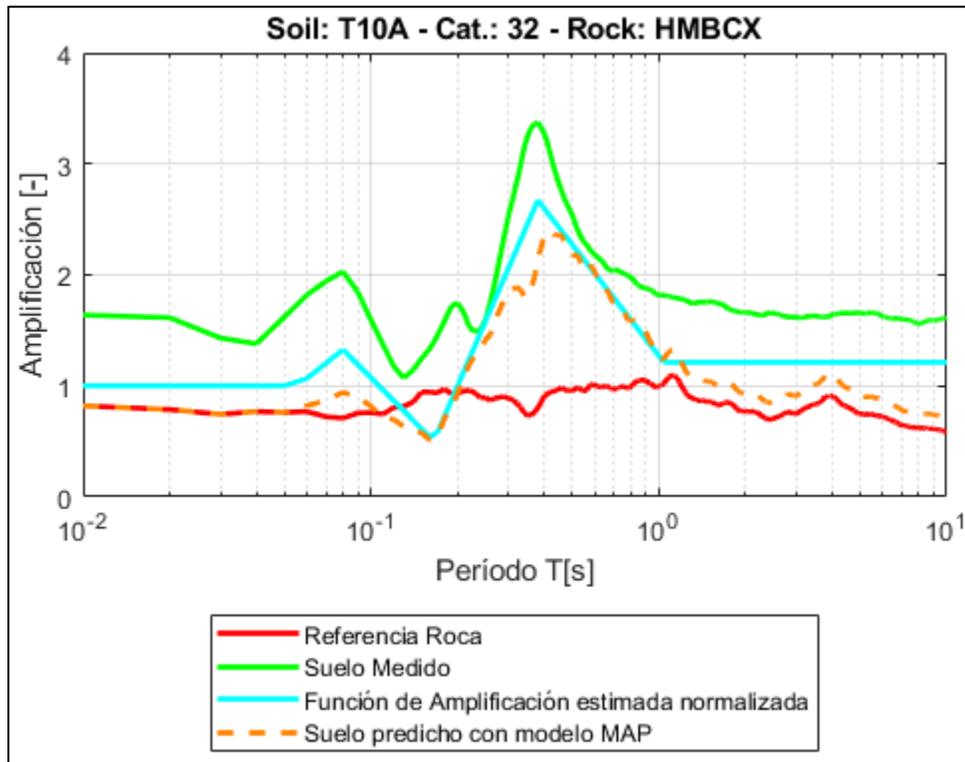
*Figura 136.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones R21M-R05M.*



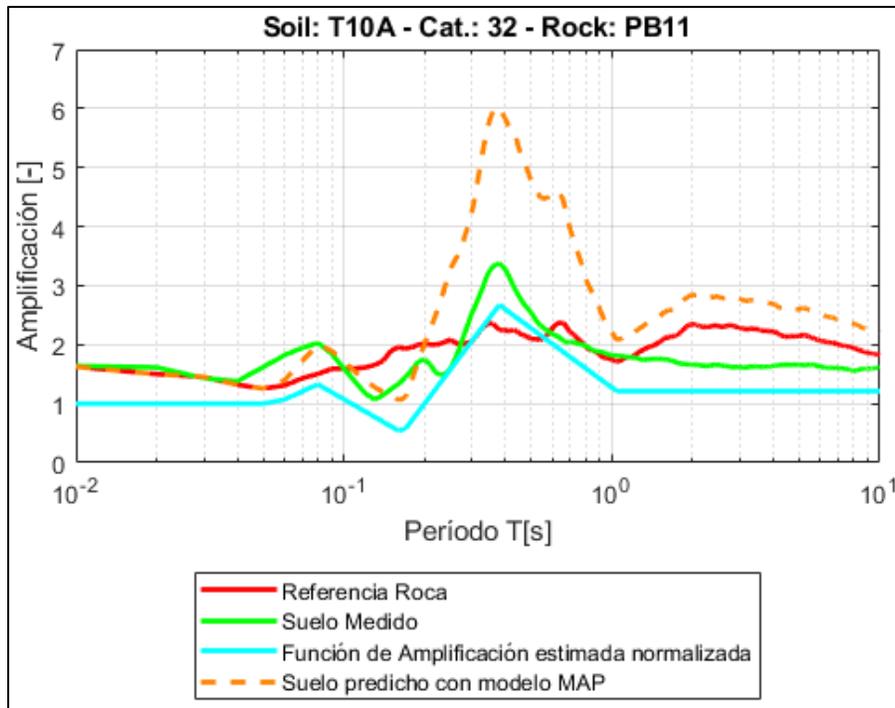
*Figura 137.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones T07A-HMBCX.*



*Figura 138.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones T07A-T15A.*

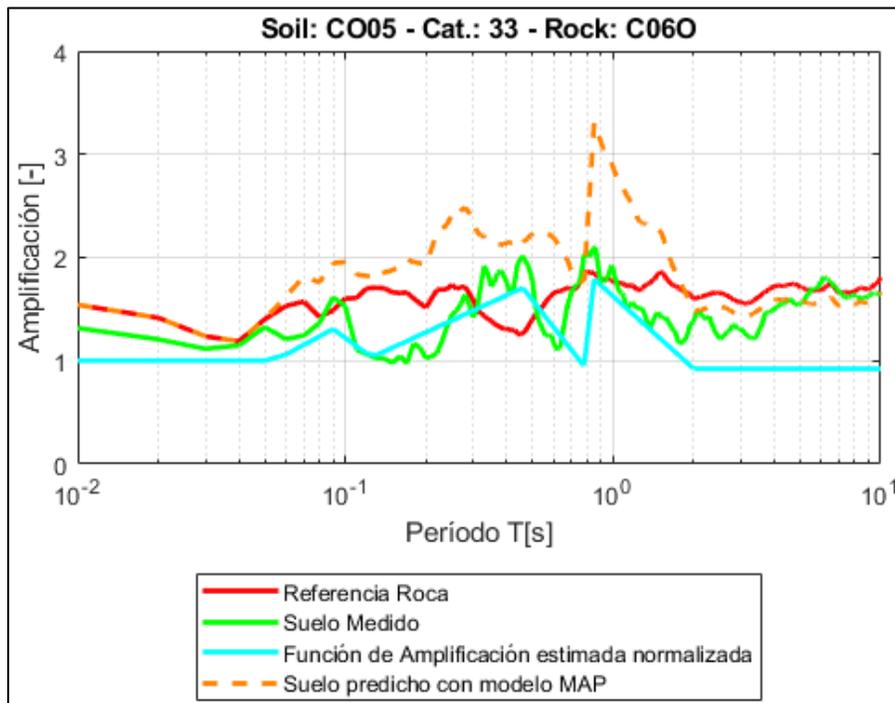


*Figura 139.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones T10A-HMBCX.*



*Figura 140.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones T10A-PB11.*

**Anexo E.3 - Categoría III - 3 Peak**



*Figura 141.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones CO05-C060.*

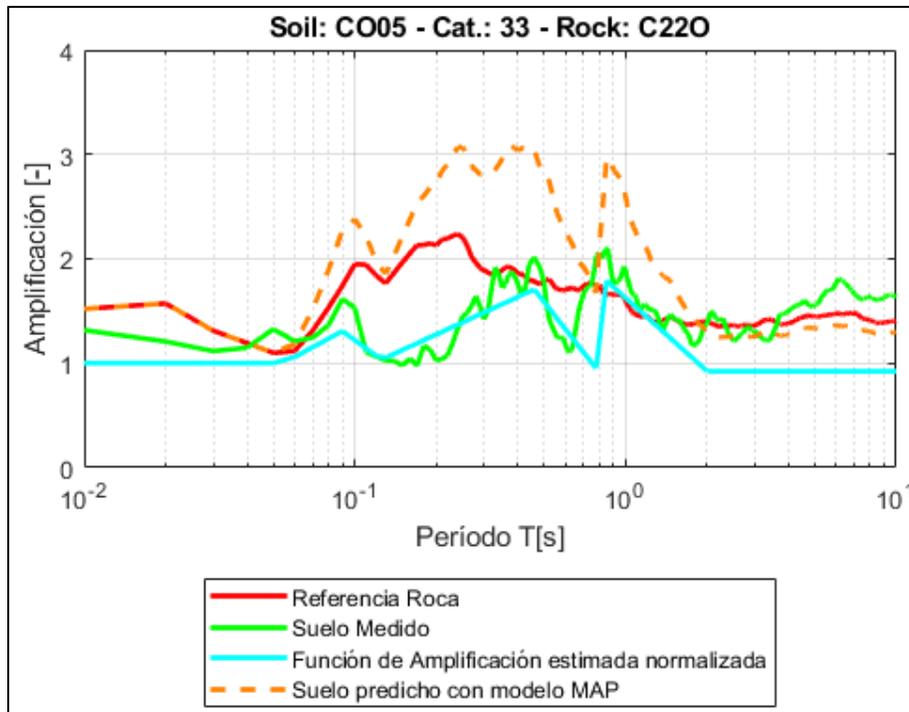


Figura 142.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones CO05-C220.

Anexo E.4 - Categoría III - 4 Peak

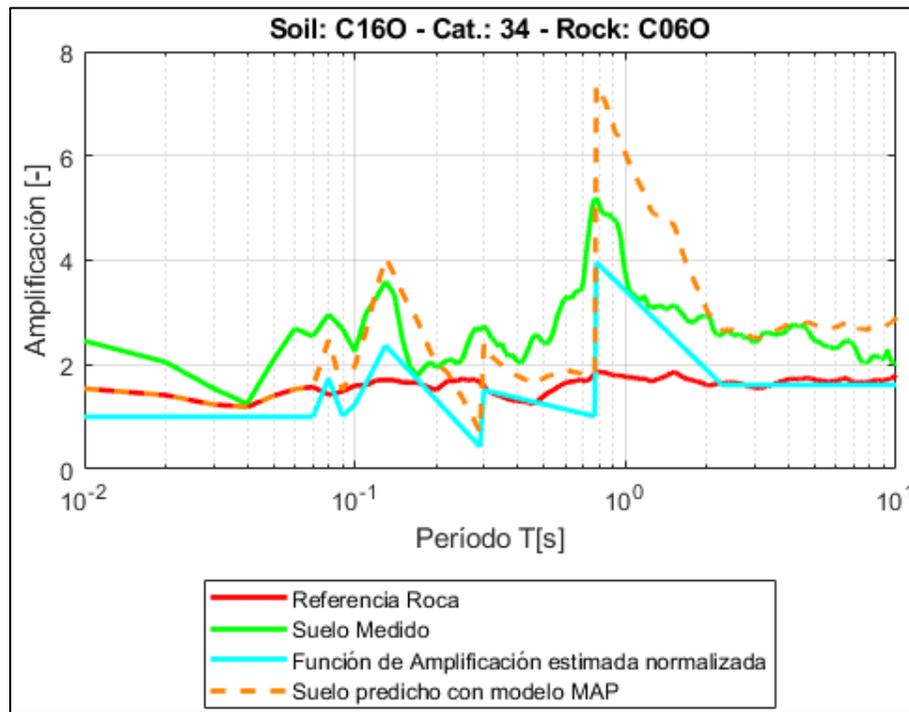
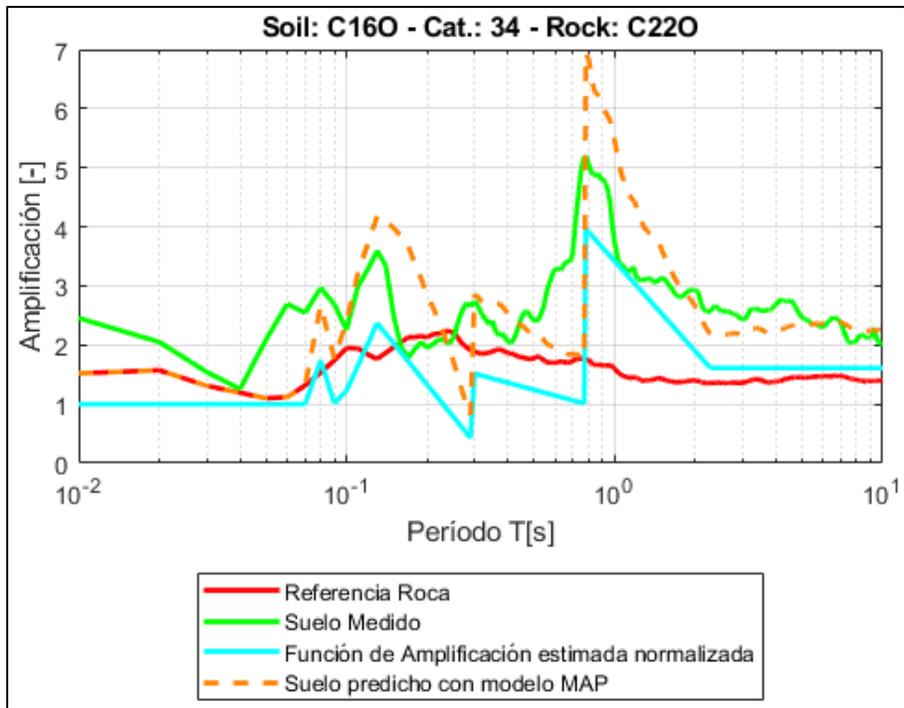
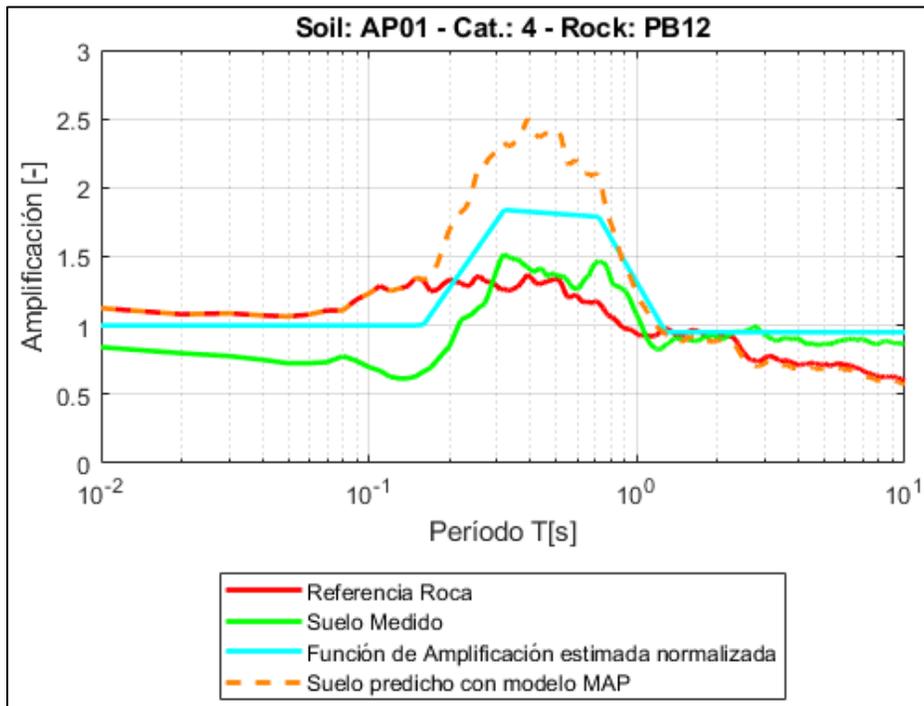


Figura 143.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones C160-C060.



*Figura 144.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones C160-C220.*

**Anexo E.5 - Categoría IV - Banda Ancha**



*Figura 145.- Modelo predictivo de HVRSR estaciones AP01-PB12.*

## Anexo F - Espectros de Aceleración Reales y Predichos

### Anexo F.1 - Categoría II - 1 Peak

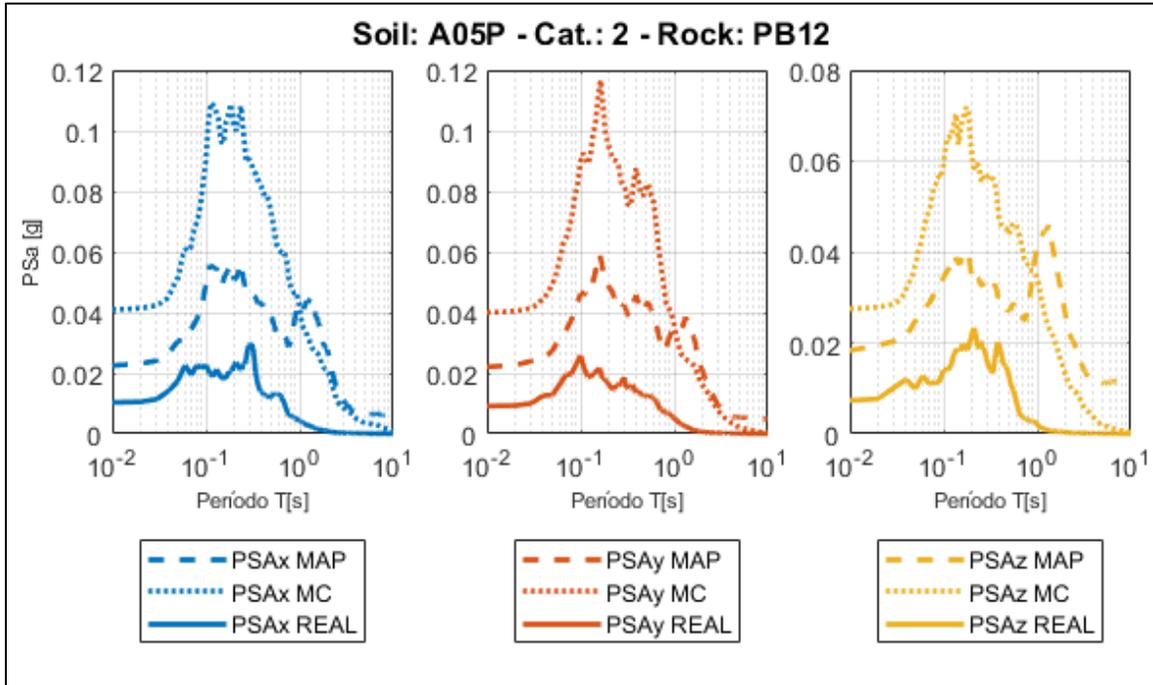


Figura 146.- PSA reales y predichos estaciones A05P-PB12.

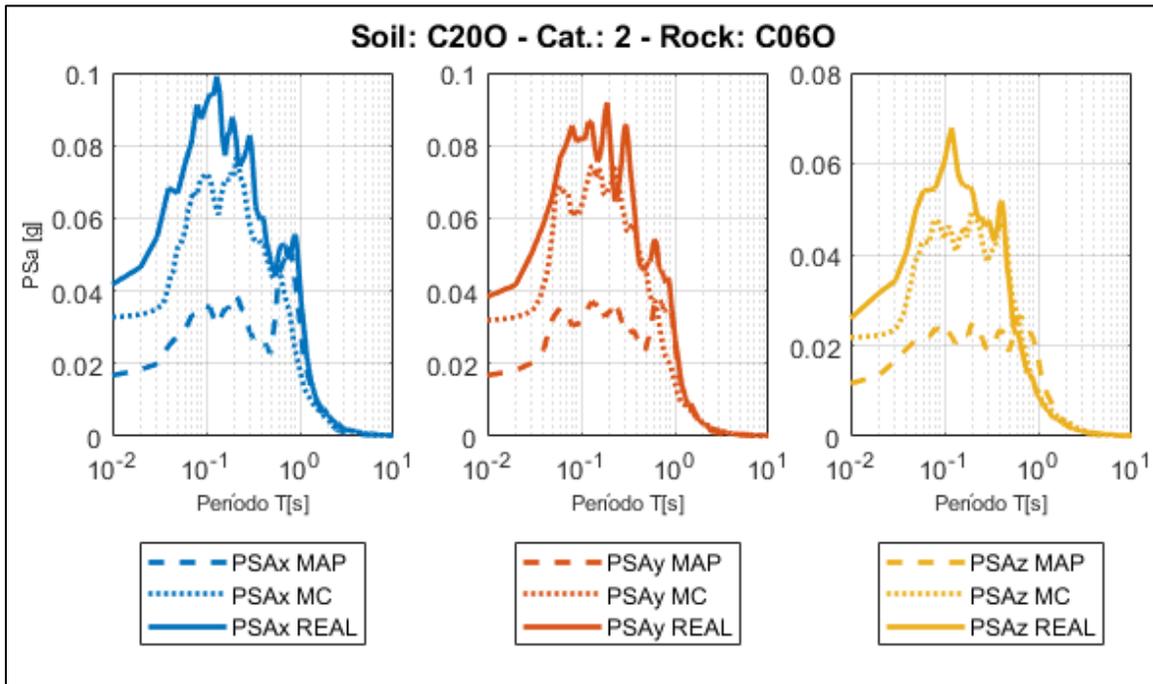


Figura 147.- PSA reales y predichos estaciones C200-C060.

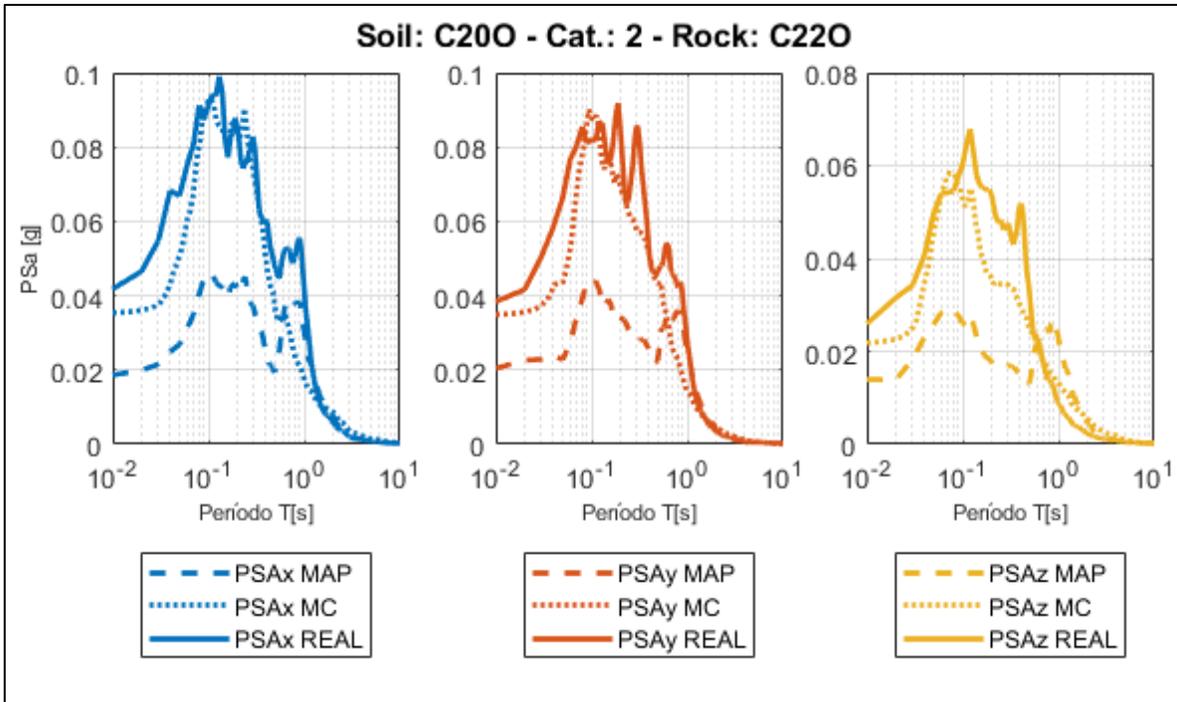


Figura 148.- PSA reales y predichos estaciones C200-C220.

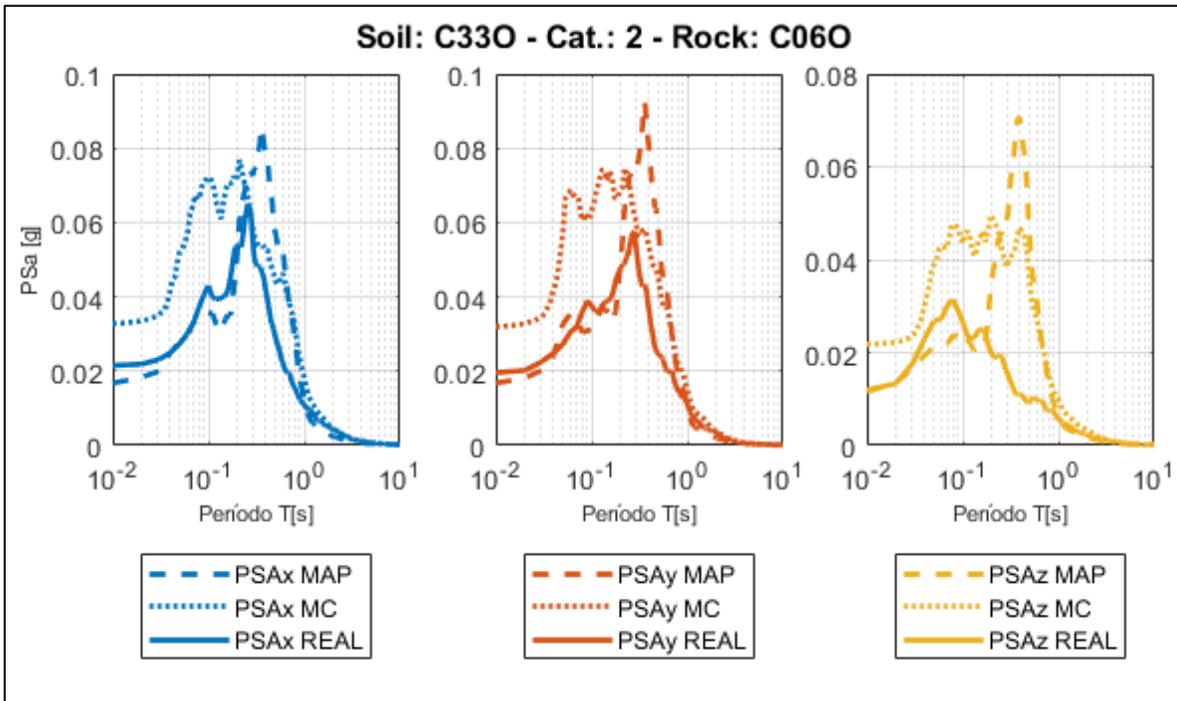


Figura 149.- PSA reales y predichos estaciones C330-C060.

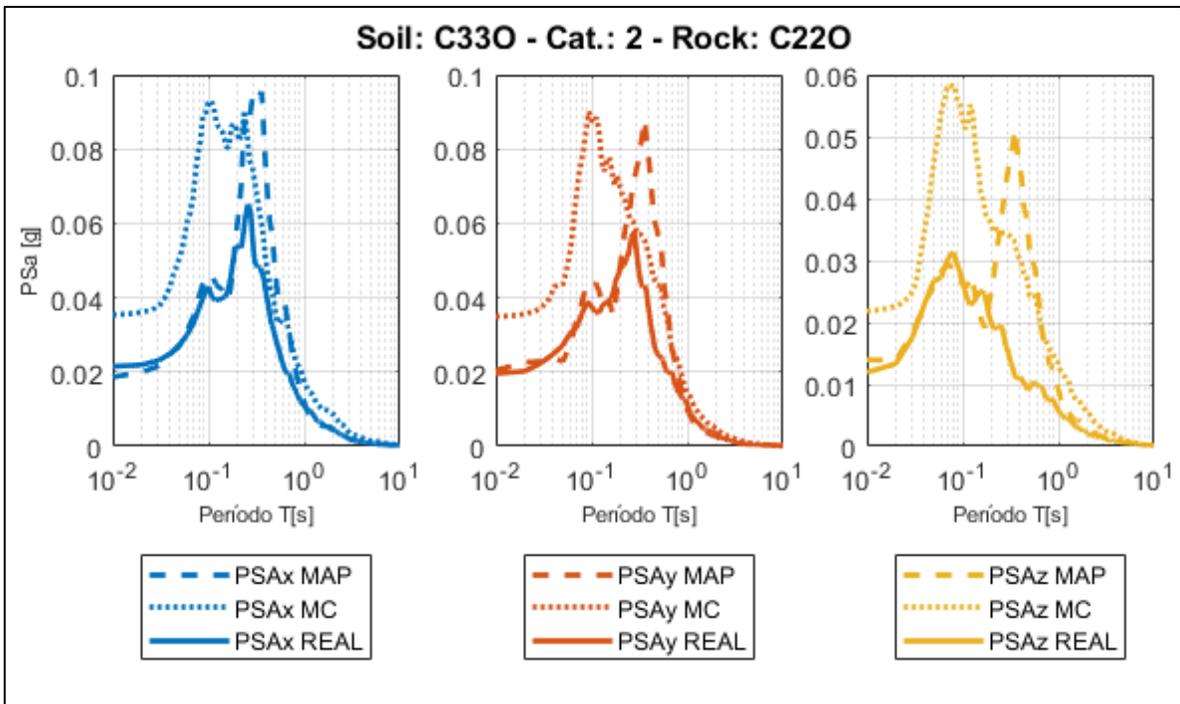


Figura 150.- PSA reales y predichos estaciones C330-C220.

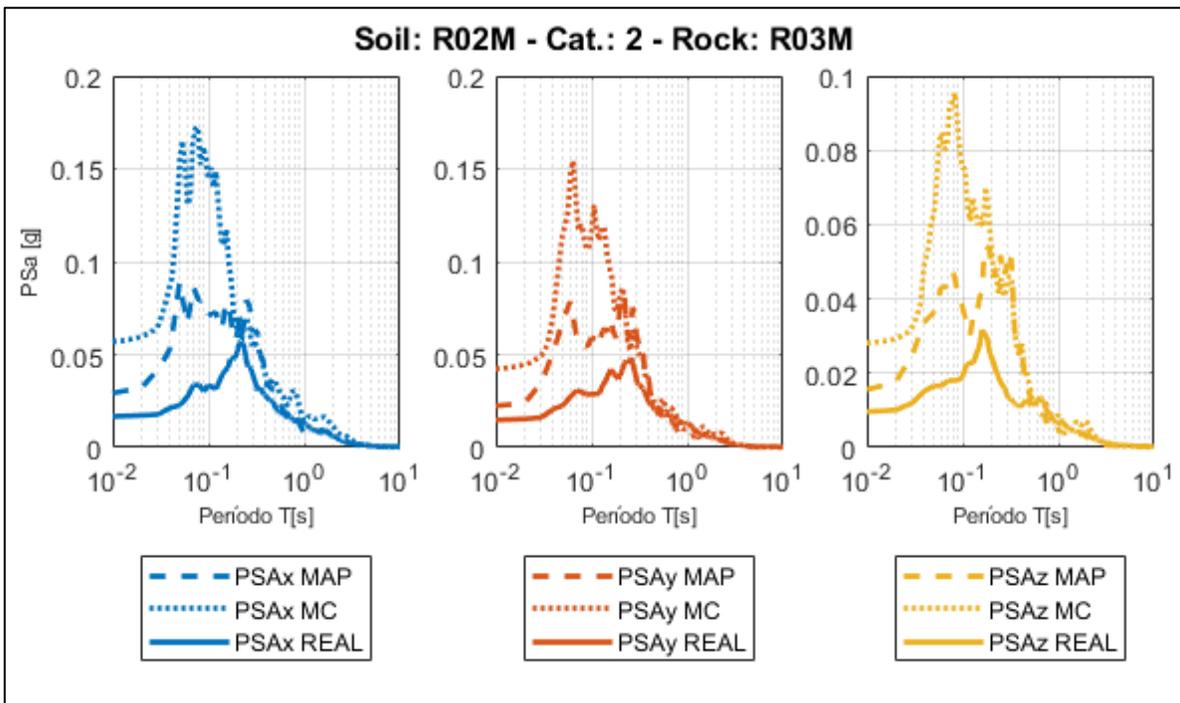


Figura 151.- PSA reales y predichos estaciones R02M-R03M.

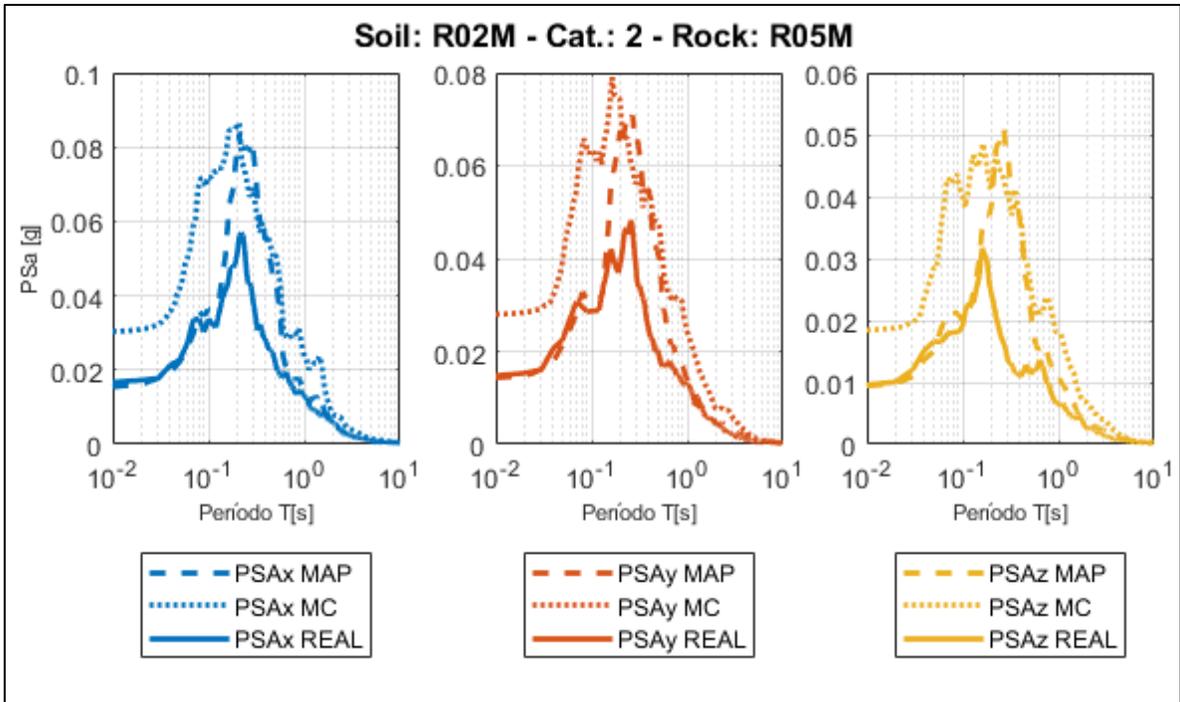


Figura 152.- PSA reales y predichos estaciones R02M-R05M.

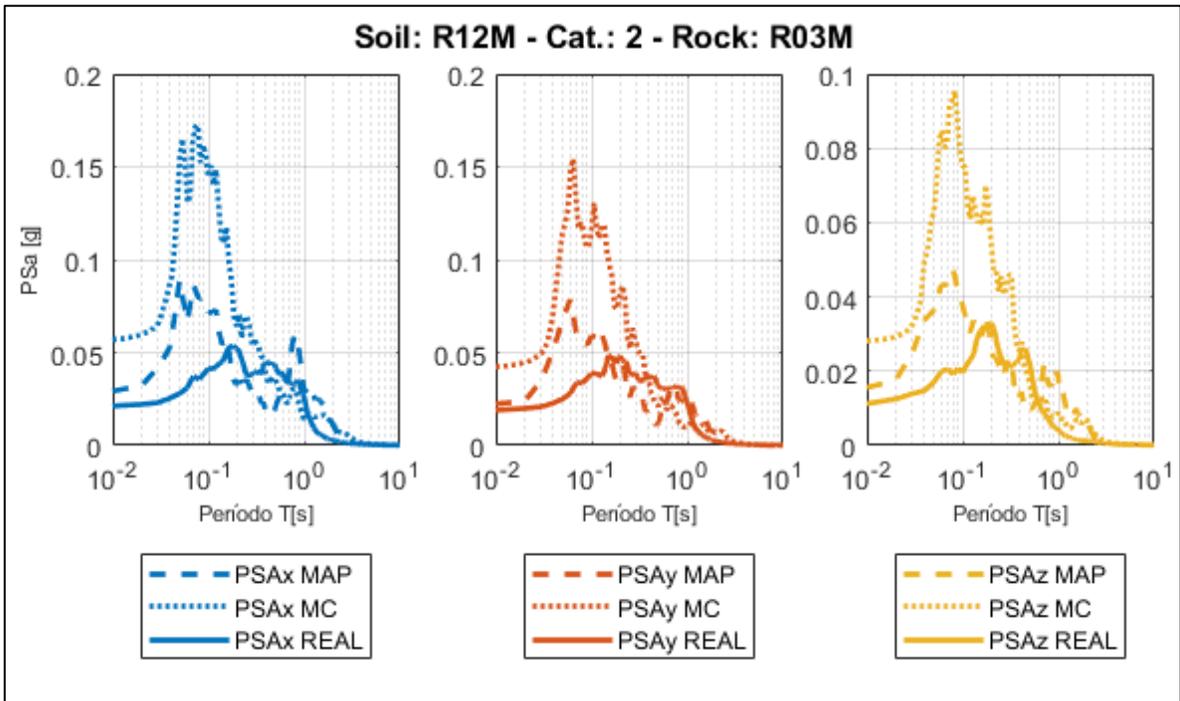
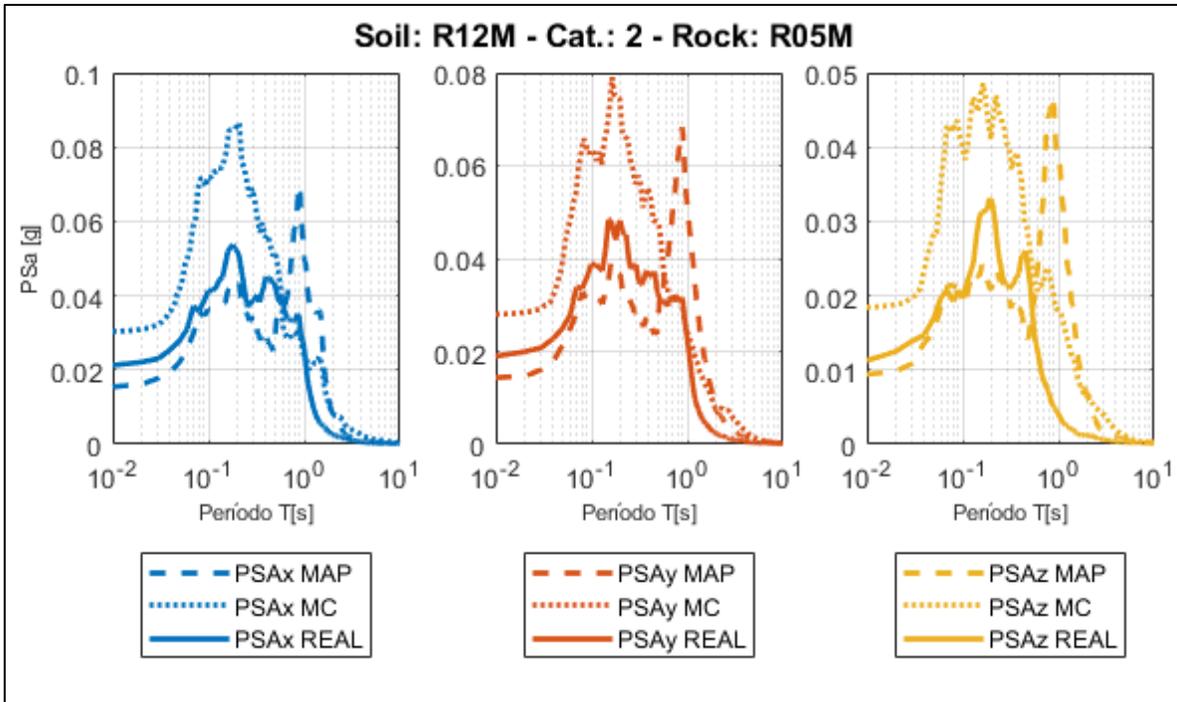
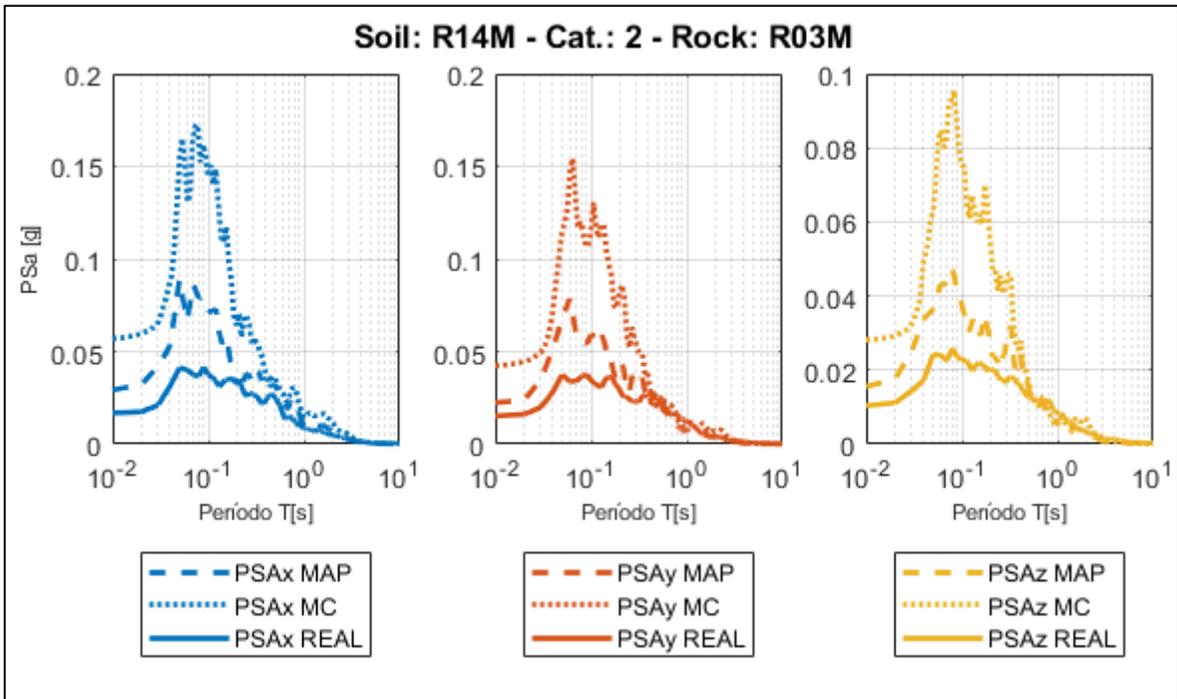


Figura 153.- PSA reales y predichos estaciones R12M-R03M.



*Figura 154.- PSA reales y predichos estaciones R12M-R05M.*



*Figura 155.- PSA reales y predichos estaciones R14M-R03M.*

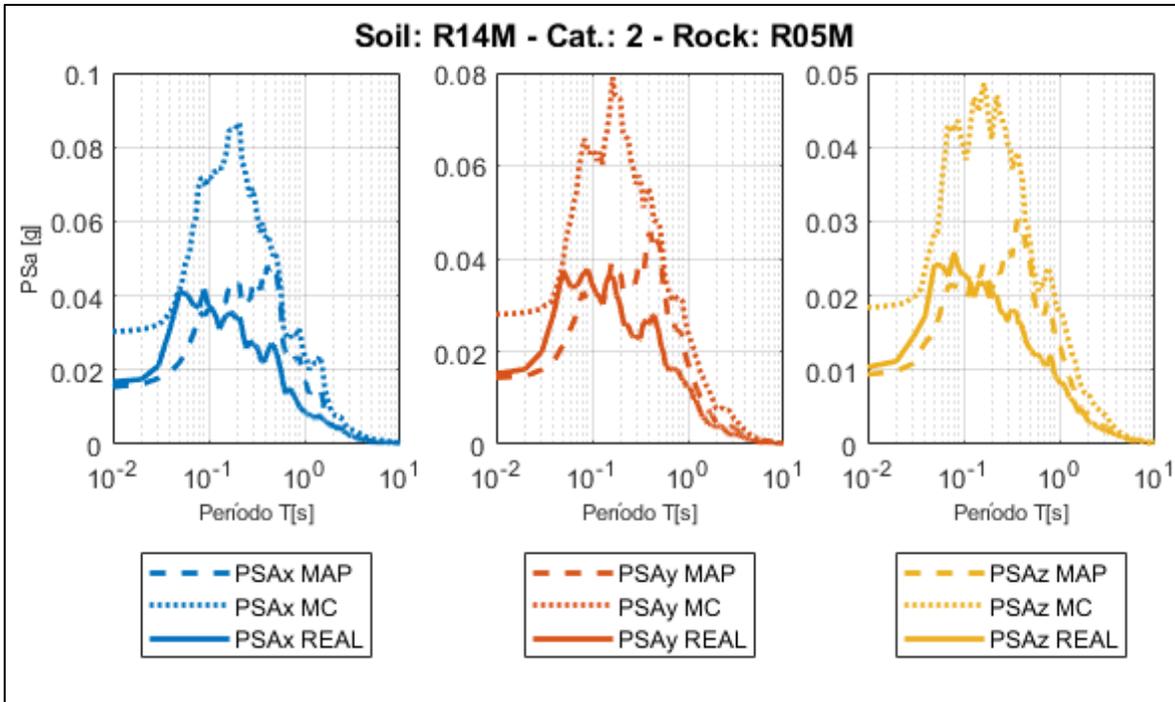


Figura 156.- PSA reales y predichos estaciones R14M-R05M.

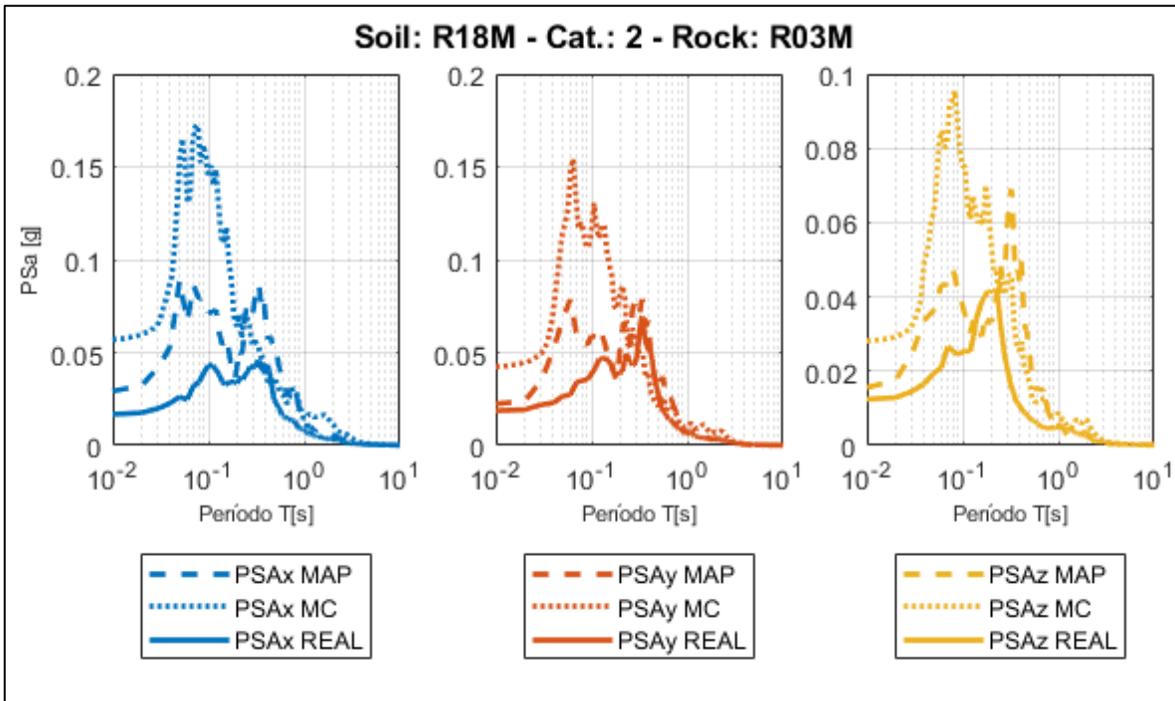
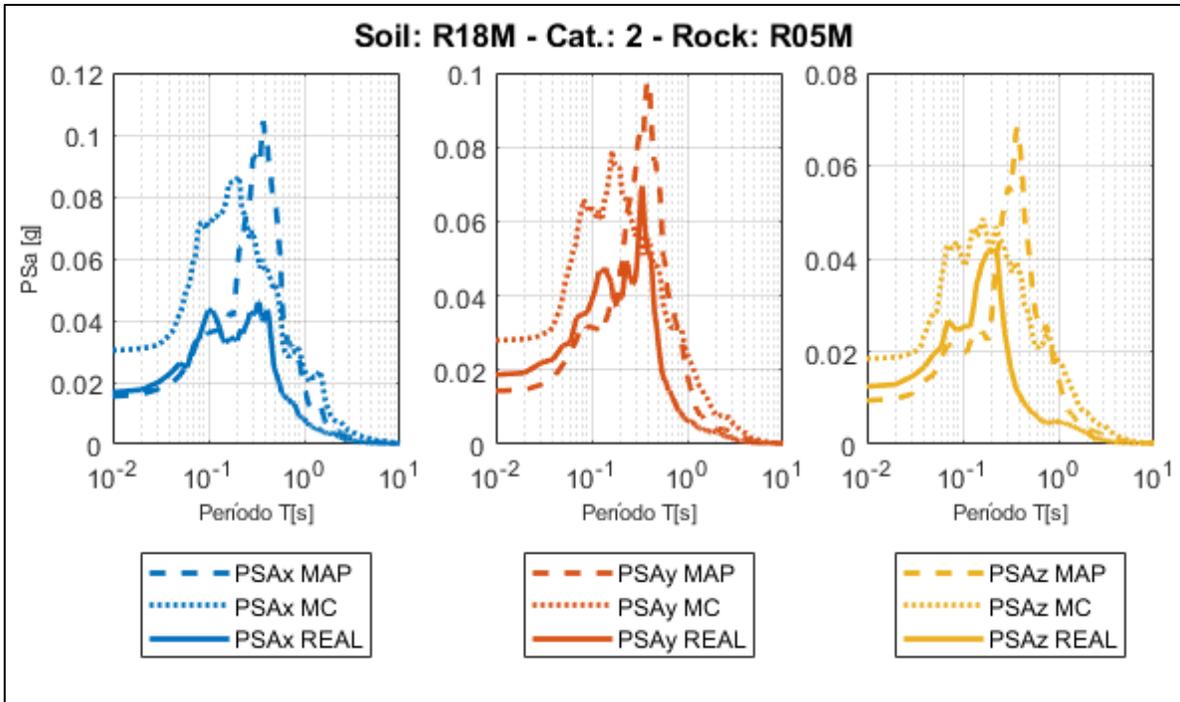
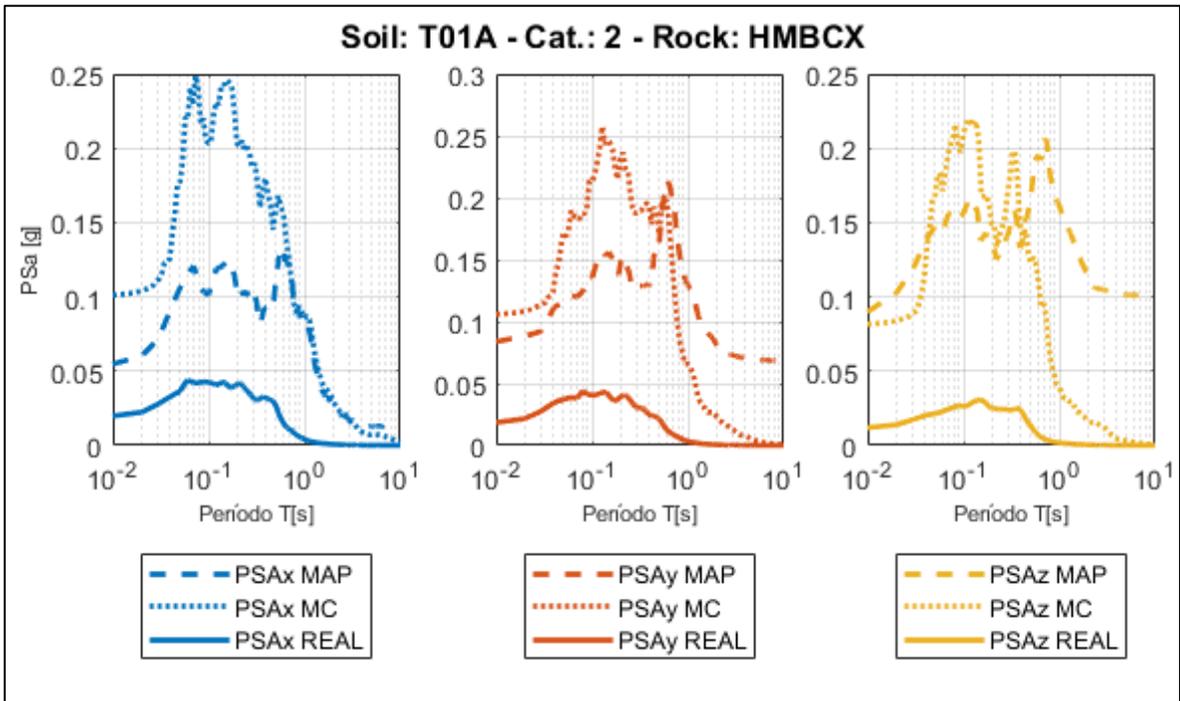


Figura 157.- PSA reales y predichos estaciones R18M-R03M.



*Figura 158.- PSA reales y predichos estaciones R18M-R05M.*



*Figura 159.- PSA reales y predichos estaciones T01A-HMBCX.*

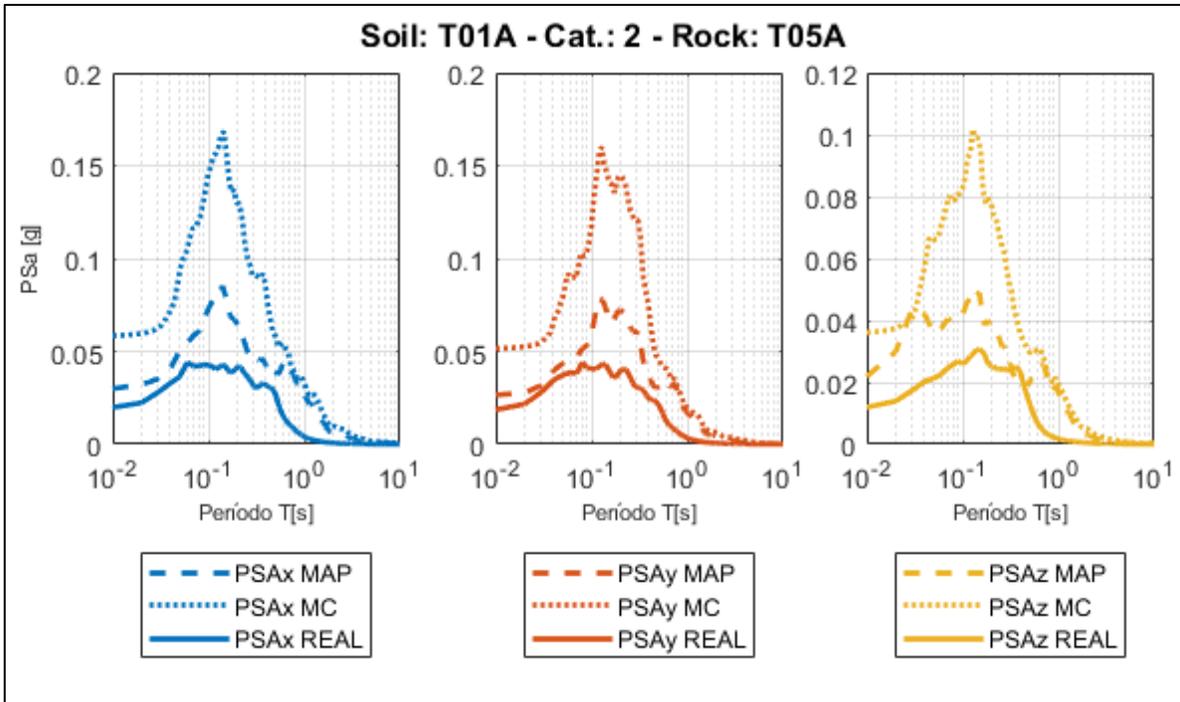


Figura 160.- PSA reales y predichos estaciones T01A-T05A.

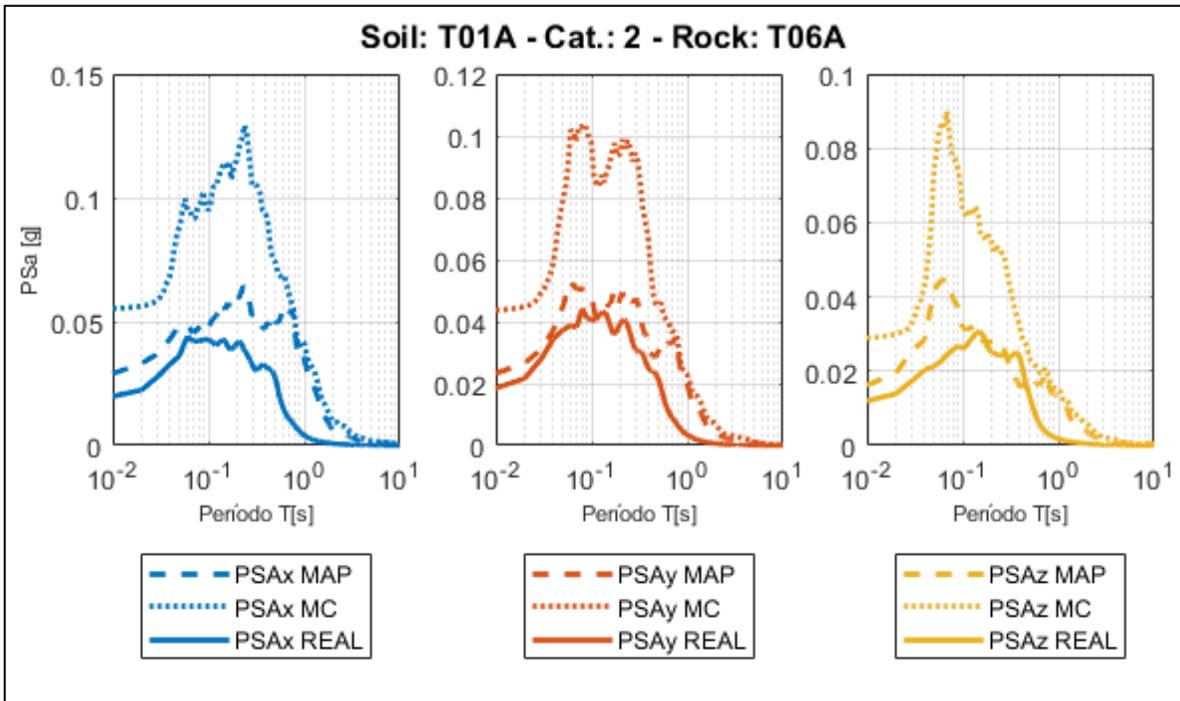


Figura 161.- PSA reales y predichos estaciones T01A-T06A.

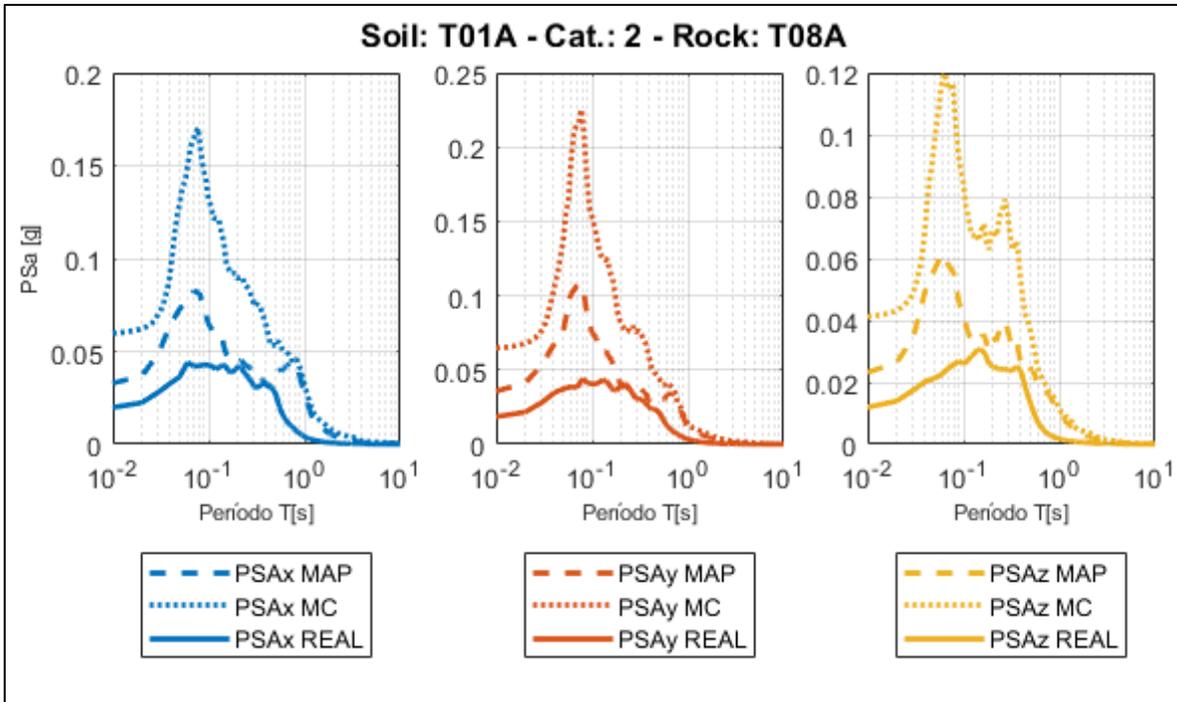


Figura 162.- PSA reales y predichos estaciones T01A-T08A.

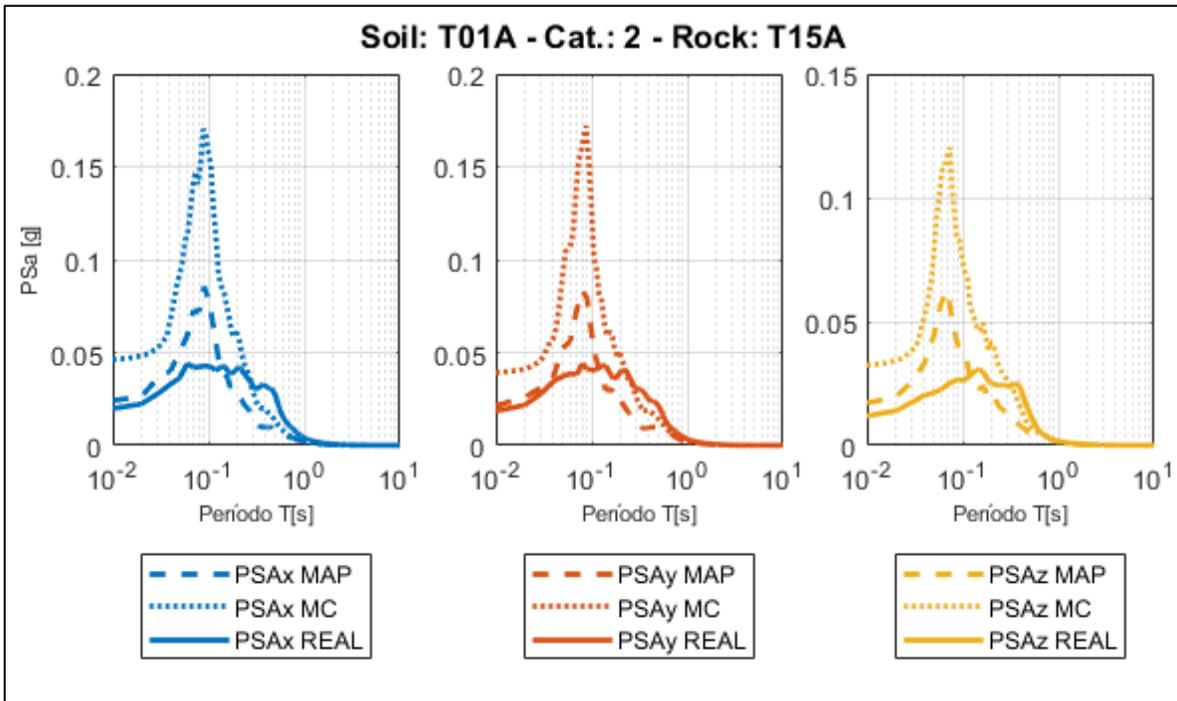
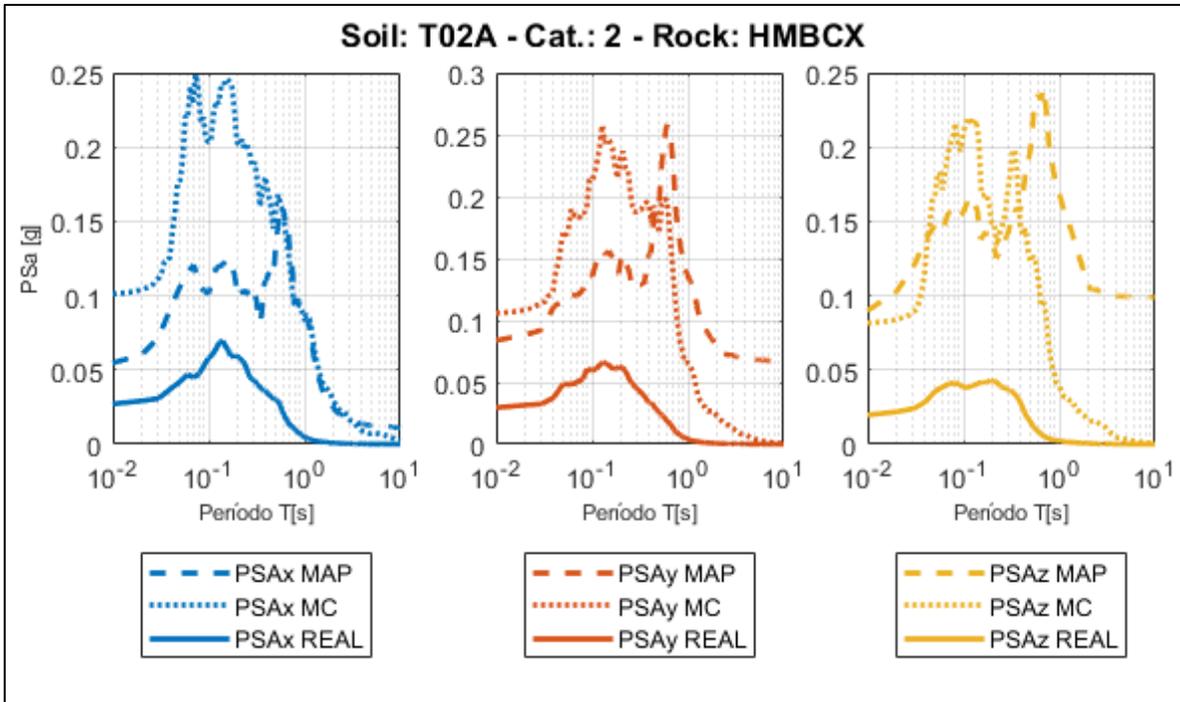
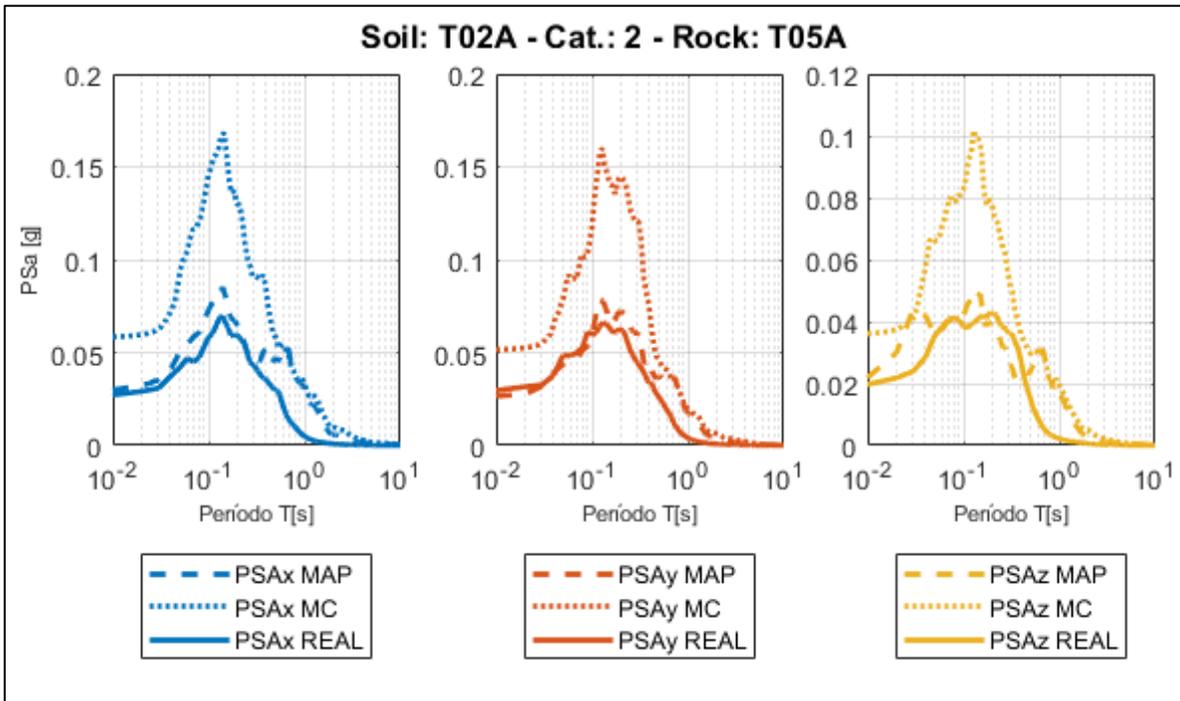


Figura 163.- PSA reales y predichos estaciones T01A-T15A.



*Figura 164.- PSA reales y predichos estaciones T02A-HMBCX.*



*Figura 165.- PSA reales y predichos estaciones T02A-T05A.*

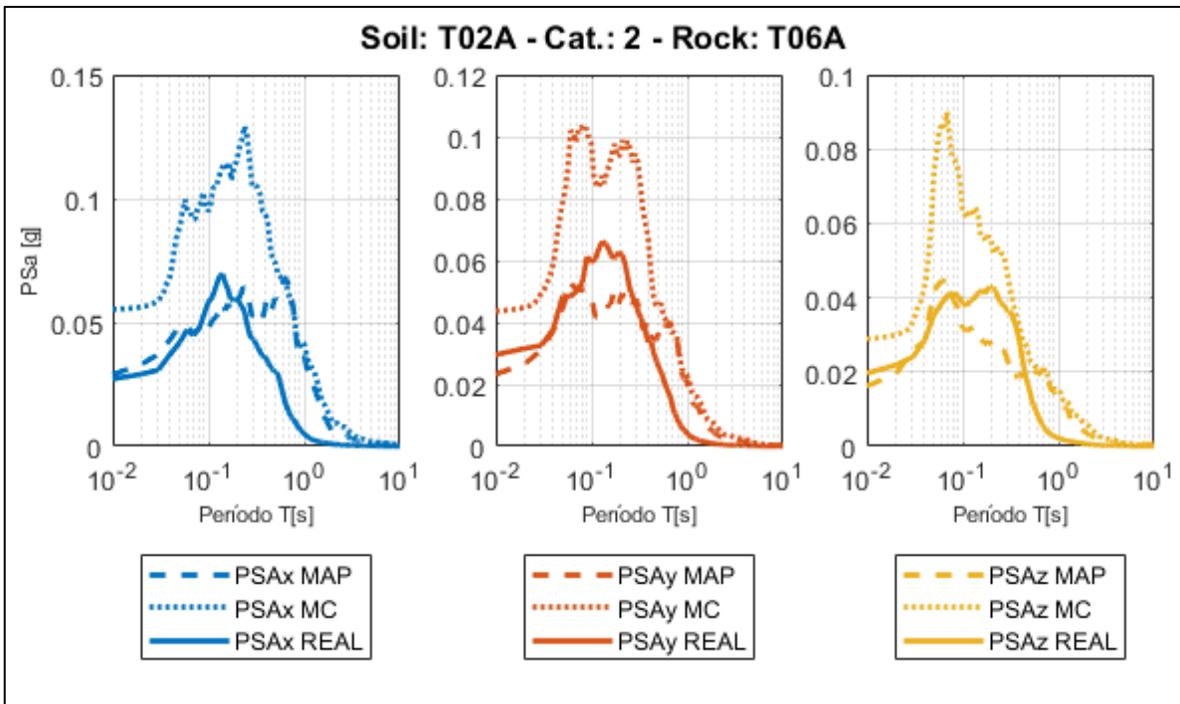


Figura 166.- PSA reales y predichos estaciones T02A-T06A.

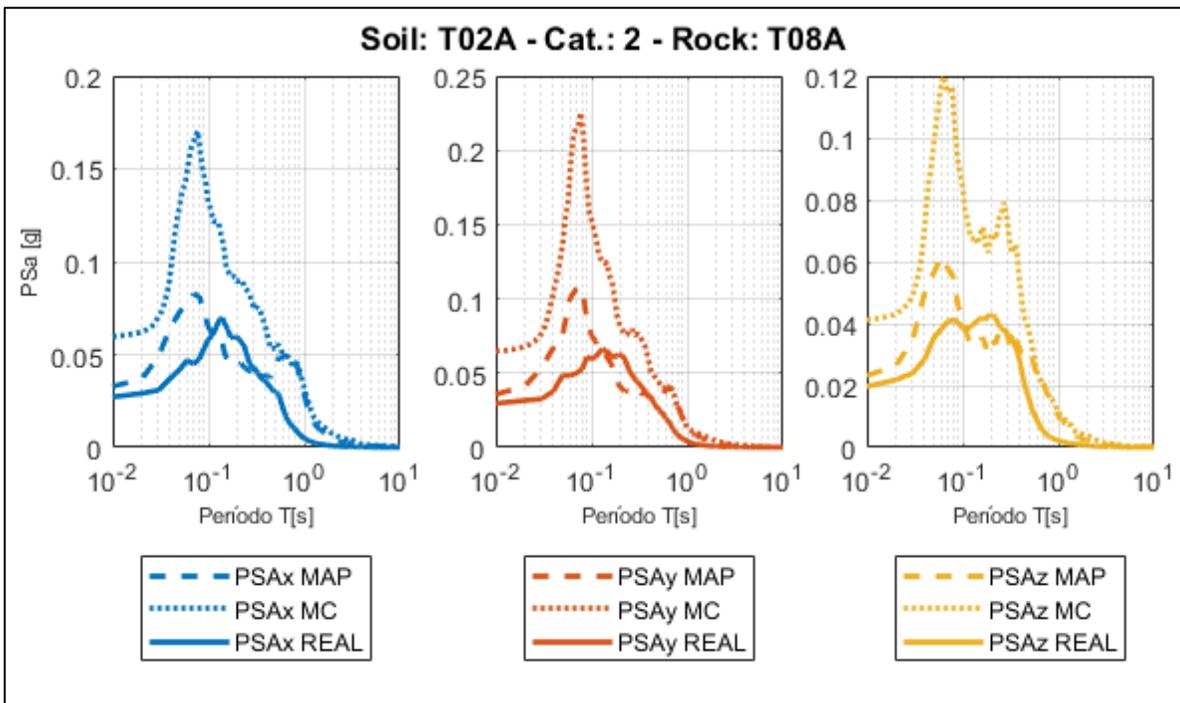


Figura 167.- PSA reales y predichos estaciones T02A-T08A.

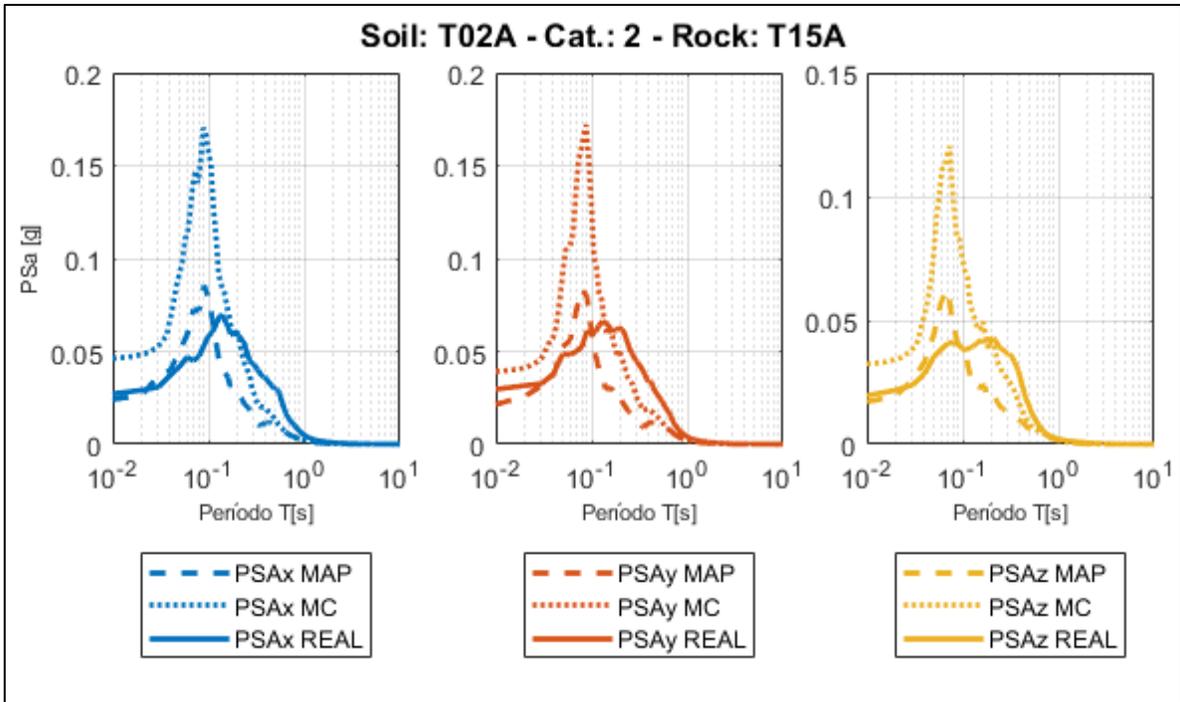


Figura 168.- PSA reales y predichos estaciones T02A-T15A.

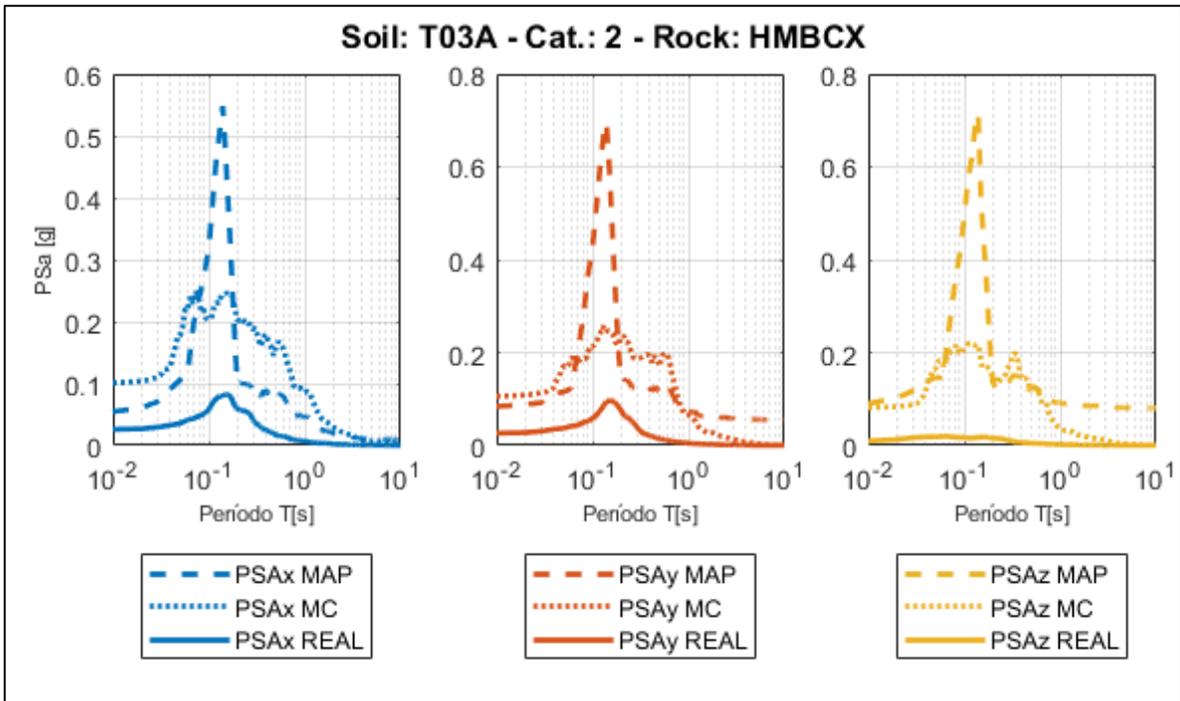
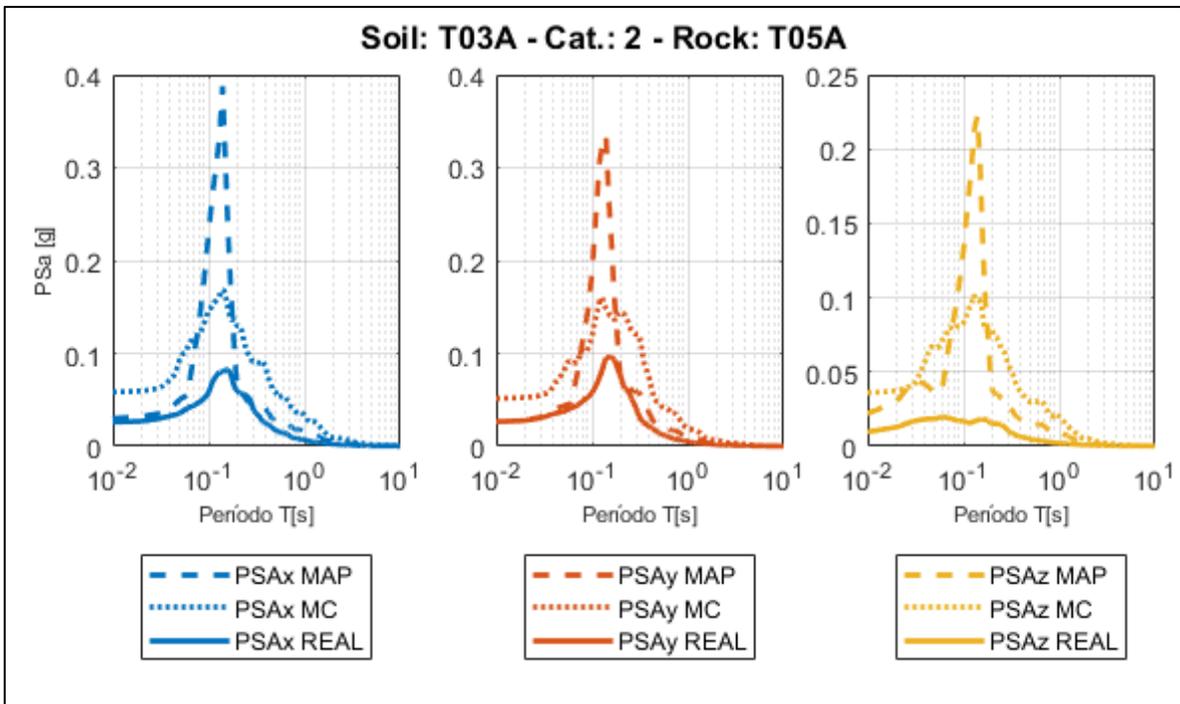
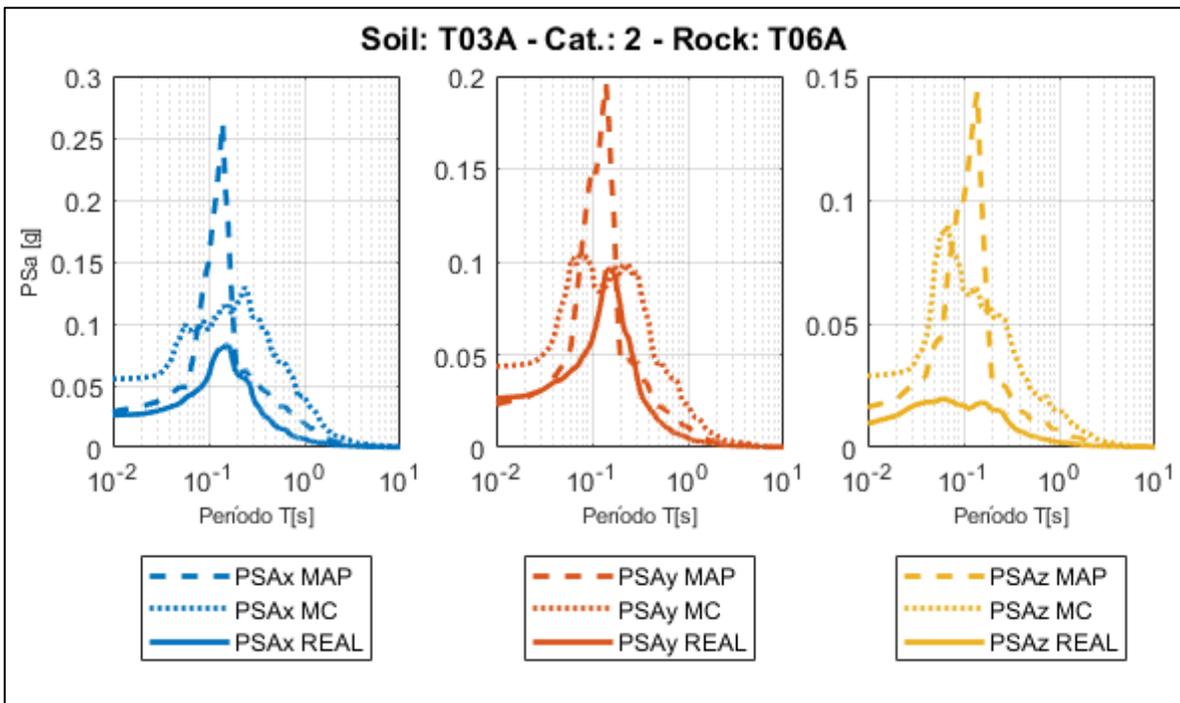


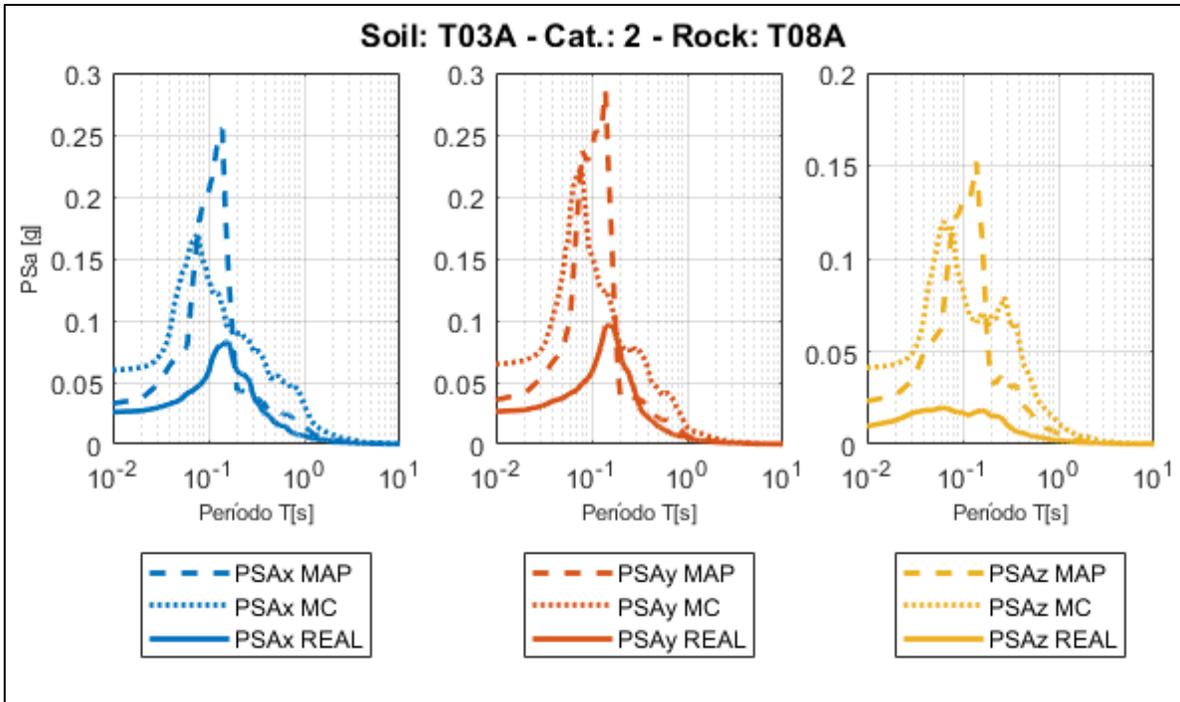
Figura 169.- PSA reales y predichos estaciones T03A-HMBCX.



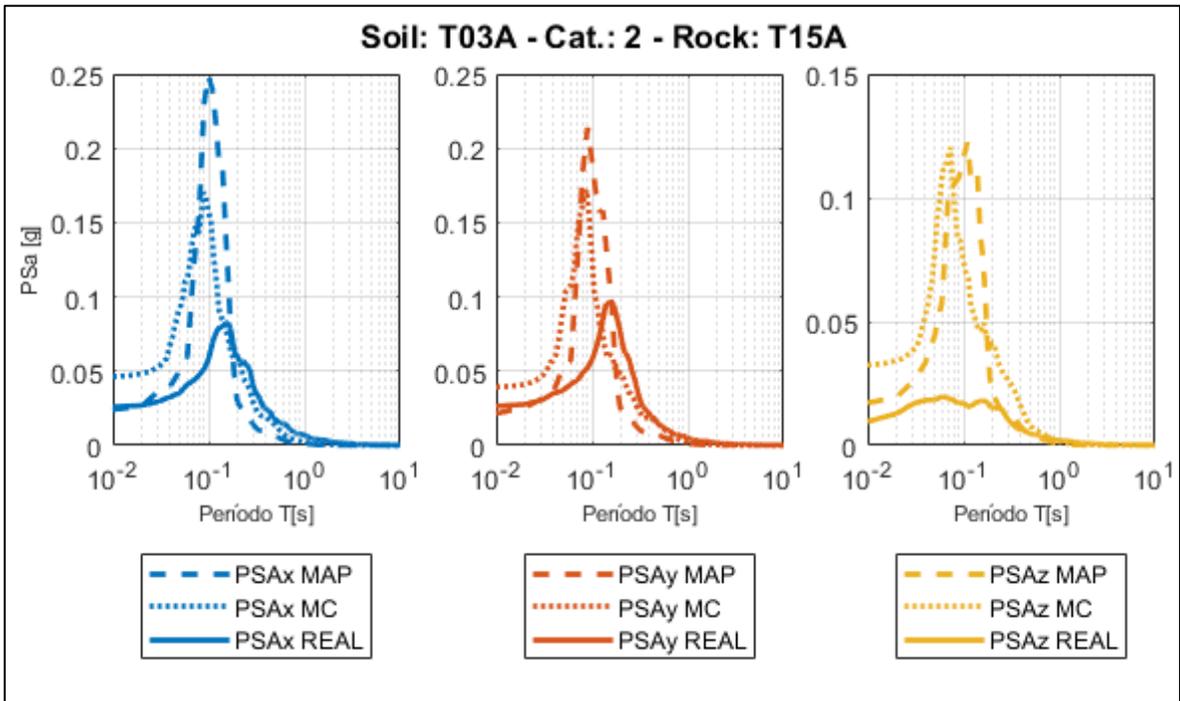
*Figura 170.- PSA reales y predichos estaciones T03A-T05A.*



*Figura 171.- PSA reales y predichos estaciones T03A-T06A.*



*Figura 172.- PSA reales y predichos estaciones T03A-T08A.*



*Figura 173.- PSA reales y predichos estaciones T03A-T15A.*

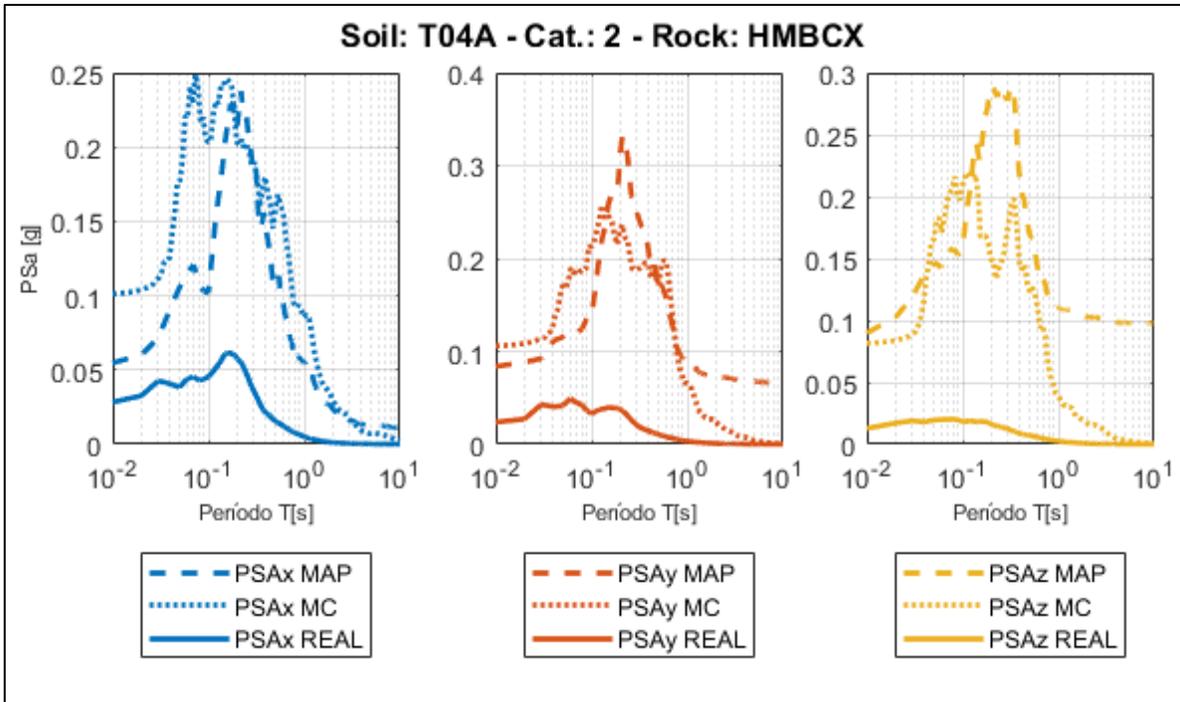


Figura 174.- PSA reales y predichos estaciones T04A-HMBCX.

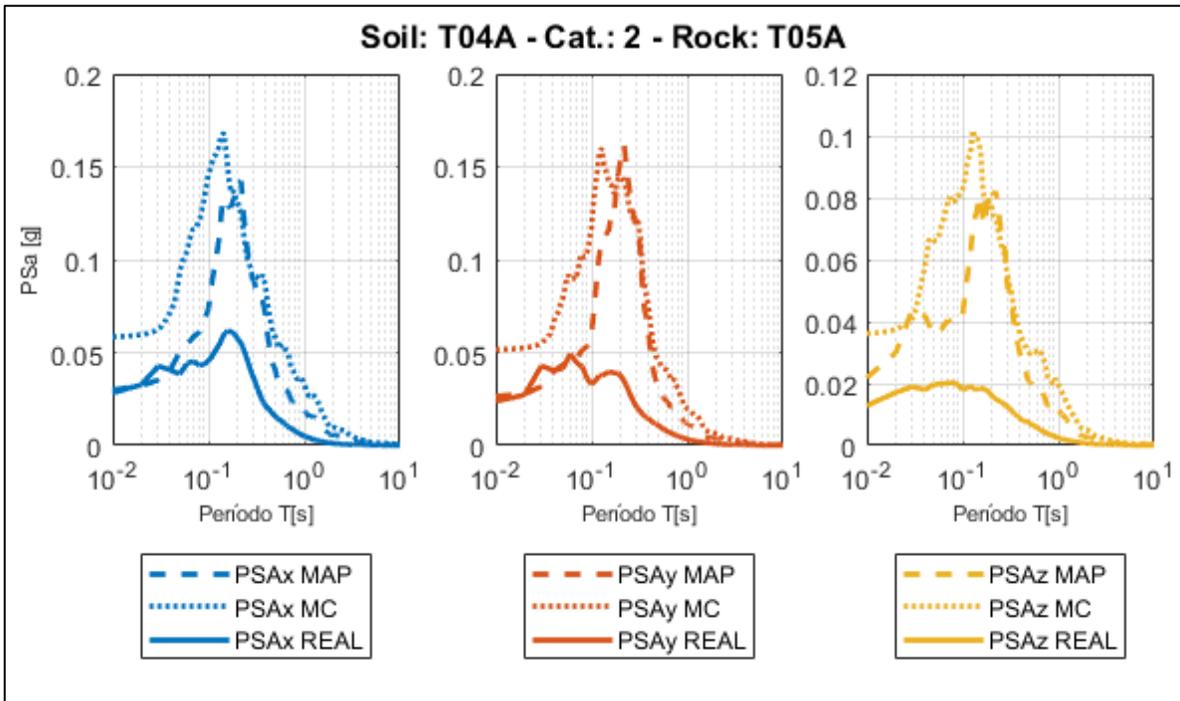
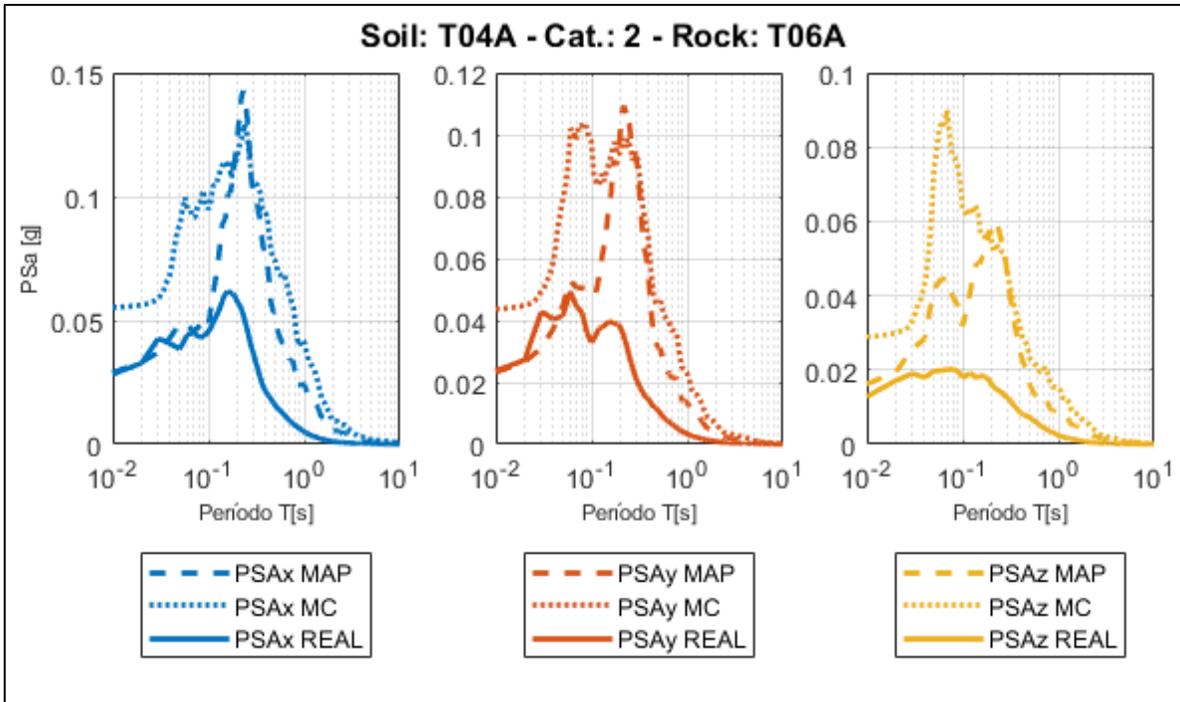
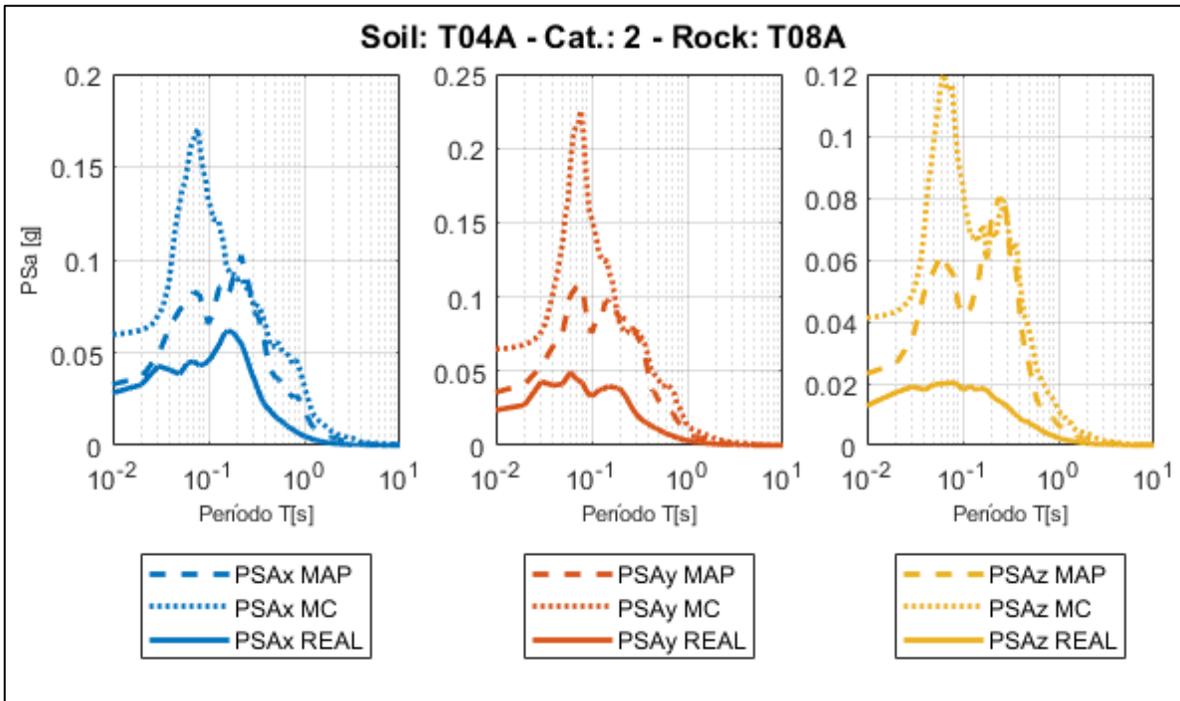


Figura 175.- PSA reales y predichos estaciones T04A-T05A.



*Figura 176.- PSA reales y predichos estaciones T04A-T06A.*



*Figura 177.- PSA reales y predichos estaciones T04A-T08A.*

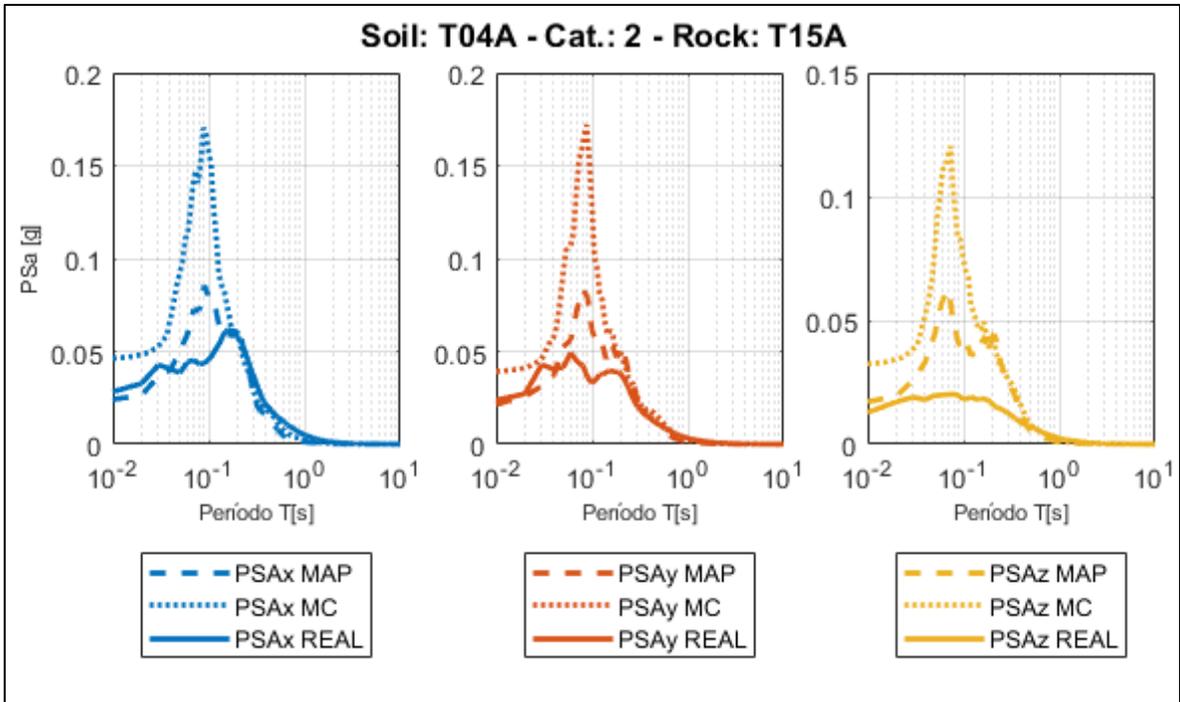


Figura 178.- PSA reales y predichos estaciones T04A-T15A.

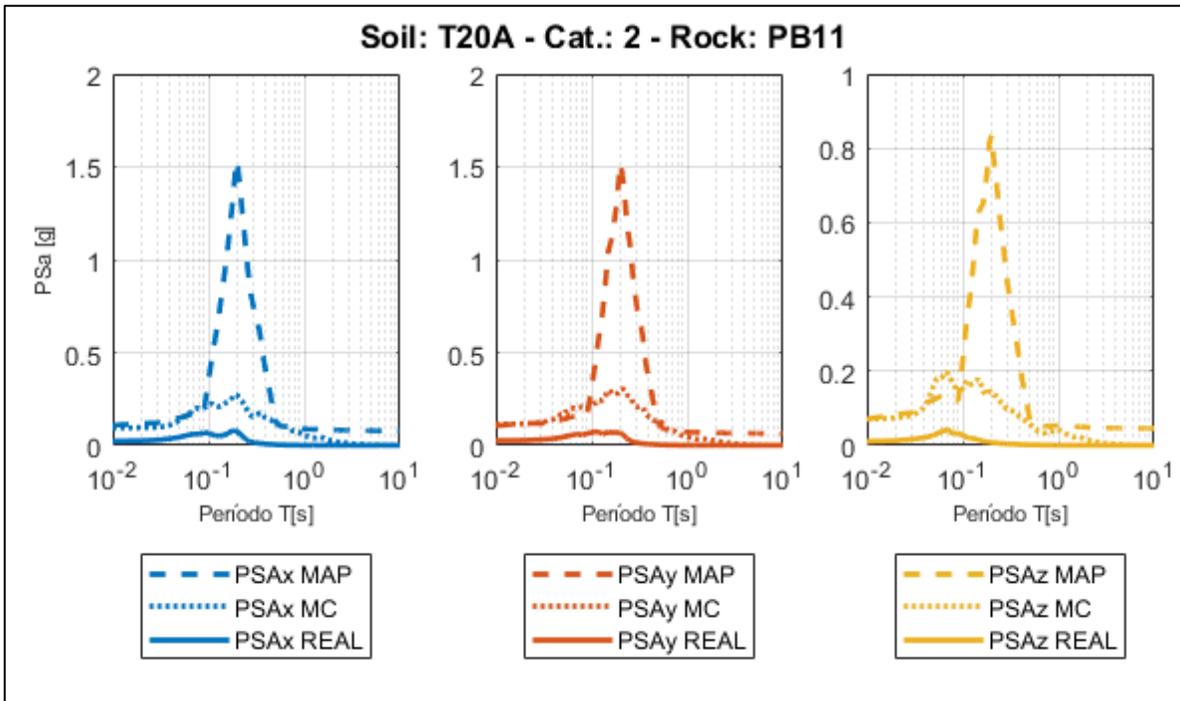


Figura 179.- PSA reales y predichos estaciones T20A-PB11.

Anexo F.2 - Categoría III - 2 Peak

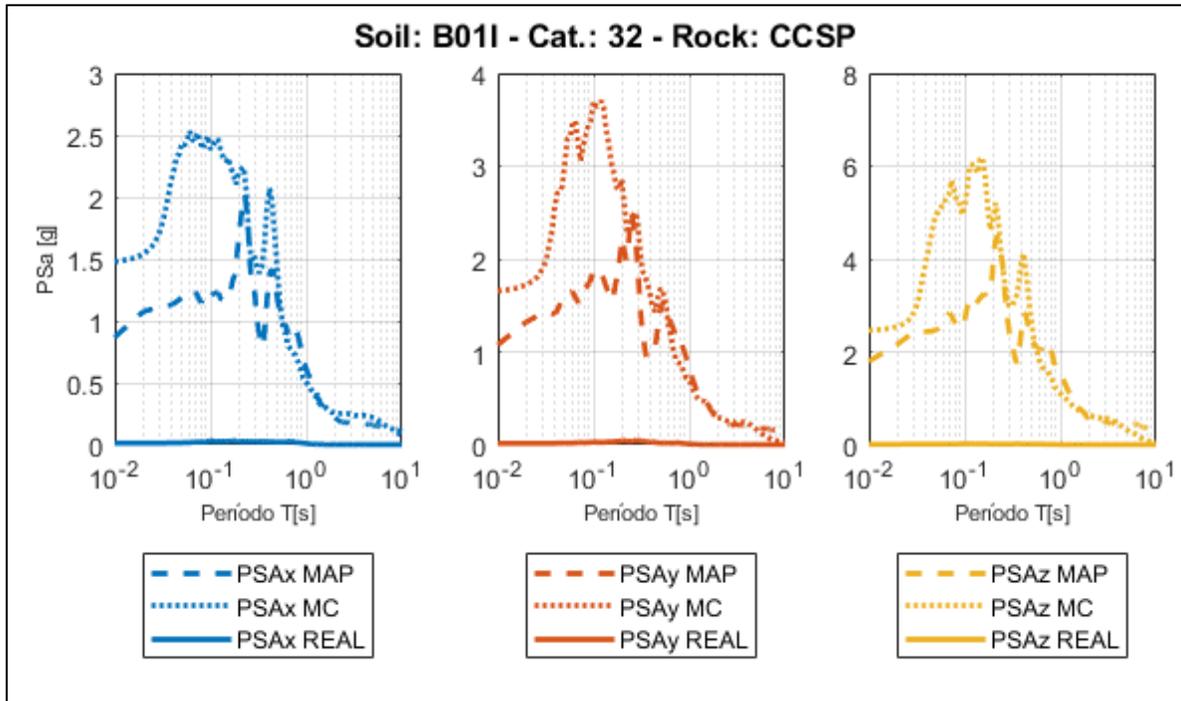


Figura 180.- PSA reales y predichos estaciones B01I-CCSP.

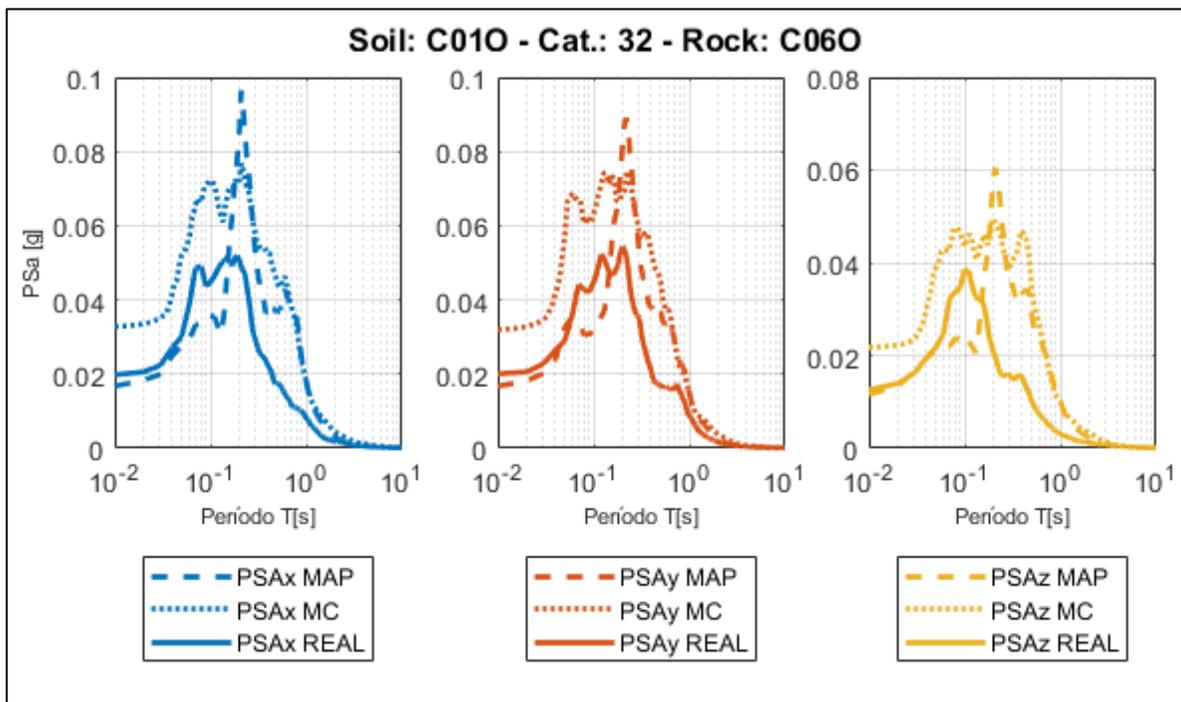
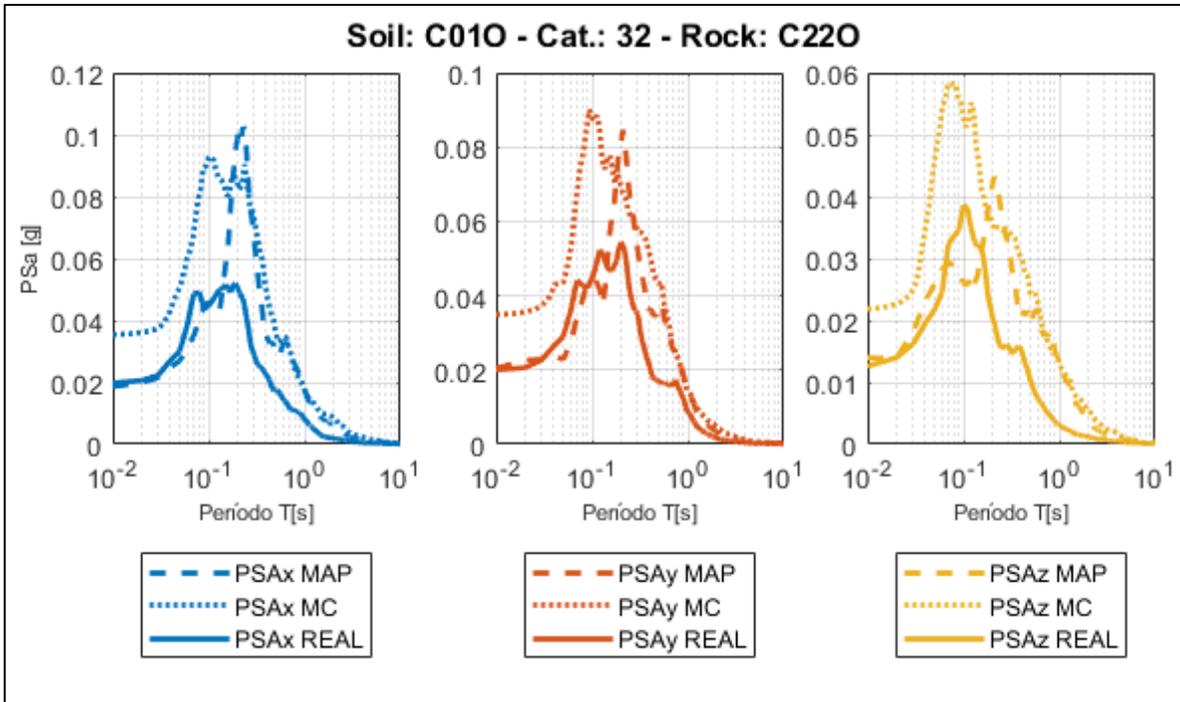
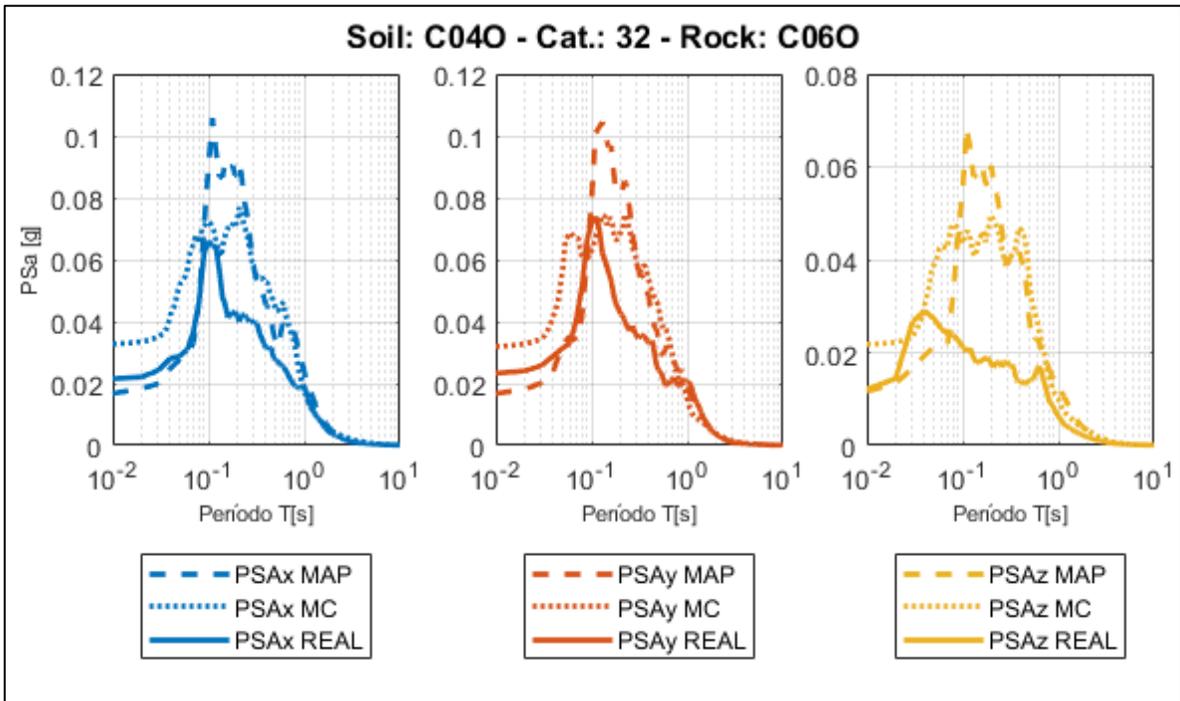


Figura 181.- PSA reales y predichos estaciones C01O-C06O.



*Figura 182.- PSA reales y predichos estaciones C010-C220.*



*Figura 183.- PSA reales y predichos estaciones C040-C060.*

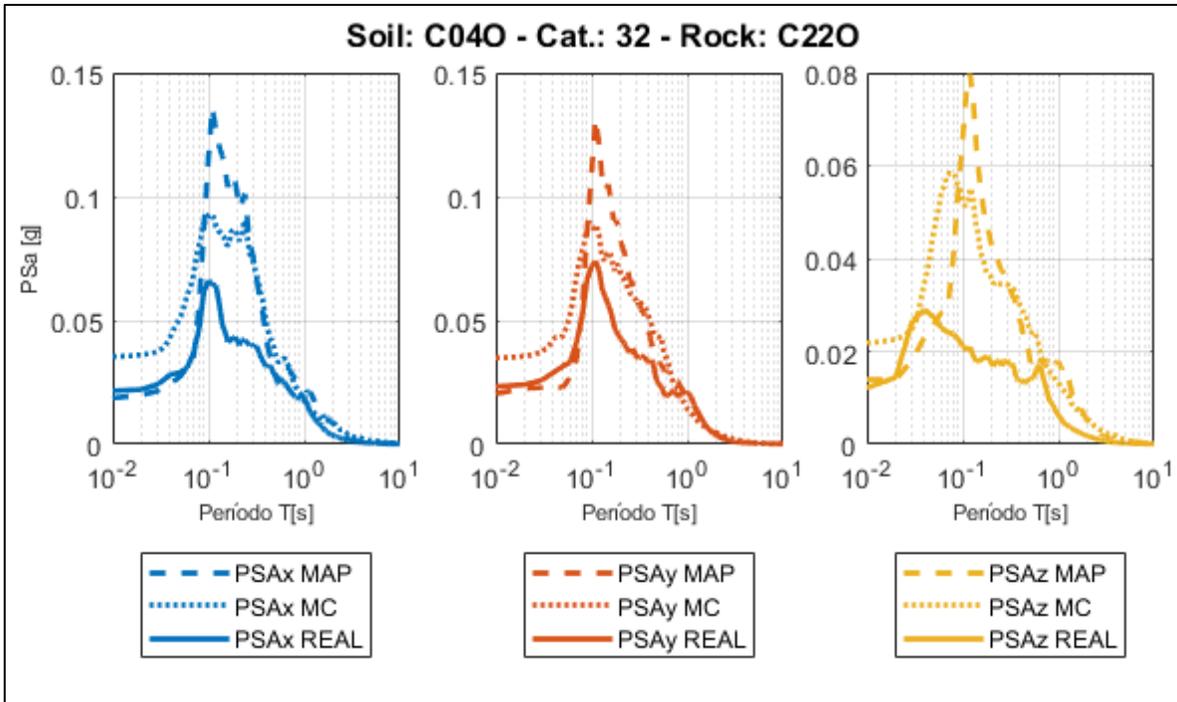


Figura 184.- PSA reales y predichos estaciones C040-C220.

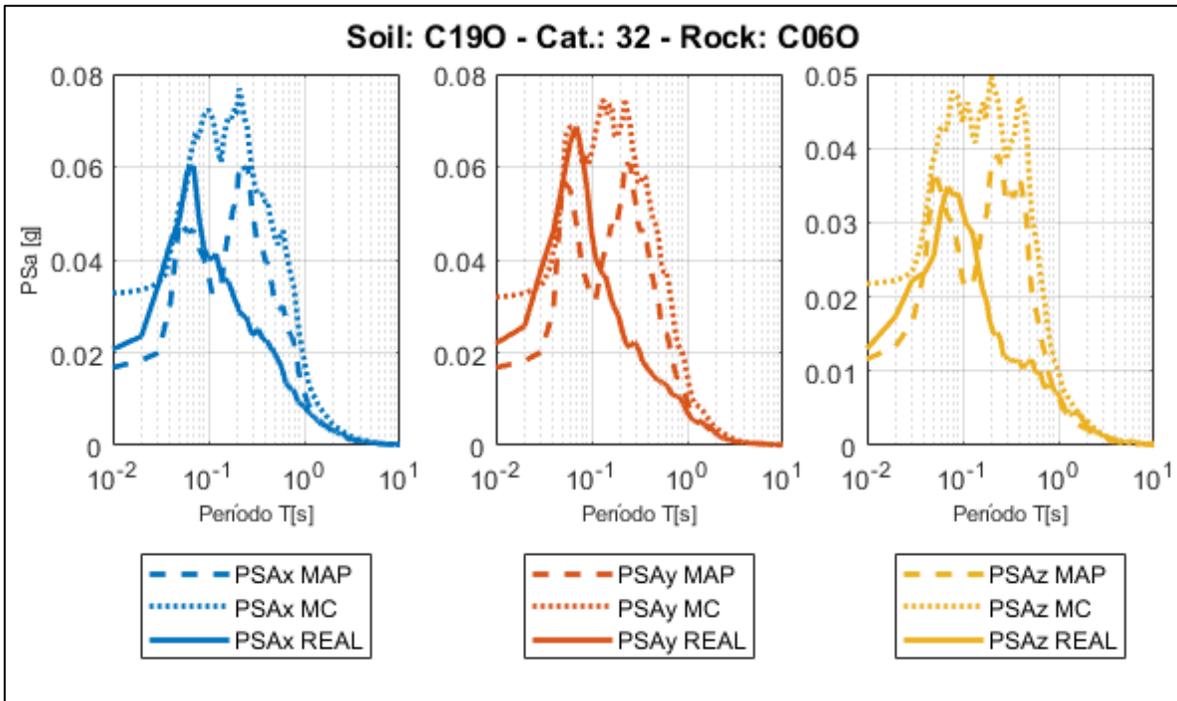


Figura 185.- PSA reales y predichos estaciones C190-C060.

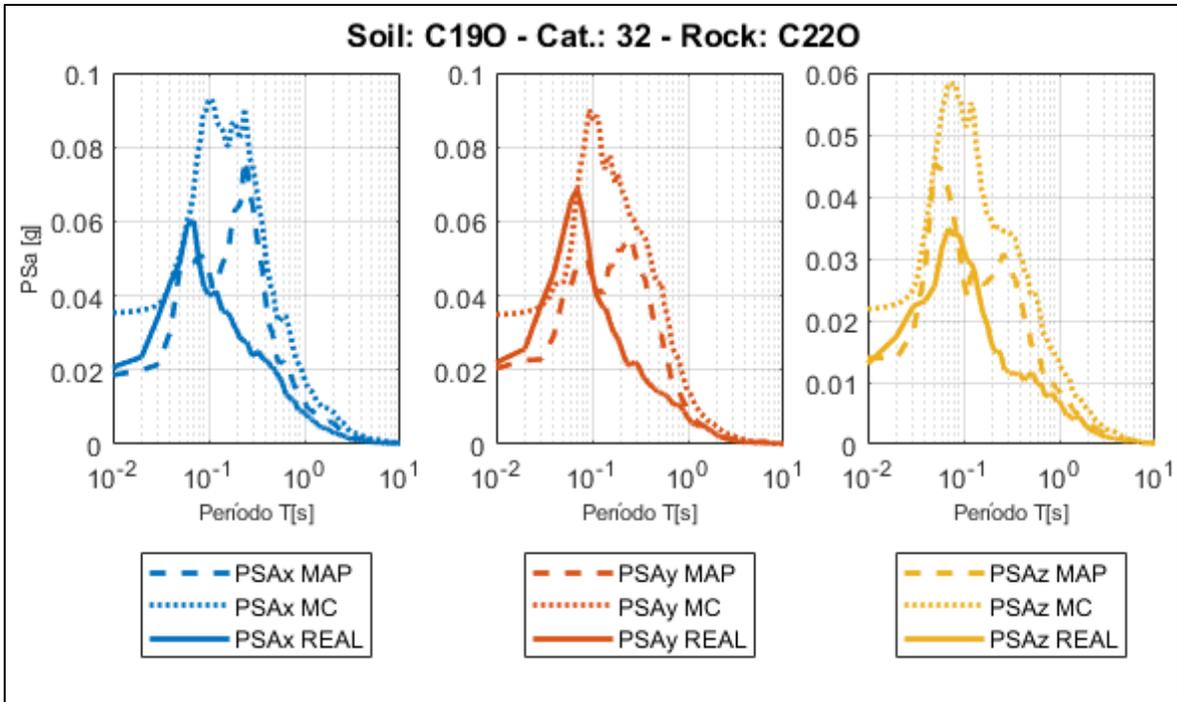


Figura 186.- PSA reales y predichos estaciones C190-C220.

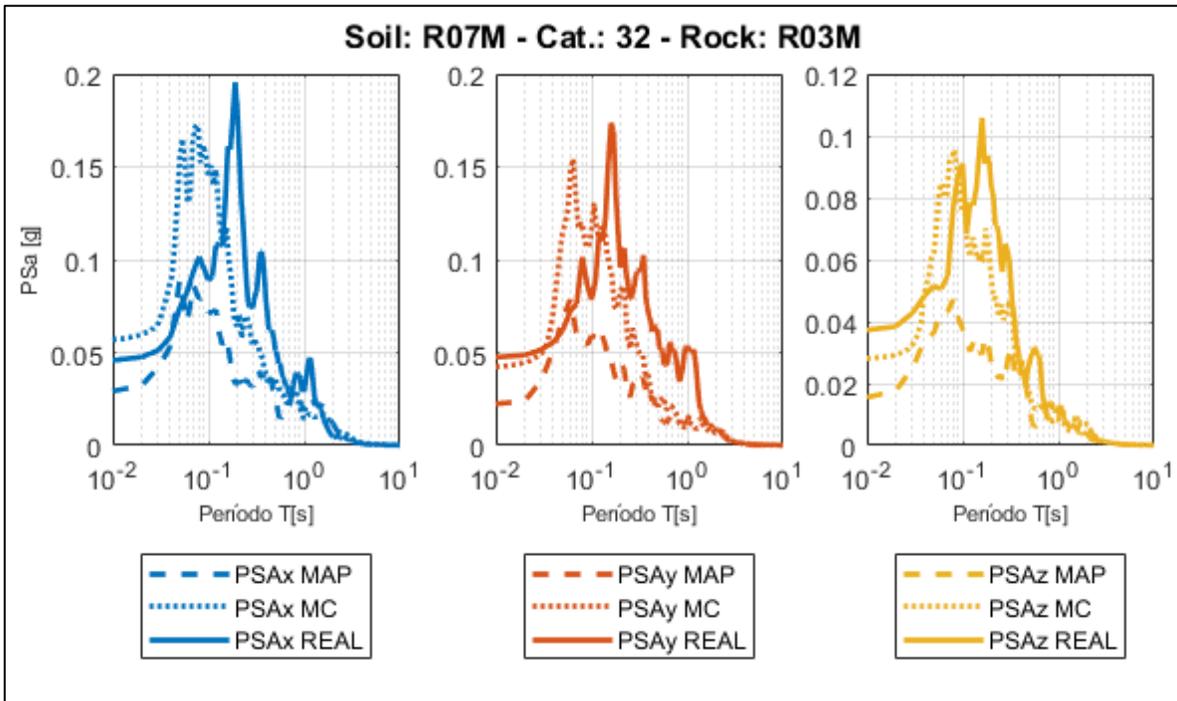


Figura 187.- PSA reales y predichos estaciones R07M-R03M.

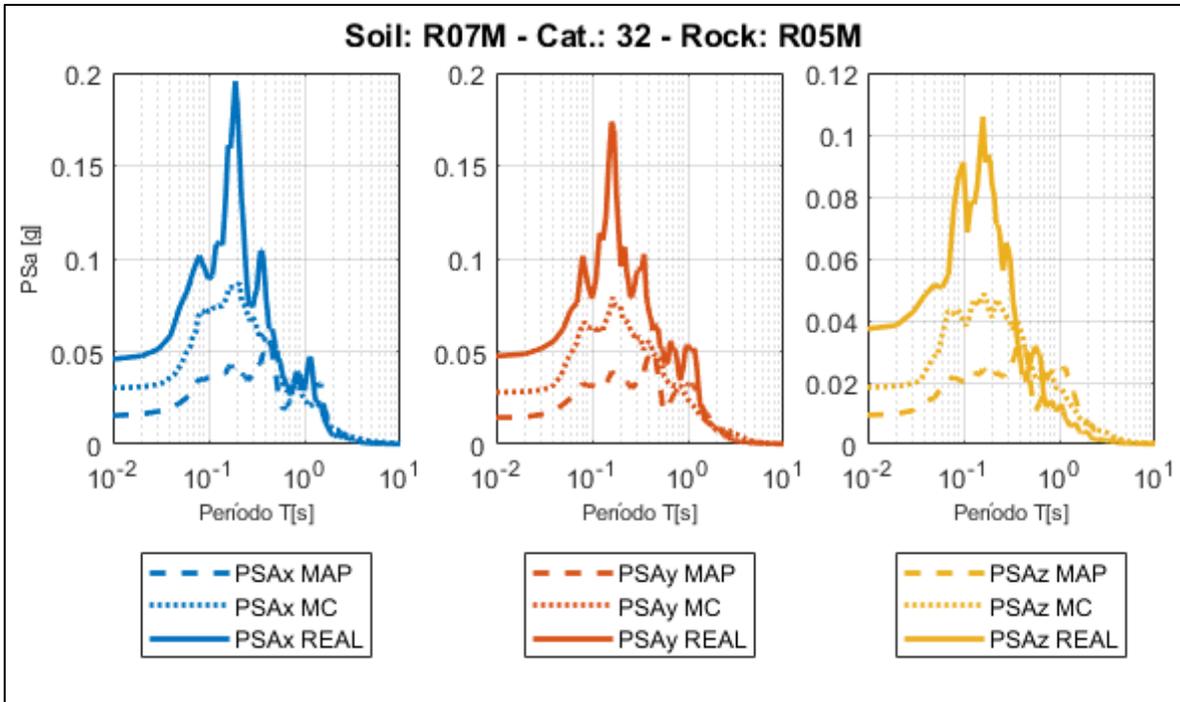


Figura 188.- PSA reales y predichos estaciones R07M-R05M.

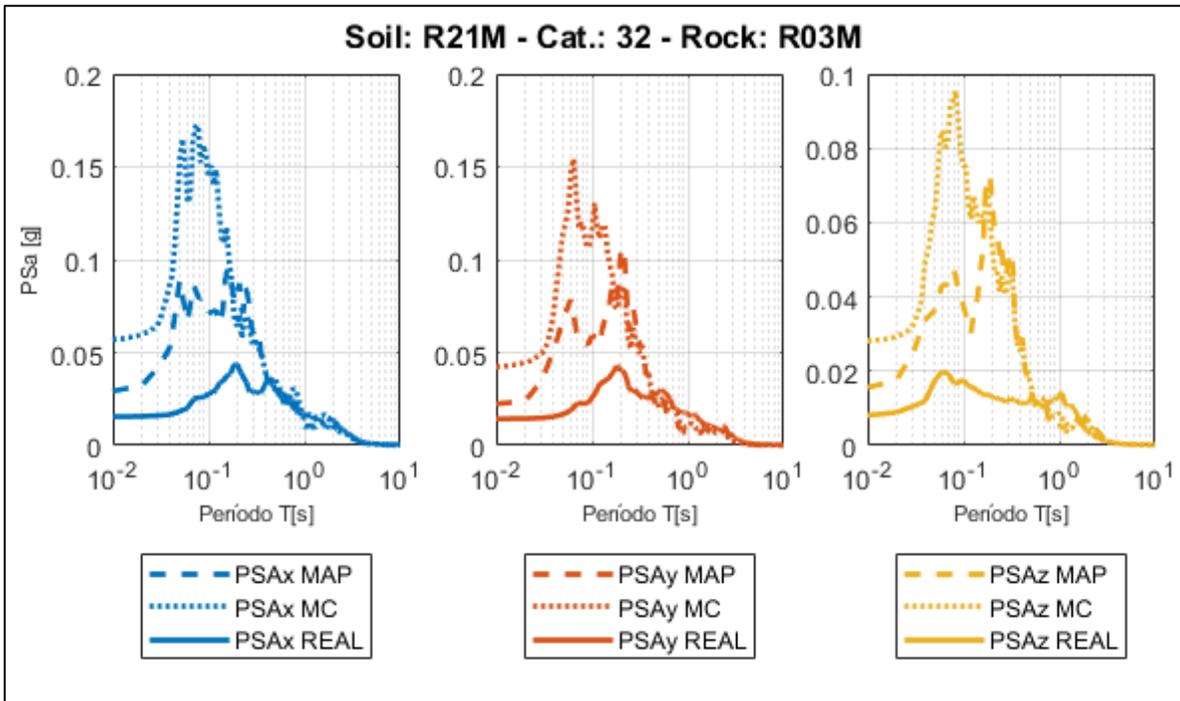
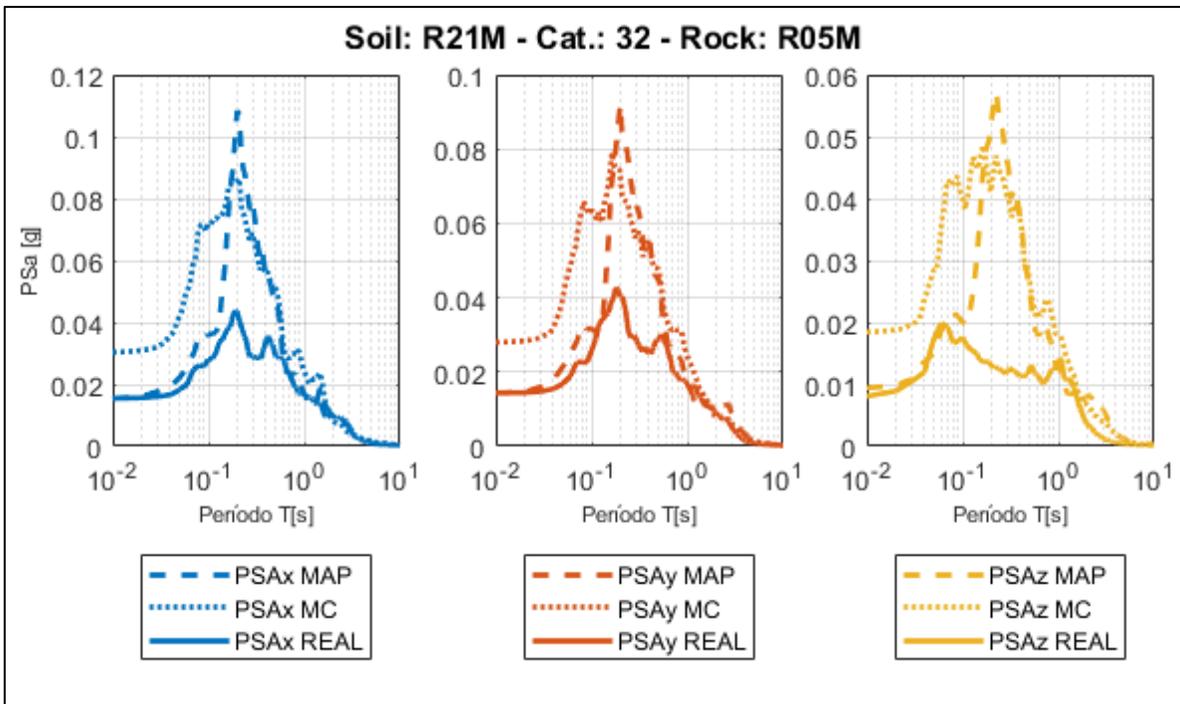
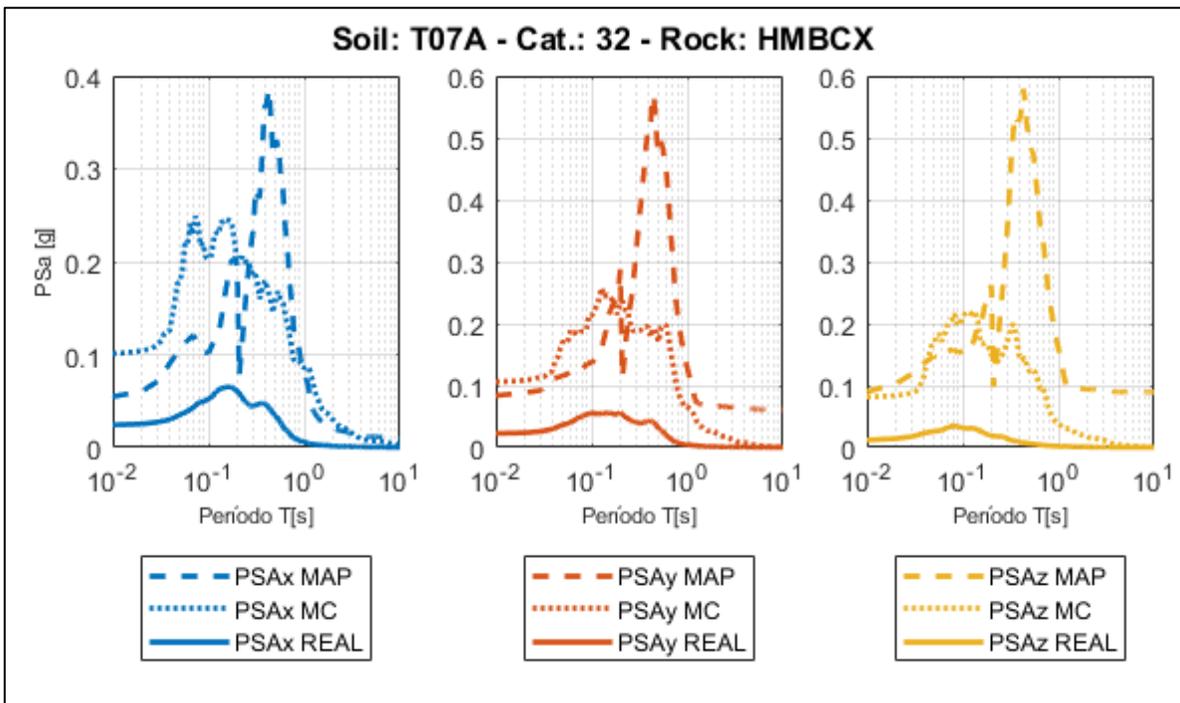


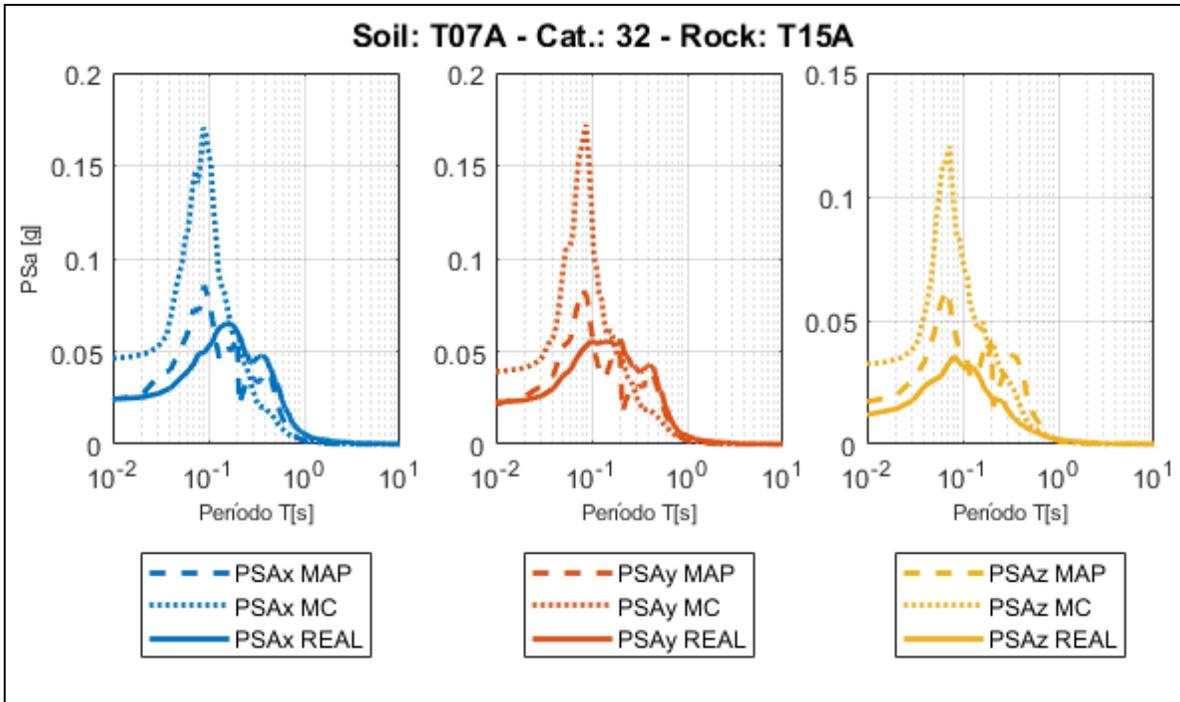
Figura 189.- PSA reales y predichos estaciones R21M-R03M.



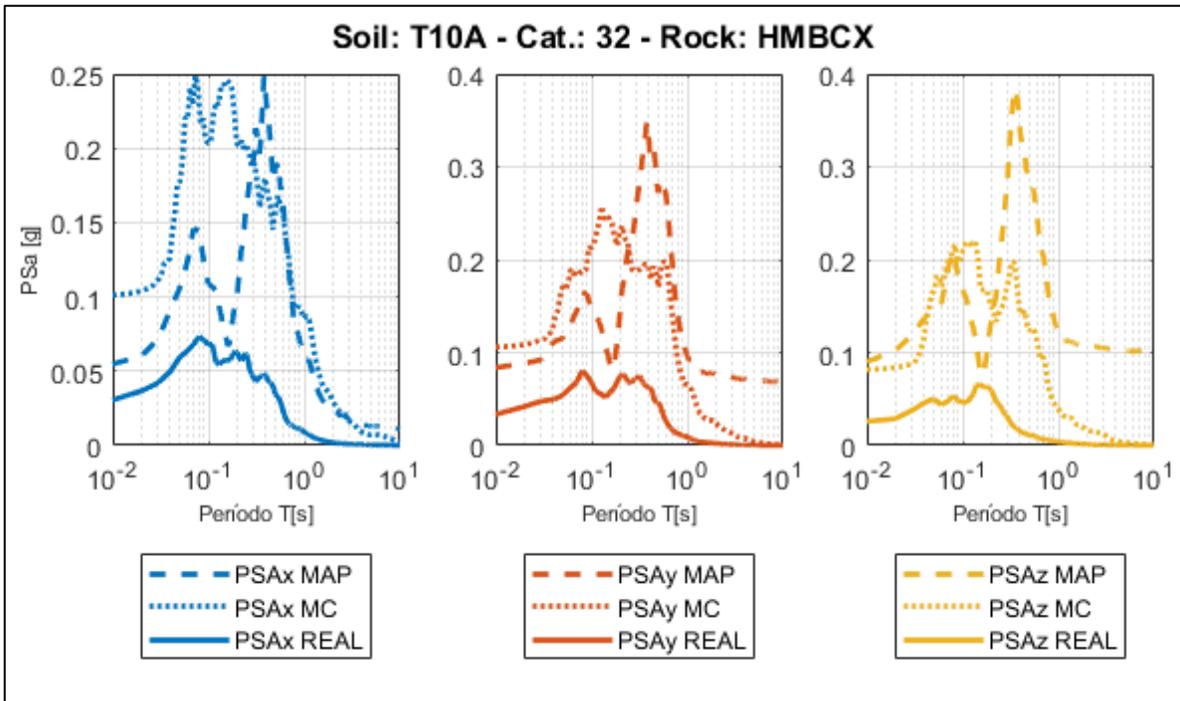
*Figura 190.- PSA reales y predichos estaciones R21M-R05M.*



*Figura 191.- PSA reales y predichos estaciones T07A-HMBCX.*



*Figura 192.- PSA reales y predichos estaciones T07A-T15A.*



*Figura 193.- PSA reales y predichos estaciones T10A-HMBCX.*

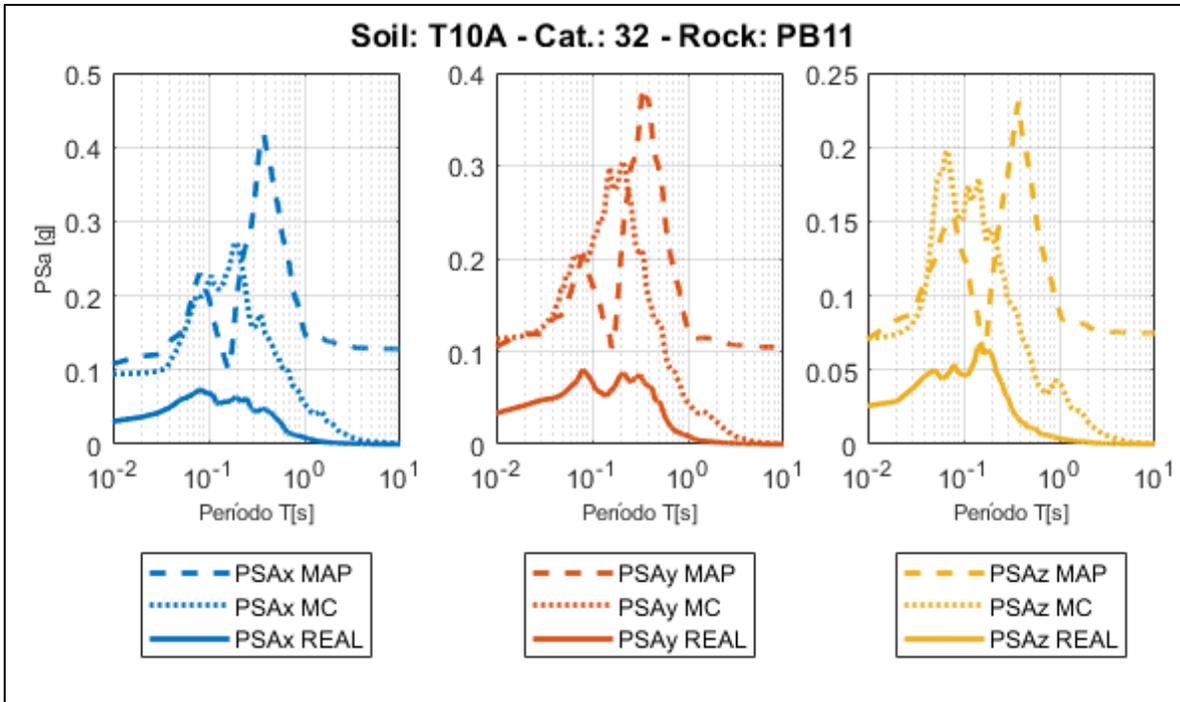


Figura 194.- PSA reales y predichos estaciones T10A-PB11.

Anexo F.3 - Categoría III - 3 Peak

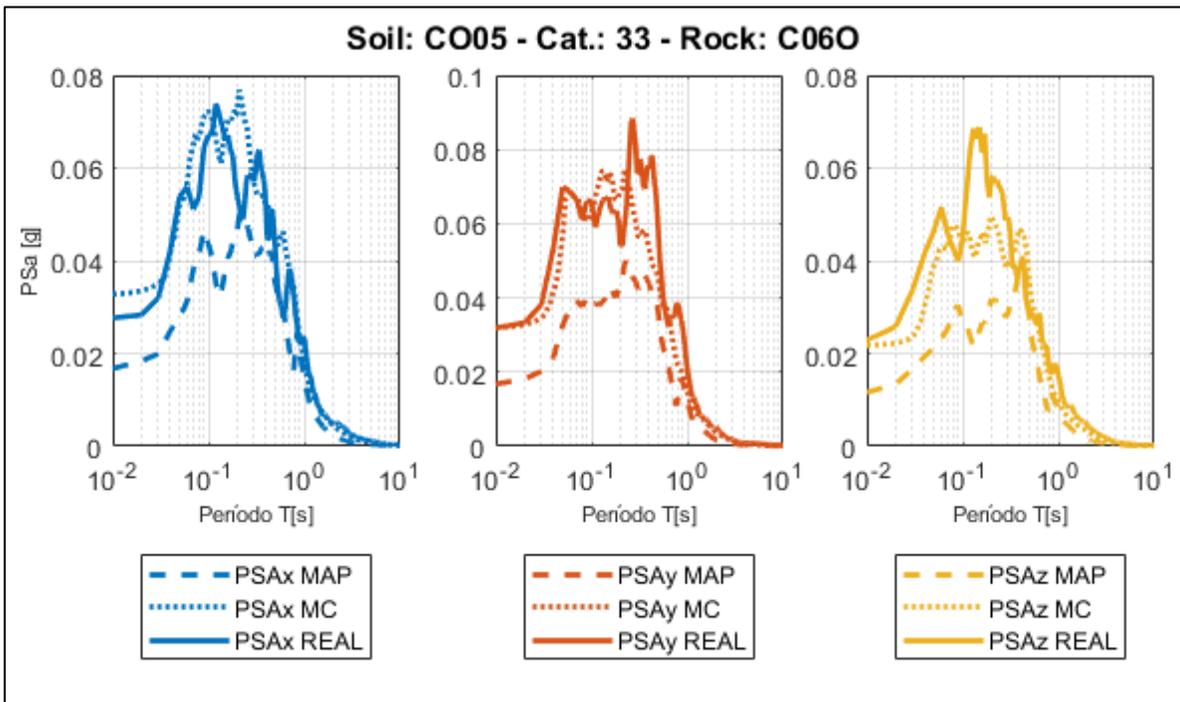


Figura 195.- PSA reales y predichos estaciones CO05-C060.

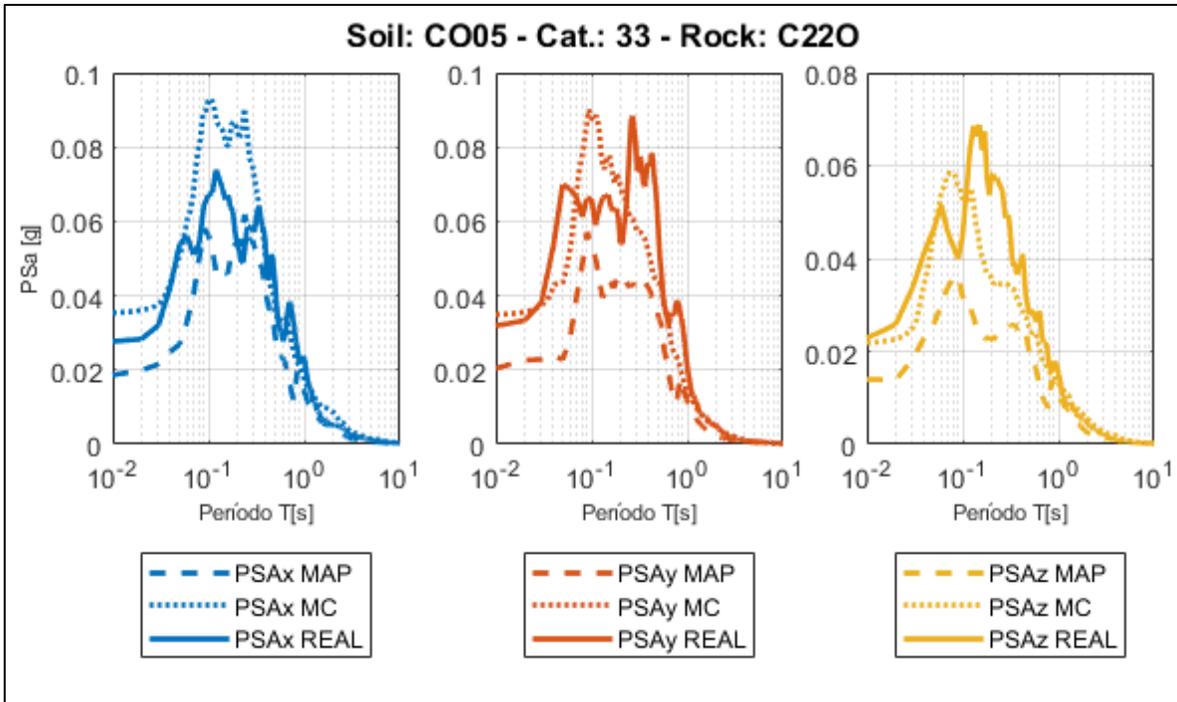


Figura 196.- PSA reales y predichos estaciones CO05-C220.

Anexo F.4 - Categoría III - 4 Peak

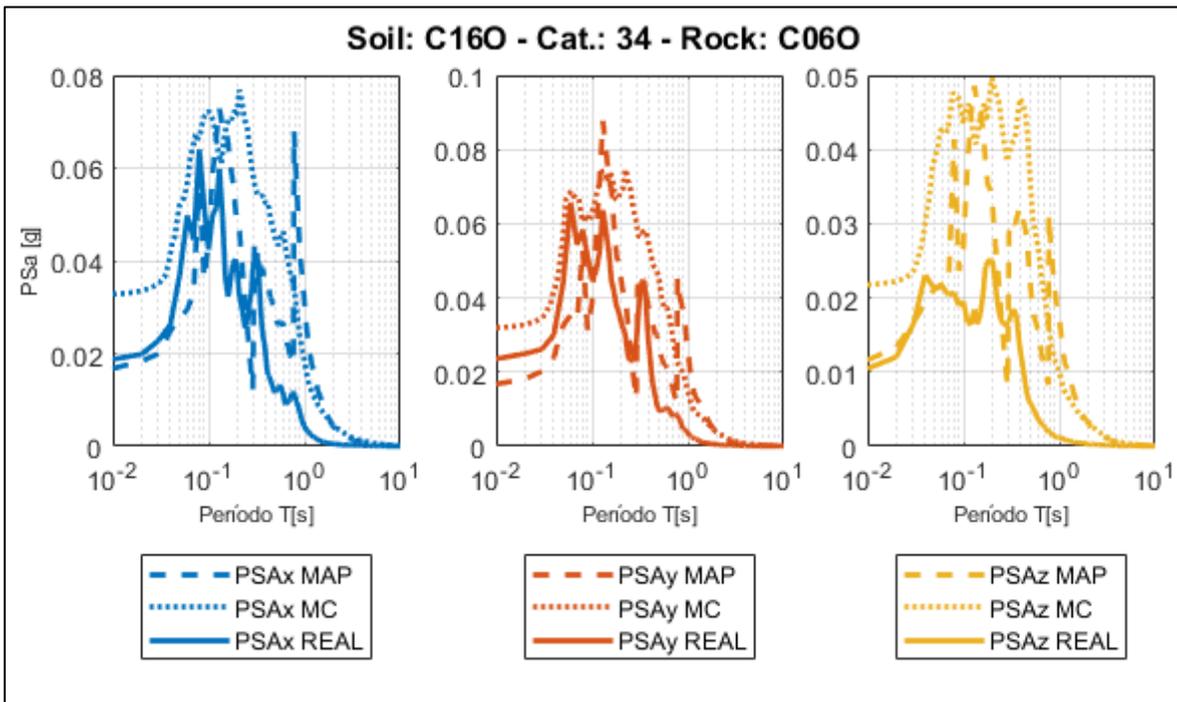


Figura 197.- PSA reales y predichos estaciones C160-C060.

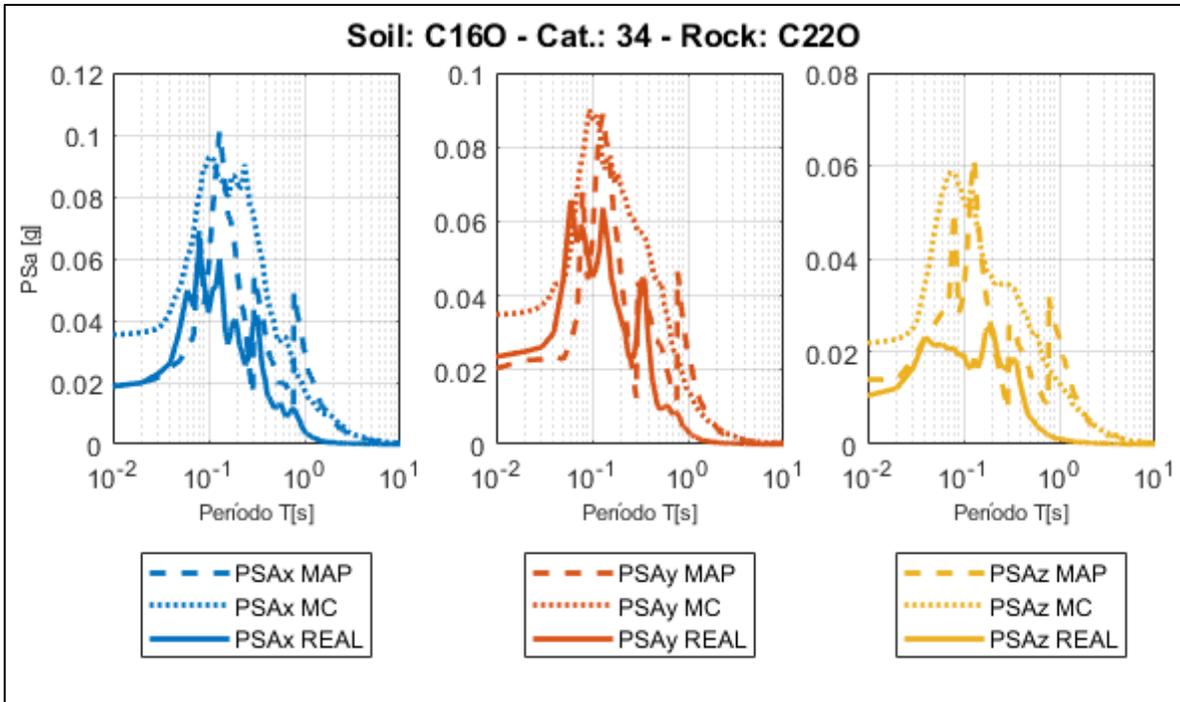


Figura 198.- PSA reales y predichos estaciones C160-C220.

Anexo F.5 - Categoría IV - Banda Ancha

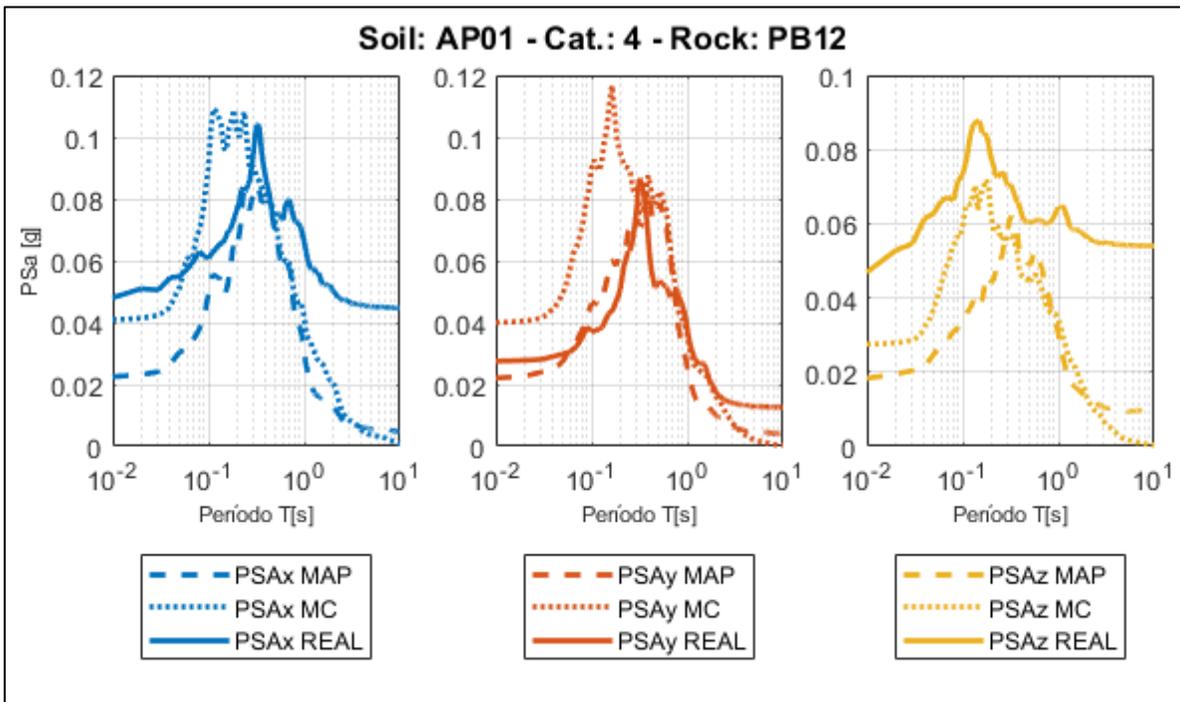


Figura 199.- PSA reales y predichos estaciones AP01-PB12.

## Anexo G - Espectros CIII (3 y 4 Peaks), con nuevo modelo BA.

En esta sección se busca poder predecir los espectros de CIII (3 y 4 Peaks), considerándolos como una amplificación de CIV (Banda Ancha). Para ellos se establece una nueva función de amplificación de BA con los siguientes parámetros:

Tabla 28.- Resumen parámetros para CIII (3 y 4 Peaks), como si fuesen CIV.

Relación	Parámetros <i>a</i>	<i>b</i>	Bondad del Ajuste
$A_{AMP} = a \cdot \sqrt{B_{AMP}}$	1.0395	-	90.09 %
$A_T = a \cdot \sqrt{B_T}$	0.2673	-	95.81 %
$D_{AMP} = a \cdot \ln(C_{AMP})$	1.6684	-	97.38 %
$D_T = a \cdot \sqrt{C_T}$	2.1354	-	30.70%

### Anexo G.1 - Categoría III - 3 Peak

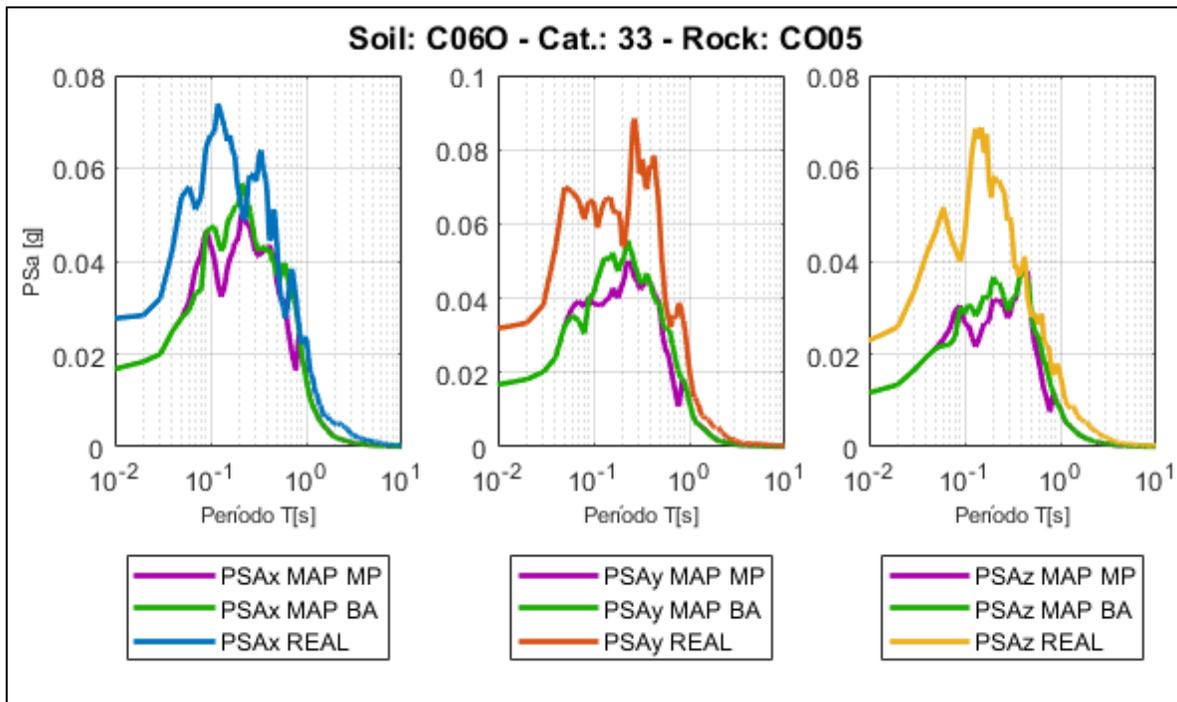
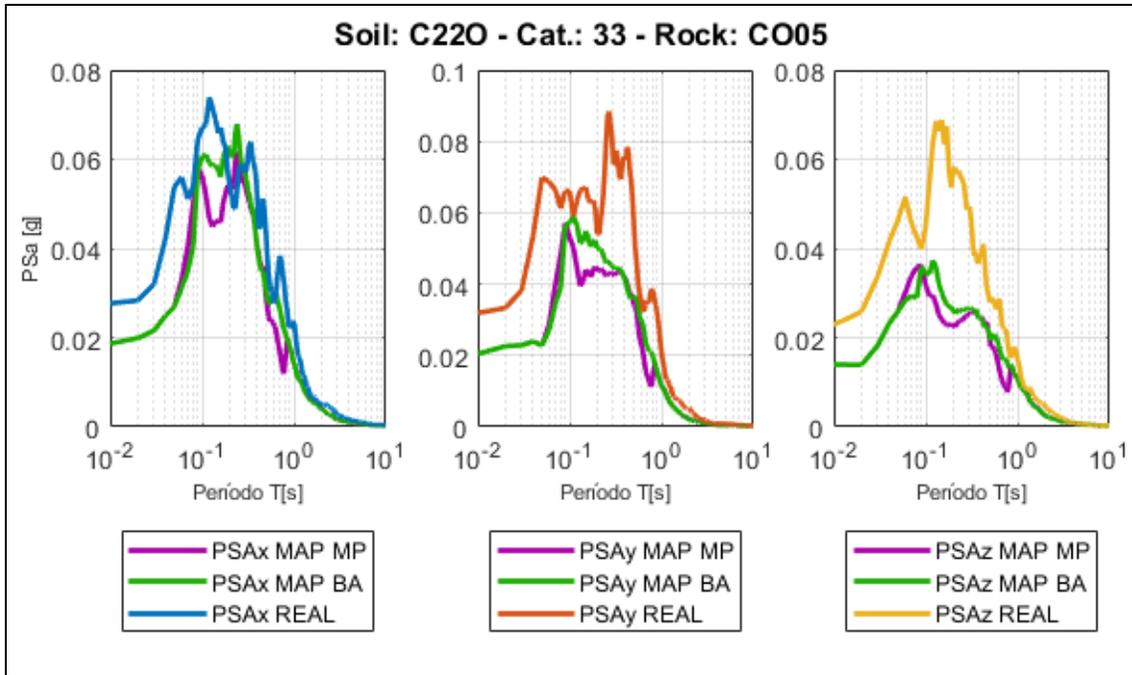
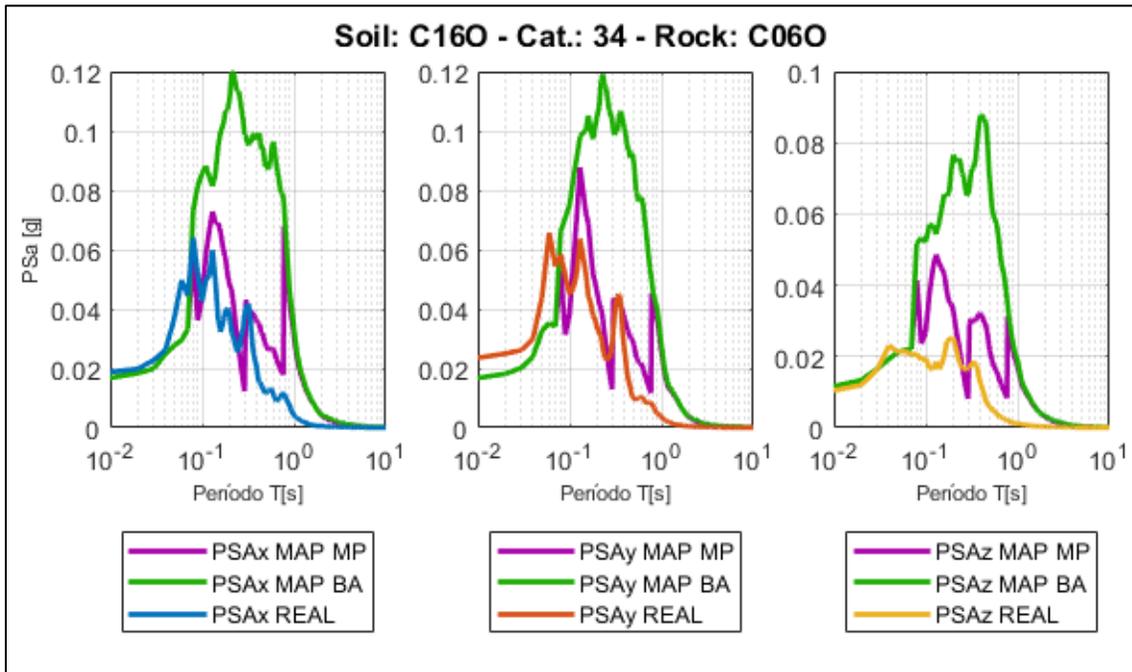


Figura 200.- PSA reales y predichos estaciones CO05-C060 con modelo de amplificación Multipeak y Banda -Ancha.

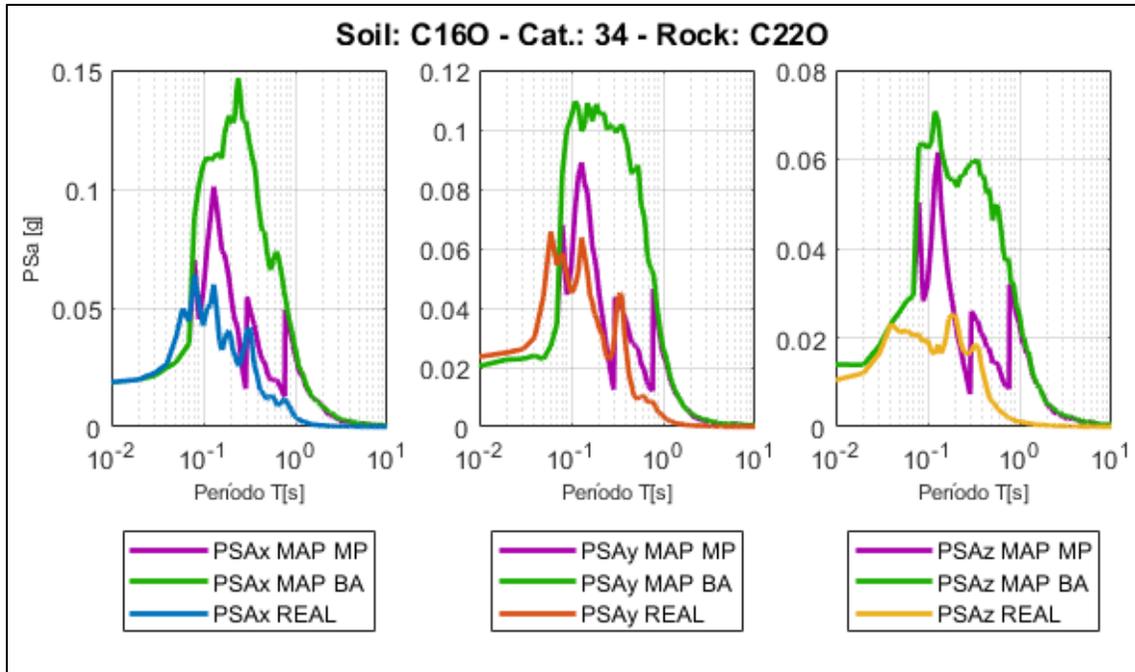


*Figura 201.- PSA reales y predichos estaciones CO05-C220 con modelo de amplificación Múltiple y Banda -Ancha.*

**Anexo G.2 - Categoría III - 4 Peak**

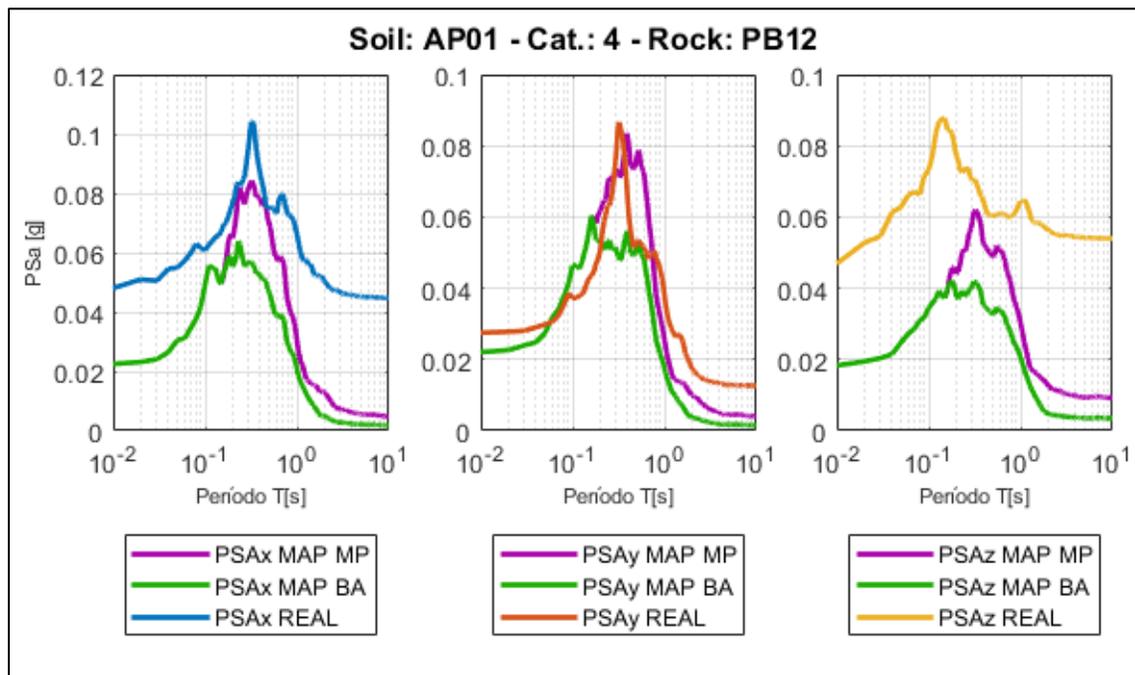


*Figura 202.- PSA reales y predichos estaciones C160-C060 con modelo de amplificación Múltiple y Banda -Ancha.*



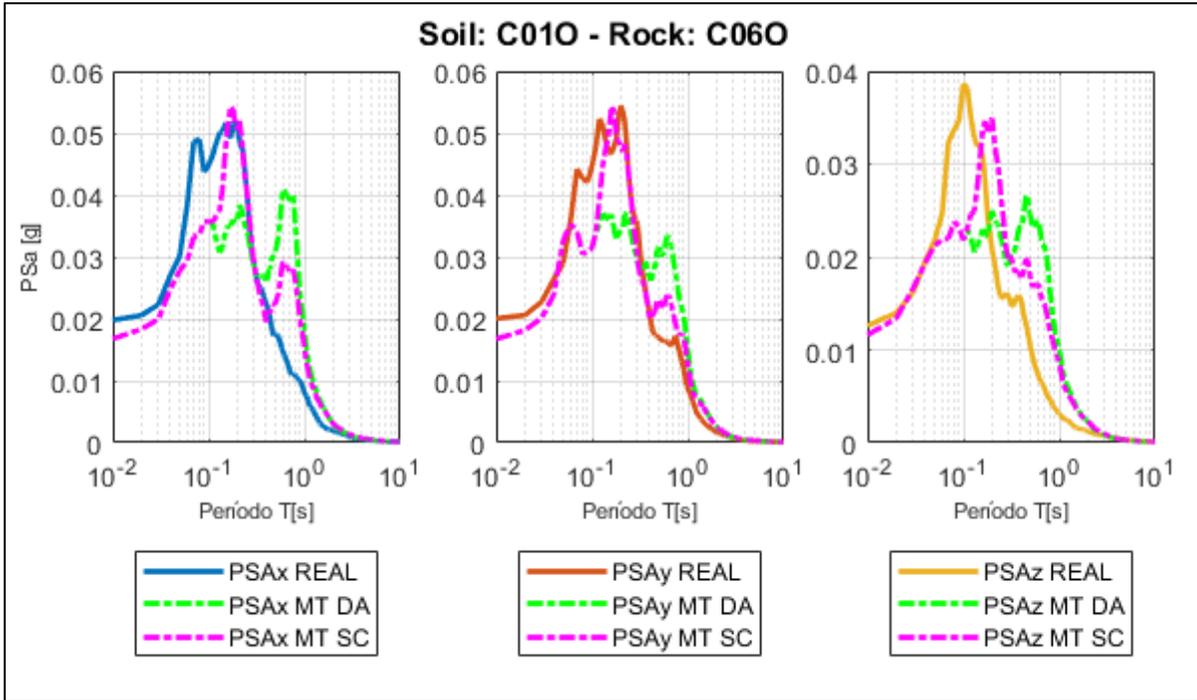
*Figura 203.- PSA reales y predichos estaciones C160-C220 con modelo de amplificación Multipeak y Banda -Ancha.*

**Anexo G.3 - Categoría IV - Banda Ancha**

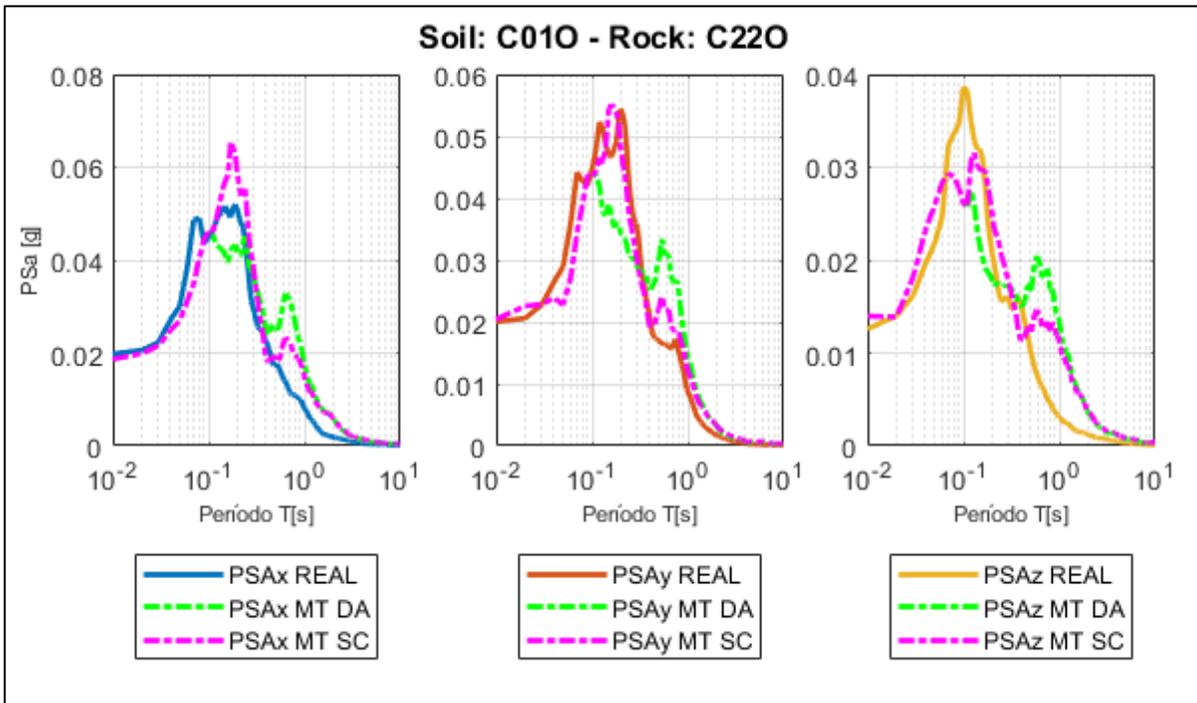


*Figura 204.- PSA reales y predichos estaciones AP01-PB12 con modelo de amplificación Multipeak y Banda -Ancha.*

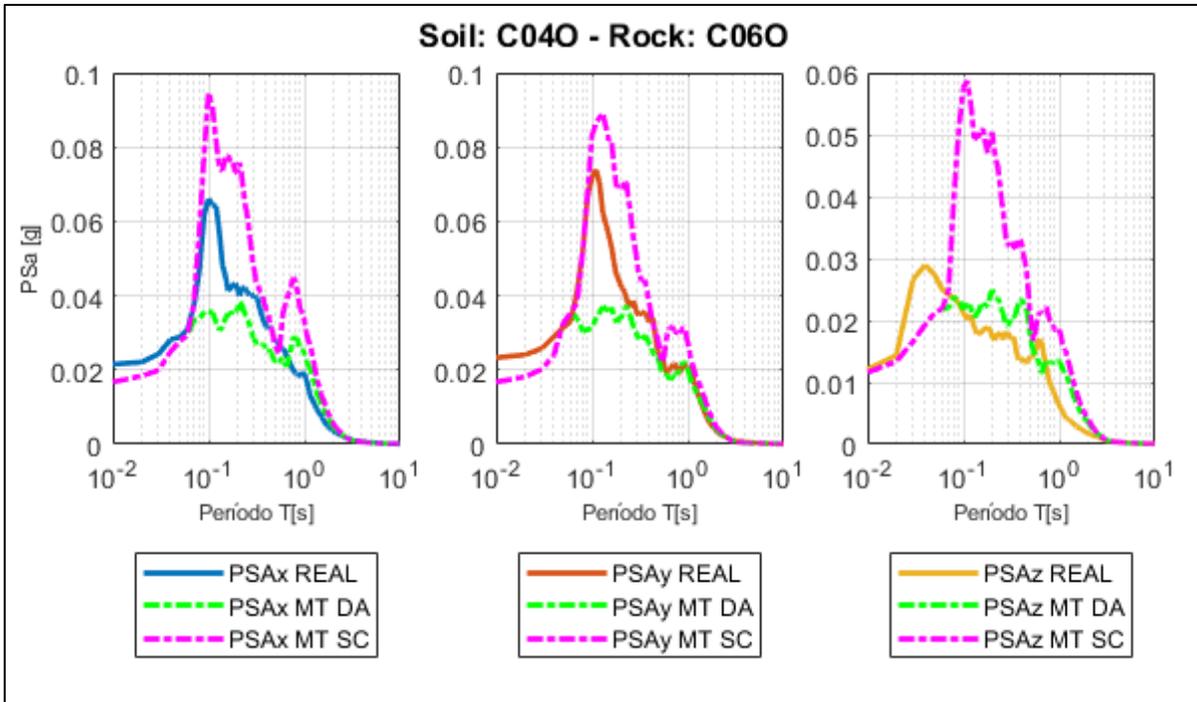
## Anexo H - Datos de Microvibraciones aplicados al Modelo MAP.



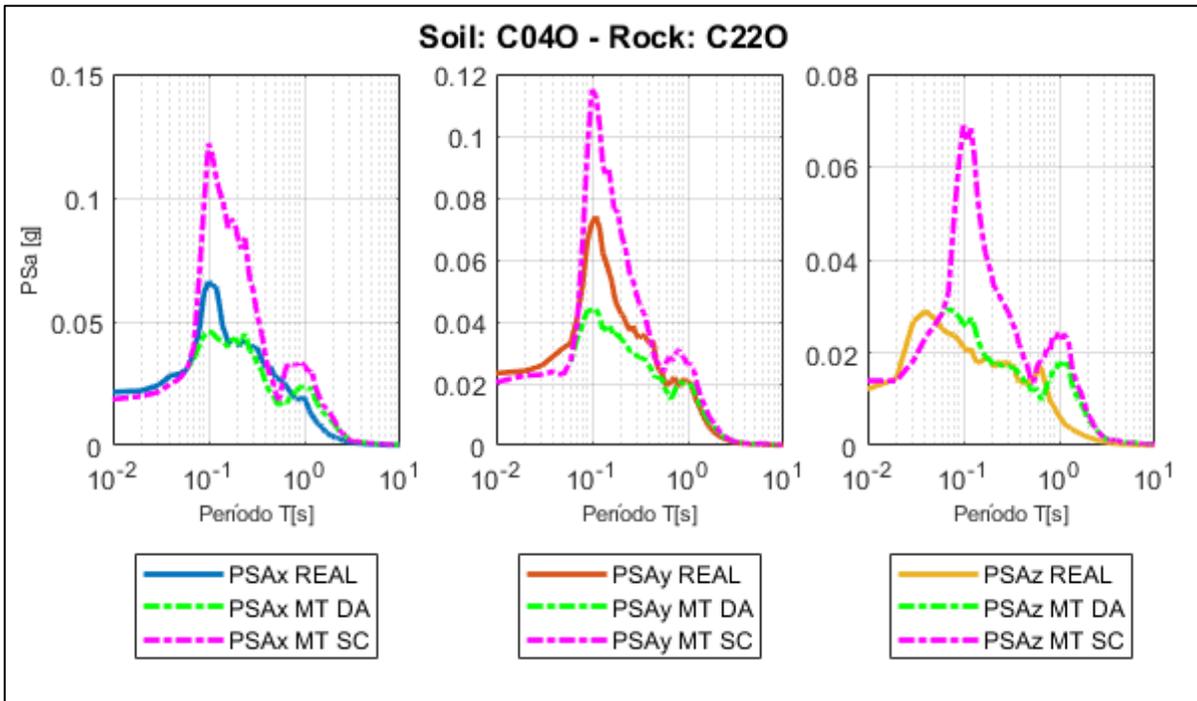
*Figura 205.- Peak de Microvibraciones para estaciones C010-C060.*



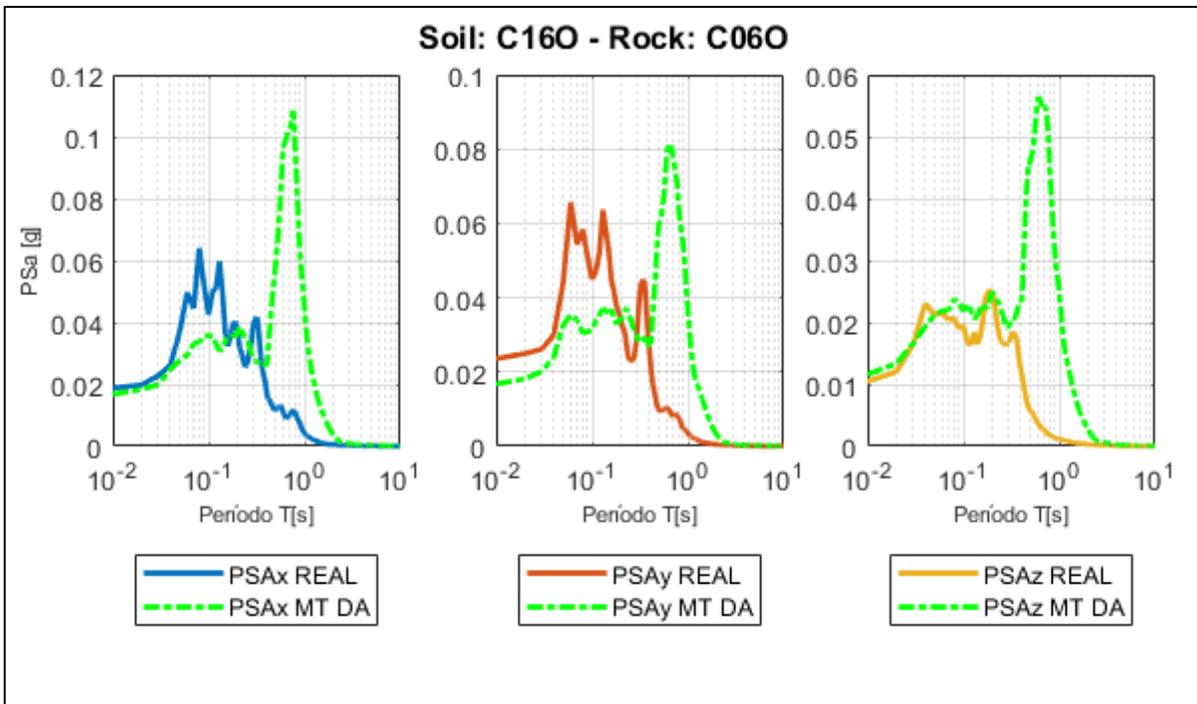
*Figura 206.- Peak de Microvibraciones para estaciones C010-C220.*



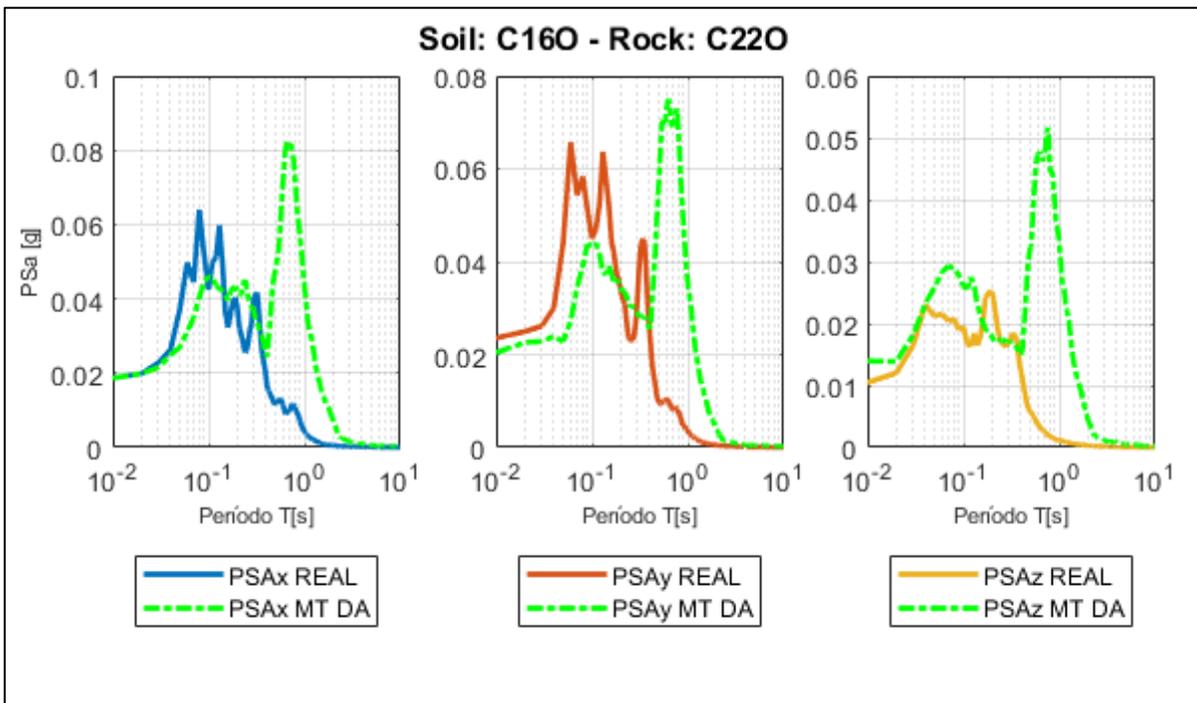
*Figura 207.- Peak de Microvibraciones para estaciones C040-C060.*



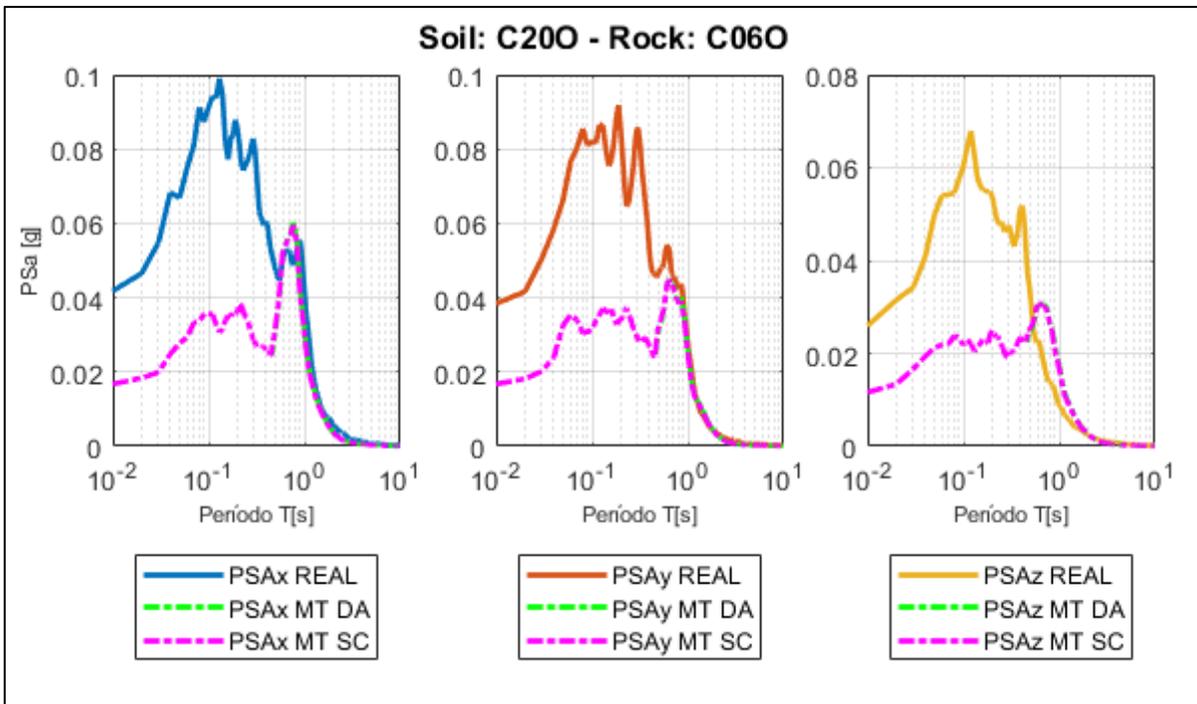
*Figura 208.- Peak de Microvibraciones para estaciones C040-C220.*



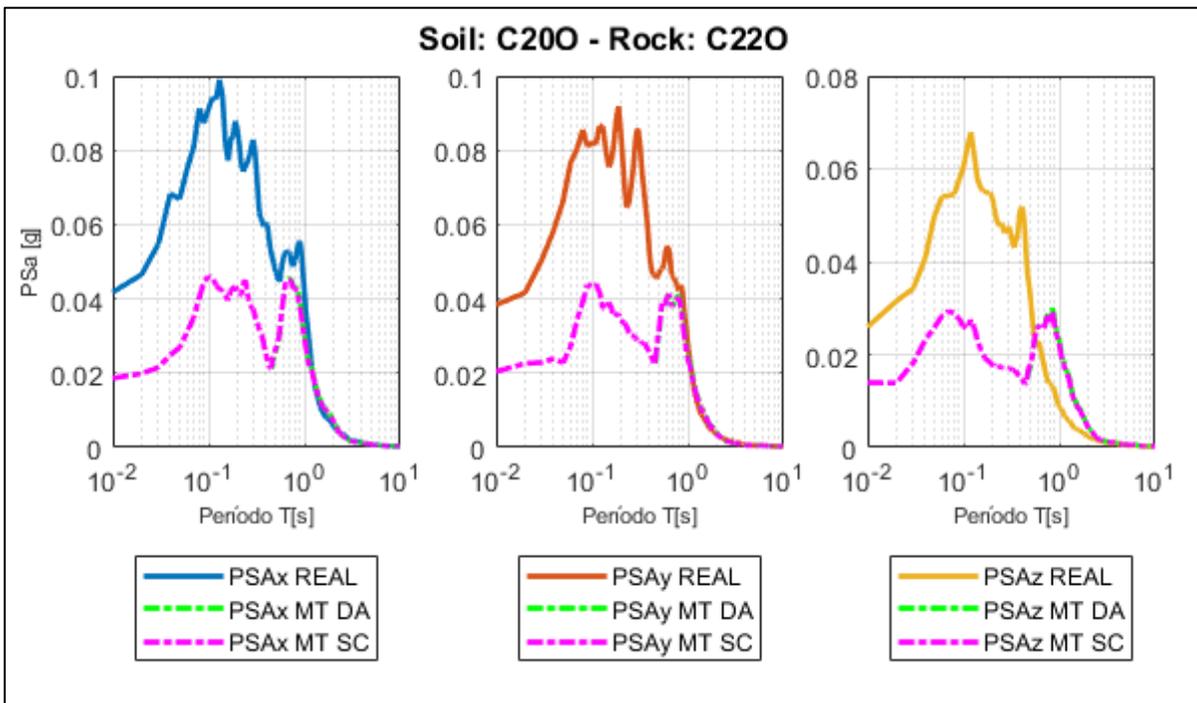
*Figura 209.- Peak de Microvibraciones para estaciones C160-C060.*



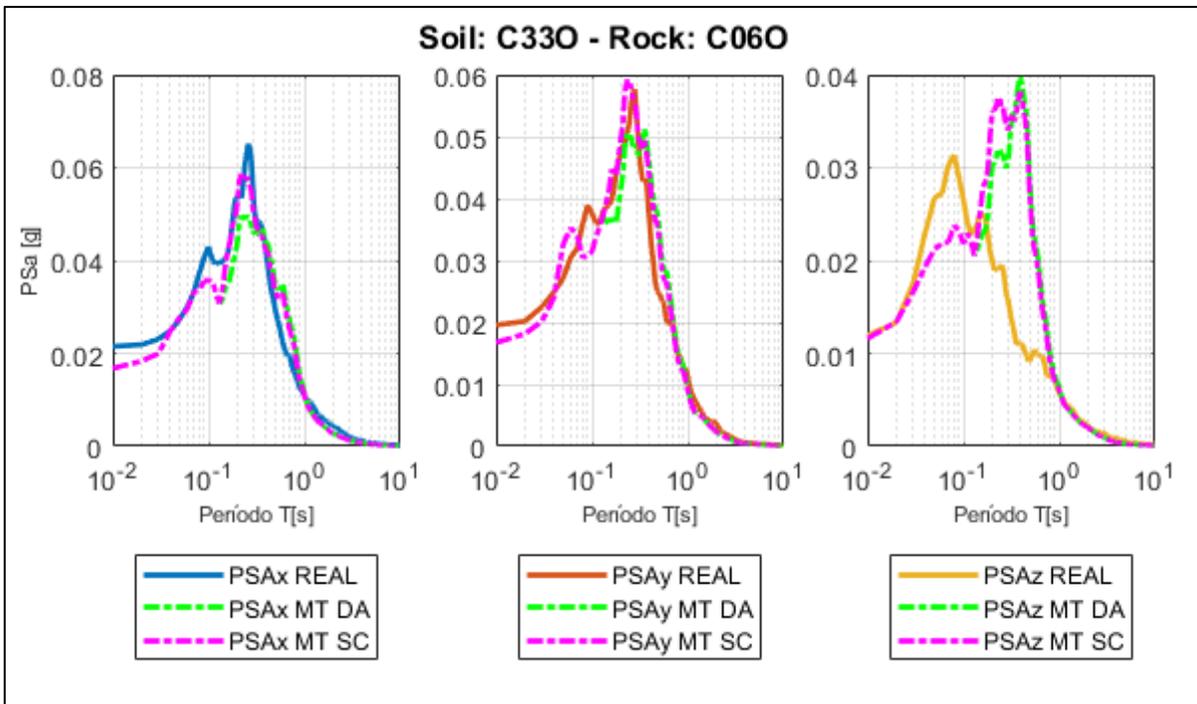
*Figura 210.- Peak de Microvibraciones para estaciones C160-C220.*



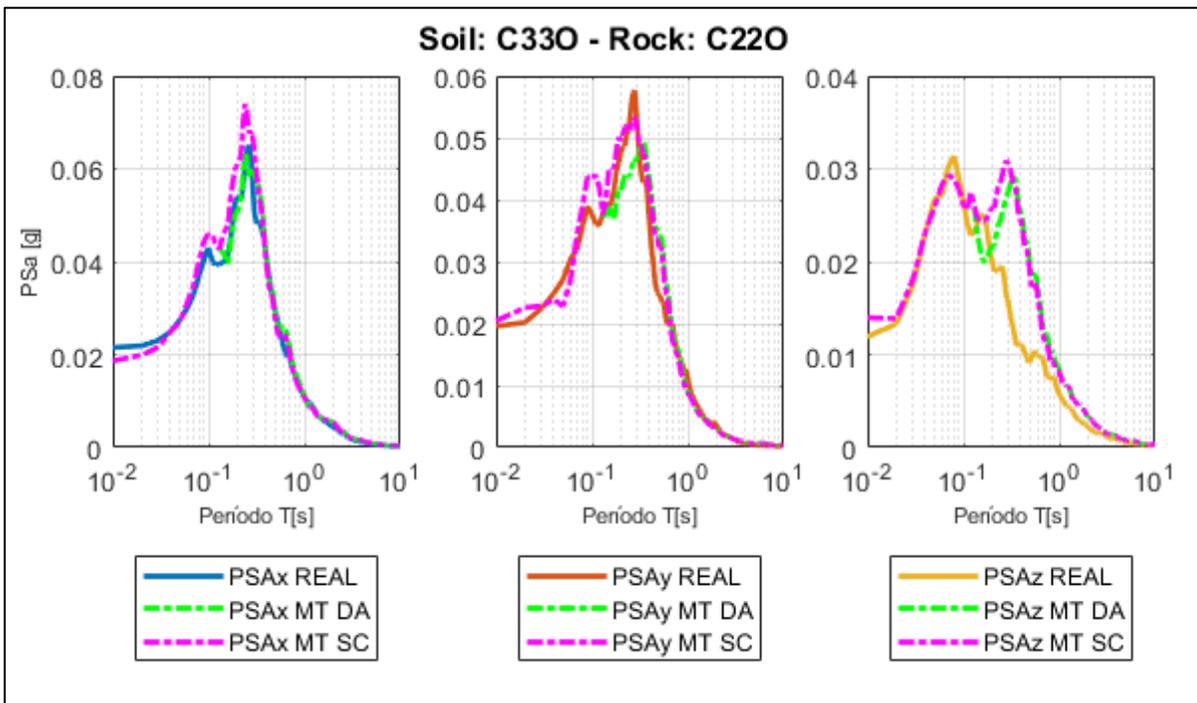
*Figura 211.- Peak de Microvibraciones para estaciones C200-C060.*



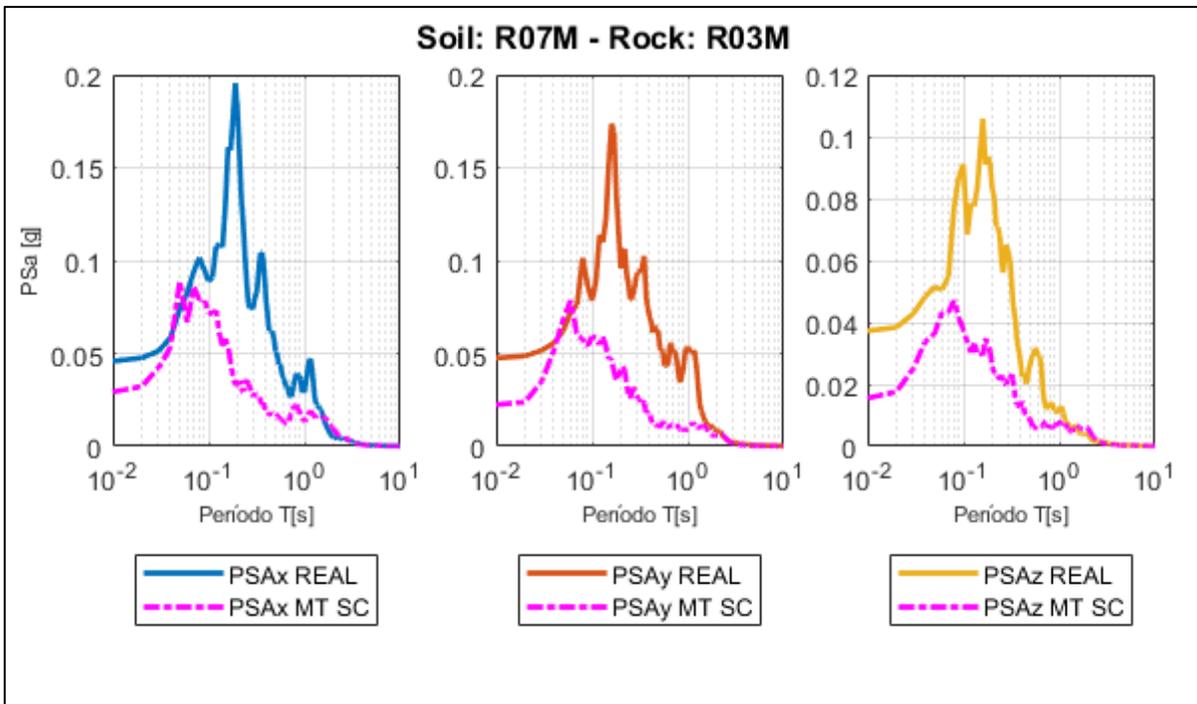
*Figura 212.- Peak de Microvibraciones para estaciones C200-C220.*



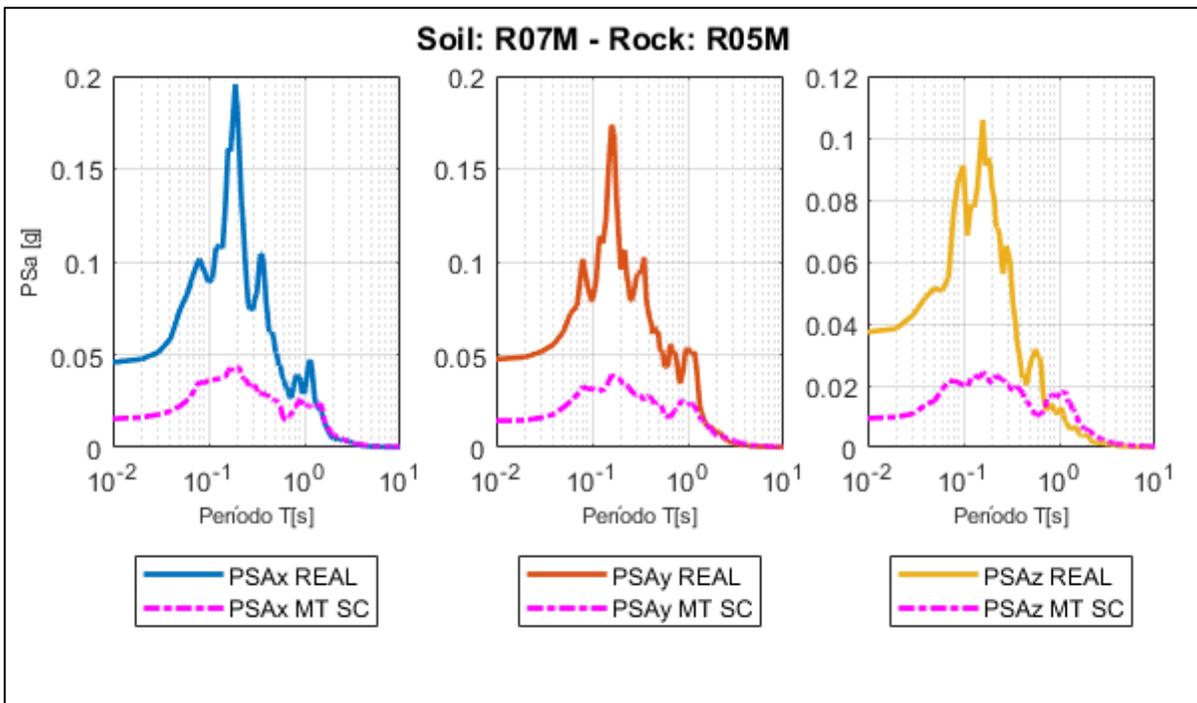
*Figura 213.- Peak de Microvibraciones para estaciones C330-C060.*



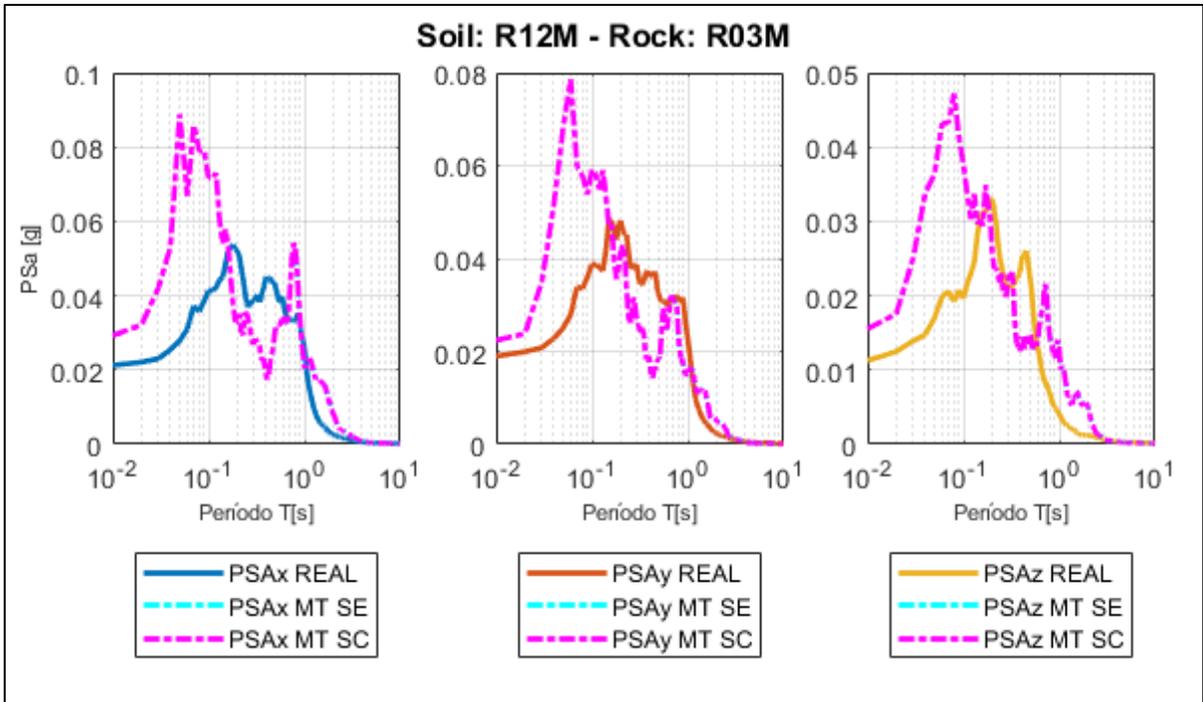
*Figura 214.- Peak de Microvibraciones para estaciones C330-C220.*



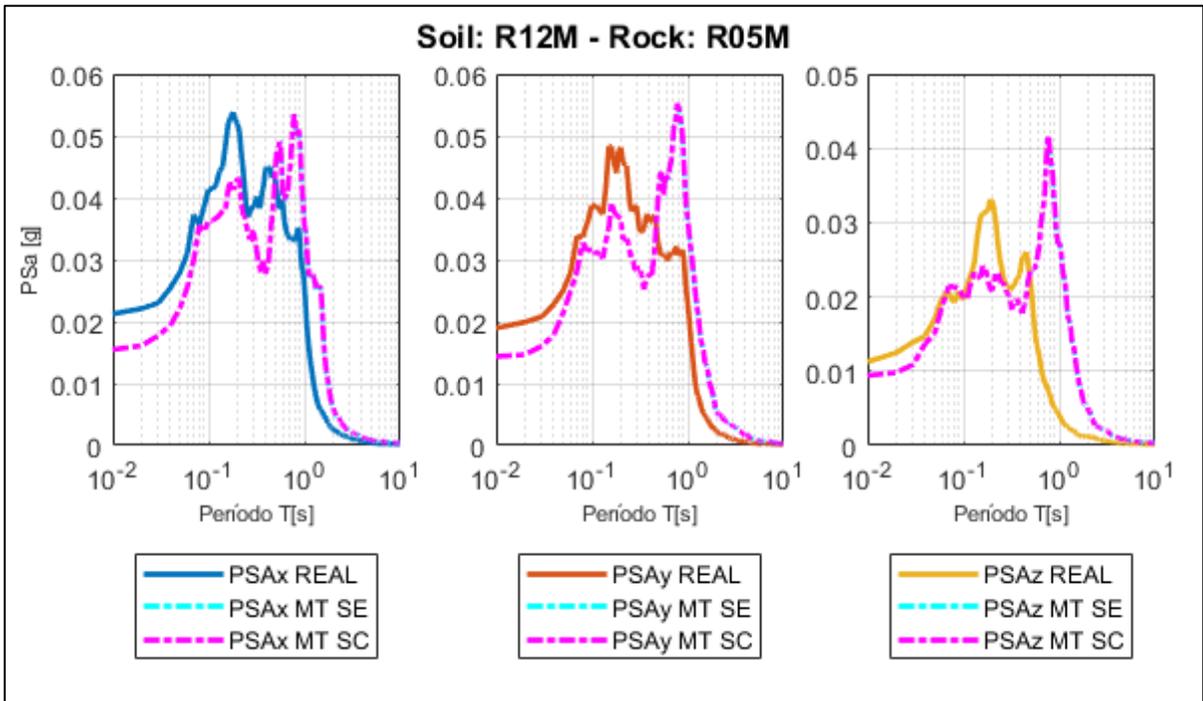
*Figura 215.- Peak de Microvibraciones para estaciones R07M-R03M.*



*Figura 216.- Peak de Microvibraciones para estaciones R07M-R05M.*



*Figura 217.- Peak de Microvibraciones para estaciones R12M-R03M.*



*Figura 218.- Peak de Microvibraciones para estaciones R12M-R05M.*

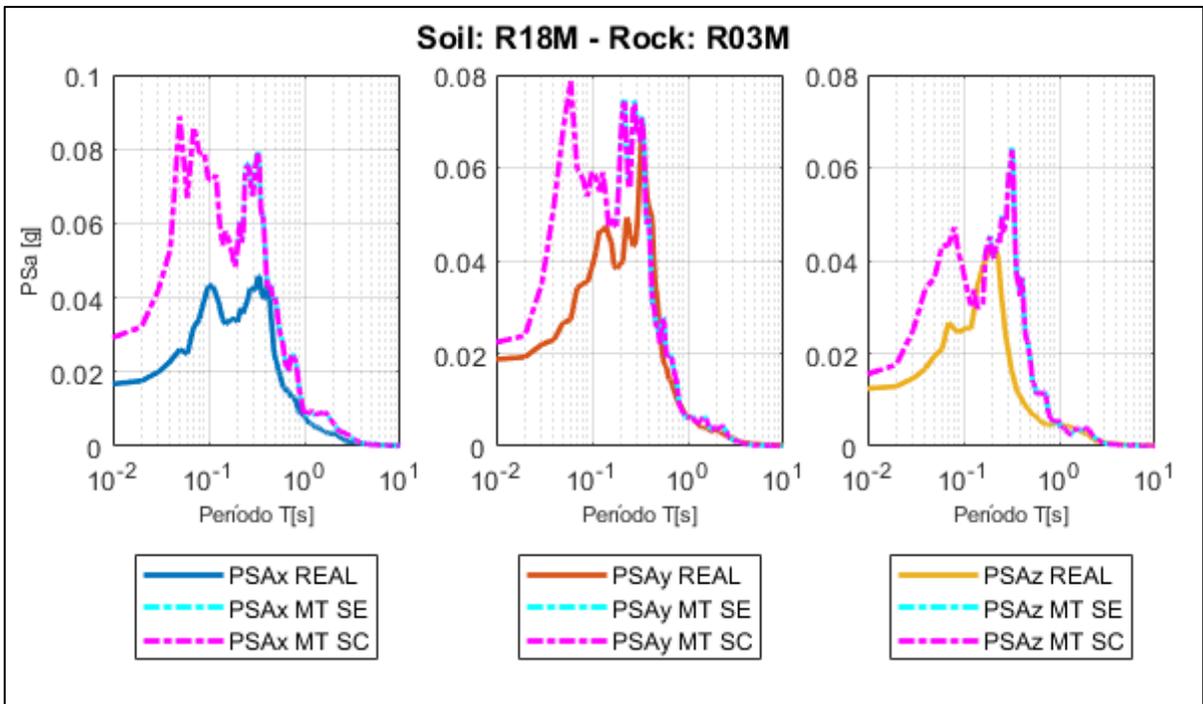


Figura 219.- Peak de Microvibraciones para estaciones R18M-R03M.

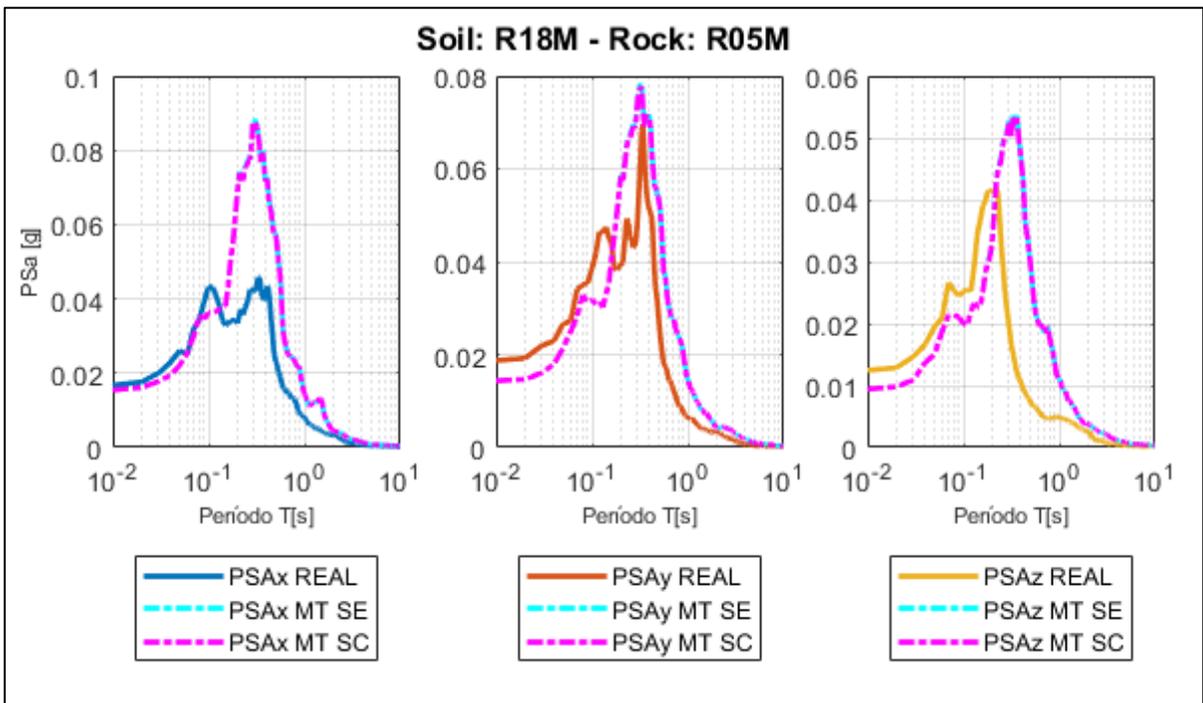
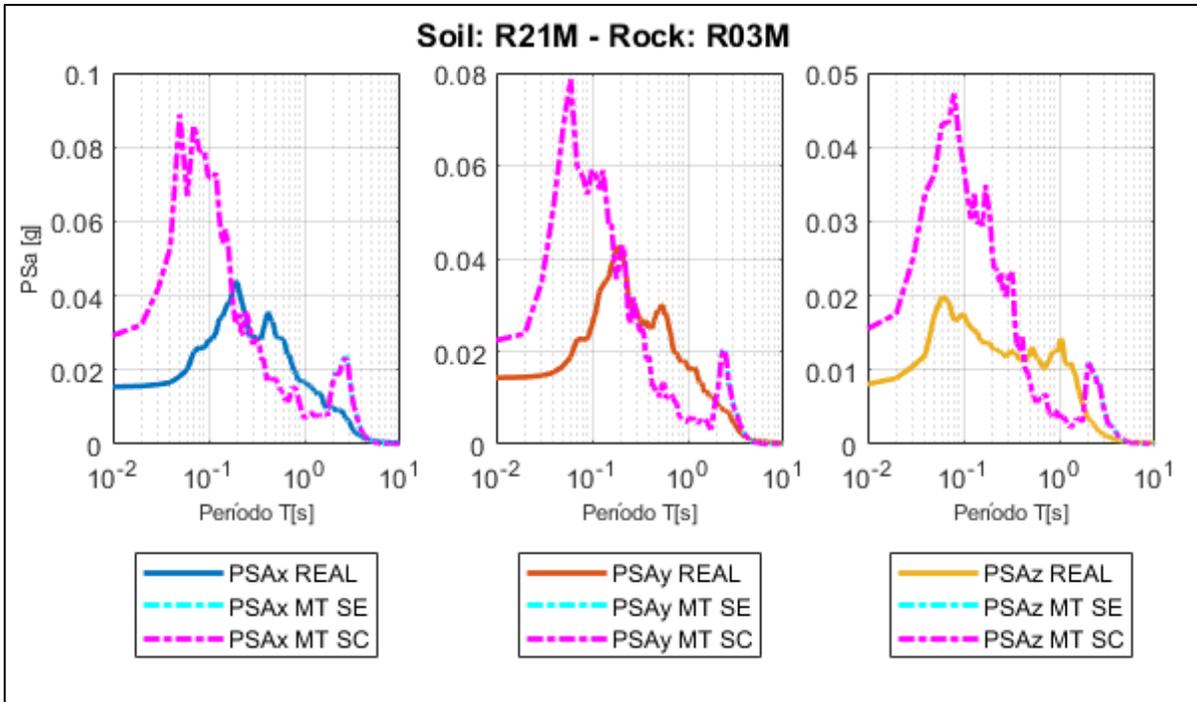
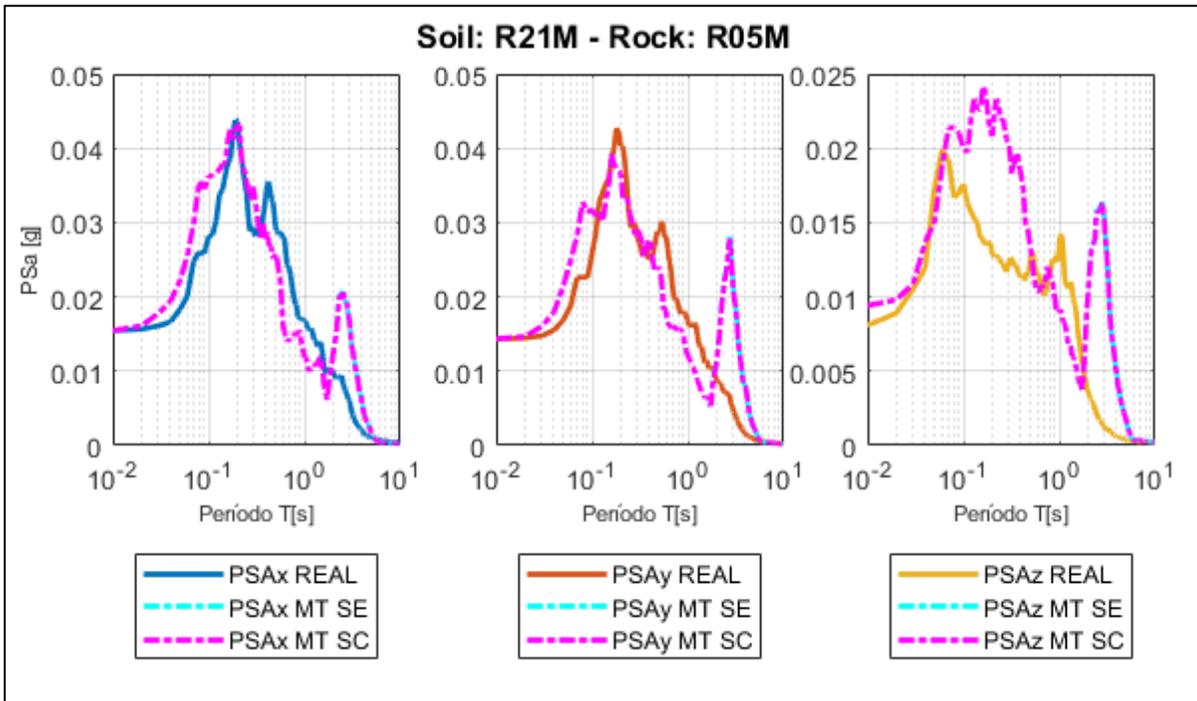


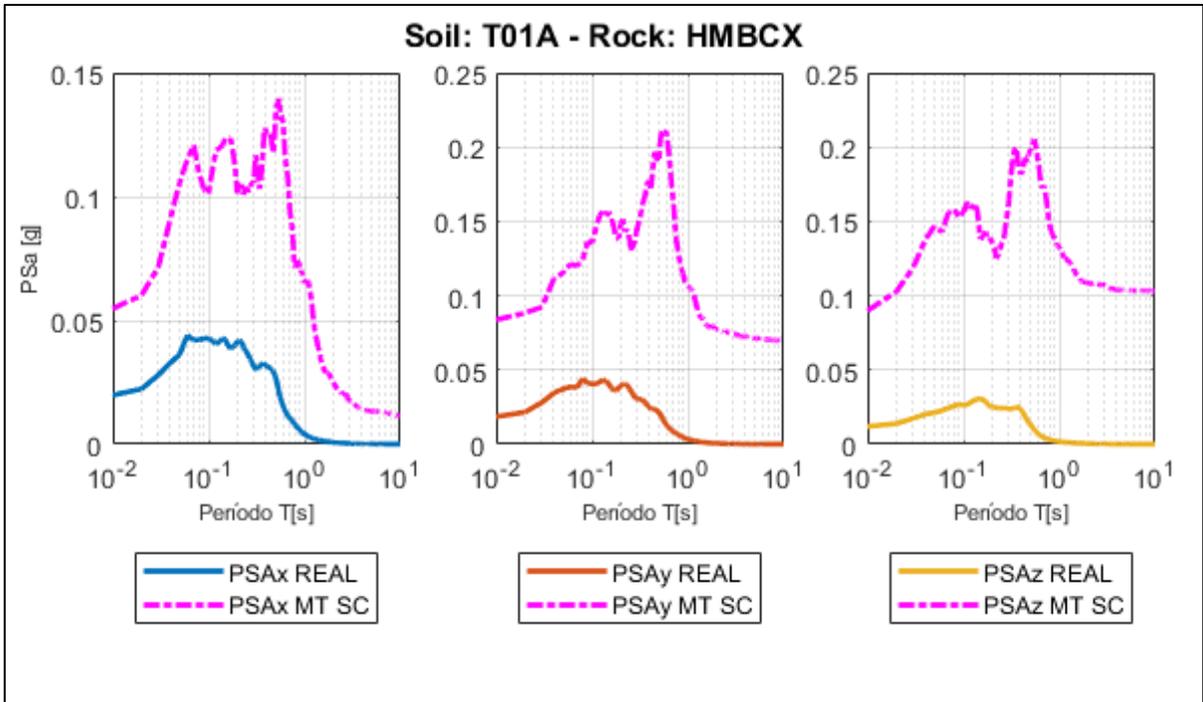
Figura 220.- Peak de Microvibraciones para estaciones R18M-R05M.



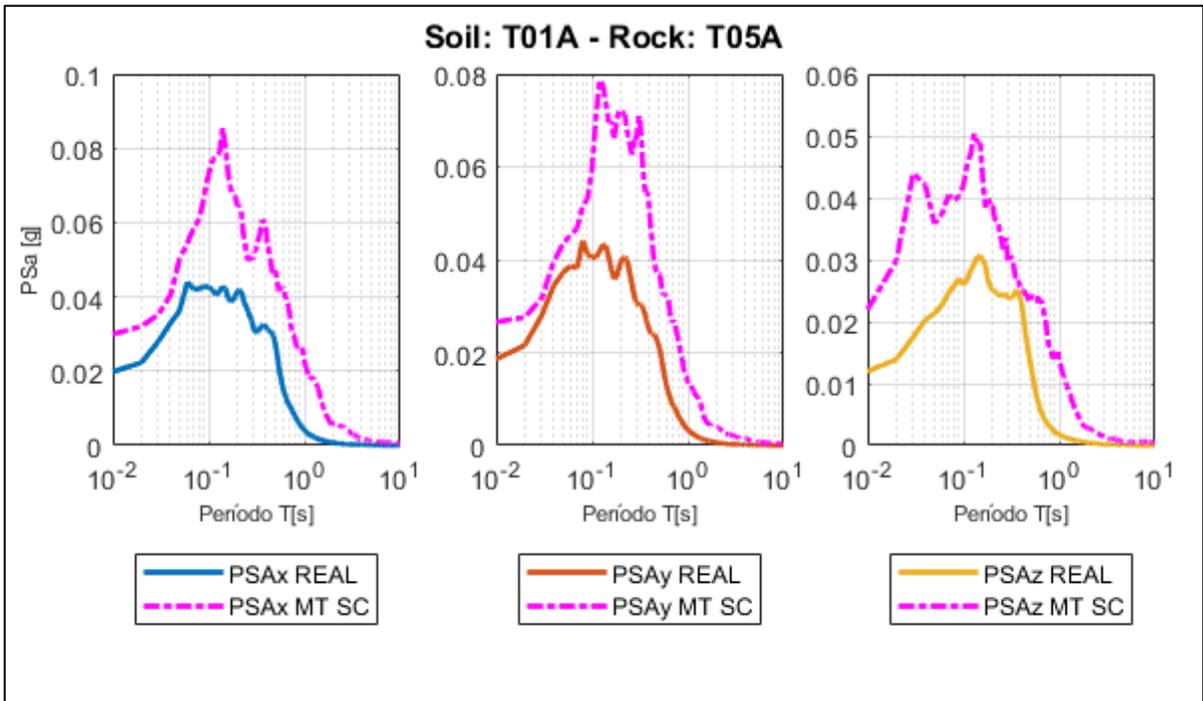
*Figura 221.- Peak de Microvibraciones para estaciones R21M-R03M.*



*Figura 222.- Peak de Microvibraciones para estaciones R21M-R05M.*



*Figura 223.- Peak de Microvibraciones para estaciones T01A-HMBCX.*



*Figura 224.- Peak de Microvibraciones para estaciones T01A-T05A.*

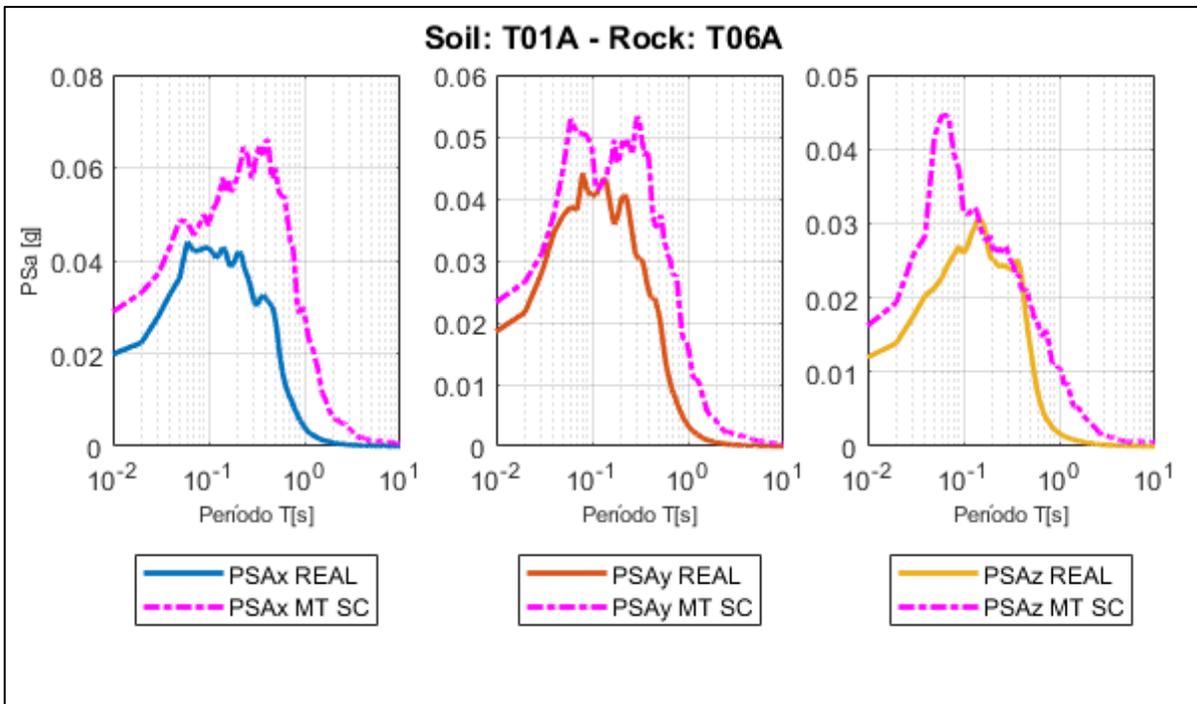


Figura 225.- Peak de Microvibraciones para estaciones T01A-T06A.

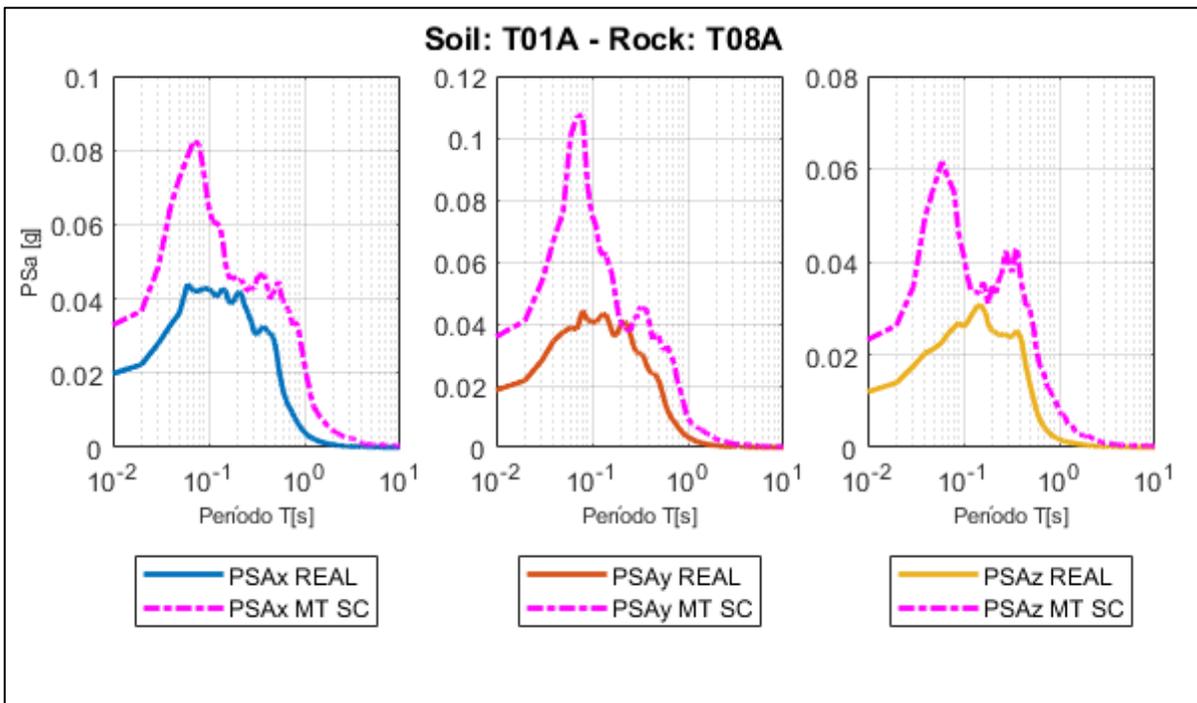
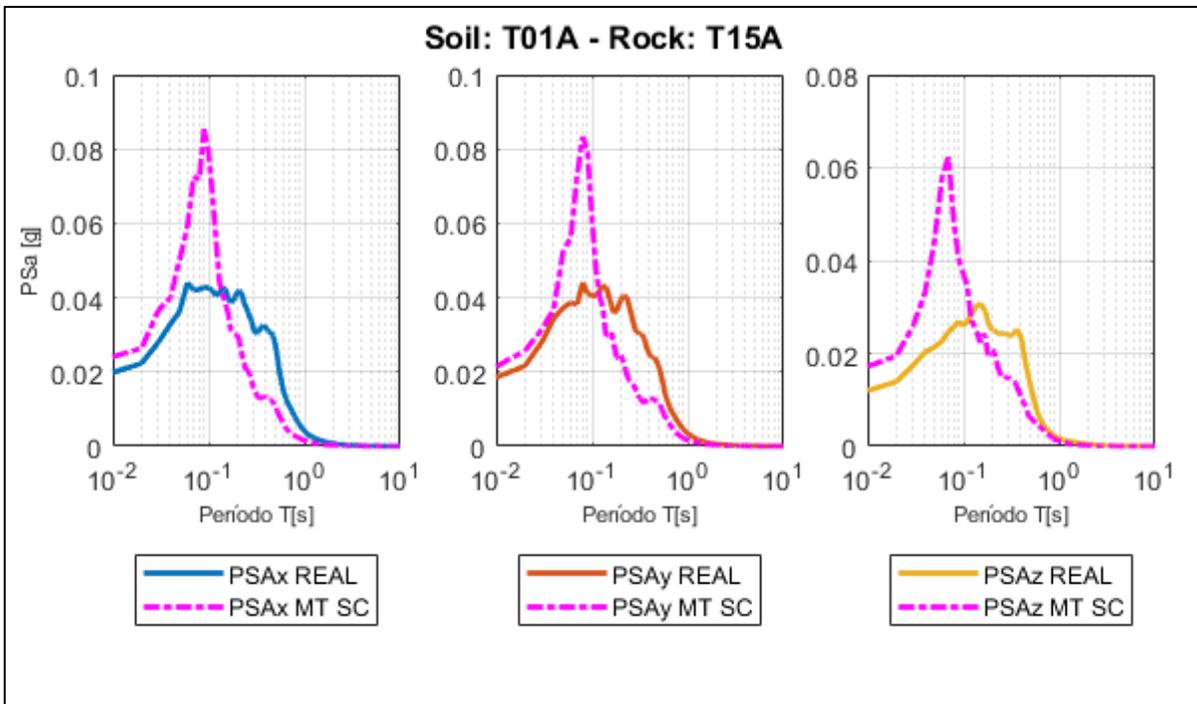
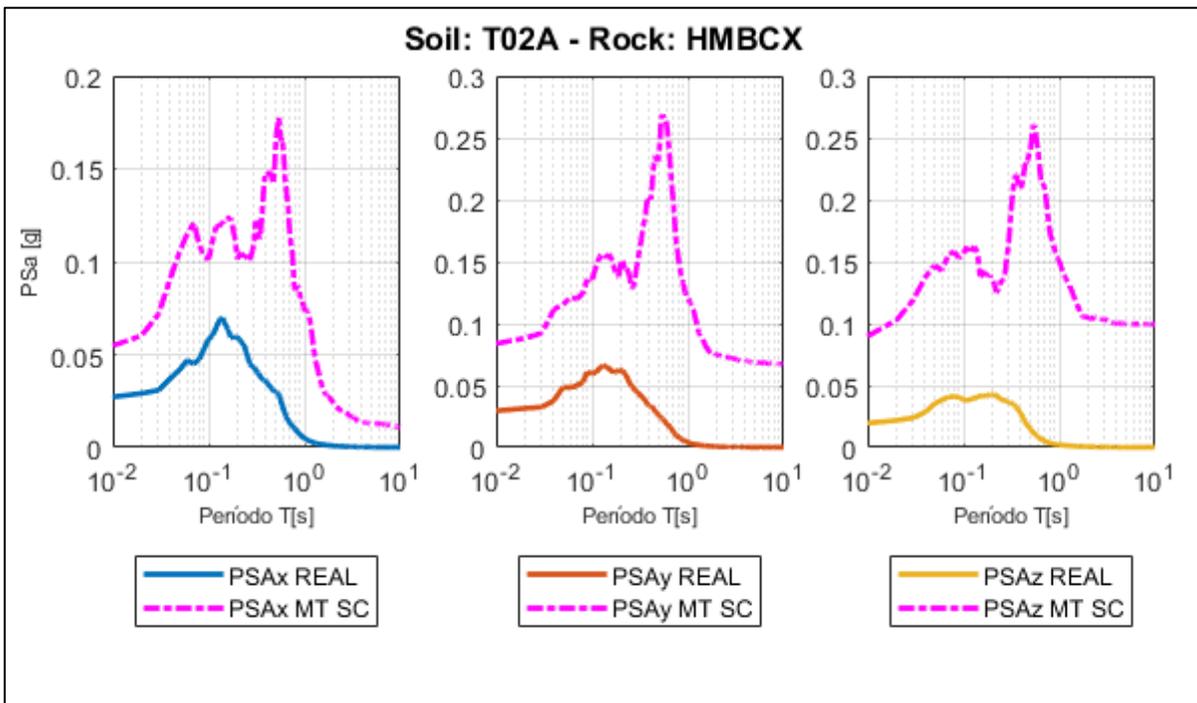


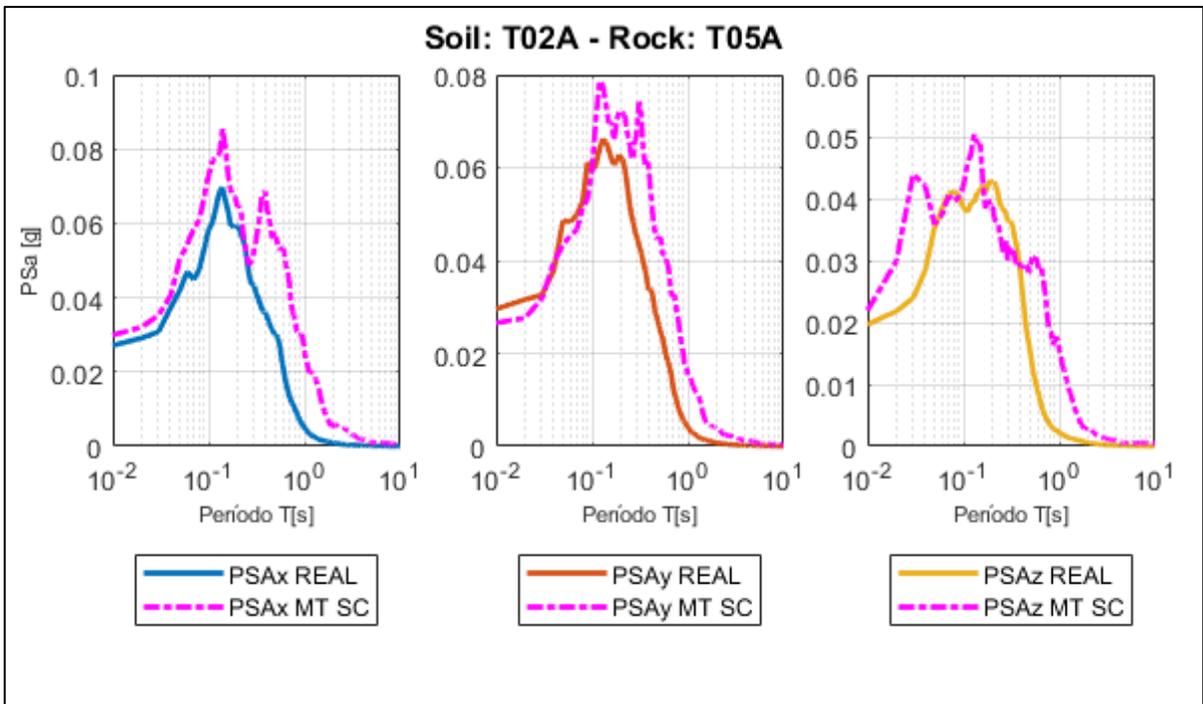
Figura 226.- Peak de Microvibraciones para estaciones T01A-T08A.



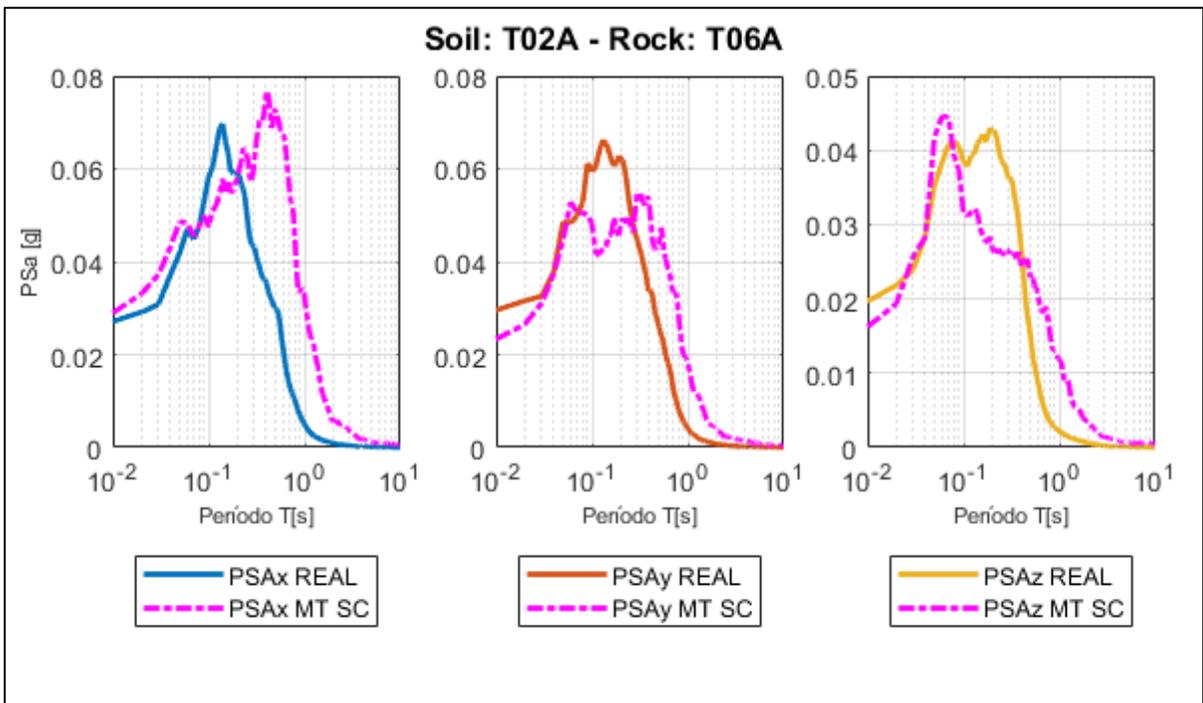
*Figura 227.- Peak de Microvibraciones para estaciones T01A-T15A.*



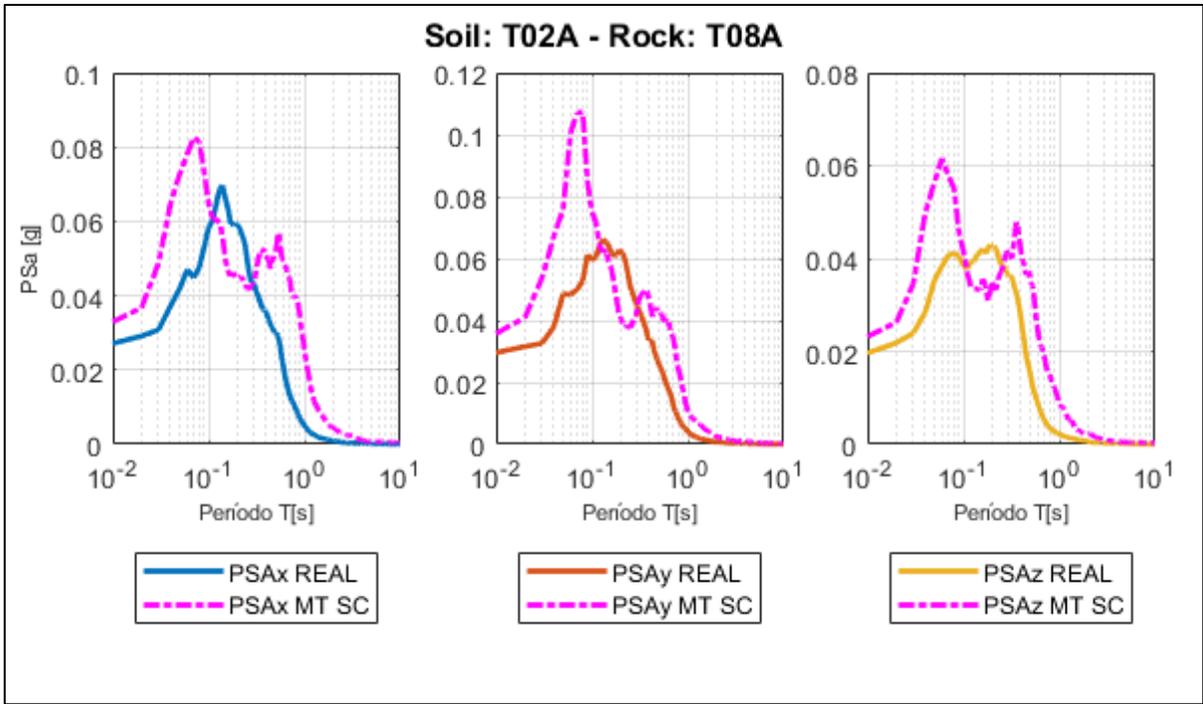
*Figura 228.- Peak de Microvibraciones para estaciones T02A-HMBCX.*



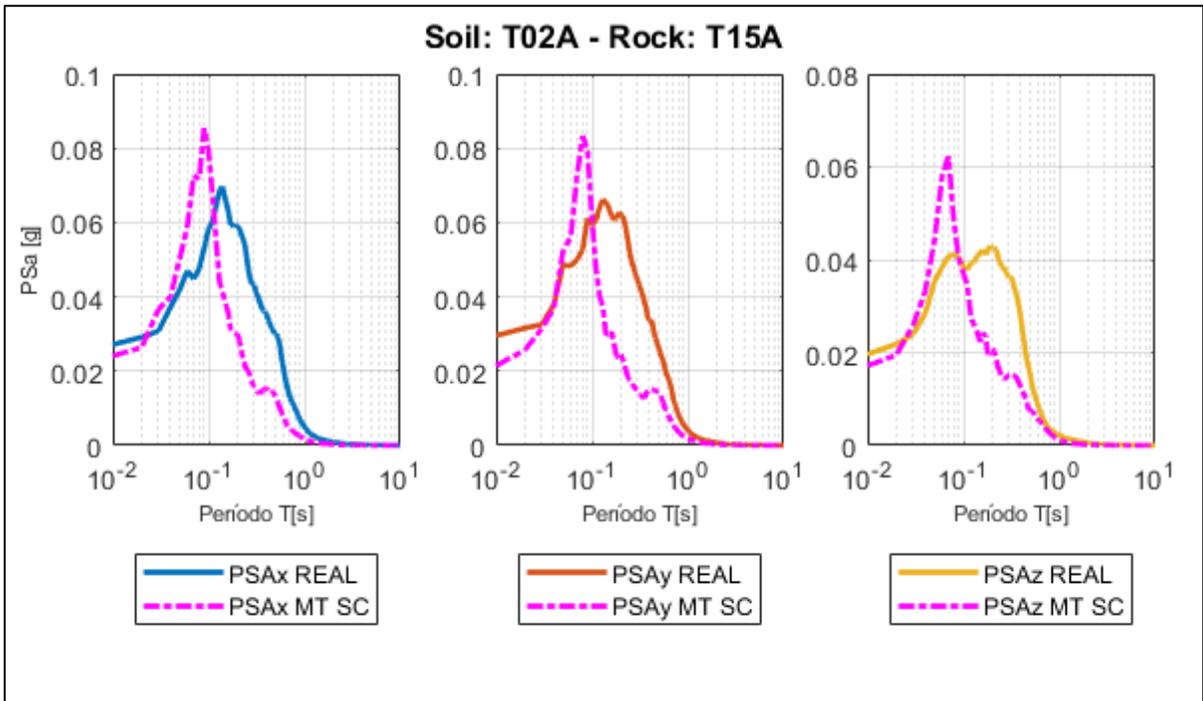
*Figura 229.- Peak de Microvibraciones para estaciones T02A-T05A.*



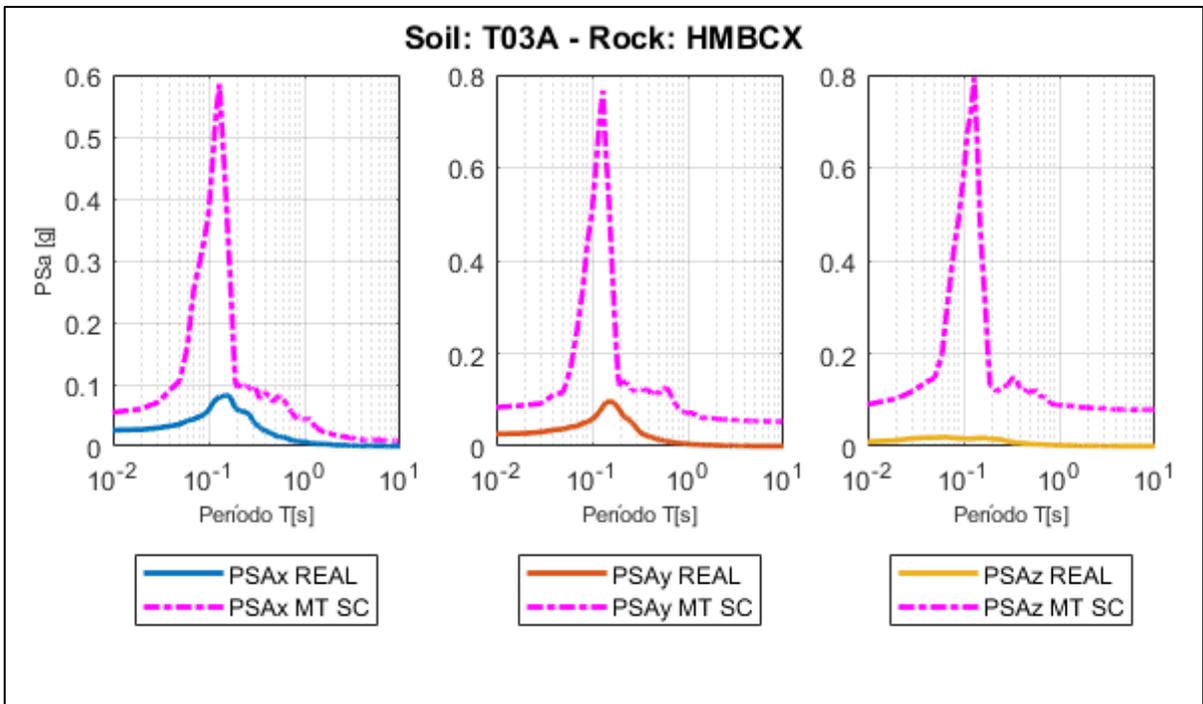
*Figura 230.- Peak de Microvibraciones para estaciones T02A-T06A.*



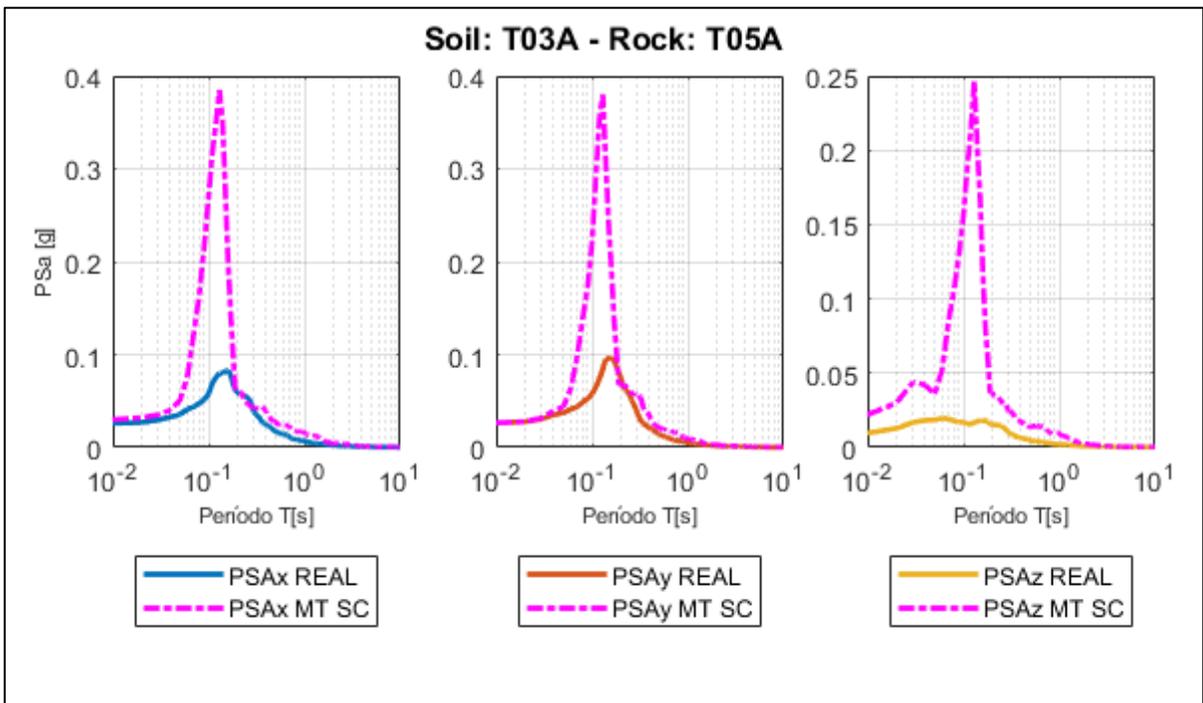
*Figura 231.- Peak de Microvibraciones para estaciones T02A-T08A.*



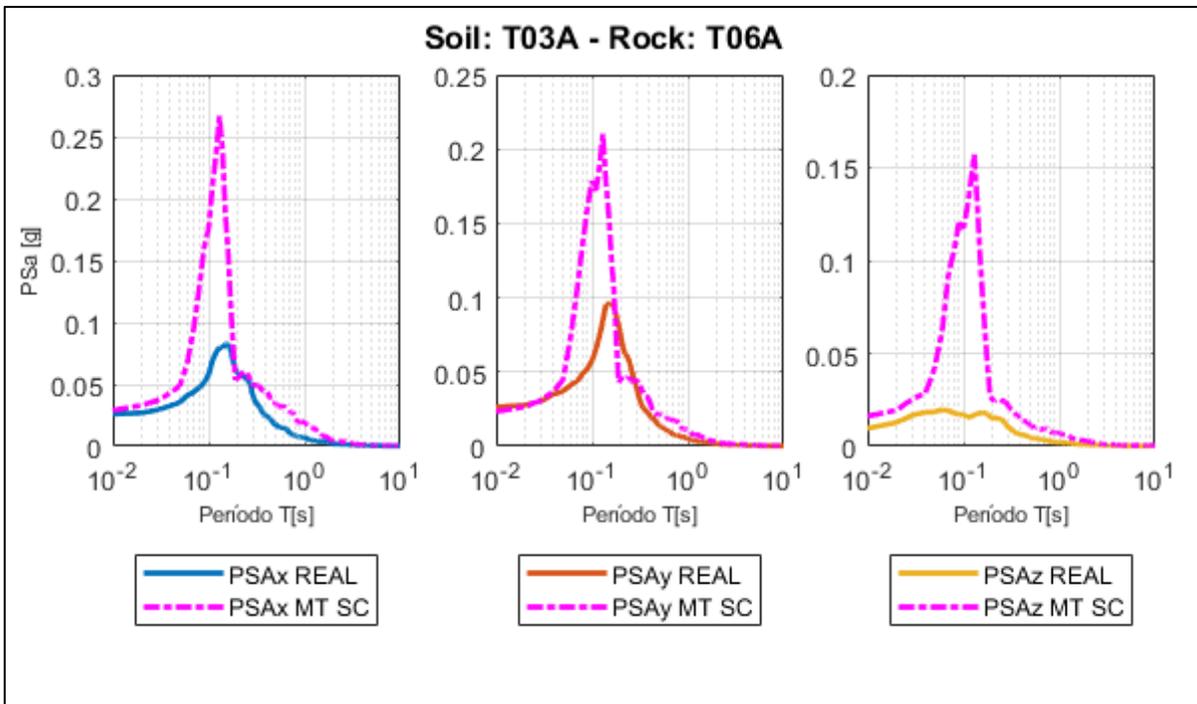
*Figura 232.- Peak de Microvibraciones para estaciones T02A-T15A.*



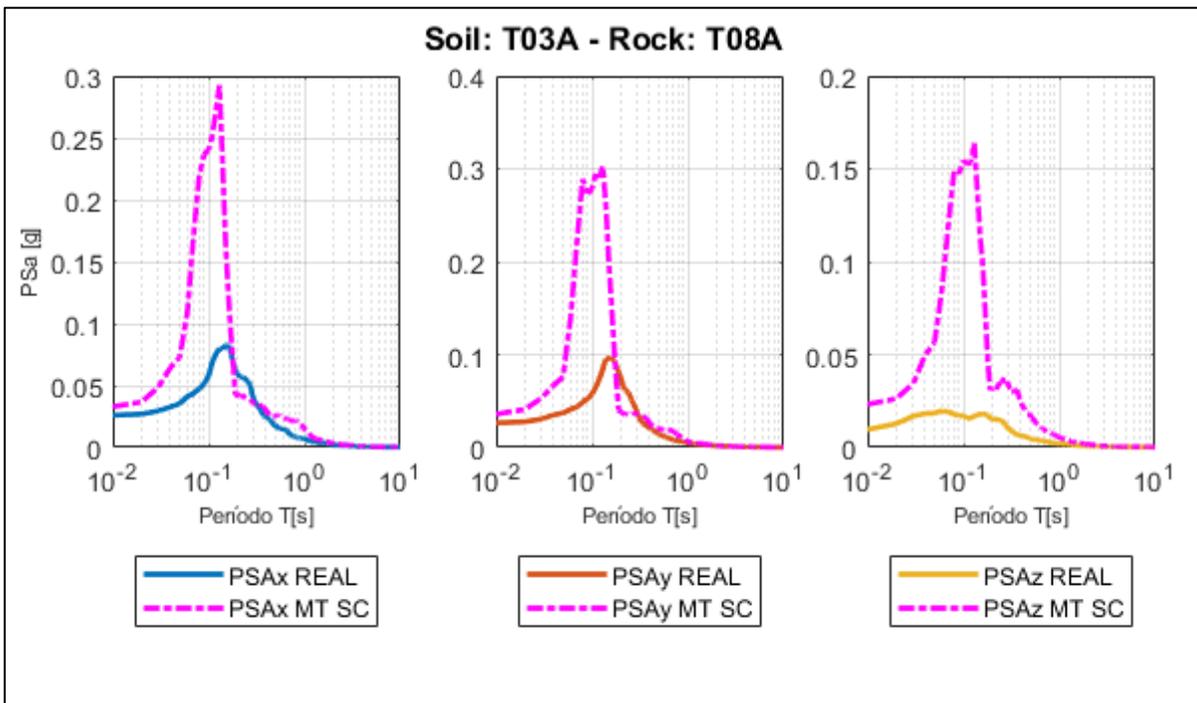
*Figura 233.- Peak de Microvibraciones para estaciones T03A-HMBCX.*



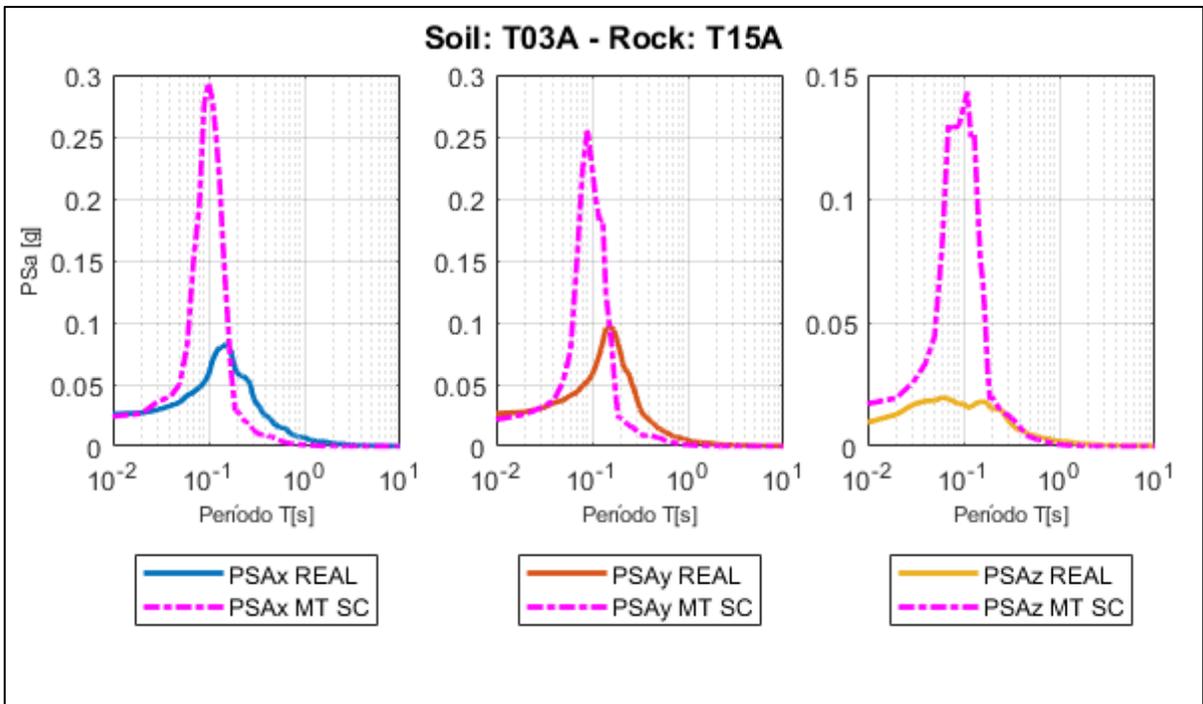
*Figura 234.- Peak de Microvibraciones para estaciones T03A-T05A.*



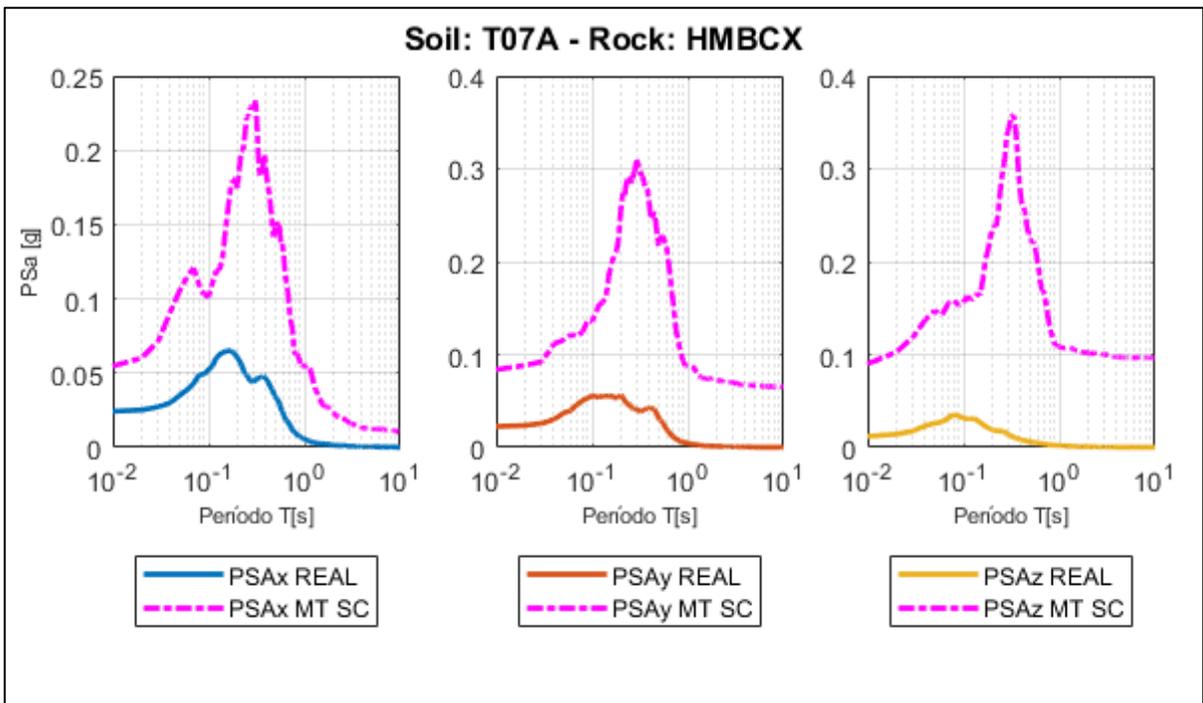
*Figura 235.- Peak de Microvibraciones para estaciones T03A-T06A.*



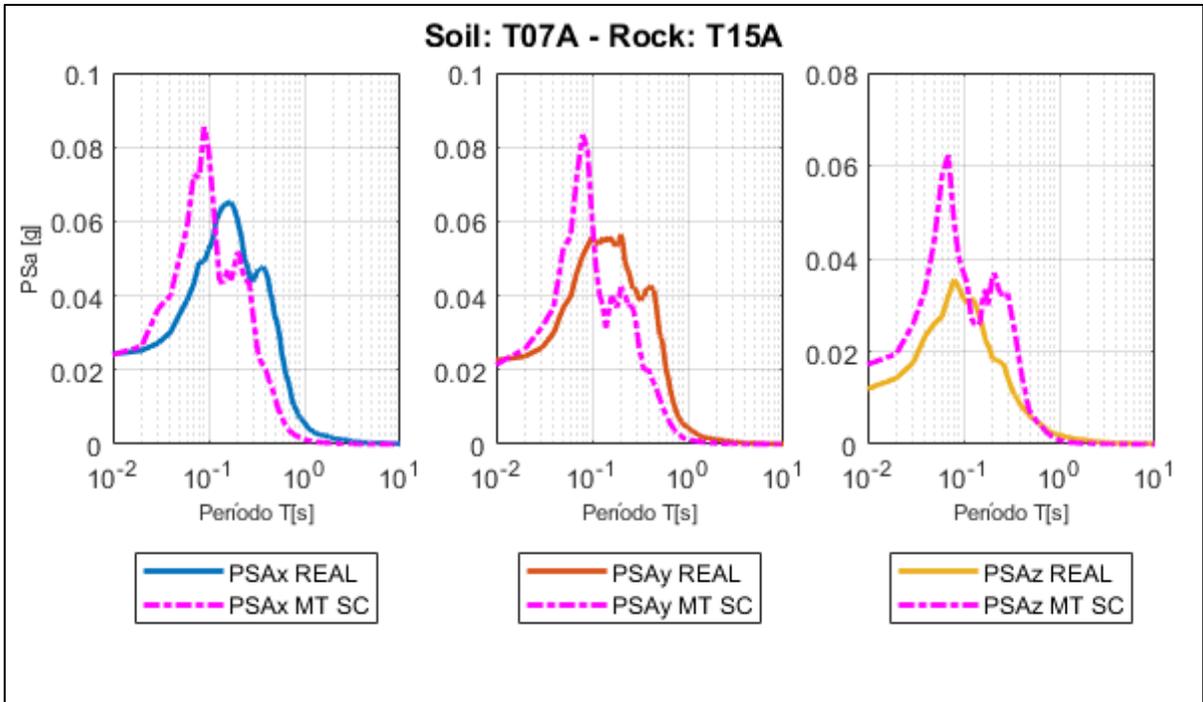
*Figura 236.- Peak de Microvibraciones para estaciones T03A-T08A.*



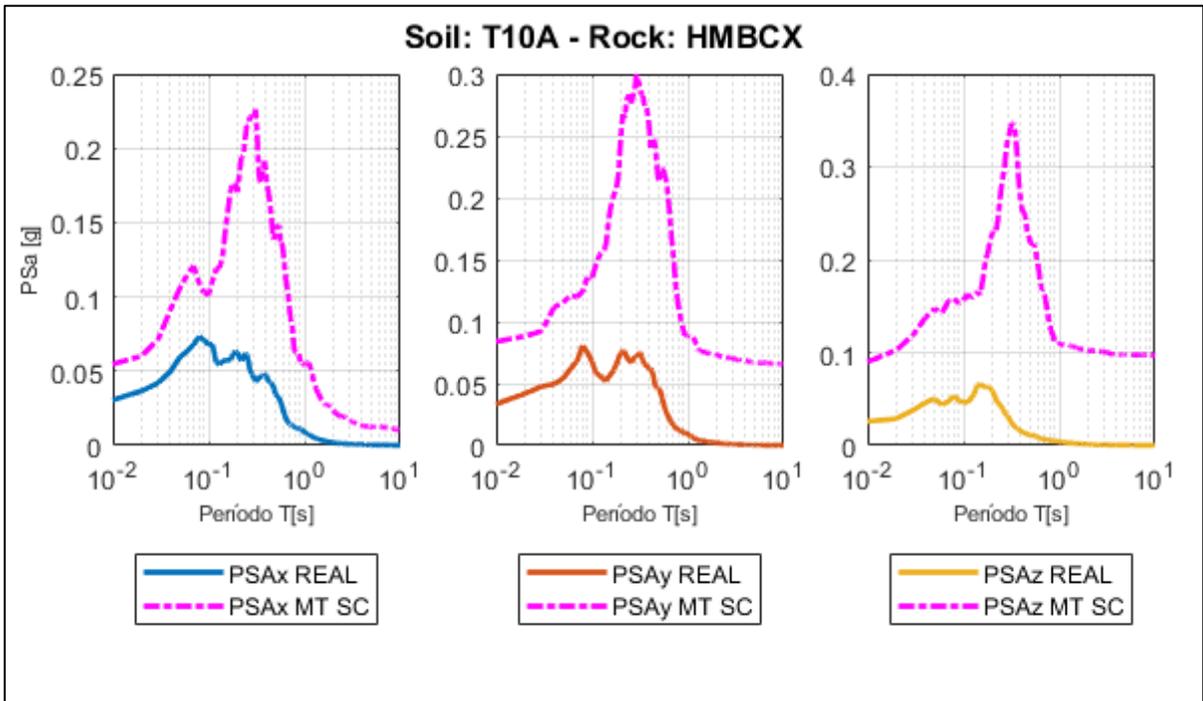
*Figura 237.- Peak de Microvibraciones para estaciones T03A-T15A.*



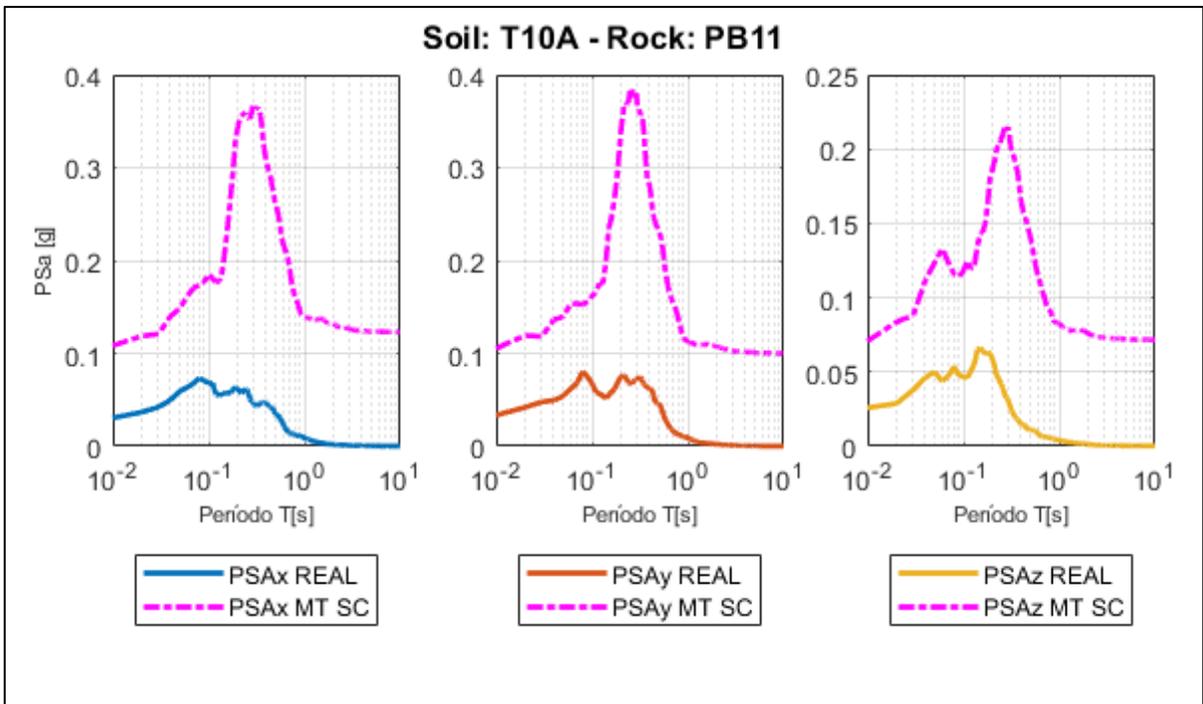
*Figura 238.- Peak de Microvibraciones para estaciones T07A-HMBCX.*



*Figura 239.- Peak de Microvibraciones para estaciones T07A-T15A.*



*Figura 240.- Peak de Microvibraciones para estaciones T10A-HMBCX.*



*Figura 241.- Peak de Microvibraciones para estaciones T10A-PB11.*