



PERÚ

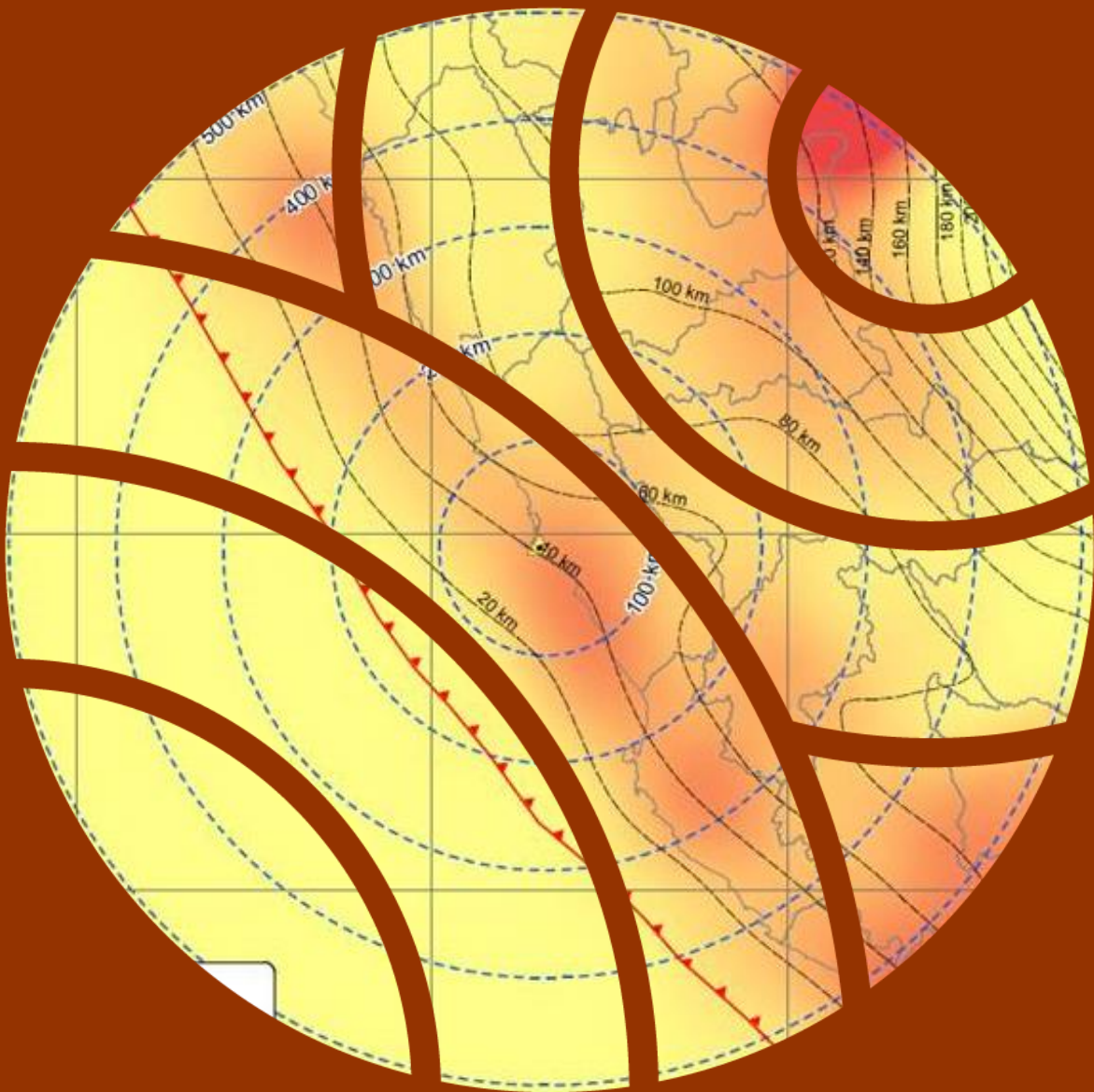
Ministerio  
del Ambiente



# GENERACIÓN DE ESCENARIOS SÍSMICOS PARA LIMA METROPOLITANA

## -Acantilados de la Costa Verde-

Informe Técnico N°018-2021/IGP CIENCIAS DE LA TIERRA SÓLIDA



Lima - Perú  
Julio 2021

**Instituto Geofísico del Perú**

Presidente Ejecutivo: Hernando Tavera

Director Científico: Edmundo Norabuena

**Informe Técnico**

Generación de escenarios sísmicos para Lima Metropolitana – Acantilados de la Costa Verde

**Autor**

Instituto Geofísico del Perú

Este informe ha sido producido por el Instituto Geofísico del Perú  
Calle Badajoz 169 Mayorazgo  
Teléfono: 51-1-3172300

**GENERACIÓN DE ESCENARIOS SÍSMICOS  
PARA LIMA METROPOLITANA  
-Acantilados de la Costa Verde-**

Lima – Perú  
Julio, 2021

## RESUMEN

En este estudio se presenta los resultados obtenidos de los análisis para la generación de registros acelerométricos sintéticos correspondientes a escenarios sísmicos máximos y réplicas de mayor magnitud esperados para Lima Metropolitana. Para este análisis, ZER Geosystem Perú SAC ha utilizado el método determinístico (DSHA por sus siglas en inglés) a ser aplicado al área de estudio, *zona de acantilados de la Costa verde*.

El análisis determinístico se realizó para los eventos principales de subducción interfase e intraplaca con magnitud de  $M_w=8.8$  y  $7.8$ , respectivamente. El análisis incluye a réplicas de mayor magnitud esperadas según las relaciones establecidas por Maeda, K. (1996). En el estudio, no se identificaron fallas representativas que generen aceleraciones significativas en la zona de estudio.

El presente estudio considera los registros de aceleraciones horizontales máximas considerando un suelo tipo B ( $V_{s30}>760$  m/s) según el ASCE-7, 2016 Minimum Design Loads For Buildings and Other Structures (2017) y un factor de amortiguamiento  $\xi=5\%$  para eventos sísmicos calculados con un percentil del 50th y 84th: eventos de interfase e intraplaca, respectivamente.



## **CONTENIDO**

### **RESUMEN**

#### **1.- INTRODUCCIÓN**

1.1.- Generalidades

1.2.- Objetivos

1.3.- Alcance

#### **2.- MARCO NEOTECTÓNICO**

2.1.- Emplazamiento Tectónico Regional

2.1.1.- Zonificación Tectónica

2.1.2.- Sistemas de Fallas en la Región Central del Perú

#### **3.- MARCO SISMOTECTÓNICO**

3.1.- Eventos de Subducción

3.1.1.- Sismicidad de Interfase – Segmento Central

3.1.2.- Sismicidad Intraplaca

3.2.- Historia Sísmica de la Región en Estudio

3.3.- Sismicidad Instrumental en el Área de Influencia

#### **4.- ECUACIONES DE PREDICCIÓN DEL MOVIMIENTO (GMPE)**

4.1.- Ecuaciones de Movimiento para Sismos de Subducción

4.1.1.- Modelo de Predicción de Movimiento de Youngs et al. (1997)

4.1.2.- Modelo de Predicción de Movimiento de Zhao et al. (2006)

4.1.1.- Modelo de Predicción de Movimiento de BC Hydro (2016)

#### **5.- EVALUACIÓN DE ESCENARIOS SÍSMICOS**

5.1.- Antecedentes de Escenarios Sísmicos Existentes

5.2.- Análisis de Desagregación Sísmica

5.2.1.- Resultados del Análisis de Desagregación

5.3.- Árbol Lógico de Decisión

5.3.1.- Eventos de Interfase

5.3.2.- Eventos de Intraplaca

5.3.3.- Máximas Réplicas Esperadas

5.4.- Evaluación del Peligro Sísmico Determinístico

5.4.1.- Eventos Interfase

5.4.2.- Eventos Intraplaca

5.4.3.- Resultados del Peligro Sísmico Determinístico

5.5.- Sismo Máximo Creíble

5.6.- Comparación de Resultados

6.- GENERACIÓN DE ACELEROGRAMAS SINTÉTICOS

6.1.- Metodología

6.2.- Registros Seleccionados

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFIA

## Cuadros

Cuadro 3.1	Sismos Significativos
Cuadro 4.1	Esquema de clasificación Geomatrix 3rd Letter
Cuadro 4.2	Coefficientes de atenuación de aceleraciones espectrales en roca propuesta por Youngs et al. (1997)
Cuadro 4.3	Esquema de clasificación de Molas & Yamazaki (1995)
Cuadro 4.4	Coefficientes del modelo de aceleración espectral a nivel de roca (Suelo tipo B) propuesto por Zhao et al. (2006)
Cuadro 4.5	Coefficientes de regresión para la subducción mediana (unidades en g) del modelo GMPE. BC Hydro (2016)
Cuadro 5.1	Valores de $\Delta C1$ recomendados para fuentes de interfase
Cuadro 5.2	Valores de $\Delta C1$ recomendados para fuentes de intraplaca
Cuadro 5.3	Valores de Ponderación del Árbol Lógico de Decisión
Cuadro 5.4	Parámetros considerados para fuentes de subducción
Cuadro 5.5	Resultados del Análisis Determinístico de Peligro Sísmico, escenarios principales.
Cuadro 5.6	Resultados del Análisis Determinístico de Peligro Sísmico, máxima replica esperada.
Cuadro 6.1	Sismos Seleccionados para el Ajuste Espectral

## Figuras

Figura 2 1	Corriente de Convección en el Manto	
Figura 2 2	Actividad sísmica en el mundo 2002-2011 ( $M > 3$ )	
Figura 2 3	Placas tectónicas en las que está dividida la superficie terrestre	3
Figura 2 4	Zona de Subducción y Tipos de Sismos (Kuroiwa, 2002).	
Figura 2 5	Subducción de la zona de estudio	
Figura 3 1	Configuración sismotectónica de la zona de subducción sudamericana, segmento central y sur (Villegas et al. 2016)	
Figura 3 2	Máximas Intensidades Sísmicas Observadas en la zona del proyecto (Adaptado de Alva et al, 1984).	
Figura 5 1	Mapa de periodos de retorno para las asperezas identificadas en la región occidental de Perú (Condori y Tavera 2012).	
Figura 5 2	a) Mapa de deformación de la corteza terrestre medido con GPS para el Perú, y b) Mapa de acoplamiento sísmico para la zona de subducción del Perú modelada a partir de datos GPS (Villegas-Lanza et al., 2016).	
Figura 5 3	Análisis de desagregación sísmica para 475 y 2475 años de periodo de retorno.	
Figura 5 4	Comparación de los espectros determinísticos al Percentil 84 para un	

- suelo tipo B ( $V_{s30} > 760$  m/s), para eventos principales.
- Figura 5 5 Comparación de los espectros determinísticos al Percentil 84 para un suelo tipo B ( $V_{s30} > 760$  m/s), para la máxima réplica esperada.
- Figura 6 1 Metodología del programa RSP Match 2005b incluyendo los nuevos algoritmos de solución

### **Anexos**

- Anexo 1. Sísmicidad Histórica de la Región
- Anexo 2. Mapas de Isosistas
- Anexo 3. Análisis Determinístico
- Anexo 4. Desagregación Sísmica
- Anexo 5. Ajuste Espectral

### **Planos**

- Plano P-01. Ubicación de la Zona de Estudio
- Plano P-02. Densidad Sísmica Superficial y profunda
- Plano P-03. Neotectónica Regional
- Plano P-04. Sismotectónica Regional
- Plano P-05. Sección Transversal de Subducción
- Plano P-06. Distribución de Máximas Intensidades Observadas

## **1.- INTRODUCCIÓN**

### **1.1.- Generalidades**

El Instituto Geofísico del Perú (referido en adelante como IGP) ha solicitado a la empresa ZER Geosystem Perú S.A.C. (referida en adelante como el consultor) realizar el estudio de “Generación de Escenarios Sísmicos para Lima Metropolitana”, en la zona que comprende los distritos de los acantilados de la Costa Verde, entre los que se tiene: San Miguel, Magdalena, San Isidro, Miraflores, Barranco y Chorrillos. El presente informe resume las actividades llevadas a cabo en dicho estudio, las cuales comprenden la generación de registros acelerométricos sintéticos para los escenarios sísmicos definidos para Lima Metropolitana.

### **1.2.- Objetivos**

El objetivo principal del estudio es definir los escenarios sísmicos máximos para la zona de Lima Metropolitana considerando las distintas fuentes sismogénicas que se presentan en esta región. Para cada una de estas fuentes se obtienen los registros acelerométricos sintéticos considerando el máximo evento creíble y la mayor réplica que este podría generar. Para desarrollar este análisis se tomó como base las normativas nacionales e internacionales y el estado del arte de las metodologías aplicadas a este tipo de estudios.

### **1.3.- Alcance**

El alcance general del presente estudio es la generación de registros acelerométricos sintéticos para los escenarios sísmicos definidos para Lima Metropolitana y cuyo procedimiento se detalla a continuación:

- Revisión de la información tectónica disponible.
- Análisis de la sismicidad histórica.
- Análisis del movimiento sísmico del suelo (método determinístico).
- Análisis de desagregación sísmica para los periodos de retorno de 475 y 2475 años, analizados para los periodos de PGA, 0.2 y 1.0 s.
- Generación de registros acelerométricos sintéticos para los escenarios principales y máximas replicas esperadas.

## **2.- MARCO NEOTECTÓNICO**

### **2.1.- Emplazamiento Tectónico Regional**

El Perú está comprendido entre una de las regiones de más alta actividad sísmica que hay en la Tierra, formando parte del Cinturón de Fuego del Pacífico. El marco tectónico regional a mayor escala está gobernado por la interacción de las placas de Nazca y Sudamericana.

El borde entre la placa de Nazca y la Placa Sudamericana en esta región está marcada por la fosa Perú – Chile, la cual se encuentra a 225 km al oeste de la costa peruana. La continua subducción de la placa de Nazca a lo largo de la fosa Perú–Chile es la principal fuente de generación de grandes sismos ( $M > 7.0$ ) en esta región. El margen oeste de la Placa Sudamericana se caracteriza por su corta planicie costera, las elevadas montañas de su cordillera oriental y occidental y las numerosas fallas y pliegues que enmarcan el límite este de los Andes en el Perú.

La teoría que postula esta relación es la Tectónica de Placas o Tectónica Global (Isacks et al. 1968). La idea básica de la teoría de la Tectónica de Placas es que la envoltura más superficial de la tierra sólida llamada Litósfera (desde la superficie hasta los primeros 100 km de profundidad) está dividida en varias placas rígidas que crecen a lo largo de estrechas cadenas meso-oceánicas casi lineales; dichas placas son transportadas en otra envoltura menos rígida, la cual es conocida como la Astenósfera, y son comprimidas o destruidas en los límites compresionales de interacción, donde la corteza terrestre es comprimida en cadenas montañosas o donde existen fosas marinas (Berrocal et al. 1974, 1975).

El mecanismo básico que causa el movimiento de las placas no se conoce, pero se afirma que es debido a corrientes de convección o

movimientos del manto plástico y caliente de la Tierra y también a los efectos gravitacionales y de rotación (ver Figura 2.1).

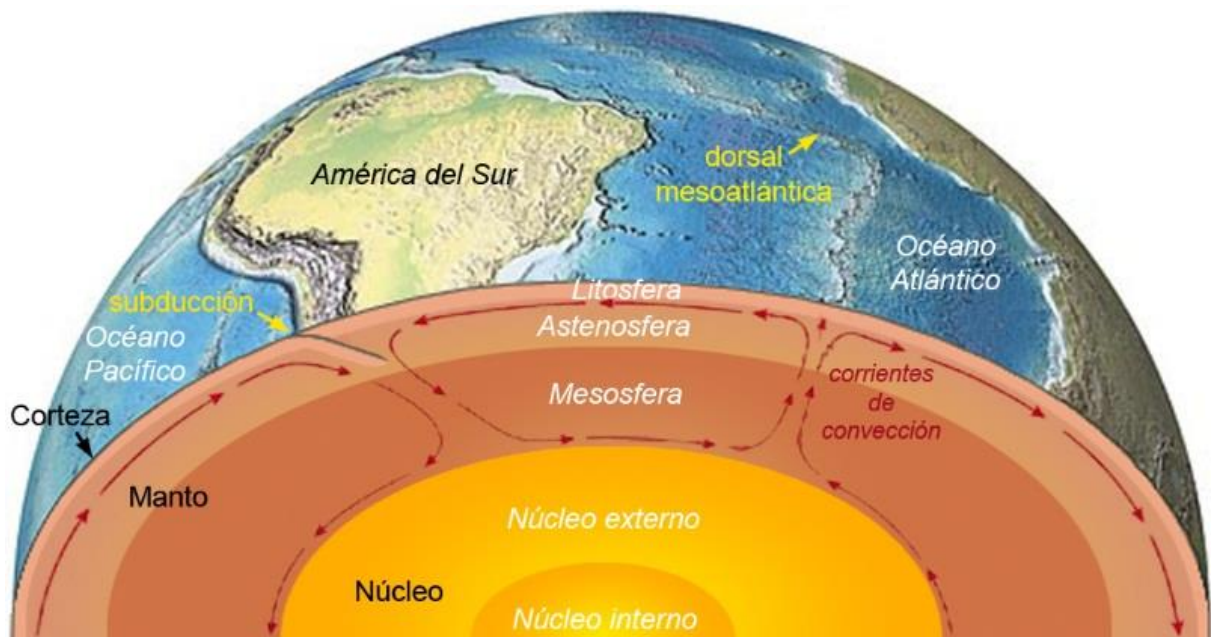


Figura 2.1.- Corriente de convección del Manto

Los límites o bordes de las placas raramente coinciden con las márgenes continentales, pudiendo ser de tres tipos:

- Según cordilleras axiales, donde las placas divergen una de otra y en donde se genera un nuevo suelo oceánico.
- Según fallas de transformación a lo largo de las cuales las placas se deslizan una respecto a la otra.
- Según zonas de subducción, en donde las placas convergen y una de ellas se sumerge bajo el borde delantero de la suprayacente.

Siendo esta última (zonas de subducción) el límite de placas que gobierna la sismicidad de la zona de estudio.

Se ha observado que la mayor parte de la actividad tectónica en el mundo se concentra a lo largo de los bordes de estas placas (ver Figura 2.2



y Figura 2.3). El frotamiento mutuo de estas placas produce los terremotos, por lo que la localización de éstos delimitará los bordes de las mismas.

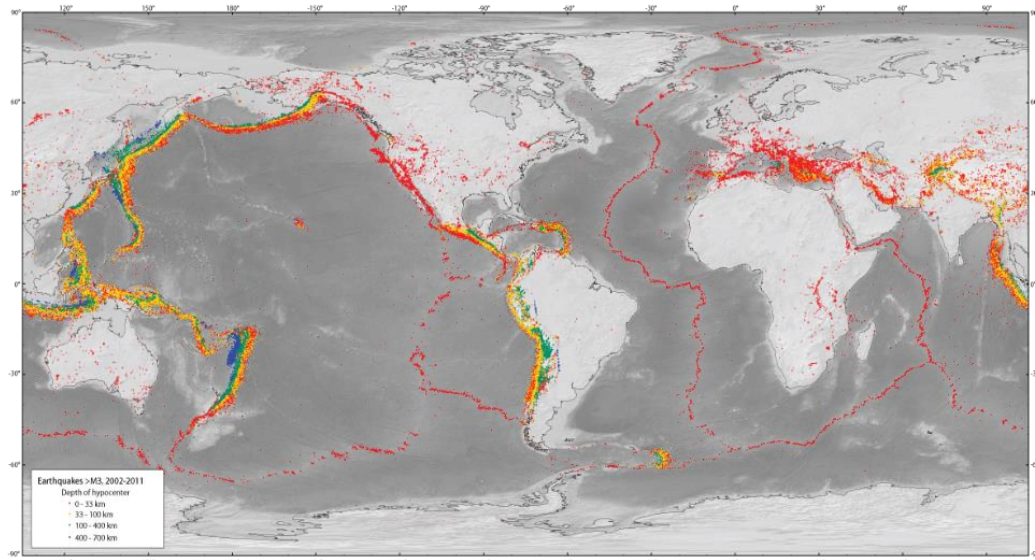


Figura 2.2.- Actividad sísmica en el mundo 2002-2011 ( $M > 3$ )

La margen continental occidental de Sudamérica, donde la placa oceánica de Nazca está subduciendo por debajo de la placa continental Sudamericana, es uno de los mayores bordes de placa en la Tierra.

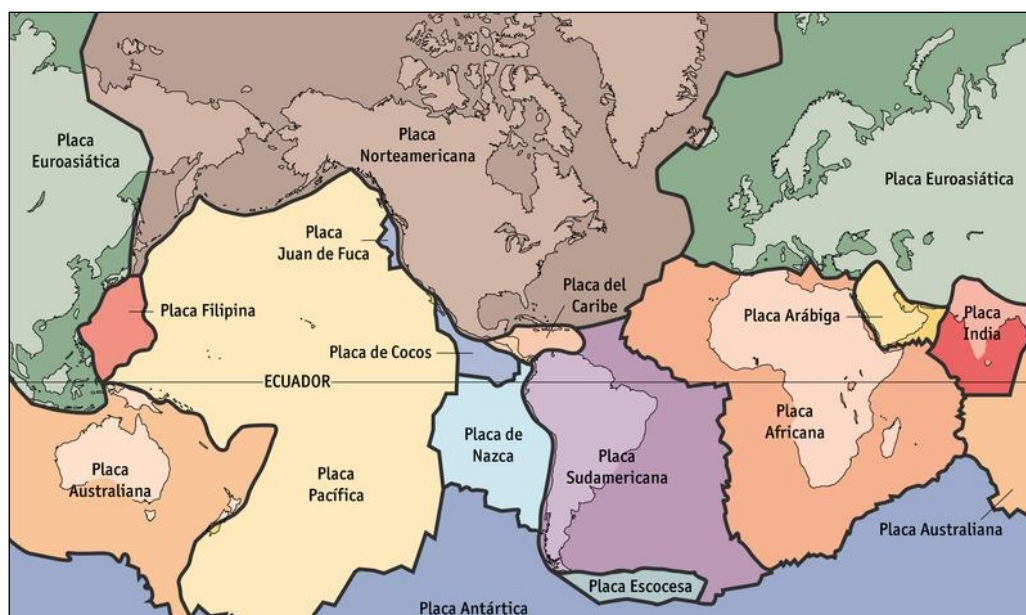


Figura 2.3.- Placas tectónicas en las que está dividida la superficie terrestre

La placa Sudamericana crece de la cadena meso-oceánica del Atlántico, avanzando hacia el noroeste con una velocidad de 2 cm a 3 cm por año y se encuentra con la placa de Nazca en su extremo occidental, constituido por la costa sudamericana del Pacífico (Figura 2.4). Por otro lado, la placa de Nazca crece de la cadena meso-oceánica del Pacífico Oriental y avanza hacia el este con una velocidad de aproximadamente 5 cm a 10 cm por año, subduciendo debajo de la placa Sudamericana con una velocidad de convergencia de 7 cm a 12 cm por año (Berrocal *et al.* 1975).



Figura 2.4.- Zona de subducción y tipos de sismos (Kuroiwa, 2002)

Como resultado del encuentro de la placa Sudamericana y la placa de Nazca y la subducción de esta última, han sido formadas la Cadena Andina y la Fosa Perú–Chile en diferentes etapas evolutivas. La subducción de la placa de Nazca debajo de la placa Sudamericana fue modelada por Cahill e Isacks (1992) y el Servicio Geológico Nacional de los Estados Unidos (USGS por sus siglas en inglés, 2011), donde se muestra que la placa de Nazca subduce debajo de la placa Sudamericana con un ángulo de  $12^\circ$  hasta la profundidad de 20 a 25 km, a partir de donde, la placa tiende a flexionarse suavemente hacia abajo con un ángulo de  $20^\circ$ .

A una profundidad cercana a los 100 km, la placa que subduce cambia de inclinación y continúa de manera casi subhorizontal en dirección al este por casi 500 km hasta que abruptamente comienza un descenso a más de

600 km de profundidad, debajo de la frontera Perú–Brasil y noroeste de Argentina, lo cual es confirmado por la distribución espacial de los hipocentros, aun cuando existe cierta controversia debido a la ausencia de actividad sísmica entre los 300 km y 500 km de profundidad (Berrocal et al. 1975, Cahill e Isacks 1992; Stauder 1975; USGS, 2011).

Específicamente en la zona de estudio, la subducción superficial tiene un ángulo aproximado de  $13.9^\circ$  en la zona de interfase hasta una profundidad promedio de 80 km, posteriormente la inclinación de la subducción de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana se va tornando subhorizontal alcanzando una distancia de 200 km a 350 km desde la fosa, para luego subducir hasta los 700 km de profundidad (ver Figura 2.5).

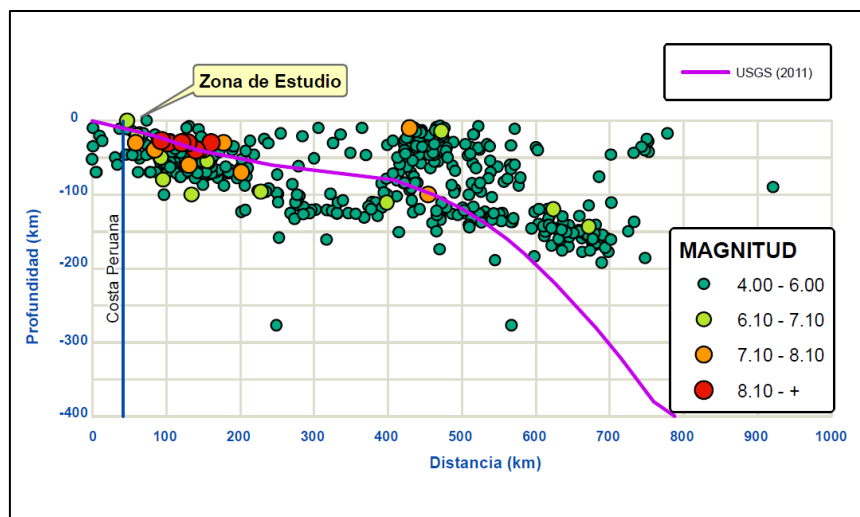


Figura 5.2.- Subducción de la zona de estudio

Algunos trabajos de sismotectónica en Sudamérica han señalado ciertas discontinuidades de carácter regional, que dividen el panorama tectónico de esta región en varias provincias tectónicas. Dichas provincias están separadas por discontinuidades laterales (Berrocal, 1974) o por "zonas de transición" sismotectónica (Deza y Carbonell, 1978), todas ellas normales a la zona de subducción o formando un ángulo grande con ésta. Estas provincias tectónicas tienen características específicas que influyen en la actividad sísmica que ocurre en cada una de ellas.

**2.1.1.- Zonificación Tectónica:** En el Perú, la deformación cuaternaria de la corteza es generada por la subducción de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana, cuyos efectos se concentran en el proceso de orogénesis de los Andes. Los Andes Peruanos se ubican en la zona central de la Cordillera de los Andes, que se extiende desde el golfo de Guayaquil (4° S) hasta el golfo de Penas en Chile (46°30' S). En los Andes Peruanos se pueden distinguir dos zonas en función a la geometría de la subducción, los cuales son conocidos como Sector Norte y Sector Central.

Durante el Mesozoico temprano, el Sector Norte (4° S a 14° S), fue dominado por un tectonismo extensional y la subducción, subsecuentemente, la migración de la deformación hacia el este elevó los Andes Peruanos como resultado de un proceso de subducción plano y poco profundo.

El resultado del engrosamiento de la corteza dio origen a la Cordillera Blanca, donde se presentan un número significativo de fallas normales activas, así como también a una importante actividad sísmica superficial que caracteriza a la Cordillera Oriental y a la zona Subandina, donde la deformación es dominada por fallas relacionadas a las estructuras de plegamientos. Un comportamiento atípico es la falta de actividad volcánica en este sector (Macharé et al. 2003).

El proceso de colisión de la placa de Nazca y la placa continental Sudamericana es causante de todos los procesos orogénicos que se desarrollan en el continente, dentro de los cuales se puede mencionar los siguientes (Pomachagua, 2000):

***La Fosa Marina:*** *La fosa marina indica de norte a sur y paralelo al litoral costero, el límite de contacto entre la placa oceánica y la placa continental. Este límite tiene la forma de una fosa de gran extensión,*

*la misma que alcanza profundidades de hasta 8 000 m. Esta fosa está formada por sedimentos que han sido depositados sobre rocas pre-existentes.*

***La Cordillera Andina:*** *La Cordillera Andina se ha formado como producto del proceso de compresión entre la placa de Nazca y la placa Sudamericana en diferentes procesos orogénicos. Esta cordillera se encuentra conformada en general por rocas ígneas plutónicas que afloraron a la superficie terrestre por procesos tectónicos. La Cordillera Andina se distribuye en el Perú de norte a sur, alcanzando un ancho de 50 km aproximadamente en las regiones norte y centro, y hasta de 300 km en la región sur. Así mismo, la Cordillera Andina se orienta en promedio en dirección NW-SE, aunque a la altura de la latitud 13° S ésta se orienta en dirección E-W, a lo largo de la deflexión de Abancay.*

***Los Sistemas de Fallas:*** *Los diferentes sistemas de fallas que se distribuyen en la zona continental se han formado como un efecto secundario de la colisión de la placa oceánica con la placa continental. Este proceso generó la presencia de plegamientos y fracturas en la corteza terrestre. Los sistemas de fallas mayormente se localizan en el altiplano y en la región Subandina de norte a sur, así como también en los pies de las cordilleras o nevados y entre los límites de la Cordillera Occidental y la zona costera.*

**2.1.2.- Sistemas de Fallas en la Región Central del Perú:** Las fallas son producidas por la ruptura de una parte de la corteza, lo que ocasiona una discontinuidad en la estructura geológica. Existen tres tipos de fallas en función de su geometría, estos son: fallas normales, que indican alargamiento de la corteza, fallas inversas, que indican acortamiento de la corteza, y fallas de desplazamiento o transcurrentes, que indican desplazamiento paralelo al rumbo de la falla.

El Plano P-03 Neotectónica Regional muestra las características neotectónicas de la región en estudio, donde se indica la ubicación del proyecto. Cabe mencionar que la delimitación de estas estructuras geológicas es de carácter regional, por lo que muchas de las fallas representadas en estos mapas corresponden a los alineamientos principales de los sistemas de fallas identificadas e inferidas en los estudios de neotectónica disponibles.

### **3.- MARCO SISMOTECTÓNICO**

El marco sismotectónico del área de proyecto está dominado por la subducción de la placa oceánica de Nazca debajo de la placa Sudamericana. La zona de subducción se origina a cierta distancia de la costa en la fosa Perú–Chile y la placa de subducción Nazca se extiende hacia el este, debajo del borde occidental de la placa Sudamericana. La subducción debajo del borde continental ha venido produciéndose durante, por lo menos, 100 millones de años, y el acortamiento cortical y adición magmática del volcanismo de arco que se producen simultáneamente en el interior de la placa emergente han dado como resultado una corteza continental gruesa y la formación de la Cordillera de los Andes (Jordan *et al.* 1983).

Para visualizar la actividad sísmica de la región en estudio y su correlación con la tectónica regional, se han elaborado el Plano P-03 Neotectónica Regional y el Plano P-04 Sismotectónica Regional, en ellos se muestran los rasgos neotectónicos indicados por Sébrier *et al.* (1982) para el Perú, así como los hipocentros del Catálogo Sísmico empleado para este estudio.

#### **3.1.- Eventos de Subducción**

En el Cuadro 3.1 se muestra algunos de los sismos históricos más significativos que han ocurrido en la zona del segmento Central del Perú que se encuentran más próximos a la zona de estudio.

**Cuadro 3.1.- Sismos significativos**

Año	M <sup>(1)</sup>	Estilo	Profundidad (km) <sup>(2)</sup>	Longitud de Ruptura Mínima (km) <sup>(3)</sup>	Referencias
<b>Sismos de Interfase en la Zona de Subducción</b>					
<b>Segmento Central</b>					
1586	8.1-8.5	Inverso (Thrust)	60	175	Dorbath <i>et al.</i> 1990; Silgado 1985
1664	7.5-7.8	Inverso (Thrust)	15	75	Dorbath <i>et al.</i> 1990; Silgado 1985
1678	7.7-8.0	Inverso (Thrust)	40	100-150	Dorbath <i>et al.</i> 1990; Silgado 1985
1687	8.4-9.0	Inverso (Thrust)	30	300	Beck y Nishenko 1990; Dorbath <i>et al.</i> 1990; NGDC; Silgado 1985
1746	8.6-8.8	Inverso (Thrust)	30	350	Beck y Nishenko 1990; Dorbath <i>et al.</i> 1990; Silgado 1986
1940	8.1-8.2	Inverso (Thrust)	60	180	Dorbath <i>et al.</i> 1990; Kanamori 1977
1942	8.2	Inverso (Thrust)	60	200	Dorbath <i>et al.</i> 1990; Kanamori 1977
1966	8.1	Inverso (Thrust)	38	100	Dorbath <i>et al.</i> 1990; Kanamori 1977
1974	8.1	Inverso (Thrust)	9-22	140	Dorbath <i>et al.</i> 1990; Kanamori 1977; Langer y Spence 1995
1996	7.7-7.9	Inverso (Thrust)	33	<200	Chateleain <i>et al.</i> 1997
<b>Sismos de Intraplaca en la Zona de Subducción</b>					
1970	7.8-8.0	Normal	43-64	130	Abe 1972; Kanamori 1977; Lomnitz 1971; Silgado 1985
1994	8.2	Inverso (Reverse)	631	90	Jimenez 2014

<sup>(1)</sup>Los estimados de magnitud derivan de diversas escalas de magnitud que incluyen la magnitud de onda superficial (Ms) y la magnitud de momento (Mw). En algunos casos, la Mw fue estimada a partir de la liberación del momento sísmico al comparar las alturas del recorrido del tsunami (Beck y Nishenko, 1990).

<sup>(2)</sup>Profundidades focales estimadas a partir de la base de datos de sismicidad histórica del Centro Geodésicos. En lugar de utilizar datos de solución de planos de falla, se empleó profundidades focales para inferir los mecanismos de fuentes de sismos históricos que se produjeron previamente a los inicios del Siglo XX cuando se recopiló datos instrumentales de sismicidad en primer lugar.

<sup>(3)</sup>Longitud de ruptura mínima basada en la intensidad de las vibraciones documentadas para sismos históricos (Dorbath *et al.* 1990). Los estimados de la longitud de ruptura para los eventos de interfase e intraplaca se basaron en el momento sísmico.

**3.1.1.- Sismicidad de Interfase – Segmento Central:** Seis grandes sismos (Mw 7.7 a 8.2) ocurrieron en el segmento central en el periodo entre 1940 y 1966. Estos sismos, que ocurrieron a lapsos de 14 años en promedio, fueron precedidos por cerca de 200 años de inactividad sísmica. Una serie previa de 14 sismos (Mw 7.5 a 9.0+) ocurrió entre 1550 y 1750 con intervalo de recurrencia promedio de aproximadamente 14 años. Las series más tempranas de sismos



incluyeron grandes sismos en 1687 ( $M_w$  8.4 a 9.0) y 1746 ( $M_w$  8.6 a 8.8), que son los más grandes eventos documentados de haber ocurrido en el segmento central (Beck y Nishenko 1990; Dorbath et al. 1990). Este intervalo irregular de recurrencia sugiere que la recurrencia de grandes y amplios sismos de interfase en el segmento central puede agruparse en el tiempo (Villegas et al. 2016). Por ejemplo, el intervalo entre grandes sismos históricos es de alrededor de 60 años (1687 a 1796), pero 260 años han pasado desde el evento de 1746, el evento más grande registrado. El evento más reciente que ha ocurrido en este segmento fue el del 15 de agosto de 2007 con  $M_w$  7.9.

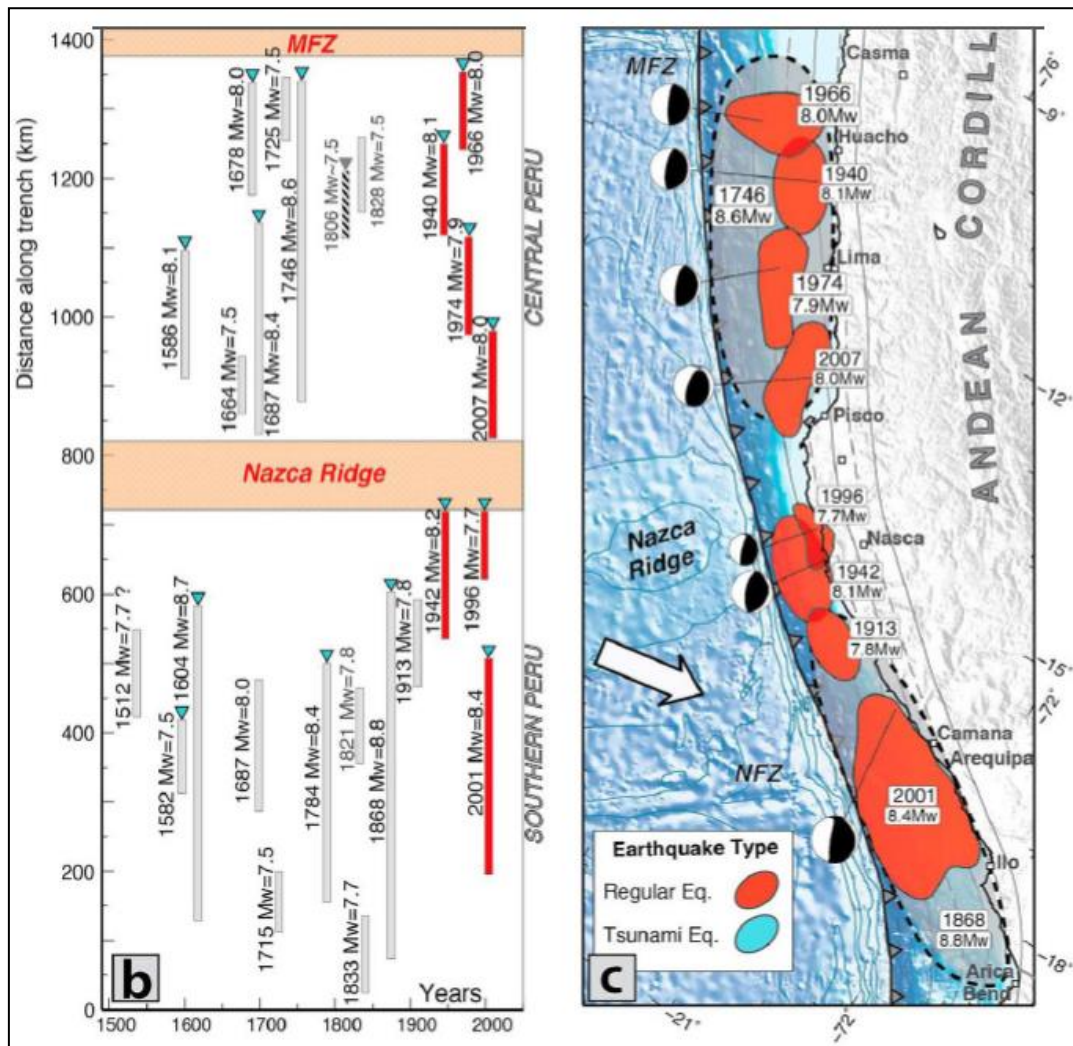


Figura 3.1.- Configuración sismotectónica de la zona de subducción sudamericana, segmento central y sur (Villegas et al. 2016)

**3.1.2.- Sísmicidad Intraplaca:** El evento intraplaca de 1970 listado en el Cuadro 3.1 es uno de los sismos intraplaca poco profundos de mayor magnitud que jamás se hayan registrado y se considera que este evento representa la máxima magnitud para eventos intraplaca poco profundos. La magnitud reportada del evento de 1970 en la literatura es de 7.8 Mw a 8.0 Mw con una profundidad focal de casi 70 km. Pese a que este evento ocurrió en el segmento central, se ha considerado conservadoramente elevar el parámetro sísmológico de magnitud máxima ( $M_{max}$ ) para los eventos del segmento sur puesto que en esta zona no se tiene información instrumental o histórica de grandes eventos.

### **3.2.- Historia Sísmica de la Región en Estudio**

Para la región en la cual se encuentra el proyecto se presenta la recopilación de Silgado (1969, 1973, 1978 y 1992) sobre los principales eventos sísmicos ocurridos en el Perú desde el año 1513. Este trabajo constituye una fuente de información básica para el conocimiento de las intensidades sísmicas de los sismos históricos. Alva *et al.* (1984), basándose en esta fuente, ha elaborado el Plano P-06 Distribución de Máximas Intensidades Observadas, ver Figura 3.2.

De acuerdo con la historia sísmica de la región de estudio, Figura 3.2, se concluye que en los últimos 400 años han ocurrido sismos con intensidades de hasta X (MMI) dentro de los primeros 100 km alrededor de la zona del proyecto.

En el Anexo 1 Sísmicidad Histórica de la Región se presenta una descripción resumida de los sismos que han ocurrido en el área de influencia del Proyecto. Este anexo está basado fundamentalmente en el trabajo de Silgado y en el Proyecto SISRA (Sísmicidad de la Región Andina), patrocinado

por el Centro Regional de Sismología para América del Sur (CERESIS), el cual ha sido posteriormente actualizado por el Instituto Geofísico del Perú. Asimismo, se incluye la descripción de los sismos recientes ocurridos en la región en estudio y que se consideran significativos para los fines de este estudio.

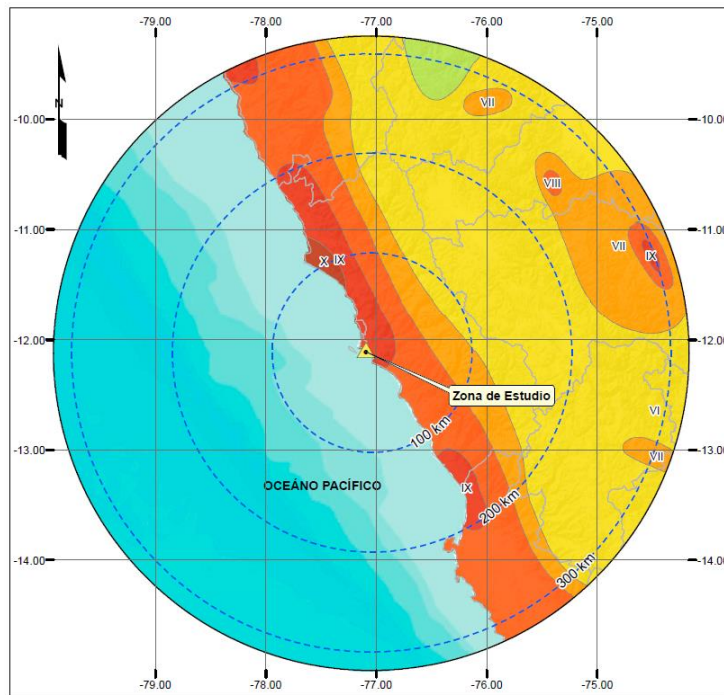


Figura 3.2.- Máximas Intensidades Sísmicas Observadas en la zona del proyecto (Adaptado de Alva et al, 1984).

En el Anexo 2 Mapas de Isosistas se presentan los Mapas de Isosistas compilados por Alva Hurtado (2004) y de publicaciones del Instituto Geofísico del Perú, los cuales corresponden a los siguientes sismos ocurridos en la región centro y sur del Perú y que han influenciado en el área en estudio: 09 de julio de 1586, 20 de octubre de 1687, el 29 de octubre de 1746, 01 de noviembre de 1947, el 17 de octubre de 1966, el 31 de mayo de 1970, el 15 de octubre del 2007 y otros.

### 3.3.- Sísmicidad Instrumental en el Área de Influencia

La calidad de la información sísmica instrumental en el Perú mejora ostensiblemente a partir del año 1963 con la instalación de la red

sismográfica mundial. En consecuencia, la información consignada en los catálogos sísmicos se agrupa en los siguientes tres períodos de obtención de datos sismológicos:

- Antes de 1900: datos históricos descriptivos de sismos destructores,
- 1900 a 1963: datos instrumentales aproximados, y
- 1963 a la actualidad: datos aproximados precisos.

La información sismológica ha sido obtenida del Catálogo Sísmico revisado y actualizado por el Instituto Geofísico del Perú (IGP), el cual es una versión revisada del Catálogo Sísmico del Proyecto SISRA – 1982 (Sismicidad de la Región Andina) para el periodo 1471–1982, y elaborado por el propio IGP para el periodo 1982–2001. Esta información ha sido complementada hasta el año 2020 utilizando la información del Catálogo Sísmico del National Earthquake Information Center (NEIC); del International Seismological Center (ISC); el catálogo sísmico del United States Geological Survey (USGS); el catálogo del National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA); y el catálogo del Global Centroid Moment Tensor (Global CMT) para lo cual se ha uniformizado las magnitudes utilizadas a Magnitud Momento ( $M_w$ ).

## 4.- ECUACIONES DE PREDICCIÓN DEL MOVIMIENTO (GMPE)

Las ecuaciones de predicción del movimiento (GMPE por sus siglas en inglés) son expresiones matemáticas que estiman la propagación de las ondas sísmicas desde una fuente al área del proyecto. Varios factores se combinan para controlar la amplitud o intensidad, incluyendo refracción, reflexión, difracción, propagación geométrica y absorción.

Las GMPE's estiman el movimiento del suelo como una función de la magnitud, distancia, y condiciones del lugar (p. ej. suelo, roca, o  $V_{s30}$ ). Las relaciones son derivadas por ajuste de ecuaciones para datos obtenidos de la instrumentación de movimientos del suelo para una región específica. Algunas relaciones, tales como el modelo del BC Hydro (2016), incluyen rupturas simuladas para aproximar el movimiento del suelo cuando no se disponen de datos.

### 4.1.- Ecuaciones de Movimiento para Sismos de Subducción

Para este análisis, los movimientos de interfase e intraplaca se modelaron utilizando las relaciones desarrolladas por Youngs *et al.* (1997); Zhao *et al.* (2006); y BC Hydro (2016). Estas GMPE's se seleccionaron en base a su aplicabilidad en el área del proyecto, dado que dichas leyes son válidas para rangos de periodos espectrales diferidos.

#### 4.1.1.- Modelo de Predicción de Movimiento de Youngs *et al.*

**(1997):** Youngs *et al.* (1997) desarrollaron modelos de predicción del movimiento para zonas de subducción de sismos de interfase e intraplaca, usando datos de sismos registrados en Alaska, Chile, Cascadia, Japón, México, Perú (14 registros) y las islas Salomón, para distancias entre 10 y 500 km, teniendo en cuenta las características del

sitio. Además, comentan que la aplicación de esta GMPE es apropiada para sismos de magnitud 5.0 a más.

Además, definieron las características del sitio en tres grupos: roca, suelo duro poco profundo y suelo profundo, consideraron eventos en roca a todos aquellos con velocidad de ondas de corte cercanos a los 750 m/s, eventos en suelo profundo aquellos con distancias a la roca mayores a 20 m y con velocidades de corte entre 180 y 360 m/s, y eventos en suelo poco profundo aquellos donde la profundidad del suelo es menor a 20 m (Cuadro 4.1).

Se utilizó la magnitud Momento  $M_w$  (Hanks y Kanamori, 1979) para la medida del evento. La localización epicentral, profundidad, magnitud y mecanismo focal fueron obtenidos de publicaciones especiales o del Harvard Centroid Moment Tensor Solutions.

Las relaciones propuestas por Youngs *et al.* (1997) corresponden a un amortiguamiento de 5 %. En este estudio se ha utilizado las relaciones de atenuación para ordenadas espectrales propuesta por Youngs *et al.* (1997) para roca.

**Cuadro 4.1.- Esquema de clasificación Geomatrix 3rd Letter**

Tipo del Suelo	Nombre del Suelo	Velocidad de onda de corte, $\bar{v}_S$ (m/s)	Comparativa Clasificación ASCE / AASHTO
A	Roca	$\bar{v}_S > 750$	B
B	Suelo rígido superficial	$360 < \bar{v}_S \leq 750$	C
C	Suelo profundo	$180 < \bar{v}_S \leq 360$	D
D	Suelo firme	$\bar{v}_S \leq 180$	E

La relación para ordenadas espectrales propuesta por Youngs en roca es:

$$\ln(Sa) = 0.2418 + 1.414M + C_1 + C_2(10 - M)^3 + C_3 \ln(r_{rup} + 1.7818 \times e^{0.554M}) + 0.00607H + Z_T$$

Con desviación estándar de

$$\ln(Sa) = C_4 + C_5 \times M$$

Donde:

- $Sa$  Aceleración espectral expresada en g.
- $M$  Magnitud de momento sísmico  $M_w$ .
- $r_{rup}$  Distancia más cercana al área de ruptura en km.
- $H$  Profundidad focal en km.
- $Z_T$  0 para sismos de interfase, 1 para sismos de intraplaca.

El *¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.* presenta los coeficientes de la ley de atenuación de aceleración espectral en roca propuesta por Youngs *et al.* (1997).

Cuadro 4.2.- Coeficientes de atenuación de aceleraciones espectrales en roca propuesta por Youngs *et al.* (1997)

Periodo (s)	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>
0.000	0.000	0.0000	-2.552	1.45	-0.1
0.075	1.275	0.0000	-2.707	1.45	-0.1
0.100	1.188	-0.0011	-2.655	1.45	-0.1
0.200	0.722	-0.0027	-2.528	1.45	-0.1
0.300	0.246	-0.0036	-2.454	1.45	-0.1
0.400	-0.115	-0.0043	-2.401	1.45	-0.1
0.500	-0.400	-0.0048	-2.360	1.45	-0.1
0.750	-1.149	-0.0057	-2.286	1.45	-0.1
1.000	-1.736	-0.0064	-2.234	1.45	-0.1
1.500	-2.634	-0.0073	-2.160	1.50	-0.1
2.000	-3.328	-0.0080	-2.107	1.55	-0.1
3.000	-4.511	-0.0089	-2.033	1.65	-0.1

**4.1.2.- Modelo de Predicción de Movimiento de Zhao *et al.* (2006):** Zhao *et al.* (2006) propusieron una ley de atenuación para zonas de subducción de sismos de interfase e intraplaca, usando datos de sismos registrados básicamente en Japón (basado en data sísmica adquirida hasta el 2003), Irán y la zona oeste de Estados Unidos con un

total de 4726 sismos para mecanismos de subducción de corteza superficial, interfase e intraplaca.

Zhao et al. (2006) usaron cuatro clasificaciones de sitio, SC I, II, III y IV, correspondientes aproximadamente a cuatro clases, roca, suelo duro, suelo medio, y suelo suelto, definido por Molas & Yamazaki (1995), ver Cuadro 4.3. Se consideró eventos en roca a todos aquellos con velocidades de corte cercanos a los 600 m/s, eventos en suelos duro con velocidades de corte entre los 300 y 600 m/s, eventos en suelos medio con velocidades entre 200 y 300 m/s y eventos en suelos suelto con velocidades menores a 200 m/s.

**Cuadro 4.3.- Esquema de clasificación de Molas & Yamazaki (1995)**

Tipo del Suelo	Nombre del Suelo	V <sub>30</sub> calculado del periodo de sitio (m/s)	Comparativa Clasificación ASCE / AASHTO
Hard Rock	Roca dura	V <sub>30</sub> > 1100	A + B
SC I	Roca	V <sub>30</sub> > 600	B + C
SC II	Suelo duro	300 < V <sub>30</sub> ≤ 600	C + D
SC III	Suelo medio	200 < V <sub>30</sub> ≤ 300	D
SC IV	Suelo suelto	V <sub>30</sub> ≤ 200	E + F

La relación para ordenadas espectrales propuesta por Zhao *et al.* (2006) en roca es:

$$\log_e(y_{i,j}) = aM_{wi} + bx_{i,j} - \log_e(r_{i,j}) + e(h - h_c)\delta_h + F_R + S_I - S_S + S_{SL} \log_e(x_{i,j}) + C_k + \xi_{i,j} + \eta_i$$

$$r_{i,j} = x_{i,j} + c \exp(dM_{wi})r_i$$

Donde:

- $y$  Es el valor del PGA (en gals) considerando el 5 % de amortiguamiento de aceleración en espectro de respuesta para un periodo espectral T.
- $M_w$  Magnitud momento.
- $x$  Es la distancia a la fuente (km).
- $h$  profundidad focal (km).



Además, el parámetro de falla-reversa  $F_R$  aplica únicamente para eventos continentales o de corteza superficial con mecanismo de falla reversa y es 0 (cero) para cualquier otro tipo de evento diferente. El parámetro tectónico por el tipo de fuente  $S_I$  aplica para eventos de interfase y adquiere el valor de 0 (cero) para cualquier otro evento, y  $SS$  aplica a eventos de intraplaca únicamente y es cero para cualquier otro tipo de evento.  $SSL$  es un factor independiente de la magnitud de los sismos el cual conduce a una modificación referente a los eventos de intraplaca.  $C_k$  es el término que involucra a la clase del sitio (tipo de suelo). En este caso, el modelo de Zhao *et al.* (2006) fue empleada considerando un suelo tipo B (roca, donde  $C_k=C1$ ).

El subscrito  $i$  denota el número del evento y  $j$  denota el número de registro del evento  $i$ . El coeficiente  $h_c$  es la constante de profundidad, donde  $h$  es más grande que  $h_c$ , el término  $e^{-(h-h_c)}$  tiene un efecto que depende de  $\bar{\delta}_h$  que toma el valor de cero para  $h < h_c$  y 1 para  $h > h_c$ . Cuando  $h$  es más grande que 125 km,  $h=125$  km es seleccionado. Finalmente, el factor  $\eta_i$  es una variable aleatoria que refiere al error del intra-evento.

Adicional a ello, los coeficientes asignados para los diversos periodos estructurales que conforman los espectros de peligro uniforme (21 periodos) son presentados en el Cuadro 4.4.

#### **4.1.1.- Modelo de Predicción de Movimiento de BC Hydro (2016):**

En el 2007, BC Hydro, el principal dueño de presas en Columbia Británica, Canadá, comenzó la mayor actualización de evaluación de peligro sísmico en las zonas de presas. Un tema clave fue los movimientos de sismos de zonas largas de subducción en Cascadia. Las nuevas ecuaciones de predicción de movimientos (GMPE's) desarrolladas como parte del estudio de Abrahamson *et al.* (2016) está descrito a detalle en BC Hydro (2012).

**Cuadro 4.4.- Coeficientes del modelo de aceleración espectral a nivel de roca (Suelo tipo B) propuesto por Zhao et al. (2006)**

Periodo	A	B	C	D	E	F <sub>R</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>S</sub>	S <sub>SL</sub>	C1
PGA	1.101	-0.00564	0.0055	1.080	0.01412	0.251	0.000	2.607	-0.528	1.111
0.05	1.076	-0.00671	0.0075	1.060	0.01463	0.251	0.000	2.764	-0.551	1.684
0.10	1.118	-0.00787	0.0090	1.083	0.01423	0.240	0.000	2.156	-0.420	2.061
0.15	1.134	-0.00722	0.0100	1.053	0.01509	0.251	0.000	2.161	-0.431	1.916
0.20	1.147	-0.00659	0.0120	1.014	0.01462	0.260	0.000	1.901	-0.372	1.669
0.25	1.149	-0.00564	0.0140	0.966	0.01459	0.269	0.000	1.814	-0.360	1.468
0.30	1.163	-0.00590	0.0150	0.934	0.01458	0.259	0.000	2.181	-0.450	1.172
0.40	1.200	-0.00422	0.0100	0.959	0.01257	0.248	-0.041	2.432	-0.506	0.655
0.50	1.250	-0.00338	0.0060	1.008	0.01114	0.247	-0.053	2.629	-0.554	0.071
0.60	1.293	-0.00282	0.0030	1.088	0.01019	0.233	-0.103	2.702	-0.575	-0.429
0.70	1.336	-0.00258	0.0025	1.084	0.00979	0.220	-0.146	2.654	-0.572	-0.866
0.80	1.386	-0.00242	0.0022	1.088	0.00944	0.232	-0.164	2.480	-0.540	-1.325
0.90	1.433	-0.00232	0.0020	1.109	0.00972	0.220	-0.206	2.332	-0.522	-1.732
1.00	1.479	-0.00220	0.0020	1.115	0.01005	0.211	-0.239	2.233	-0.509	-2.152
1.25	1.551	-0.00207	0.0020	1.083	0.01003	0.251	-0.256	2.029	-0.469	-2.923
1.50	1.621	-0.00224	0.0020	1.091	0.00928	0.248	-0.306	1.589	-0.379	-3.548
2.00	1.694	-0.00201	0.0025	1.055	0.00833	0.263	-0.321	0.966	-0.248	-4.410
2.50	1.748	-0.00187	0.0028	1.052	0.00776	0.262	-0.337	0.789	-0.221	-5.049
3.00	1.759	-0.00147	0.0032	1.025	0.00644	0.307	-0.331	1.037	-0.263	-5.431
4.00	1.826	-0.00195	0.0040	1.044	0.00590	0.353	-0.390	0.561	-0.169	-6.181
5.00	1.825	-0.00237	0.0050	1.065	0.00510	0.248	-0.498	0.225	-0.120	-6.347

Para el estudio de BC Hydro (2012), los datos de movimiento inicial fueron tomados de Atkinson y Boore (2003, 2008), que incluye una compilación de datos de Crouse *et al.* (1988), Crouse (1991) y Youngs *et al.* (1997). Adicionalmente, los datos de movimientos de subducción fueron obtenidos de eventos en Japón (Zhao, 2008), Taiwán (Cheng, 2008), Sudamérica y América Central (Pacific Engineering, 2008) y México (Macías-Carrasco, 2008).

Los datos totales consisten en 9946 registros de pares de movimientos (dos componentes horizontales) de 292 sismos de zona de subducción.

Un total de 3557 pares de registros son de 163 eventos de interface y 6389 pares de registros son de 129 eventos en intraplaca.

Para una distancia menor a 100 km, el modelo de BC Hydro predice movimientos medianos que caen dentro del rango de las actuales GMPE's. A largas distancias, el modelo de BC Hydro predice bajos movimientos basados en atenuaciones fuertes. Para largas distancias y magnitudes, el modelo BC Hydro tiende a limitar el rango del modelo de predicción GMPE para eventos intraplaca.

Una estimación del  $V_{s30}$  fue desarrollado para cada estación en el conjunto de datos. En algunos casos, los valores medidos  $V_{s30}$  estaban disponibles, pero, para la mayoría de las estaciones, se utilizaron las correlaciones entre las clasificaciones de sitio y los valores medios  $V_{s30}$  para estimar  $V_{s30}$ .

De las evaluaciones realizadas, la forma funcional fue usada para el análisis de regresión:

$$\begin{aligned} \ln(Sa_{Interface}) &= \theta_1 + \theta_4 \Delta C_1 + (\theta_2 + \theta_3(M - 7.8)) \ln(R_{rup} + C_4 \exp(\theta_9(M - 6))) + \theta_6 R_{rup} \\ &\quad + f_{mag}(M) + f_{FABA}(R_{rup}) + f_{site}(PGA_{1100}, V_{S30}) \\ \ln(Sa_{Slab}) &= \theta_1 + \theta_4 \Delta C_1 + (\theta_2 + \theta_{14} F_{event} + \theta_3(M - 7.8)) \ln(R_{hypo} + C_4 \exp(\theta_9(M - 6))) \\ &\quad + \theta_6 R_{hypo} + \theta_{10} F_{event} + f_{mag}(M) + f_{depth}(Z_h) + f_{FABA}(R_{hypo}) \\ &\quad + f_{site}(PGA_{1100}, V_{S30}) \end{aligned}$$

**Donde:**

- $Sa$  aceleración espectral en unidades de g
- $M$  Magnitud de momento
- $Z_h$  Profundidad hipocentral (km)
- $F_{event}$  0 para eventos de interface, 1 para eventos de intraplaca
- $F_{FABA}$  0 para antearco o sitios desconocidos, 1 para tras-arco

El factor de magnitud está dado por:

$$f_{mag}(M) = \theta_4(M - (C_1 + \Delta C_1)) + \theta_{13}(10 - M)^2 \text{ para } M \leq C_1 + \Delta C_1$$

$$f_{mag}(M) = \theta_5(M - (C_1 + \Delta C_1)) + \theta_{13}(10 - M)^2 \text{ para } M > C_1 + \Delta C_1$$

Donde  $C_1 = 7.8$

El factor de profundidad está dado por:

$$f_{depth}(Z_h) = \theta_{11}(\min(Z_{h,120}) - 60)F_{event}$$

El factor de ajuste por fuente de ante-arco/tras-arco está dado por:

$$f_{FABA}(R) = \theta_7 + \theta_8 \text{Ln} \left( \frac{\max(R_{hipo,85})}{40} \right) F_{FABA} \text{ para } F_{event} = 1$$

$$f_{FABA}(R) = \theta_{15} + \theta_{16} \text{Ln} \left( \frac{\max(R_{hipo,100})}{40} \right) F_{FABA} \text{ para } F_{event} = 0$$

El factor de respuesta de sitio está dado por:

$$f_{site}(PGA_{1100}, V_{S30}) = \theta_{12} \text{Ln} \left( \frac{V_s^*}{V_{lin}} \right) - b \text{Ln}(PGA_{1100} + C) - b \text{Ln} \left( PGA_{1100} + C \left( \frac{V_s^*}{V_{lin}} \right)^n \right) \text{ para } V_{S30} < V_{lin}$$

$$f_{site}(PGA_{1100}, V_{S30}) = \theta_{12} \text{Ln} \left( \frac{V_s^*}{V_{lin}} \right) + b \text{Ln} \left( \frac{V_s^*}{V_{lin}} \right) \text{ para } V_{S30} \geq V_{lin}$$

Donde:

$$PGA_{1000} = \text{Valor intermedio PGA para } V_{S30} \geq 1000 \text{ m/s}$$

$$V_s^* = 1000 \text{ para } V_{S30} > 1000 \text{ m/s}$$

$$V_s^* = V_{S30} \text{ para } V_{S30} \leq 1000 \text{ m/s}$$

**Cuadro 4.5.- Coeficientes de regresión para la subducción mediana (unidades en g) del modelo GMPE. BC Hydro (2016)**

Periodo	Vlin	b	$\theta_1$	$\theta_2$	$\theta_6$	$\theta_7$	$\theta_8$	$\theta_{10}$	$\theta_{11}$
0.000	865.1	-1.186	4.2203	-1.350	-0.0012	1.0988	-1.42	3.12	0.0130
0.020	865.1	-1.186	4.2203	-1.350	-0.0012	1.0988	-1.42	3.12	0.0130
0.050	1053.5	-1.346	4.5371	-1.400	-0.0012	1.2536	-1.65	3.37	0.0130
0.075	1085.7	-1.471	5.0733	-1.450	-0.0012	1.4175	-1.80	3.37	0.0130
0.100	1032.5	-1.624	5.2892	-1.450	-0.0012	1.3997	-1.80	3.33	0.0130
0.150	877.6	-1.931	5.4563	-1.450	-0.0014	1.3582	-1.69	3.25	0.0130
0.200	748.2	-2.188	5.2684	-1.400	-0.0018	1.1648	-1.49	3.03	0.0129
0.250	654.3	-2.381	5.0594	-1.350	-0.0023	0.9940	-1.30	2.80	0.0129
0.300	587.1	-2.518	4.7945	-1.280	-0.0027	0.8821	-1.18	2.59	0.0128
0.400	503.0	-2.657	4.4644	-1.180	-0.0035	0.7046	-0.98	2.20	0.0127
0.500	456.6	-2.669	4.0181	-1.080	-0.0044	0.5799	-0.82	1.92	0.0125
0.600	430.3	-2.599	3.6055	-0.990	-0.0050	0.5021	-0.70	1.70	0.0124
0.750	410.5	-2.401	3.2174	-0.910	-0.0058	0.3687	-0.54	1.42	0.0120
1.000	400.0	-1.955	2.7981	-0.850	-0.0062	0.1746	-0.34	1.10	0.0114
1.500	400.0	-1.025	2.0123	-0.770	-0.0064	-0.0820	-0.05	0.70	0.0100
2.000	400.0	-0.299	1.4128	-0.710	-0.0064	-0.2821	0.12	0.70	0.0085
2.500	400.0	0.000	0.9976	-0.670	-0.0064	-0.4108	0.25	0.70	0.0069
3.000	400.0	0.000	0.6443	-0.640	-0.0064	-0.4466	0.30	0.70	0.0054
4.000	400.0	0.000	0.0657	-0.580	-0.0064	-0.4344	0.30	0.70	0.0027
5.000	400.0	0.000	-0.4624	-0.540	-0.0064	-0.4368	0.30	0.70	0.0005
6.000	400.0	0.000	-0.9809	-0.500	-0.0064	-0.4586	0.30	0.70	-0.0013
7.500	400.0	0.000	-1.6017	-0.460	-0.0064	-0.4433	0.30	0.70	-0.0033
10.000	400.0	0.000	-2.2937	-0.400	-0.0064	-0.4828	0.30	0.70	-0.0060

## 5.- EVALUACIÓN DE ESCENARIOS SÍSMICOS

En el presente estudio se realiza la generación de escenarios sísmicos mediante el análisis de peligro sísmico determinístico, calculado para un suelo tipo B o Roca.

### 5.1.- Antecedentes de Escenarios Sísmicos Existentes

En general, los escenarios sísmicos planteados por diversas investigaciones realizadas para definir escenarios sísmicos y la existencia de zonas de acumulación de energía sísmica frente a la región central de Perú, estiman que el escenario sísmico probable tendría una magnitud similar al terremoto de 1746, Dorbath et al. (1990). Siendo así, este sismo tendría una magnitud de 8.8 Mw y podría generar aceleraciones y/o sacudimientos del suelo con aceleraciones del orden de 500 - 900  $\text{cm/s}^2$  (Pulido et al., 2015).

Evaluando las áreas de ruptura de sismos ocurridos en el pasado y sus consecuentes lagunas sísmicas, las cuales se definen como áreas donde en el pasado han ocurrido eventos de gran magnitud, se espera la ocurrencia de otro evento de similares características. De acuerdo a Tavera (2014), se ha identificado la presencia de una laguna sísmica en la región central del Perú que vendría acumulando energía sísmica desde el año 1746 (hace 270 años). Los sismos que ocurrieron en los años 1940, 1966, 1970 y 1974, con magnitudes menores o iguales a 8.0 Mw, no habrían liberado el total de la energía sísmica acumulada en dicha región, INDECI – DIPRE (2017).

Por otra parte, Condori y Tavera (2012), hicieron uso del catálogo sísmico del Perú para el periodo 1960 – 2012 e identificaron, en el borde occidental de Perú, la presencia de 5 áreas que se interpretan como asperezas, cuyas dimensiones permitieron estimar la magnitud de los sismos que podrían generar cada una. Las asperezas identificadas frente a la costa

de la región central de Perú (A3 y A4), estarían asociadas al terremoto de 1746. De acuerdo a las dimensiones de ambas asperezas, la liberación de energía acumulada en esta zona podría generar un sismo de magnitud 8.8Mw. Según esta metodología se tendría una probabilidad mayor a 70% de producir sismos importantes en los próximos 75 años (Figura 5.1).

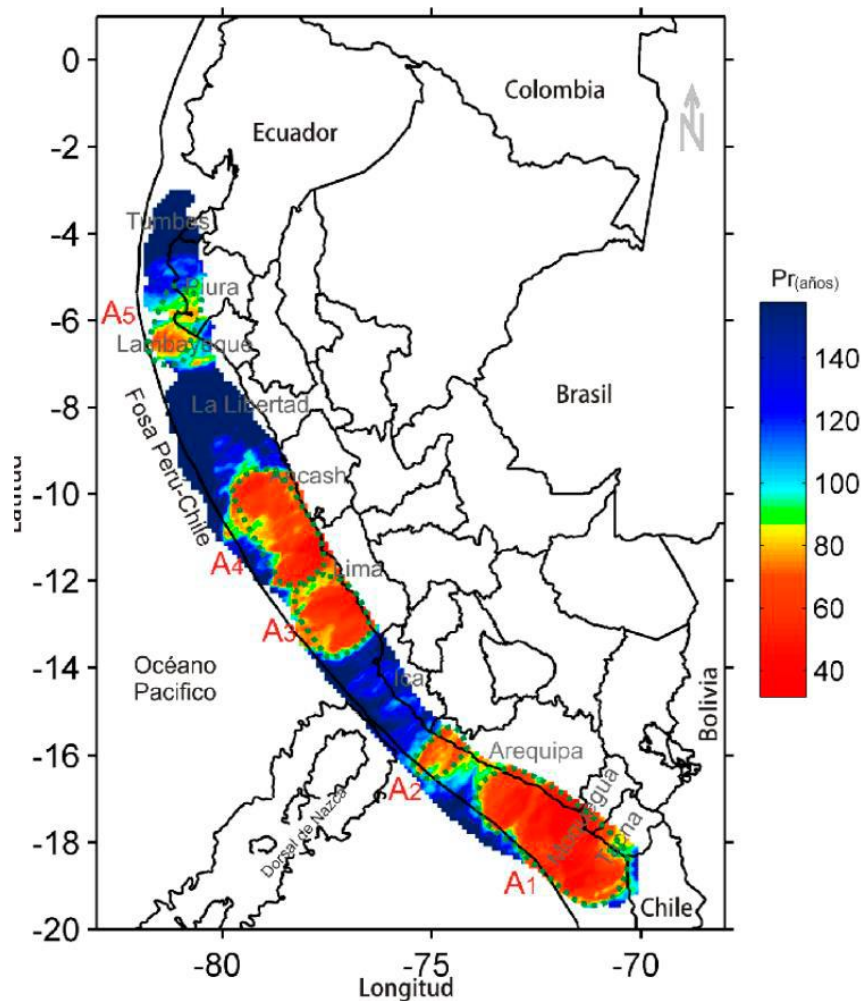


Figura 5.1. Mapa de periodos de retorno para las asperezas identificadas en la región occidental de Perú (Condori y Tavera 2012).

Villegas-Lanza et al. (2016), realizaron una investigación basada en observaciones geodésicas desde el año 2008 al 2014 en todo el país, logrando caracterizar en detalle la deformación de la corteza terrestre asociada a la acumulación de energía sísmica en la zona de contacto de placas tectónicas, lo que les permitió identificar las asperezas o zonas de mayor acoplamiento sísmico y que representan un peligro latente para la

ocurrencia de terremotos de gran magnitud. De acuerdo a este estudio, la zona acoplada con mayor dimensión se ubica frente a la costa de la región central de Perú, abarcando una longitud de 470 km, la cual, de liberar toda la energía sísmica acumulada hasta la fecha, podría generar un sismo de magnitud entre 8.6 - 8.8Mw, ver Figura 5.2.

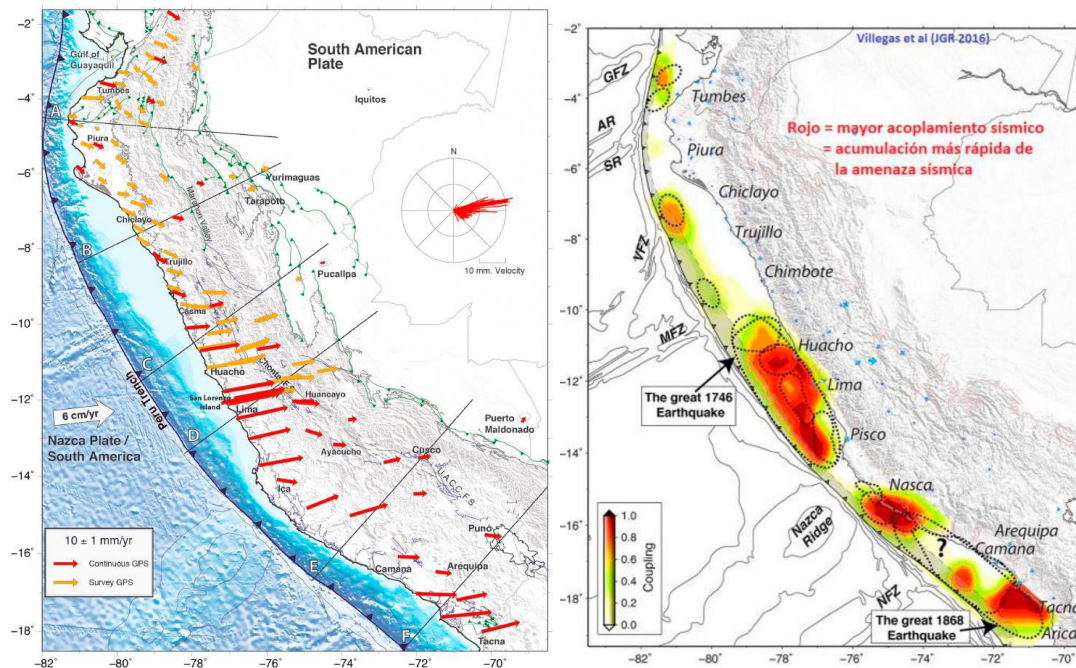


Figura 5.2.- a) Mapa de deformación de la corteza terrestre medido con GPS para el Perú, y b) Mapa de acoplamiento sísmico para la zona de subducción del Perú modelada a partir de datos GPS (Villegas-Lanza et al., 2016).

Finalmente, puede definirse que el escenario sísmico probable para la zona de subducción corresponde a un escenario de magnitud 8.8 Mw, con aceleraciones del orden de 500 - 900  $\text{cm/s}^2$ . En el acápite 5.2 se establece un análisis de desagregación sísmica con el fin de establecer los rangos de influencia de los eventos de interfase e intraplaca en función del nivel de aceleración esperada y la distancia epicentral que presenta.

## 5.2.- Análisis de Desagregación Sísmica

A partir de un análisis de peligro sísmico probabilístico (PSHA), se establece las contribuciones de los diferentes escenarios que generan la



amenaza sísmica en la zona de estudio. Las fuentes empleadas para el análisis probabilístico fueron las de Aguilar et al. (2017), las cuales disponen de 31 fuentes sismogénicas, clasificadas en dos tipos: fuentes de subducción (interfase e intraplaca) y fuentes de corteza.

Una de las principales ventajas del PSHA es el hecho de incluir una contribución de cada fuente dentro de un área de influencia para el cálculo de las intensidades de movimiento en la zona de estudio, no obstante, no permite conocer el escenario más probable que cause una aceleración mayor que cierto valor ( $S_A > X$ ), para ello se realiza un análisis conocido como la desagregación del peligro sísmico probabilístico (Bazzurro y Cornell, 1999, McGuire, 1995).

Las curvas de peligro sísmico incluyen el efecto combinado de las magnitudes y distancias de cada fuente sísmica en la probabilidad de excedencia de un determinado movimiento sísmico. En este estudio, los resultados del análisis de desagregación se presentan en función de pares bidimensionales de magnitud y distancia.

Los pares definen el rango en el que la contribución a la amenaza es calculada. Por ejemplo, un par unidimensional de 6.0 a 6.5 es la contribución al peligro de sismos con magnitudes entre 6.0 y 6.5. Bidimensionalmente, este par representa la contribución al peligro de sismos con una magnitud entre 6.0 y 6.5 ubicados a cierto rango de distancias del sitio de análisis.

Para este estudio, los pares bidimensionales (M-R) para los sitios están dados para el valor promedio y la moda (más frecuente) del resultado de desagregación. Al desarrollar la desagregación de esta manera, el valor promedio o la moda pueden utilizarse para desarrollar posteriores análisis sísmicos como selección y modificación de registros de aceleraciones sísmicas, análisis de licuación y desplazamientos permanentes.

**5.2.1.- Resultados del Análisis de Desagregación:** El peligro en el lugar fue desagregado para evaluar las combinaciones de magnitud y distancia que más contribuyen al peligro en un periodo de retorno y de oscilación en particular. Se llevó a cabo una desagregación en el PGA (0.00) y en los periodos de 0.20 y 1.00 s para los periodos de retorno de 475 y 2500 años dados para roca (Suelo Tipo B).

Los análisis efectuados indican que, tanto para periodos cortos  $Sa_{0.0s}$  y  $Sa_{0.2s}$  como para periodos largos  $Sa_{1.0s}$ , los mayores contribuyentes al peligro sísmico son sismos que ocurren en las fuentes de intraplaca con magnitudes moderadas a elevadas ( $M_w > 7.0$ ) a distancias epicentrales que fluctúan alrededor de 21 km a 53 km de la zona de estudio. Así mismo, los eventos de subducción interfase tienen un impacto menor para periodos cortos, el cual va incrementándose a periodos largos con magnitudes moderadas a elevadas ( $M_w > 8.4$ ) a distancias epicentrales que fluctúan alrededor de 63 km a 95 km de la zona de estudio, Tal como se muestra en la Figura 5.3.

En el Anexo 4 Análisis de Desagregación Sísmica, se resume los valores modales de magnitud – distancia epicentral de mayor contribución. Dichos valores modales pueden utilizarse para desarrollar posteriores análisis sísmicos como selección y modificación de registros de aceleraciones sísmicas.

### **5.3.- Árbol Lógico de Decisión**

**5.3.1.- Eventos de Interfase:** El modelo BC Hydro se basa en una gran base de datos que incluye todos los datos utilizados para desarrollar las relaciones de Zhao et al. (2006), Atkinson y Macías (2009), y Youngs et al. (1997). El modelo BC Hydro también usa simulaciones numéricas para limitar la extrapolación de magnitudes

hasta eventos con una magnitud de M 9.0. En el Cuadro 5.1, se muestra los valores recomendados para controlar las extrapolaciones a grandes magnitudes para los eventos de interfase.

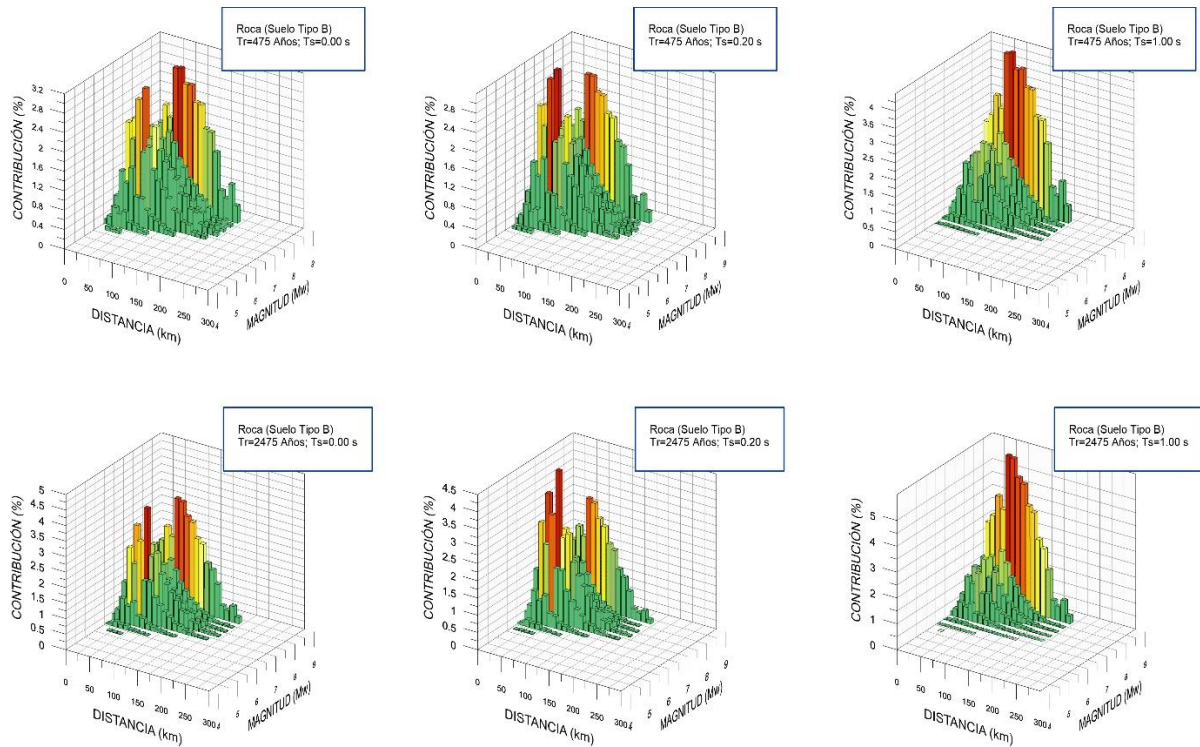


Figura 5.3.- Análisis de desagregación sísmica para 475 y 2475 años de periodo de retorno.

**Cuadro 5.1.-** Valores de  $\Delta C1$  recomendados para fuentes de interfase

Periodo (s)	$\Delta C1$		
	Lower Value	Central Value	Upper Value
PGA	0.0	0.2	0.4
0.3	0.0	0.2	0.4
0.5	-0.1	0.1	0.3
1.0	-0.2	0.0	0.2
2.0	-0.3	-0.1	0.1
3.0-10.0	-0.4	-0.2	0.0

Las GMPE's seleccionadas han sido ponderadas para que el modelo BC Hydro represente aproximadamente la condición mediana y también para que otros modelos capten el rango de potenciales valores. Para

las GMPE's seleccionadas, 60 % de la ponderación fue asignada al modelo BC Hydro (dividido en tres opciones de extrapolación a grandes magnitudes) y el 40 % restante se distribuyó entre Zhao *et al.* (2006) y Youngs *et al.* (1997).

**5.3.2.- Eventos de Intraplaca:** Todas las GMPE's utilizadas en este análisis ofrecen resultados similares en el rango de Mw 6.0 – 7.0 para los eventos intraplaca ya que los conjuntos de datos sobre movimiento de suelo para estos eventos son amplios. Una consideración importante al aplicar estas GMPE's es la forma en la que los modelos extrapolan eventos de  $M > 8.0$ . Los modelos de BC Hydro (2016) y Zhao *et al.* (2006) tienen una fuerte extrapolación a magnitudes grandes, lo cual conlleva a tener fuertes movimientos de suelo para eventos de magnitud superior a 8.0.

Con el fin de controlar la extrapolación en eventos de intraplaca, BC Hydro recomienda utilizar el valor de  $\Delta C1 = -0.3$  para todos los periodos espectrales para eventos de este tipo. Adicionalmente, para capturar la incertidumbre epistémica se recomienda un rango adicional del  $\Delta C1$  de  $\pm 0.2$  además del valor central de  $\Delta C1 = -0.3$  (es decir, menor  $\Delta C1 = -0.5$ , centro  $\Delta C1 = -0.3$  y superior  $\Delta C1 = -0.1$ ) para capturar la incertidumbre epistémica en la gran escala de magnitud de los eventos de intraplaca (Cuadro 5.2).

Cuadro 5.2.- Valores de  $\Delta C1$  recomendados para fuentes de intraplaca

Periodo (s)	$\Delta C1$		
	Lower Value	Central Value	Upper Value
All Periods	-0.5	-0.3	-0.1

El Cuadro 5.3 resume las ponderaciones asociadas a cada modelo de predicción de movimiento del suelo, tanto de subducción como de corteza.

**Cuadro 5.3.- Valores de Ponderación del Árbol Lógico de Decisión**

Modelo de Predicción del Movimiento		Interfase	Intraplaca
		Valor de ponderación asociado	
BC Hydro	$\Delta C1 = \text{Lower Values for each Period}$	0.2	N/A
	$\Delta C1 = \text{Central Values for each Period}$	0.2	N/A
	$\Delta C1 = \text{Upper Values for each Period}$	0.2	N/A
	Lower Value $\Delta C1 = -0.5$	N/A	0.2
	Central Value $\Delta C1 = -0.3$	N/A	0.2
	Upper Value $\Delta C1 = -0.1$	N/A	0.2
Zhao <i>et al.</i> (2006)		0.2	0.2
Youngs <i>et al.</i> (1997)		0.2	0.2

**5.3.3.- Máximas Réplicas Esperadas:** Para la estimación de máximas réplicas esperadas se empleó la metodología de depuración de Maeda (1996). Maeda empleó los datos del catálogo de hipocentros de la Agencia Meteorológica de Japón (JMA) desde 1926 hasta 1993 con profundidades menor igual a 100 km, dividiendo la data en 3 grupos: (a) 1980 a 1993 con  $M \geq 4.0$ , (b) 1950 a 1993 con  $M \geq 5.5$ , y (c) 1926 a 1993 con  $M \geq 6.0$ .

Al igual que Reasenberg, Maeda (1996) propone una depuración basado en tres factores: distancia, tiempo y magnitud. El algoritmo que crea para establecer el criterio espacial y temporal para eliminar réplicas del catálogo sísmico son:

- En cuanto a la distancia:  $L \leq 10(0.5M_m - 1.8)$
- En cuanto al tiempo:  $t \leq 10(0.17 + 0.85(M_m - 4.0)) / 1.3 - 0.3$
- En cuanto a la magnitud:  $M_a < M_m - 1.0$

Donde L, t, M<sub>m</sub> y M<sub>a</sub> representan la distancia epicentral respecto al evento principal, el tiempo en días respecto a la ocurrencia del evento principal, la magnitud de un evento principal y la magnitud de una réplica, respectivamente. Estas relaciones fueron derivadas de Utsu

(1970) y considera el decaimiento exponencial en número y magnitud de réplicas (Annali di Geofísica, 1999).

#### 5.4.- Evaluación del Peligro Sísmico Determinístico

El enfoque utilizado para el DSHA generalmente sigue los procedimientos desarrollados por Kramer (1996), tal como se resume a continuación:

- Identificar y caracterizar las fuentes capaces de generar movimientos de suelo significativos en el área del proyecto.
- Seleccionar los parámetros de distancia desde la fuente hasta el área de proyecto para cada zona de fuente, consistente con los modelos de predicción del movimiento seleccionados previamente.
- Seleccionar el sismo de control.
- Definir el peligro en el área del proyecto en términos de movimientos de suelo generados por el sismo de control.

Para el DSHA se considera fuentes sísmicas relacionadas a la zona de subducción (eventos interfase y eventos intraplaca) y eventos posibles generados por las fallas geológicas regionales cercanas. Los parámetros de distancia utilizados en el análisis se resumen en el Cuadro 5.4, la discusión de los métodos y supuestos utilizados para desarrollar los parámetros de distancia se indican a continuación.

**Cuadro 5.4.- Parámetros considerados para fuentes de subducción**

Parámetros	Interfase	Intraplaca
Magnitud (Mw)	8.8	7.8
Distancia Epicentral (km)	15	0
Profundidad Hipocentral (km)	37	70
Modelos de Predicción de Movimiento Empleados	Zhao	: Rock
	Youngs	: Rock
	BC Hydro	: Vs= 760 m/s

**5.4.1.- Eventos Interfase:** Los sismos de interfase se originan en el contacto entre la Placa Sudamericana y la Placa de Nazca. La profundidad hipocentral puede fluctuar entre 10 y 55 km a lo largo de la interfase. Para algunas GMPE's, el nivel de movimiento de suelo depende de la profundidad hipocentral, así como de la distancia de ruptura, incrementando el movimiento de suelo a una mayor profundidad dada la misma distancia de ruptura. Posteriormente, empleando las relaciones de Brune (1970), se estimó el área de ruptura y posteriormente la distancia de ruptura, la cual es la menor distancia entre la zona de estudio y el punto más próximo en el plano de ruptura.

**5.4.2.- Eventos Intraplaca:** Se debe señalar que las GMPE's para los eventos intraplaca utilizan la distancia hipocentral como la distancia métrica porque las distancias métricas de ruptura no estaban disponibles para la mayoría de los sismos intraplaca utilizados para derivar los modelos de movimiento del suelo.

Para un evento intraplaca de gran magnitud, habrá una gran área de ruptura. Para un futuro sismo, el hipocentro puede estar ubicado en cualquier lugar a lo largo del plano de ruptura. Por lo tanto, asumiendo que el hipocentro ocurre en el punto más cercano de la ruptura del lugar, el movimiento de suelo estimado será conservador.

**5.4.3.- Resultados del Peligro Sísmico Determinístico:** Para el análisis se utilizó la misma ponderación detallada en el acápite 5.3 tanto para los eventos de subducción principales y máximas réplicas esperadas, además se realizaron los cálculos considerando los percentiles P.50 y P.84, el resumen de los resultados se muestra en el Cuadro 5.5 y en el Cuadro 5.6..

**Cuadro 5.5.- Resultados del Análisis Determinístico de Peligro Sísmico, escenarios principales.**

Evento	Percentil	Sa 0.00 s (g)	Sa 0.20 s (g)	Sa 1.00 s (g)	Sa 1.50 s (g)	Sa 2.00 s (g)	Sa 3.00 s (g)
Sismo Interfase Mw=8.8 X= 15 km Z= 37 km	P.50	0.442	0.936	0.346	0.227	0.160	0.089
	P.84	0.902	1.941	0.711	0.472	0.336	0.190
Sismo Intraplaca Mw=7.8 X= 0 km Z= 70 km	P.50	0.428	1.007	0.231	0.135	0.091	0.050
	P.84	0.874	2.101	0.475	0.279	0.190	0.190

**Cuadro 5.6.- Resultados del Análisis Determinístico de Peligro Sísmico, máxima replica esperada.**

Evento	Percentil	Sa 0.00 s (g)	Sa 0.20 s (g)	Sa 1.00 s (g)	Sa 1.50 s (g)	Sa 2.00 s (g)	Sa 3.00 s (g)
Sismo Interfase Mw=7.7 X= 15 km Z= 37 km	P.50	0.273	0.578	0.191	0.116	0.078	0.042
	P.84	0.558	1.203	0.394	0.242	0.165	0.089
Sismo Intraplaca Mw=6.7 X= 0 km Z= 70 km	P.50	0.139	0.309	0.061	0.033	0.021	0.010
	P.84	0.288	0.652	0.128	0.070	0.045	0.045

En el acápite 5.6 se muestra se muestran los espectros determinísticos para estos eventos (Interfase e intraplaca), calculadas para un percentil del 50<sup>th</sup> y 84<sup>th</sup>.

### 5.5.- Sismo Máximo Creíble

El sismo máximo creíble ( $MCE_{DET}$ , por sus siglas en inglés) puede ser considerado como el sismo de mayor magnitud razonablemente concebible que se considera posible a lo largo de una falla conocida o dentro de una provincia tectónica geográficamente definida, bajo un marco tectónico conocido o supuesto. Si los escenarios sísmicos no son obvios (p.ej. no



existen fallas activas identificadas), el movimiento del terreno es asociado a un periodo de retorno largo.

Consecuentemente, de la evaluación del análisis determinístico se desprende que tanto los eventos de subducción de interfase e intraplaca, pueden ser considerados como Sismos máximos creíbles para distintos rangos de periodos.

## **5.6.- Comparación de Resultados**

Para considerar la influencia de la componente vertical del movimiento sísmico, de acuerdo a lo establecido en el acápite 18.6 de la norma peruana de diseño sismorresistente E-030 (2019), ésta puede ser estimada como los 2/3 del valor de la aceleración horizontal máxima de diseño (PGA), valor que fue considerado para todo el rango de periodos.

En la Figura 5.4, se muestra la comparación de los espectros determinísticos al percentil 84. De dicha figura se desprende que el evento de subducción intraplaca evaluado puede ser considerado como el Sismo máximo creíble en el rango de periodos menores a 0.25 s, no obstante, para periodos mayores a 0.25 s, el evento de interfase posee mayores valores de aceleración.

Análogamente, en la Figura 5.5 se muestran los valores de aceleración obtenidos para las máximas réplicas esperadas, se puede apreciar que el evento de interfase predomina en todo el rango de periodos.

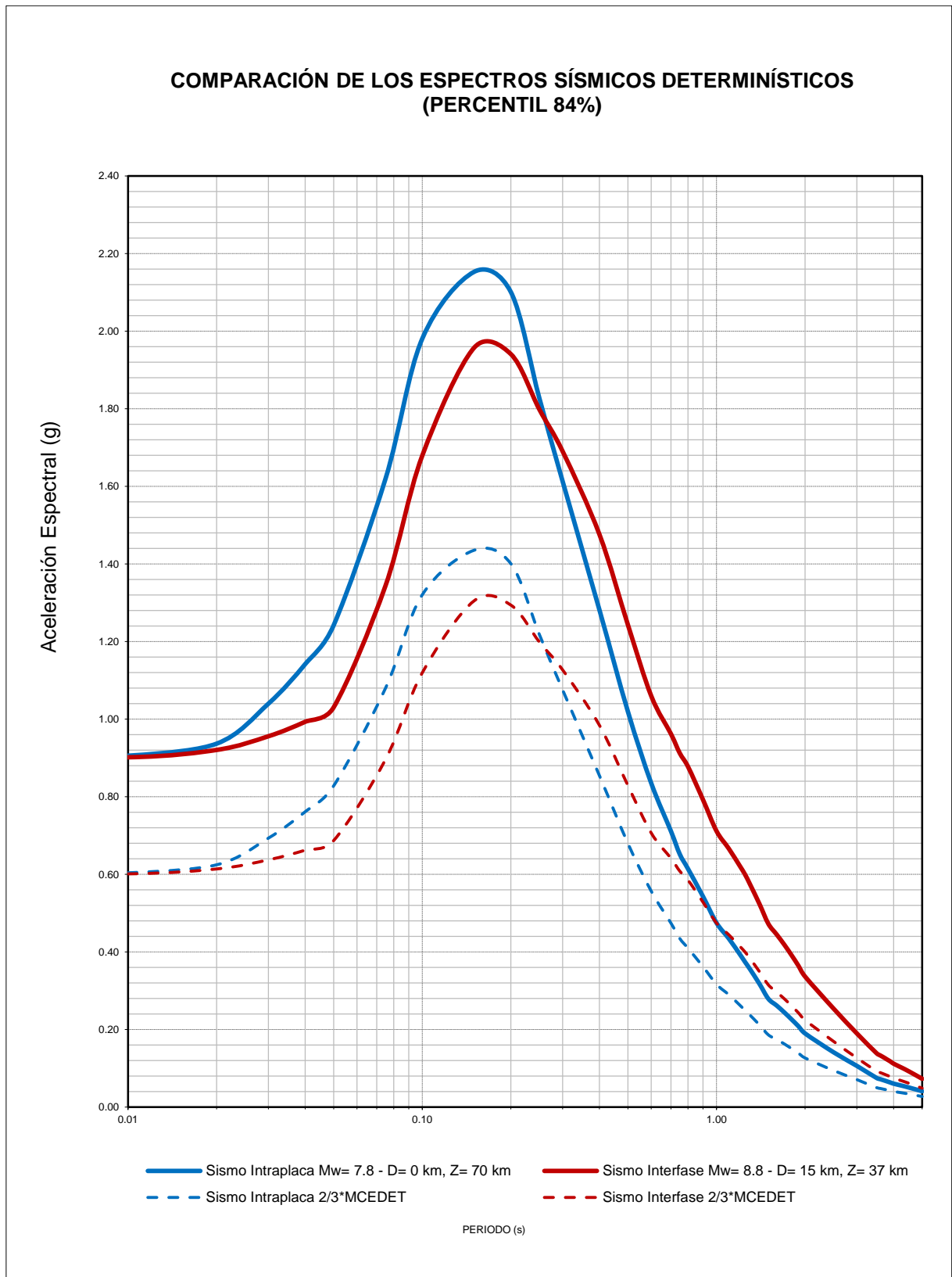


Figura 5.4.- Comparación de los espectros determinísticos al Percentil 84 para un suelo tipo B ( $V_{s30} > 760$  m/s), para eventos principales.

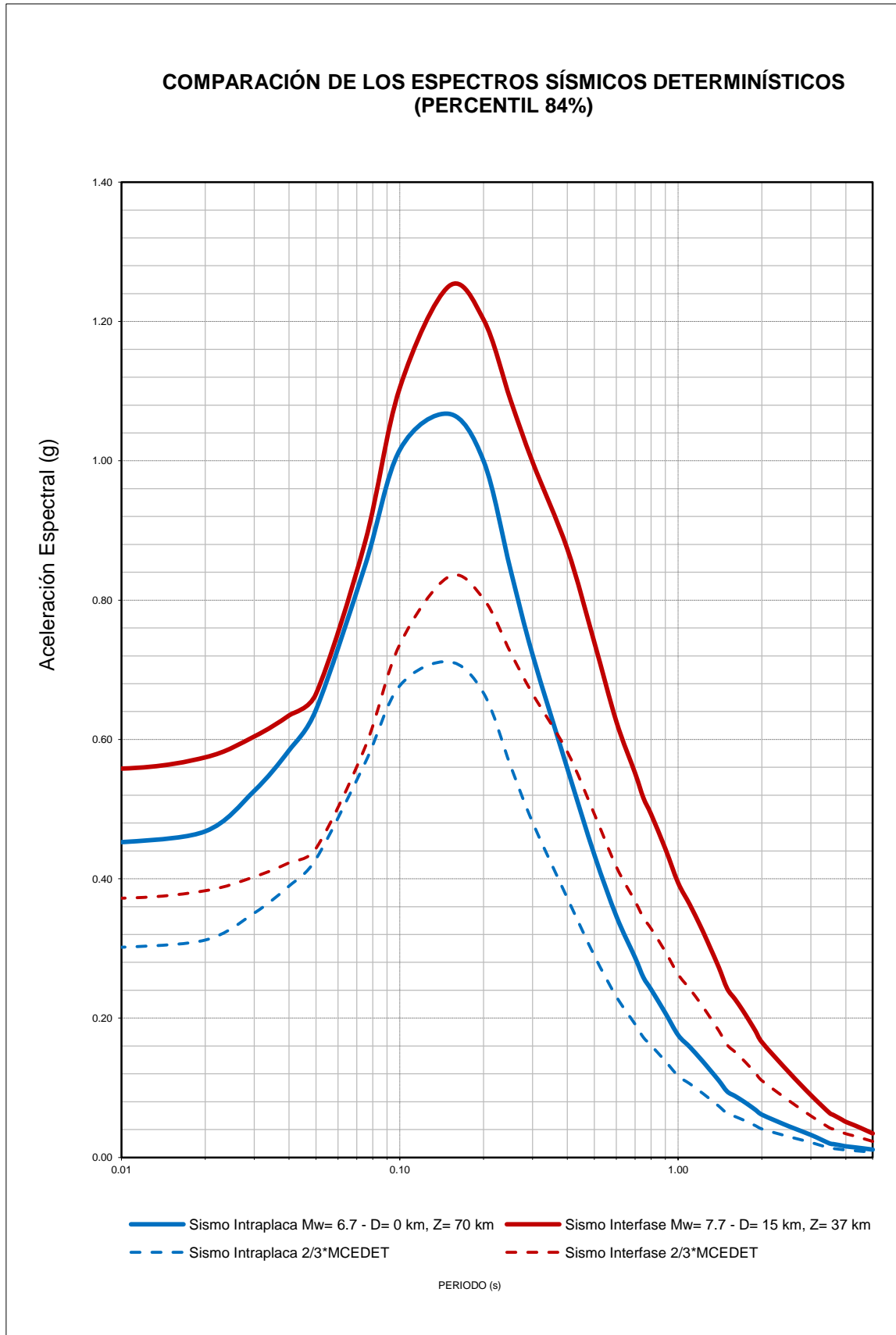


Figura 5.5.- Comparación de los espectros determinísticos al Percentil 84 para un suelo tipo B ( $V_{s30} > 760$  m/s), para la máxima réplica esperada.

## 6.- GENERACIÓN DE ACELEROGRAMAS SINTÉTICOS

Este estudio presenta el desarrollo de los registros tiempo – historia para el sitio donde se ubica la zona de acantilados de la costa verde. El espectro objetivo fue desarrollado en el presente estudio y corresponde al Máximo Sismo Creíble.

### 6.1.- Metodología

Idealmente, los registros tiempo – historia seleccionados deberían tener la misma fuente, tipo de fallamiento, magnitud, distancia, condiciones del lugar entre otras características. Sin embargo, en la práctica, no siempre se puede conseguir un emparejamiento perfecto. En este sentido, no hay registros en la base de datos de movimientos del terreno empíricos con los mismos parámetros (p. ej.: magnitud, distancia,  $V_{S30}$ ) de aquellos para la ubicación del proyecto, por lo tanto, las condiciones necesitan ser menos estrictas.

Para realizar el ajuste espectral del acelerograma del registro sísmico en el dominio del tiempo, se utilizó el programa Seismo Match v. 2016, basado en el código del programa RSP Match 2005b. Este programa ejecuta una modificación del tiempo – historia del registro de aceleración para hacerlo compatible con un espectro especificado por el usuario.

La metodología está basada en los trabajos de Lilhanand y Tseng (1987, 1988). El código original del programa fue escrito por N. A. Abrahamson (1993) y posteriormente actualizado por J. Hancock *et al.* (2006). La modificación del acelerograma puede ser realizada por una variedad de modelos de modificación denominados wavelets, siguiendo el procedimiento indicado en la Figura 6.1.

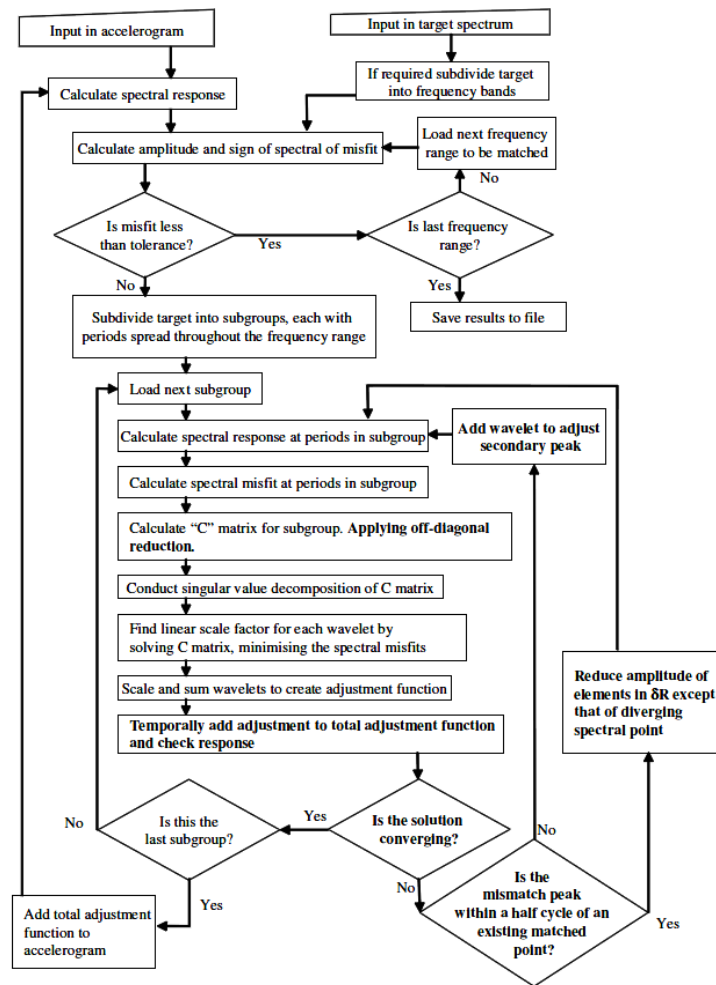


Figura 6.1.- Metodología del programa RSP Match 2005b incluyendo los nuevos algoritmos de solución

## 6.2.- Registros Seleccionados

En base a la desagregación sísmica se determinó que los eventos dominantes en la zona de estudio corresponden a los sismos de interfase dentro de las magnitudes de  $M_w \geq 8.4$  y los sismos de intraplaca  $M_w \geq 7.0$ . Dada la escasa información de registros sísmicos de estas características, se ha considerado complementar la información con eventos del Centro Sismológico Nacional de Chile (SNC), en el Cuadro 6.1 se muestran los registros empleados.

**Cuadro 6.1.- Sismos Seleccionados para el Ajuste Espectral**

Nombre	Tipo	Estación	Fecha	Hora	Longitud	Latitud	Prof. (km)	Magnitud
					(°)	(°)		(Mw)
Lima 1974	Interfase	PQR	03/10/1974	09:21:00	-77.98	-12.5	13	8.1
Atico 2001	Interfase	MOQ	23/06/2001	15:33:00	-73.77	-16.08	33	8.4
Ancash 1970	Intraplaca	PQR	31/05/1970	15:23:00	-78.87	-9.36	64	7.8
Tarapacá 2005	Intraplaca	CUYA	13/06/2005	18:44:00	-69.13	-19.90	111	7.9

En el Anexo 4 Ajuste Espectral, se muestran los registros tiempo historia de aceleración, velocidad y desplazamiento, así como los espectros originales. El propósito de estos gráficos es confirmar que el ajuste de fase no estacionario del tiempo–historia ajustado espectralmente se mantiene similar al movimiento de entrada original y que no se están agregando al movimiento pequeñas ondas que no corresponden, cabe mencionar que al momento de realizar el ajuste espectral se ha cuidado con no alterar significativamente el contenido de frecuencias del sismo ni el valor del PGA, lo cual puede causar que en ciertos tramos el espectro no se ajuste con un mínimo rango de error.

La intensidad de Arias fue comparada mediante el gráfico de Husid, puesto que es más práctico de realizar la comparación en lugar de comparar las intensidades de los registros obtenidos luego de aplicar inicialmente un factor de escalamiento denominados registros semilla (SEED) con los registros ajustados espectralmente (MATCHED). Los factores de escalamiento no afectan la duración o el contenido de frecuencias del movimiento del terreno.

Finalmente se muestran los gráficos de Amplitudes de Fourier, los cuales ilustran que los registros iniciales no han sido modificados de manera significativa dentro del rango de frecuencias de interés correspondiente a los periodos en el rango de 0.02 s a 2.00 s. El mismo orden de presentación se mantiene para cada evento en cada componente y movimiento –

aceleración, velocidad, y desplazamiento; espectro de respuesta; gráfico de Husid y el espectro de amplitudes de Fourier.

De acuerdo a estos resultados, se puede observar que los acelerogramas sísmicos obtenidos por este método preservan la mayoría de las propiedades estacionarias de las señales sísmicas originales.

Es importante señalar que, para los menores periodos cortos cercanos al PGA ( $\sim 0.01$  s a  $0.02$  s) el ajuste es más variable al espectro objetivo, sin embargo tiene un pequeño impacto sobre la estructura, ya que la mayoría de las estructuras de tierra se ven impactadas por periodos mayores a  $0.1$  segundos.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La distribución espacial de los sismos instrumentales indica una mayor actividad sísmica de la zona de subducción en la costa. La subducción de la Placa de Nazca próxima y más influyente a la zona de estudio muestra que las profundidades focales de los sismos de subducción aumentan siguiendo el buzamiento del contacto. En la zona de estudio, la subducción superficial tiene un ángulo aproximado de  $13.9^\circ$  en la zona de interfase hasta una profundidad promedio de 80 km, posteriormente la inclinación de la subducción de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana se va tornando subhorizontal alcanzando una distancia de 200 km a 350 km desde la fosa, para luego subducir hasta los 700 km de profundidad.
- Se han establecido dos escenarios sísmicos principales de 8.8 Mw y 7.8 Mw para los eventos de interfase e intraplaca, respectivamente. Además, se establecieron sus máximas réplicas esperadas con base a la relación propuesta por Maeda (1996).
- El evento de subducción intraplaca de 7.8 Mw puede ser considerado como el sismo máximo creíble en el rango de periodos menores a 0.25 s, no obstante, para periodos mayores a 0.25 s, el evento de interfase de 8.8 Mw es el sismo máximo creíble. Análogamente, para las máximas réplicas esperadas para los eventos de intraplaca e interfase, de 6.7 Mw y 7.7 Mw respectivamente, se puede apreciar que el evento de interfase predomina en todo el rango de periodos.
- Se presentan acelerogramas sintéticos para suelo Tipo B, según clasificación de sitio definido por el ASCE-7, 2016, los cuales podrán ser usados de manera referencial en el área del proyecto. En caso de que las estructuras geotécnicas o edificaciones se encuentren sobre



tipos de suelos distintos a un suelo Tipo B, se recomienda realizar un análisis de respuesta de sitio.

- Las conclusiones y recomendaciones del presente informe son aplicables solo y exclusivamente para el proyecto materia de evaluación en este estudio.

## BIBLIOGRAFÍA

*Abrahamson. N., Gregor. N., & Addo. K. (2015), "BC Hydro ground motion prediction equations for subduction earthquakes", Earthquake Spectra Journal of the Earthquake Engineering Research Institute, Vol. 32, N° 1, pp. 23-44. A*

*Abrahamson, N. A., Silva, W. J., y Kamai, R. (2014). Summary of the ASK14 Ground Motion Relation for Active Crustal Regions. Earthquake Spectra, 30(3), pp. 1025-1055.*

*Aguilar et al. (2017) "Probabilistic Seismic Hazard Assessment in the Peruvian Territory", 16th World Conference on Earthquake Engineering, 16WCEE 2017, Santiago de Chile, Chile.*

*Alva Hurtado J. E. (2004), "Banco de Datos de Mapas de Isosistas en el Perú", Página web del CISMID – FIC – UNI ([http://www.cismid-uni.org/p\\_acelerograf/index.htm](http://www.cismid-uni.org/p_acelerograf/index.htm)).*

*Alva Hurtado J. E., Meneses J. y Guzmán V. (1984), "Distribución de Máximas Intensidades Sísmicas Observadas en el Perú", V Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Tacna, Perú.*

*American Society of Civil Engineers - Structural Engineering Institute (2017), "Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures"*

*Barazangi M., Isacks B. (1976) "Spatial distribution of earthquakes and subduction of the Nazca plate beneath South America: Geology, 4: 686-692.*

*Bernal I., Tavera H., Antayhua Y. (2002) "Zonas sismogénicas en el Perú: volúmenes de deformación, gráficos polares y zonificación preliminar", Bol. Soc. Geológica del Perú, Vol. 93, p. 31-44.*

*Berrocal J., (1974), "South American Seismotectonics from SAAS data", Thesis submitted for the Degree of Doctor of Philosophy in the University of Edinburg.*

*Boatwright, J; Boore, D. (1982), "Analysis of the ground accelerations radiated by the 1980 Livermore Valley earthquake for directivity and*

*dynamic source characteristics”, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 75, N° 1, pp. 43-64.*

*Bommer, J. J., (2002), "Deterministic vs. Probabilistic Seismic Hazard Assessment: An Exaggerated and Obstructive Dichotomy", Journal of Earthquake Engineering, Vol. 6, Special Issue 1, pp. 43 – 73, Imperial College Press.*

*Boore, D. (1983), "Stochastic simulation of high frequency ground motion based on seismological models of the radiated spectra”, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 73, Num. 6, pp. 1865-1894.*

*Boore, D.; Joyner, W. (1982), "The empirical prediction of ground motion”, Seismological Society of America, Vol. 72, N° 6, pp. S43-S60.*

*Boore, D.; Joyner, W. (1984), "A note on the use of random vibratory theory to predict peak amplitudes of transient signals”, Seismological Society of America, Vol. 74, N° 6, pp. 2035-2039.*

*Brian S.-J. Chiou and Robert R. Youngs (2014) Update of the Chiou and Youngs NGA Model for the Average Horizontal Component of Peak Ground Motion and Response Spectra. Earthquake Spectra: August 2014, Vol. 30, No. 3, pp. 1117-1153.*

*Bray, J. D., and Travararou, T. (2009) "Pseudostatic Coefficient for Use in Simplified Seismic Slope Stability Evaluation,” J. Geotech. Geoenviron. Eng., ASCE, Vol. 135, No. 9, pp. 1336-1340.*

*Bray, J.D., Macedo, J., and Travararou, T. (2018) "Simplified Procedure for Estimating Seismic Slope Displacements for Subduction Zone Earthquakes,” J. of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, V. 144(3): 04017124.*

*Campbell KW, Bozorgnia Y (2013). NGA-West2 Campbell & Bozorgnia Ground Motion Model for the Horizontal Components of PGA, PGV, and 5%-Damped Elastic Pseudo-Acceleration Response Spectra for Periods Ranging from 0.01 to 10 sec, PEER Report 2013/06.*

*Cahill, T., Isacks, B. (1992), "Seismicity and shape of the subducted Nazca plate”, Journal of Geophysical Research, Vol. 97, N° B12, pp 17503-17529.*

Castillo J. (1993), "Peligro Sísmico en el Perú", Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería Lima.

Christophersen A., Gerstenberger M. C., Rhoades D. A., Stirling M. W. (2011), "Quantifying the effect of declustering on probabilistic seismic hazard", Proceedings of the Ninth Pacific Conference on Earthquake Engineering Building an Earthquake-Resilient Society, Auckland, New Zealand.

CMT (Global Centroid Moment Tensor Project).  
<http://www.globalcmt.org/CMTsearch.html>

Cornell A. (1968), "Engineering Seismic Risk Analysis", Bulletin of the Seismological Society of America, Vol 58, N°5 pg. 1538-1606.

Deza E. (1969), "Estudio Preliminar Sobre las Zonas de Transición que Separan Posibles Regiones Sismotectónicas del Margen Occidental de Sudamérica: Zona de Transición en el Perú", I Congreso Nacional de Sismología e Ingeniería Antisísmica, Lima, Perú.

Dimaté C., Drake L., Yopez H., Ocola L., Rendon H., Grünthal G., Giardini D. (1999), "Seismic hazard assessment in the Northern Andes (PILOTO Project)", Annali di Geofisica, Vol. 42, Num. 6, pp. 1039 – 1055.

Diseño Sismorresistente. Reglamento Nacional de Construcciones, Norma Técnica de Edificaciones E.030, SENCICO 2018.

Dorbath, L., Cisternas, A. y Dorbath, C. (1990) "Assessment of the Size of large and Great Historical Earthquakes in Peru". BSSA, 80, pp 551-576.

Esteva, L. (1970), "Criterios para la Construcción de Espectros de Diseño", Publicación N 19 del Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.

Federal Emergency Management Agency (FEMA), "Seismic Hazard Analysis".  
[www.bssconline.org/FEMA451B/Topic%205/Topic%205A/Topic05a-SeismicHazardAnalysisHandouts.pdf](http://www.bssconline.org/FEMA451B/Topic%205/Topic%205A/Topic05a-SeismicHazardAnalysisHandouts.pdf), 2007

Gamarra, C. A. (2010), "Nuevas Fuentes Sismogénicas para la Evaluación del Peligro Sísmico y Generación de Espectros de Peligro Uniforme

*en el Perú", Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería Lima.*

*Grange, F. et al (1984), "Tectonics implications of the microearthquake seismicity and fault plane Solutions in the Southern Peru", Journal of Geophysical Research, Vol. 89, pp 6139-6152.*

*Gregor, N., Abrahamson, N. A., Atkinson, G. M., Boore, D. M., Bozorgnia, Y., Campbell, K. W., Chiou, B., Idriss, I. M., Kamai, R., Seyhan, E., Silva, W., Stewart, J. P., y Youngs, R. (2014). Comparison of NGA-West2 GMPE's. Earthquake Spectra, 30(3), 1179-1197.*

*Gutenberg, B. (1945), "Magnitude determination for deep-focus earthquakes", Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 35, pp. 117-130.*

*Gutenberg, B.; Richter, C. (1956), "Earthquake magnitude: intensity, energy, and acceleration", Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 46, pp. 104-145.*

*Hancock, J., Watson-Lamprey, J., Abrahamson, N.A., Bommer, J.J., Markatis, A., McCoy, E. y Mendis, R. (2006) "An improved method of matching response spectra of recorded earthquake ground motion using wavelets". Journal of Earthquake Engineering, Special Issue, accepted for publication.*

*Hanks, T., McGuire, R. (1981), "The character of high frequency strong ground motion", Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 71, pp. 2071-2095.*

*Hynes-Griffin, M.E., Franklin, A.G., 1984. "Rationalizing the Seismic Coefficient Method. Miscellaneous" Paper GL-84-13, US Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi.*

*Instituto Geofísico del Perú. (2001), "Catálogo Sísmico del Perú 1471 – 1982: Versión Revisada y Actualizada". Lima, Perú.*

*Instituto Nacional de Defensa Civil. (2017), "Escenario Sísmico para Lima Metropolitana y Callao: Sismo 8.8 Mw". Lima, Perú.*

*International Building Code, (2012), International Code Council, Mayo 2011*

*International Standard IEC 61400-1:2005-08, Wind Turbines – Part 2: Design Requirements.*

*Isacks B., Oliver J. y Sykes L.R., (1968), "Seismology and Global Tectonics", Journal of Geophysical Research, Vol 73, N°18, págs. 5855-5899.*

*Jordan, T.E., Isacks, B.L., Allmendinger, R.W., Brewer, J.A., Ramos, V.A., and Ando, C.J., (1983). Andean Tectonics Related to Geometry of the Subducted Nazca Plate. Geological Society of America Bulletin, v. 94, p. 341-361.*

*Joyner, W.; Boore, D. (1988), "Measurement, characterization, and prediction of strong ground motion", Earthquake Engineering and Soil Dynamics II – Recent Advances in Ground Motion Evaluation, Geotechnical Special Publication 20, pp. 43-102, ASCE, New York.*

*Kramer, S. L., (1996), "Geotechnical Earthquake Engineering". Prentice Hall, New Jersey, USA.*

*Macharé J., Fenton, C., Machette, M., Lavenu, A., Costa, C. and Dart, R., (2003), "Database and Map of Quaternary Faults and Folds of Peru and its Offshore Regions", Open-File Report 03-451, US Geological Survey, USA.*

*Maeda, K. (1996). "The Use of Foreshocks in Probabilistic Prediction along the Japan and Kuril Trenches", Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 86, No. 1A, pp. 242-254.*

*McGuire, R., (2004). Seismic Hazard and Risk Analysis, Earthquake Engineering Research Institute, MNO-10.*

*Marsan D., Lengliné O. (2008), "Extending Earthquakes' Reach Through Cascading", Science Vol. 319, pp. 1076 – 1079.*

*Nick Gregor, Norman A. Abrahamson, Gail M. Atkinson, David M. Boore, Yousef Bozorgnia, Kenneth W. Campbell, Brian S.-J. Chiou, I. M. Idriss, Ronnie Kamai, Emel Seyhan, Walter Silva, Jonathan P. Stewart, and Robert Youngs (2014) Comparison of NGA-West2 GMPE's. Earthquake Spectra: August 2014, Vol. 30, No. 3, pp. 1179-1197.*

*Norman Abrahamson, Nicholas Gregor, and Kofi Addo (2016) BC Hydro Ground Motion Prediction Equations for Subduction Earthquakes. Earthquake Spectra: February 2016, Vol. 32, No. 1, pp. 23-44.*

*Norman A. Abrahamson, Walter J. Silva, and Ronnie Kamai (2014) Summary of the ASK14 Ground Motion Relation for Active Crustal Regions. Earthquake Spectra: August 2014, Vol. 30, No. 3, pp. 1025-1055.*

*Norman Abrahamson and Walter Silva (2008) Summary of the Abrahamson & Silva NGA Ground-Motion Relations. Earthquake Spectra: February 2008, Vol. 24, No. 1, pp. 67-97.*

*Norman A. Abrahamson and Julian J. Bommer (2005) Probability and Uncertainty in Seismic Hazard Analysis. Earthquake Spectra: May 2005, Vol. 21, No. 2, pp. 603-607.*

*Ordaz M. (1992), "Estimación de movimientos fuertes ante temblores de subducción", Tesis Doctoral, División de Estudios Posgrado de la Facultad de Ingeniería, Universidad nacional Autónoma de México.*

*Ordaz M., Aguilar A., Arboleda J. (2015) "Program for Computing Seismic Hazard: CRISIS 2015 ver 2.2", Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.*

*Patwardhan K.; Sadigh I. M.; Idriss and Youngs R. (1978). "Attenuation of Strong Motion Effect of Site Conditions. Transmission Path Characteristics and Focal Depths", submitted to the Bull Seismological Society of America.*

*Petersen M., Harmsen S., Haller K., Mueller C., Luco N., Hayes G., Dewey J. and Rukstales K. (2010), "Preliminary Seismic Hazard Model for South America", Conferencia: Sismología en Sudamérica y los mecanismos de prevención y mitigación del peligro y riesgo sísmico, Daniel Huaco Editor, Lima, Perú.*

*Pomachagua O. (2000), "Características Generales de la Tectónica y Sismicidad de Perú", Revista de Trabajos de Investigación, CNDG, IGP, pp. 93 – 104. Lima, Perú.*

*Reasenberg P. (1985), "Second-Order Moment of Central California Seismicity", Journal of Geophysical Research, Vol. 90, Num. B7, pp. 5479 – 5495.*

- Sadigh K. Chang C., Egan J., Makdisi F., Youngs R. R., (1997), "Attenuation Relationship for Shallow Crustal Earthquakes Based on California Strong Motion Data", Seismological Research Letters, Volume 68, Number 1, January/February.*
- Saragoni, R. (1993). Análisis de riesgo sísmico para la reconstrucción del Puerto de Valparaíso. ótas Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica, Santiago, Vol 2, 165- 178.*
- Scordilis E. (2006), "Empirical global relations converting Ms and mb to moment magnitude", Journal of Seismology, Vol. 10, pp. 225-236.*
- Sebrier M., Huamán D., Blanc J. L., Macharé J., Bonnot D. y Cabrera J. (1982), "Observaciones acerca de la Neotectónica del Perú", Instituto Geofísico del Perú, Lima, Perú.*
- Silgado, E., (1969). "Sismicidad de la Región Occidental de la América del Sur entre los paralelos 2° y 18° Latitud Sur", Primer Congreso Nacional de Sismología e Ingeniería Antisísmica, págs. 33-44.*
- Silgado, E. (1973). Historia de los Sismos más Notables ocurridos en el Perú 1955- 1970. Geofísica Panamericana, 2, 179-243.*
- Silgado E. (1978), "Historia de los Sismos más Notables ocurridos en el Perú (1513-1974)", Instituto de Geología y Minería, Boletín N°3, Serie C, Geodinámica e Ingeniería Geológica, Lima, Perú.*
- Silgado E. (1992), "Investigación de Sismicidad Histórica en la América del Sur en los Siglos XVI, XVII, XVIII y XIX", CONCYTEC, Lima, Perú.*
- SISRA (1985), "Catálogo de Terremotos para América del Sur" Vol. 7a, 7b y 7c, Proyecto SISRA, CERESIS, Lima, Perú.*
- Slemmons D. (1982), "Magnitude of Active Faults", U.S. Army Engineer Waterways Experimental Station, USA.*
- Stepp J. (1972), "Analysis of completeness of the earthquake sample in the Puget Sound area and its effect on statistical estimates of earthquake hazard", International Conference on Microzonation for Safer Construction Research and Application, Proceedings of the International Conference on Microzonation for Safer Construction Research and Application, Vol. 2., pp. 897 – 909.*



Tavera H. (1998), "Mecanismo Focal de Terremotos en Perú y Sismotectónica", Tesis para Optar el Grado de Doctor en Ciencias Físicas, Facultad de Ciencias Físicas, Universidad Complutense de Madrid, España.

Tavera H. y Buforn E (1998), "Sismicidad y Sismotectónica de Perú", Física de la Tierra, N° 10, pp. 187 – 219. España.

Tavera H., Vilca R. y Marín G. (2006), "Inferences on the Geometry of the Nazca Plate in Northwestern Peru Based on Data Collected by a Local Seismograph Network", Earth Science Research Journal, Vol. 10, N° 1, pp. 15 – 24.

Timothy D. Ancheta, Robert B. Darragh, Jonathan P. Stewart, Emel Seyhan, Walter J. Silva, Brian S.-J. Chiou, Katie E. Wooddell, Robert W. Graves, Albert R. Kottke, David M. Boore, Tadahiro Kishida, and Jennifer L. Donahue (2014) NGA-West2 Database. Earthquake Spectra: August 2014, Vol. 30, No. 3, pp. 989-1005.

Thomas et al. (2010) "Verification of Probabilistic Seismic Hazard Analysis Computer Programs", Pacific Earthquake Engineering Research (PEER), California, USA.

USGS (2011). "Slab model for Subduction Zones". <http://earthquake.usgs.gov/research/data/slab/>

Wells, D. L., and K. J. Coppersmith. 1994. New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement, Bulletin of the Seismological Society of America, 84, 4, 974-1002.

Wyss, M., (1979). Estimating Maximum Expected Magnitude of Earthquakes from Fault Dimensions. Geology 7, p. 336-340.

Weichert D. (1980), "Estimation of the earthquake recurrence parameters for unequal observation periods for different magnitudes", Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 70, Num. 4, pp. 1337 – 1346.

Wiemer S. (2001), "A software package to analyze seismicity: ZMAP", Seismological Research Letter, Vol. 72, Num. 2, pp. 375 – 383.

Willemann R., Storchak D. (2001), "Data Collection at the International Seismological Centre", *Seismological Research Letter*, Vol. 72, Num. 4, pp. 440 – 453.

Youngs, R. R., Chiou. S. J., Silva, W. J. and Humprey, J. R. (1997), "Strong Ground Motion Attenuation Relationships for Subduction Zone Earthquakes", *Seismological Research Letters*, Vol. 68, Numb. 1, Pp. 58 – 73, USA.

Zhao, J., Zhang, J., Asano, A., Ohno, Y., Oouchi, T., et al. (2006), "Attenuation Relations of Strong Ground Motion in Japan Using Site Classification Based on Predominant Period", *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 96, No. 3, pp. 898 – 913, June 2006, doi: 10.1785/0120050122.

Zhuang J., Ogata Y., Vere-Jones D. (2002), "Stochastic Declustering of Space-Time Earthquake Occurrences", *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 97, Num. 458, pp. 369 – 380.

Jonathan D. Bray and Thaleia Travararou. (2002), "Stochastic Declustering of Space-Time Earthquake Occurrences", *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 97, Num. 458, pp. 369 – 380.

## **Anexo 1**

### **Sismicidad Histórica de la Región**

#### **Relación de Sismos Históricos**

- **Sismo del 15 de noviembre de 1555**, ocurrió el temblor más fuerte desde la fundación de Lima, que causó muchos desperfectos en las edificaciones. Intensidad: VII (MMI) en Lima.
- **Sismo del 9 de julio de 1586**, a las 19:00 horas: Terremoto que destruyó Lima, con 14 a 22 víctimas. Tsunami en Callao y otros lugares. Fue sentido desde Trujillo hasta Caravelí, así como en Huánuco y Cuzco. Por 60 días se dejaron sentir las réplicas. Intensidades: Lima IX (MMI), Ica VI (MMI) y Trujillo III (MMI).
- **Sismo del 13 de noviembre de 1655**, a las 14:38 horas: Fuerte sismo que derrumbó muchas casas y edificios en Lima. Graves daños en el Presidio de la Isla San Lorenzo. Un muerto. Intensidades: San Lorenzo y Callao IX (MMI) y Lima VIII (MMI).
- **Sismo del 20 de octubre de 1687**, dos sismos en Lima a las 04:15 y 05:30 horas. La ciudad de Lima quedó muy dañada. Los estragos fueron grandes en el Callao y alrededores. Entre Ica y Cañete se formaron grietas en el subsuelo. Más de 100 muertos. Tsunami en el Callao. Intensidades: Cañete IX (MMI), Ica VIII (MMI), Lima y Callao VII (MMI).
- **Sismo del 28 de octubre de 1746**, a las 22:30 horas: Destrucción de casi la totalidad de casas y edificios en Lima y Callao. Murieron más de 1100 personas en Lima. Destrucción de 44,000 km<sup>2</sup>. Sentido en Guayaquil, en la confluencia del río Marañón con el Huallaga, en Huancavelica (muy fuerte). En Lucanas (Ayacucho) hubo agrietamientos del terreno y deslizamientos. Se sintió en Cuzco y Tacna. Un tsunami de grandes proporciones inundó el Callao hasta 6 Km, matando casi toda la población y destruyendo Guañape y Punta Caballas. Intensidad de X (MMI) en Chancay y Huaral, IX –X (MMI) en Lima, Barranca y Pativilca, VIII (MMI) en Huaylas y la Cordillera Negra, VII (MMI) en Lucanas, Huancavelica y Pisco.
- **Sismo del 04 de Julio de 1839**, a las 19:30 horas: Terremoto en Chanchamayo. Ocasiónó la caída de personas sentadas y sacó de su lecho al Río Aynamayo, cambiando su curso. Intensidad Chanchamayo VI – VII (MMI).
- **Sismo del 4 de marzo de 1904**, a las 05:17 horas: Fuerte movimiento sísmico en la ciudad de Lima. Intensidad aproximada: VII – VIII (MMI). En Pacasmayo y Chosica VI (MMI). Fue sentido en Casma, Trujillo, Huánuco, Pisco y Ayacucho III (MMI).
- **Sismo del 23 de febrero de 1907**, a las 15:17 horas: Fuerte movimiento sísmico percibido en un área aproximada de 106,000 km<sup>2</sup>. Intenso en Matucana, Mala, Cañete, Chíncha, Pisco, Ica, Huancavelica y Puquio (Grado V). Menos intenso en Lima, Ancón y Huacho.
- **Sismo del 16 de noviembre de 1907**, a las 05:10 horas: Temblor sentido en la costa entre Lambayeque y Casma, en la región central de Tarma, Cerro de Pasco, Huánuco y en la selva entre Masisea y puerto Bermúdez. Intensidad de V (MMI).

- **Sismo del 12 de abril de 1909**, a las 03:05 horas: Fuerte movimiento de tierra que conmovió casi toda la región central del país; a lo largo de la costa fue percibido desde Salaverry a Ica. En la montaña en Puerto Bermúdez. En Lima fue de grado V RF; en la Hacienda Andahuasi, Huacho, causó averías y en Matucana daños mayores. La intensidad máxima se estimó en grado VI RF y el epicentro fue fijado en una región de los Andes, al NE de Lima.
- **Sismo del 11 de marzo de 1926**, a las 06:20 horas: Fuerte sismo en la ciudad de Lima, se produjeron derrumbes en la ruta del ferrocarril central. Intensidad en Lima V – VI (MMI).
- **Sismo del 17 de mayo de 1928**, a las 05:55 horas: Fuerte temblor en Cerro de Pasco, Cuzco, Macusani y Paucartambo. En este último lugar se produjeron derrumbes.
- **Sismo del 19 de enero de 1932**, a las 21:33 horas. Violento sismo que causó muchos daños en Huacho, Lima. Se estima una intensidad de VI – VII (MMI) en Lima.
- **Sismo del 05 de agosto de 1933**, a las 21:55 horas: Sismo en Lima, ligeros daños en casas antiguas. Rotura de vidrios en Ica. Sentido entre Huacho y Pisco en la costa, en Cerro de Pasco y otros pueblos de la Cordillera Central y en Puerto Bermúdez. Intensidades: Lima VI (MMI), Huacho e Ica V (MMI), Cerro de Pasco III (MMI) y Puerto Bermúdez II (MMI).
- **Sismo del 24 de diciembre de 1937**, a las 01:23 horas: terremoto en las vertientes orientales de la Cordillera Central. Afectó Huancabamba y Oxapampa. En el Valle de Chontabamba, fueron 34 las casas completamente destruidas: en Oxapampa 7, en Progreso 23, en San David 10 y en Huancabamba 18. El movimiento sísmico fue sentido fuerte en San Ramón, La merced, Pozuso, Tarma en la Unión y Llata (Huánuco). Intensidades: Chontabamba IX (MMI), Huancabamba y Oxapampa VIII (MMI).
- **Sismo del 2 de Julio de 1938**, a las 06:06 y 06:57 horas: La ciudad de Tarma y poblaciones situadas en los valles del Mantaro y Chanchamayo fueron sacudidos por dos violentos sismos. El segundo sismo causó el derrumbe de varios cerros en Tarma. Intensidad: VII (MMI) en Tarma, V (MMI) en Huancayo, Jauja, La Merced y Oxapampa.
- **Sismo del 24 de mayo de 1940**, a las 11:35 horas: Terremoto de grado VIII (MMI) en Lima, fue sentido desde Guayaquil en el norte hasta Arica en el sur, hubo tsunami, causó 179 muertos y 3500 heridos. Intensidad de VI (MMI) en el Callejón de Huaylas, V (MMI) en Trujillo, IV (MMI) en Paita y Piura.
- **Sismo del 15 de junio de 1945**, a las 04:10 horas: Temblor muy fuerte en Lima, causó cuarteaduras en el barrio obrero del Rímac. Sentido desde Supe hasta Pisco en la costa, en Canta, Matucana, Morococha, Casapalca y Huaytará en el interior. Intensidad en Lima V (MMI).

- **Sismo del 21 de agosto de 1945**, a las 11:30 horas: Sismo en la Sierra Central y vertientes orientales de los Andes. Intensidades: en Cerro de Pasco y San Ramón V (MMI), en Lata y Huánuco IV (MMI). En las ciudades de la costa, entre Lima y Mala se sintió ligeramente estimándose un área aproximada de percepción a unos 210,000 km<sup>2</sup>.
- **Sismo del 01 de noviembre de 1947**, a las 09:50 horas: Terremoto en la zona central del Perú. Hubo 200 muertos en Satipo, Andamarca, Acobamba, La Merced, Vitor, Comas y Perené. Daños pronunciados en Satipo, donde se desplomaron paredes gruesas de ladrillo. En La Merced quedaron inhabitables las casas de adobe, el mismo efecto se observó en otros pueblos del departamento de Junín. Jauja y Cerro de Pasco sufrieron numerosos desperfectos en sus casas de adobe. Infinidad de derrumbes entre San Ramón y Satipo. La carretera a Satipo fue destruida en varios tramos. Sentido en casi todo el territorio peruano. Intensidades: X (MMI) en Satipo, en Acobamba, La Merced, Vitor VII (MMI), en Huánuco, Cerro de Pasco, Huancayo, Puerto Ocopa VI (MMI).
- **Sismo del 10 de diciembre de 1950**, a las 21:50 horas: Fuerte temblor que ocasionó en la ciudad de Ica la muerte de 4 personas y averías de consideración en algunas edificaciones de adobe. Sobre el terreno provocó la abertura de grietas en algunos terrenos de sembríos, de los cuales surgió agua hasta una hora después del sismo. El sismo se sintió en una extensión de 490,000 km<sup>2</sup>, que comprendió las ciudades de Chimbote, Huaraz y Cajamarca al Norte, Cerro de Pasco, Satipo, Gran Pajonal al Noreste, Cusco al Este y Moquegua al Sur. Intensidades: Ica VII, Pisco V, Nazca V, Lima IV.
- **Sismo del 15 de enero de 1960**, a las 04:30 horas: Fuerte temblor en Lima y el sur. Provocó el derrumbe de casas en Nazca, Ica y Huancavelica. Intensidades: Palpa y Nazca VII, en Ica, Huancavelica y Huaytará VI, en Lima IV.
- Sismo del 3 de marzo de 1962, a las 19:41 horas: Fuerte sismo en el anexo de Yungul, Distrito de Ulcumayo, provincia de Junín, situado en una zona boscosa de las vertientes orientales de los Andes. Destrucción y agrietamiento de las partes altas. Intensidad VI –VII (MMI).
- **Sismo del 17 de octubre de 1966**, a las 16:41 horas: Fue uno de los más destructores ocurridos en Lima después del sismo de 1940. Cien personas muertas. Fue destructor a lo largo de la franja litoral entre Lima y Supe. La intensidad máxima se estimó en VIII (MMI). La aceleración producida en Lima fue de 0.4 g. Intensidades: VIII (MMI) en Huacho, Huaura, Chancay, Puente Piedra y Supe, VII (MMI) el Lima y Cajatambo, VI (MMI) en Chimbote, Virú y V (MMI) en Trujillo.
- **Sismo del 1 de octubre de 1969**, a las 00:06 horas: Nuevo sismo que afectó las mismas poblaciones anteriores. Intensidad de V (MMI) en Huancayo. La falla causada por el sismo anterior fue reactivada, alcanzando una extensión de 16 Km, con desplazamiento vertical

máximo de 1.6 m. y horizontal de 0.7 m. Intensidad de XI (MMI) en Huaytapallana y V MMI en la ciudad de Huancayo.

- **Sismo del 31 de mayo de 1970**, a las 15:23 horas: Fue uno de los sismos más catastróficos ocurridos en el Perú, murieron 50,000 personas, desaparecieron 20,000 y quedaron heridos 150,000, según informe CRYRSA. Con la evaluación de daños que esta entidad realizó se puede tener una idea de la catástrofe.
  - 60,000 viviendas necesitan reconstrucción.
  - 38 poblaciones fueron afectadas, 15 quedaron con viviendas destruidas en más del 80%, el resto sufrió daños de consideración.
  - En 18 ciudades con un total de 309,000 habitantes los alcantarillados quedaron destruidos.
  - 6,730 aulas fueron destruidas.
  - La capacidad de energía eléctrica de Ancash y La Libertad quedó reducida a un 10%, por la serie de daños causados en la Central Hidroeléctrica de Huallanca.
  - Quedaron dañadas las facilidades para irrigar 110,000 hectáreas.
  - El 77% de los caminos de La Libertad y Ancash se interrumpieron, así como el 40% de los existentes en Chancay y Cajatambo.
  - Dentro de las características del sismo, se puede mencionar que, en la zona de la costa cercana al epicentro, se produjeron los fenómenos de licitación, deslizamiento de los taludes de la cordillera y el gran aluvión que arrasó con la ciudad de Yungay al desprenderse la cornisa norte del nevado Huascarán, arrastrando piedras, nieve y lodo.
  - En el Callejón de Huaylas los deslizamientos y escarpas fueron muchos, a la altura de Recuay se represó el río Santa, en la zona de la costa se agrietó el suelo con eyección de agua, arena y lodo, hasta una altura de un metro.
  - El sismo fue sentido desde Tumbes hasta Ica y desde la costa hasta Iquitos, produciéndose intensidades de IX (MMI) en Casma y Chimbote, VIII (MMI) en el Callejón de Huaylas y VII (MMI) en Trujillo, Moche y Paramonga.
- **Sismo del 10 de junio de 1971**, a las 01:47 horas: Deterioró varias casas rurales antiguas en Pasco. Sentido fuerte en Huánuco, Junín, Chíncha e Ica. En Lima se estimó una intensidad de III – IV (MMI). Sentido en los departamentos de Ancash, La Libertad, Amazonas, San Martín y en Yurimaguas, Orellana, Pucallpa, Contamáná e Iquitos. Intensidad V – VI en Cerro de Pasco y V (MMI) en Huánuco.
- **Sismo del 3 de octubre de 1974**, a las 19:01 horas: Sismo en Lima, Mala, Cañete, Chíncha y Pisco. Fuerte temblor que duró cerca de dos minutos y afectó casas antiguas de adobe y quincha en el área litoral

entre 12° y 14° S. En Lima sufrieron daños edificios públicos, iglesias, monumentos históricos, en varios barrios con diferente intensidad entre V y VII (MMI), en locales próximos a cerros y de suelo poco consolidado (La Molina), se observaron intensidades de VII – IX (MMI) como consecuencia de la amplificación de las vibraciones causadas por el terreno. Se produjeron 78 muertos y 2,550 heridos en Lima; entre Mala y Pisco: 13 muertos y numerosos heridos.

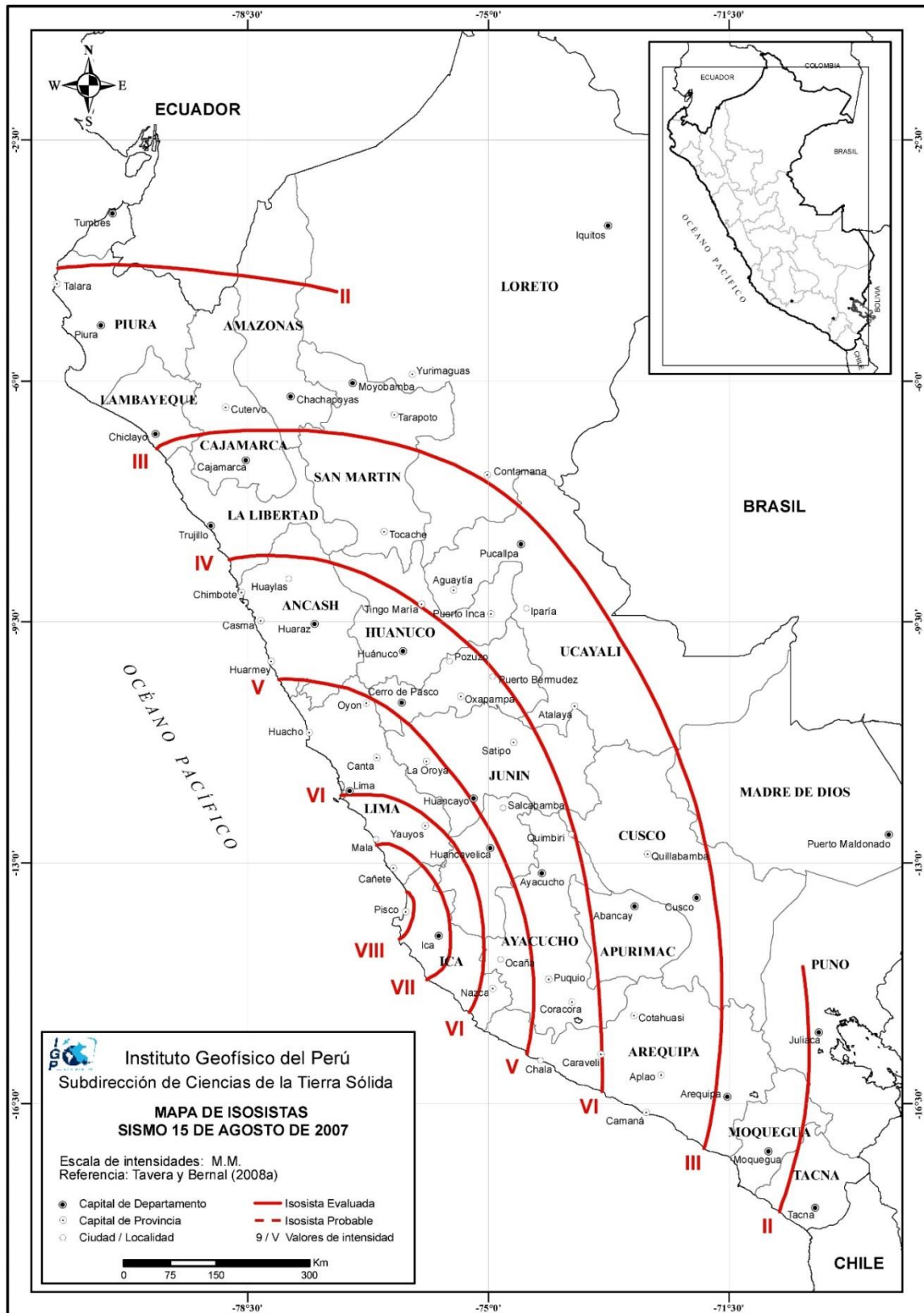
- **Sismo del 18 de abril de 1993**, a las 04:16 horas. Se produjo un fuerte sismo que sacudió la ciudad de Lima y alrededores, en un radio de aproximadamente de 140 km. El sismo originó daños considerables en las viviendas construidas con materiales inestables, en los alrededores de la ciudad y las zonas altas de Lima; ocasionando la muerte de 8 personas y 55 heridos. Este terremoto fue uno de los de mayor magnitud, después del terremoto del 03 de octubre de 1974. El epicentro se localizó a 55 Km. al Nor Este de la ciudad de Lima. (localidades de Arahuy y Lachaqui – Canta). No se registró ninguna réplica. Magnitud 5.8 Mb.
- **Sismo del 12 de noviembre de 1996**, a las 16:59 horas ocurrió un sismo de magnitud 7.7 Mw que afectó principalmente a la localidad de Nasca, Departamento de Ica. El epicentro del terremoto llamado "Terremoto de Nasca" fue localizado a 135 km al Sur-Oeste de la localidad de Nazca. Este terremoto fue acompañado de una serie de 150 réplicas durante las primeras 24 horas causando alarma en las localidades de Nazca, Palpa, Ica, Acari y Llauca, las mismas que soportaron intensidades máximas de VII (MMI) durante el terremoto principal. Se reportó 17 personas muertas, 1500 heridos y 100,000 damnificados. En cuanto a infraestructura más de 5,000 viviendas fueron destruidas, 12,000 afectadas. El costo económico de pérdidas fue del orden de 42 millones de dólares.
- **El 15 de Agosto de 2007**, a la 18 horas y 40 minutos (hora local), la zona sur de la región central de Perú fue afectada por un terremoto de magnitud 7.0ML (Richter) que en algunos segundos produjo muerte y destrucción en las ciudades de Pisco, Ica y Chincha en donde se evaluaron intensidades máximas de VII-VIII en la escala de Mercalli Modificada (MM). El terremoto produjo intensidades de V (MM) en la ciudad de Lima y fue sentido hasta las ciudades de Piura, Arequipa, Cusco y Pucallpa con intensidades del orden de II-III (MM).

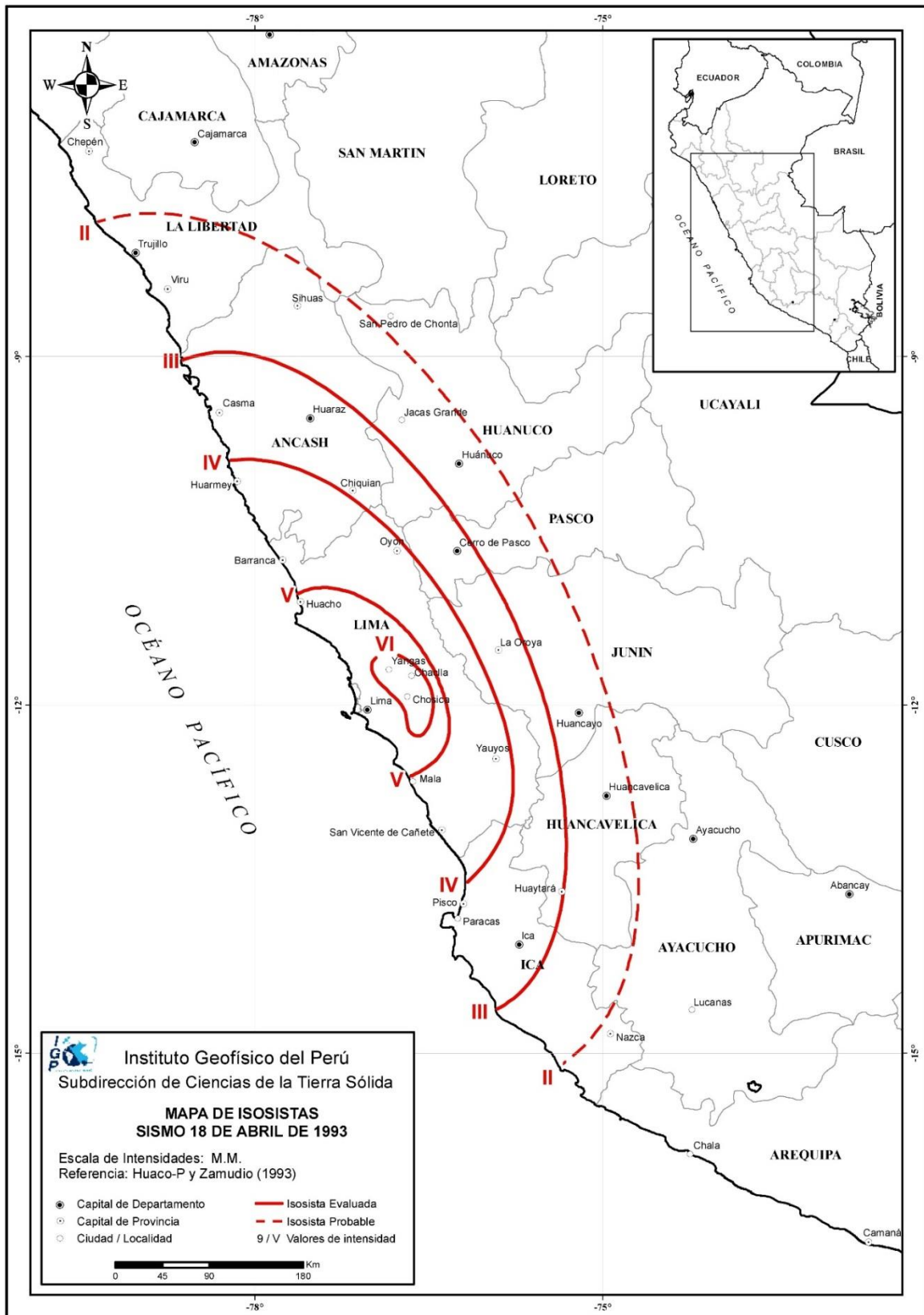
Este sismo tuvo como características principales su gran duración y el aparente proceso complejo de ruptura que experimentó, para luego ser seguido por un gran número de réplicas con magnitudes que no sobrepasaron el grado 6.5ML. En este estudio se resume las principales características del terremoto en relación a sus parámetros hipocentrales, orientación de la fuente, réplicas e intensidades regionales. El terremoto del 15 de agosto se constituye como el de mayor magnitud y duración ocurrida en esta región en los últimos 100 años.

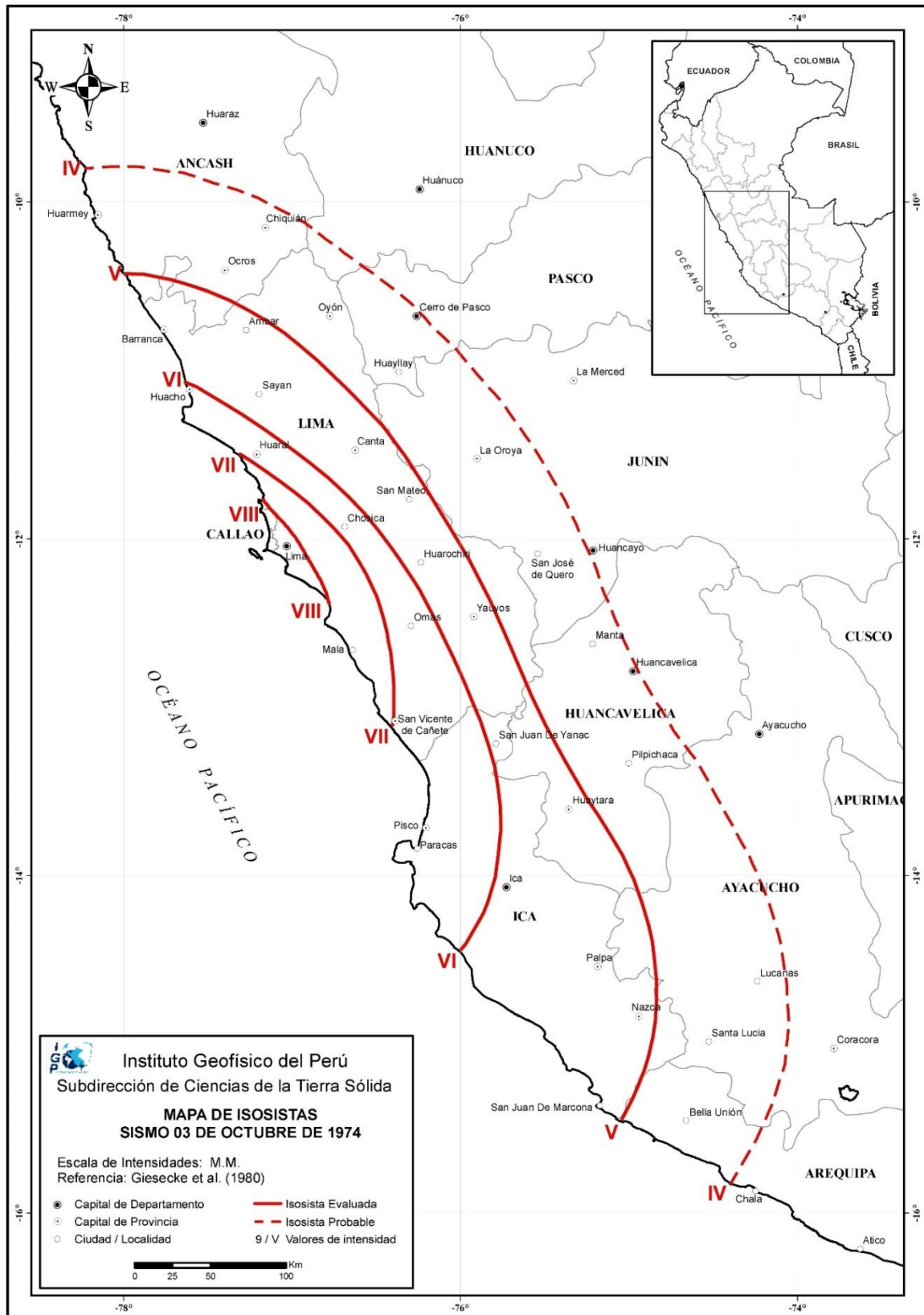


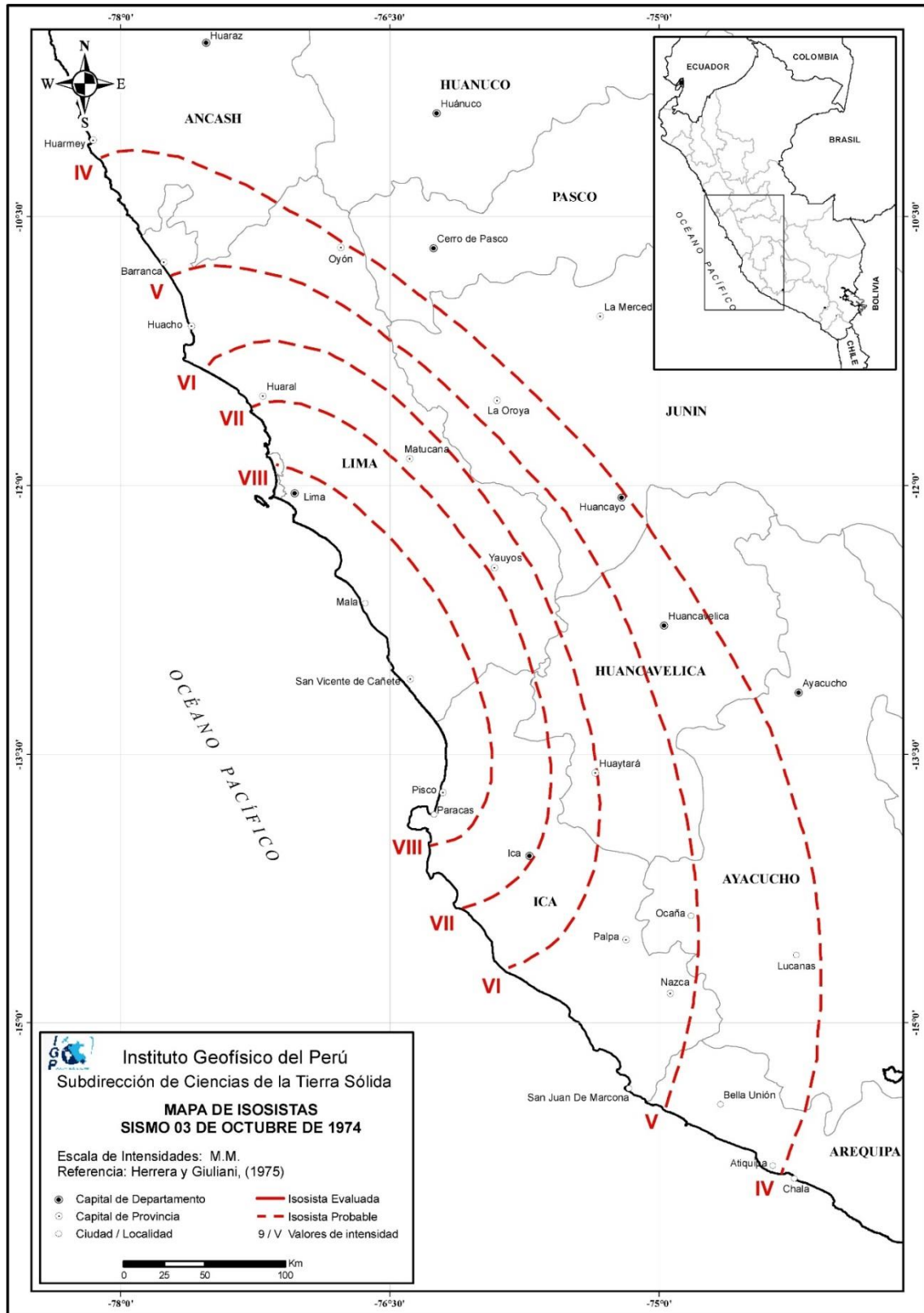
## **Anexo 2**

### **Curvas Isosistas**

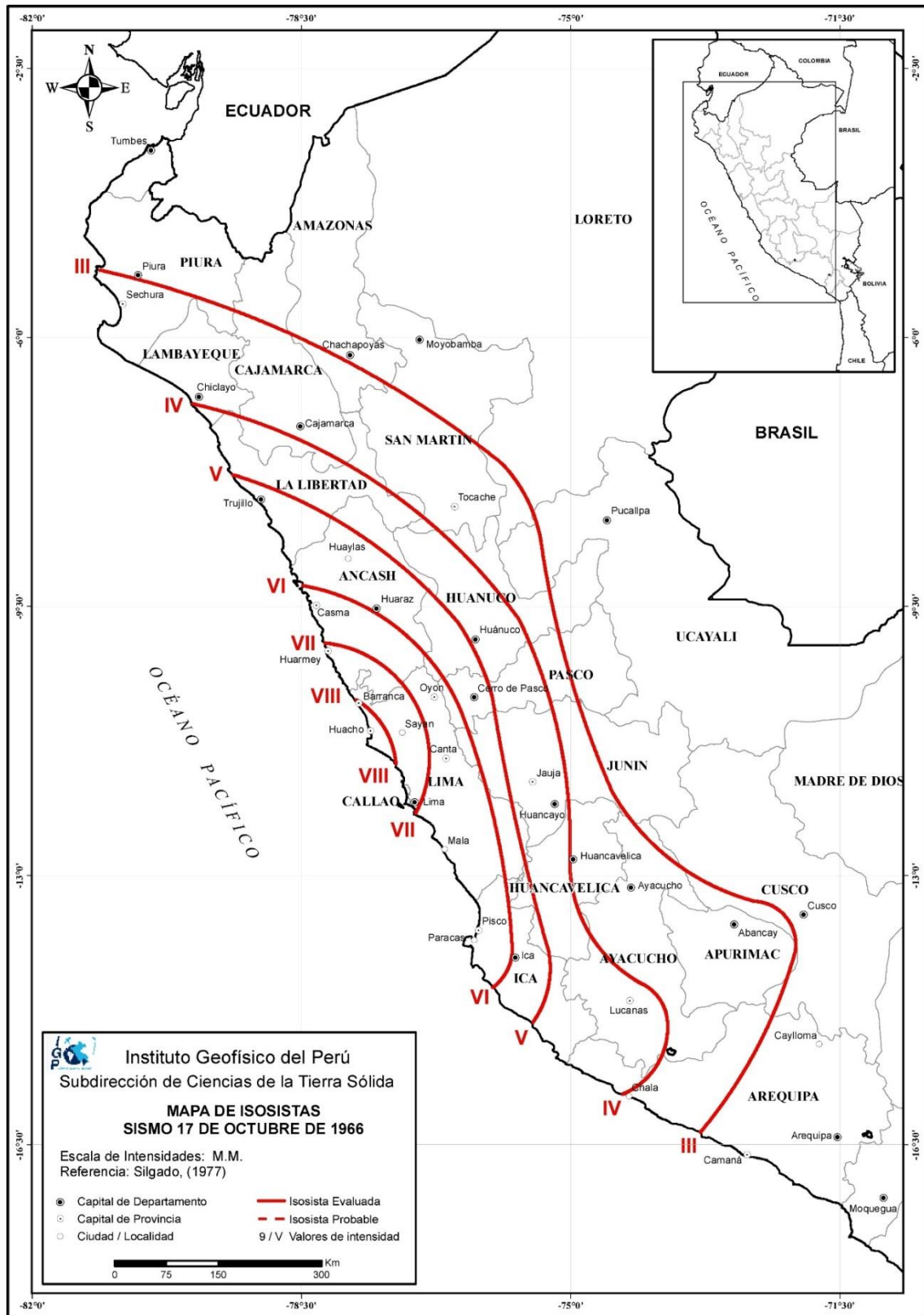


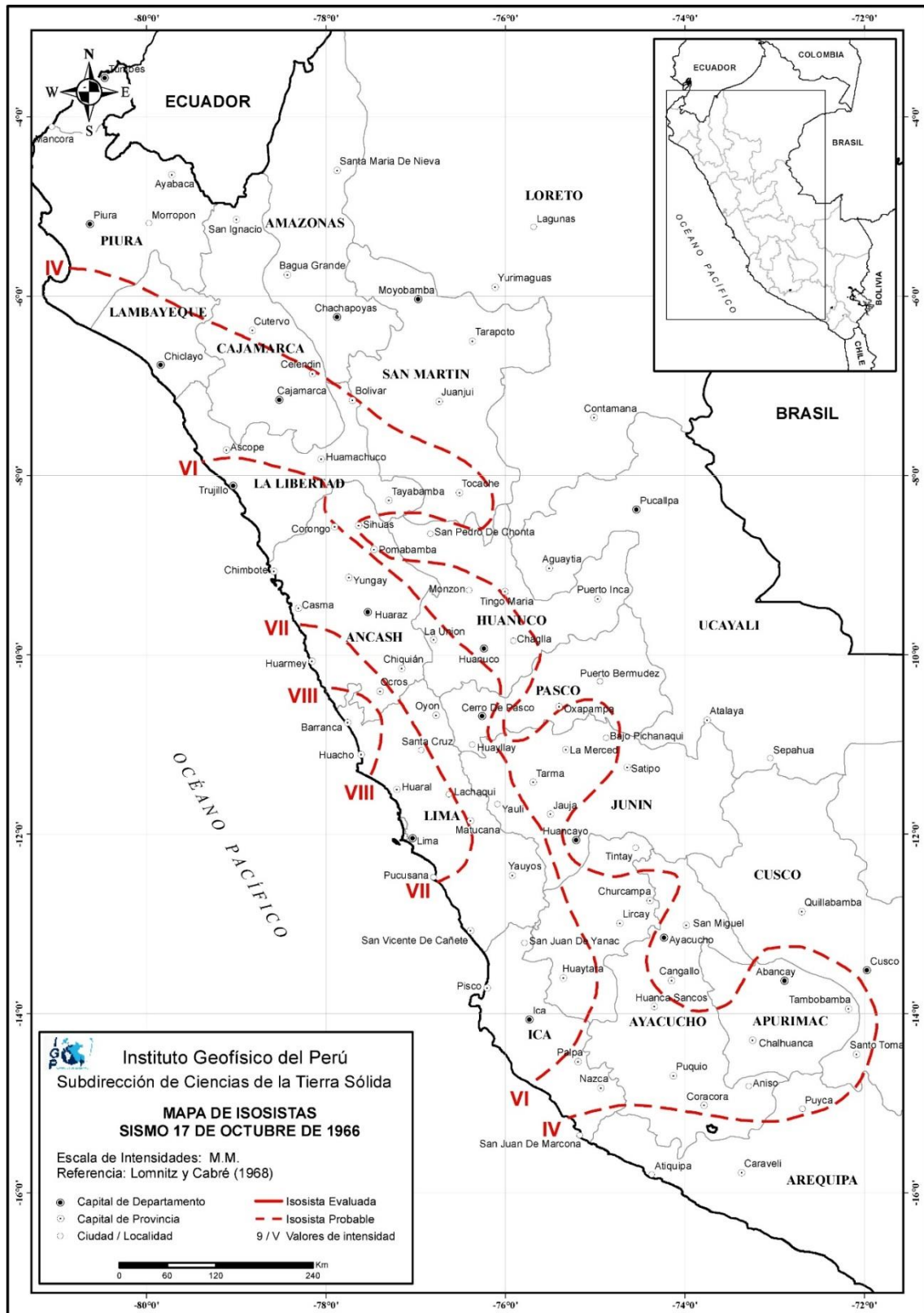


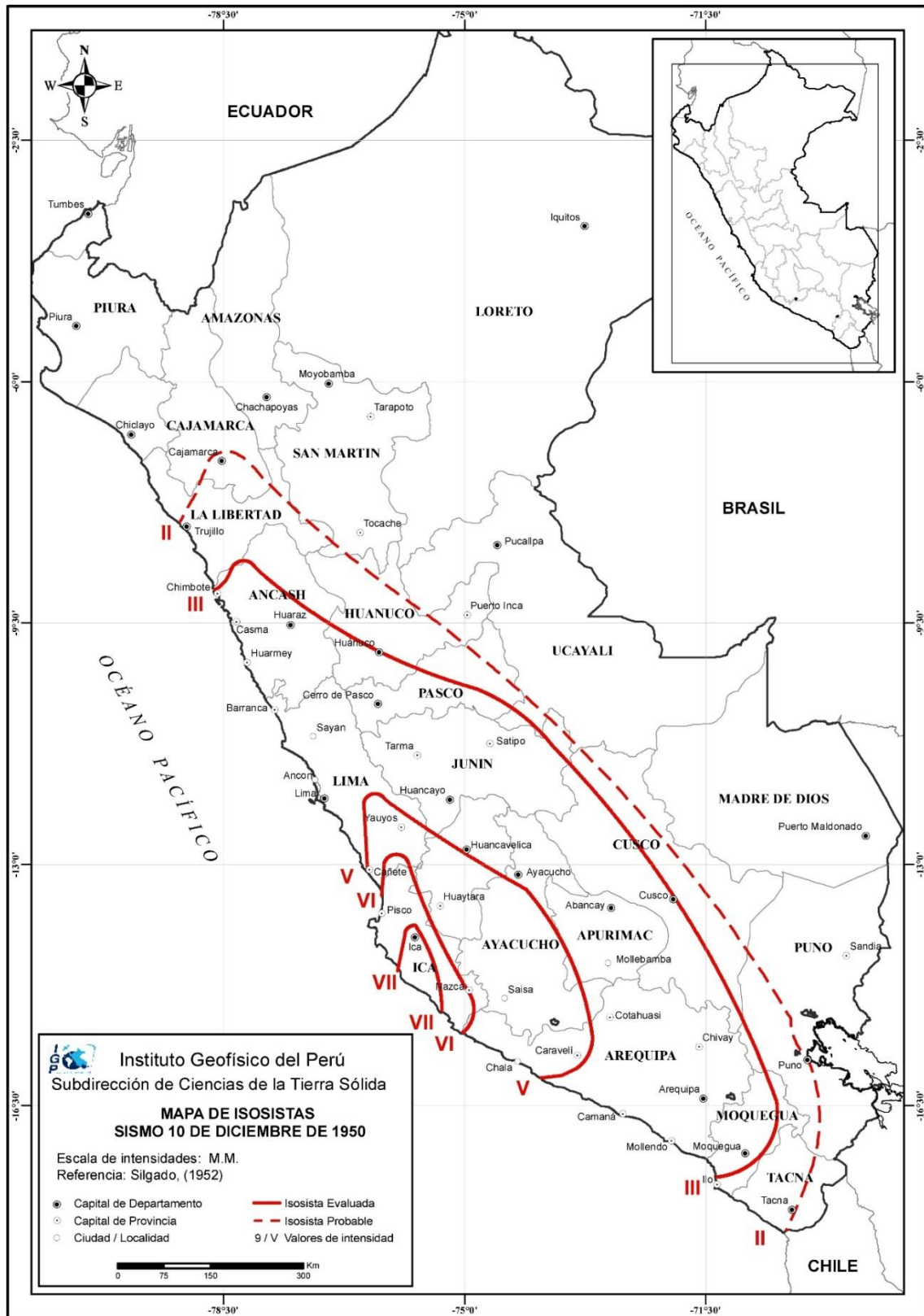




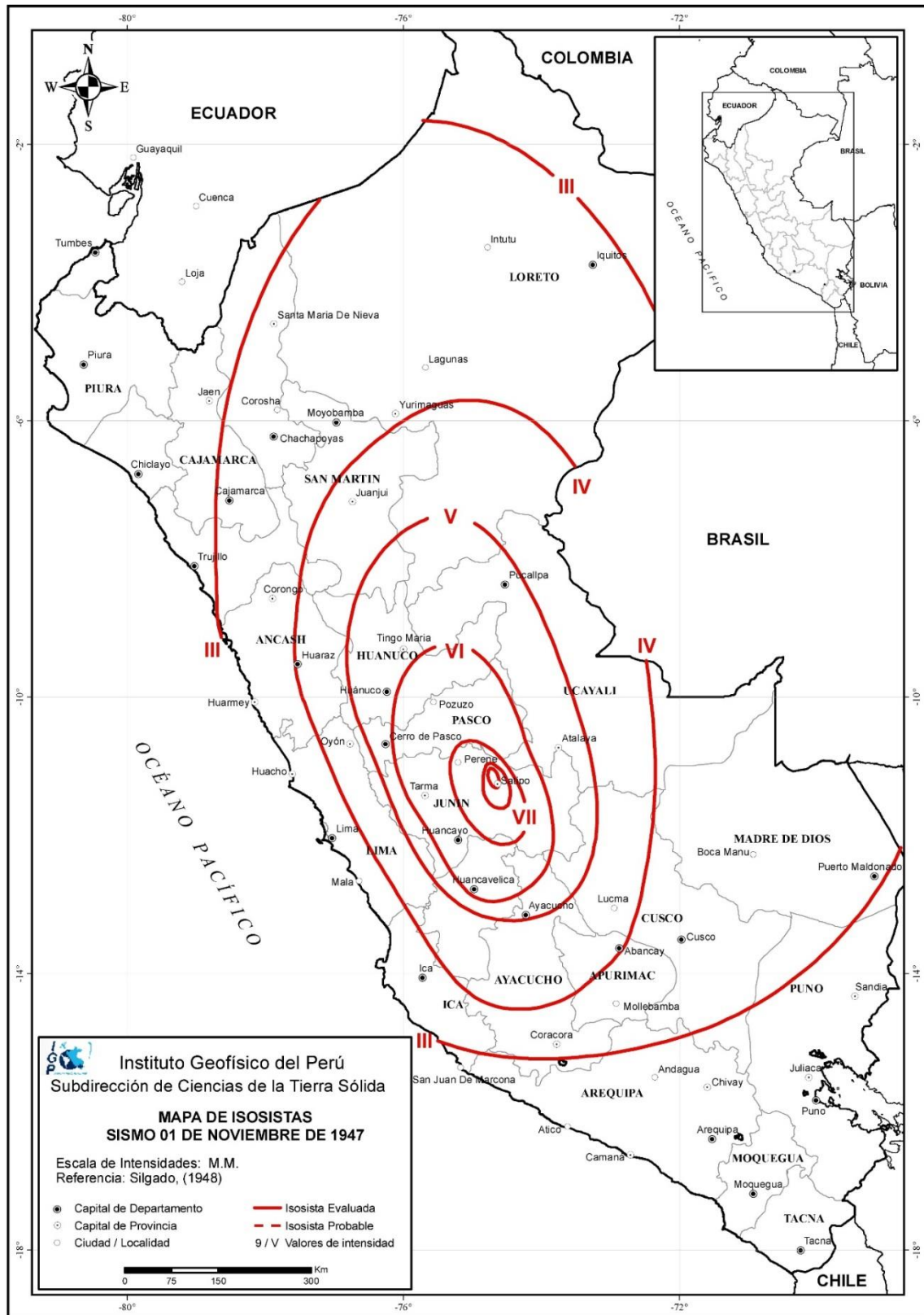


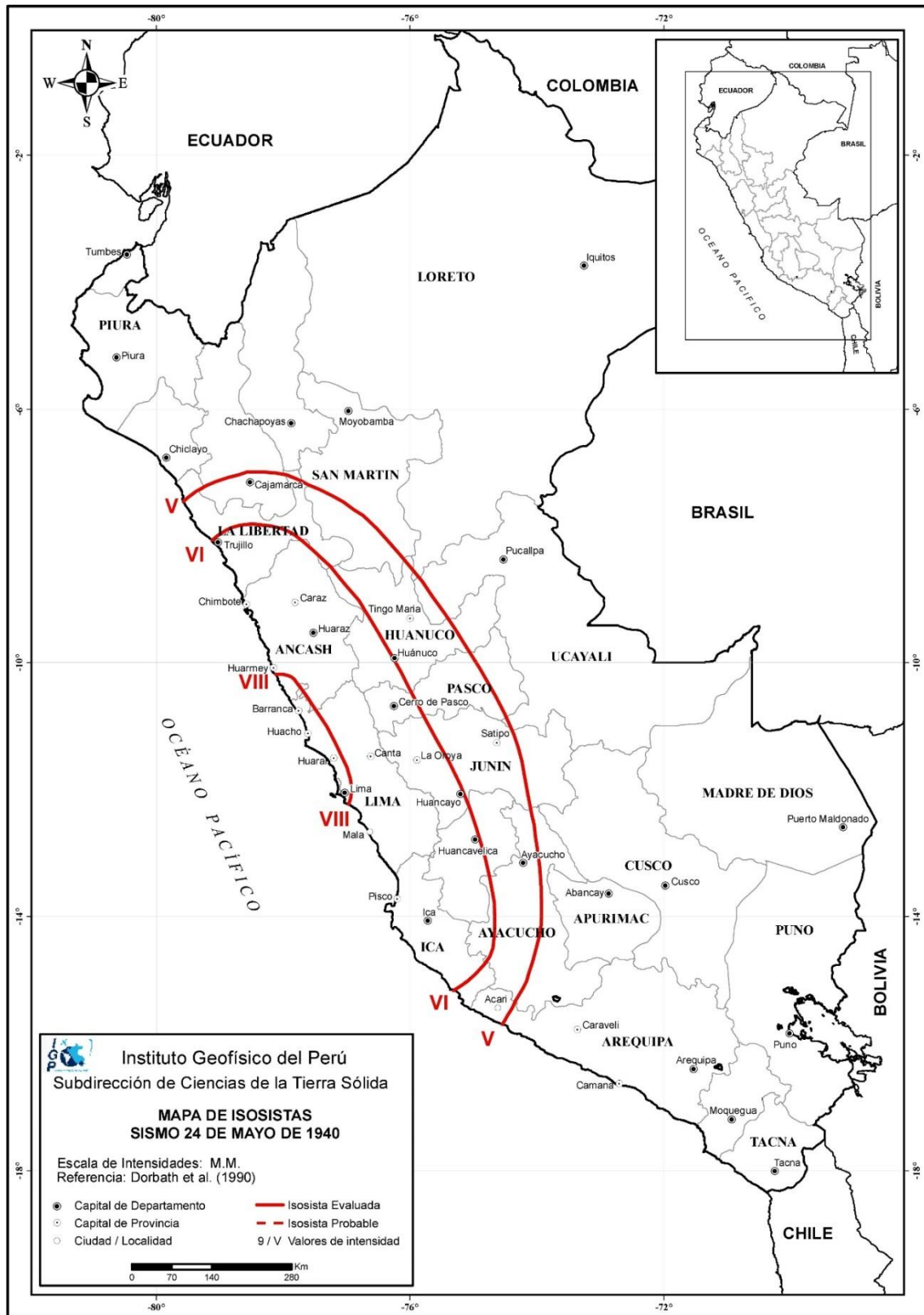


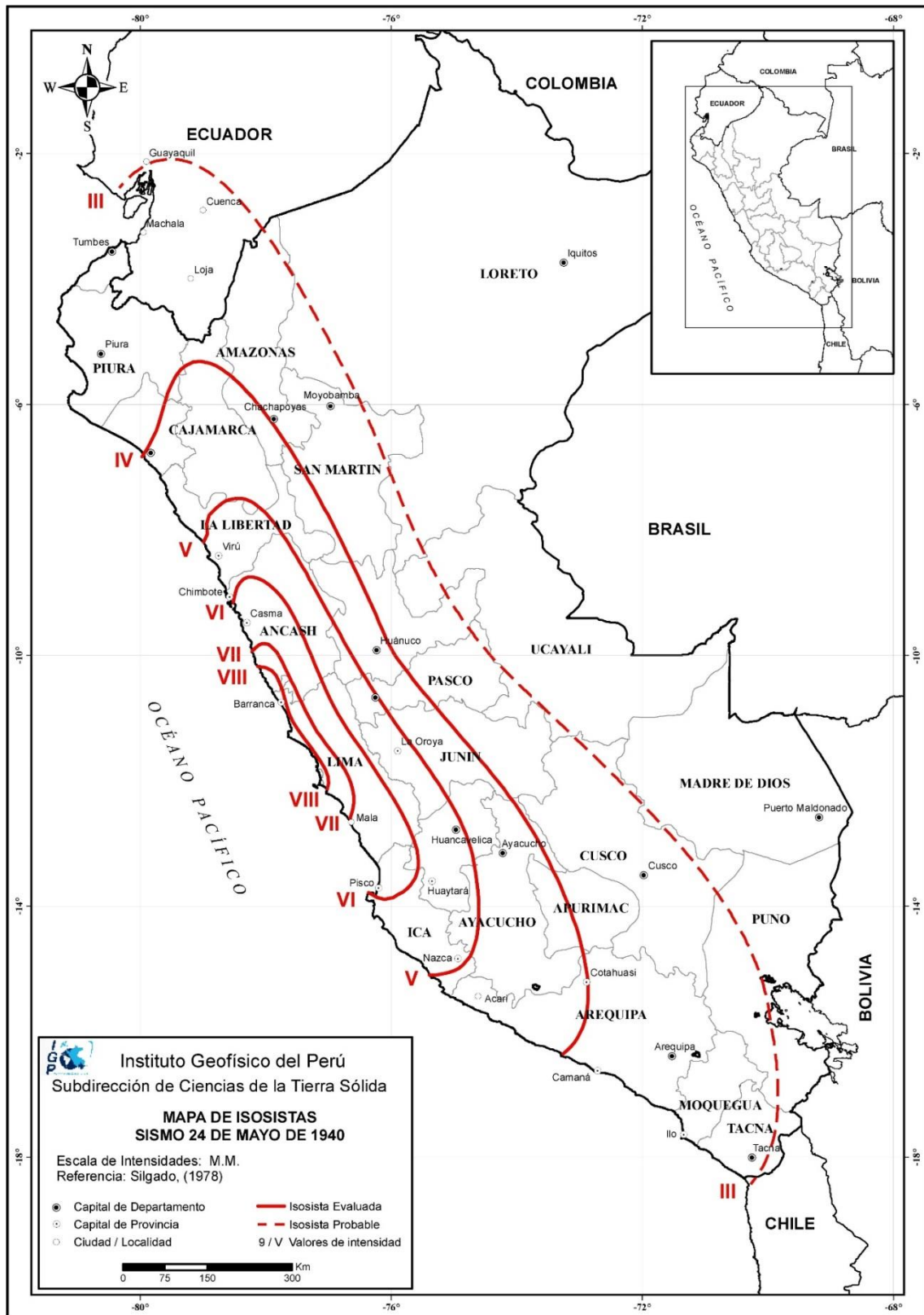


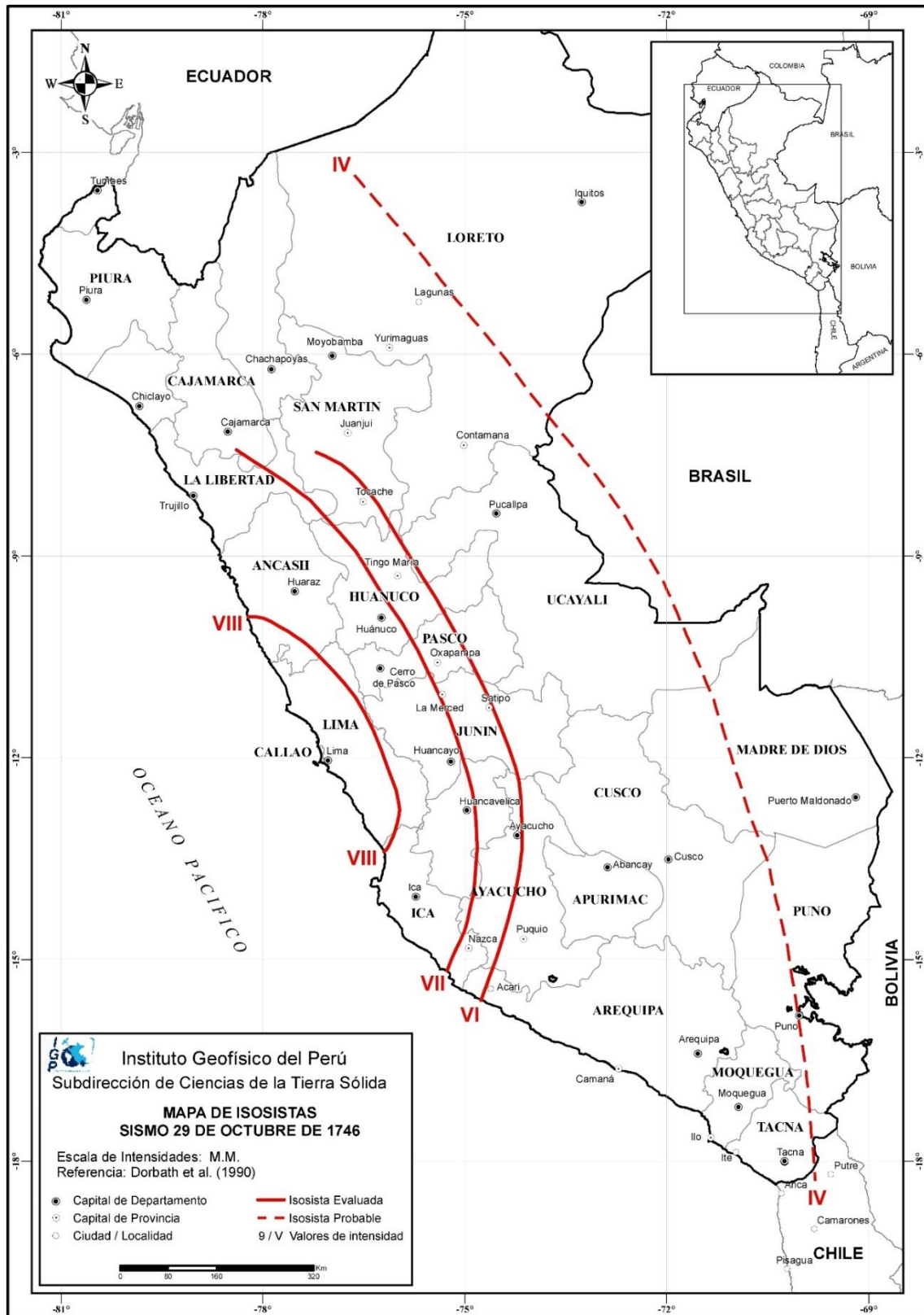




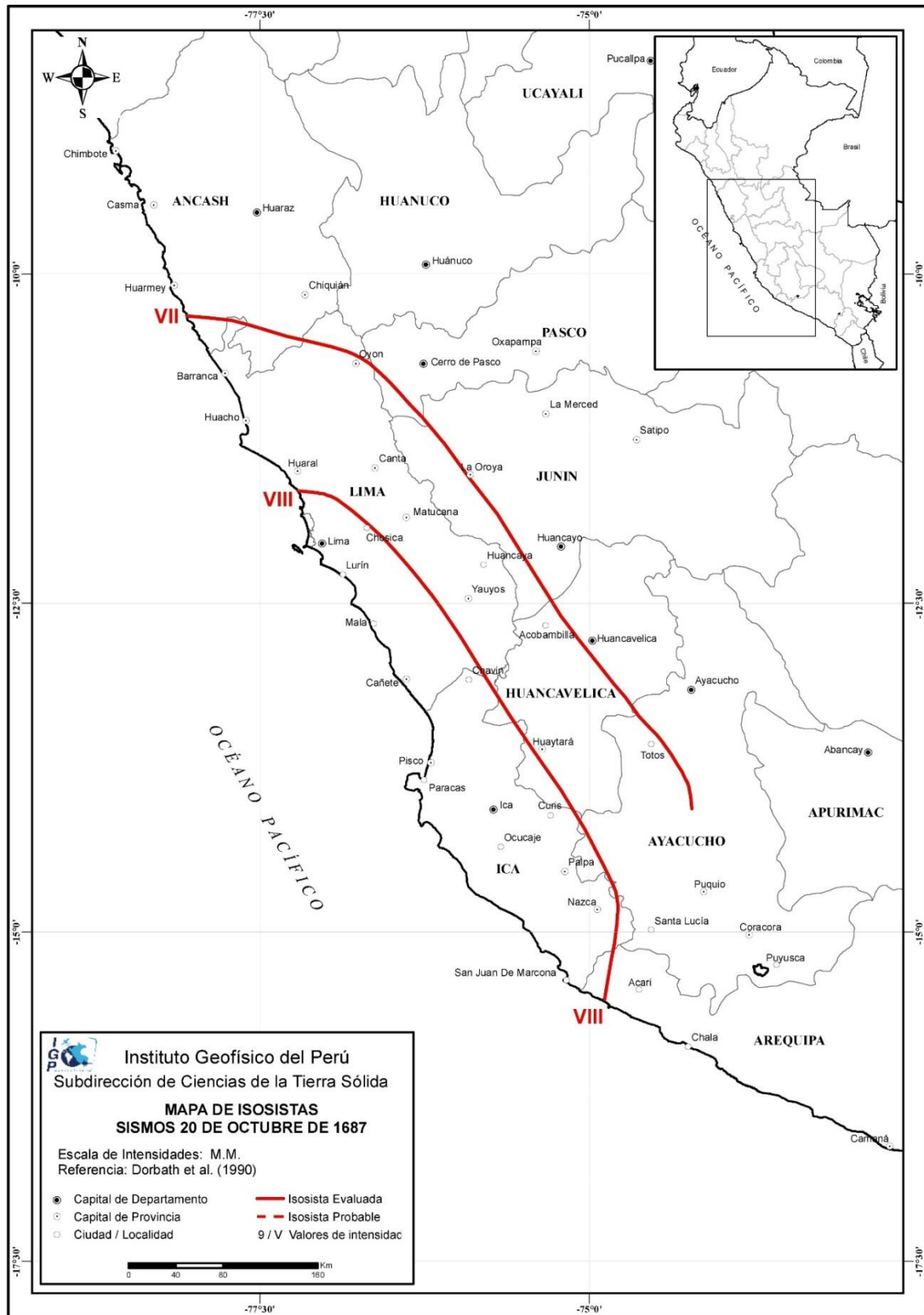


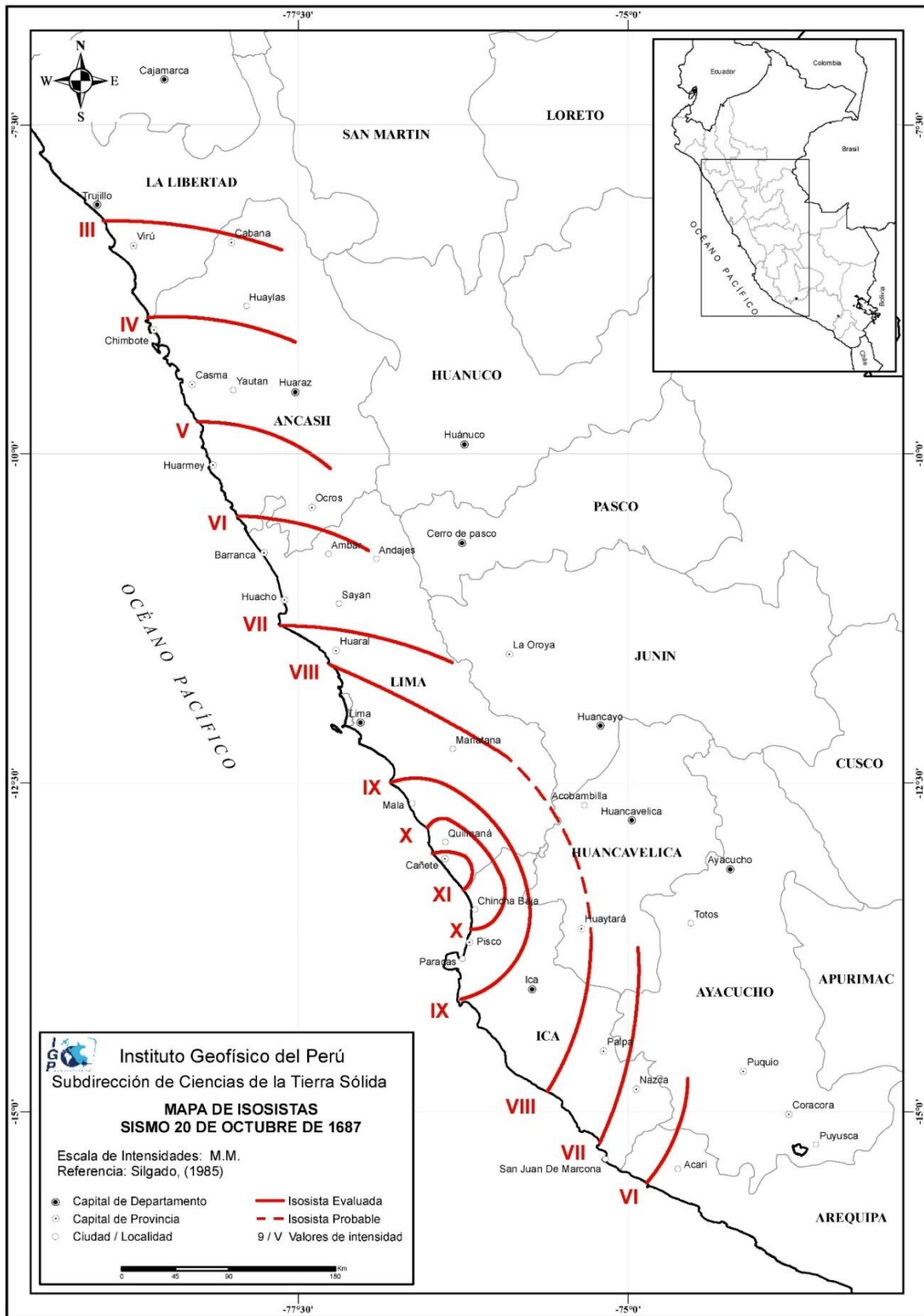


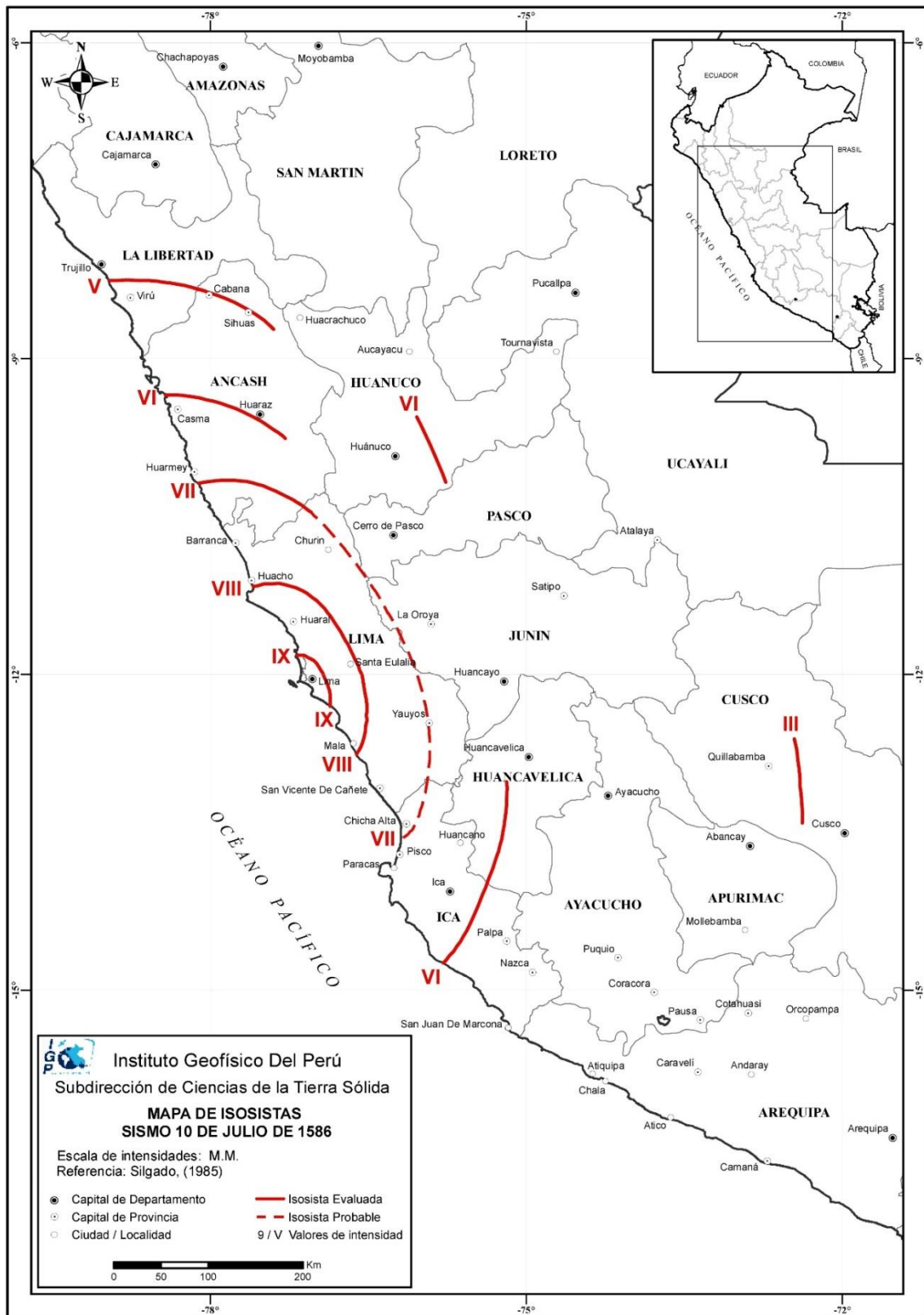












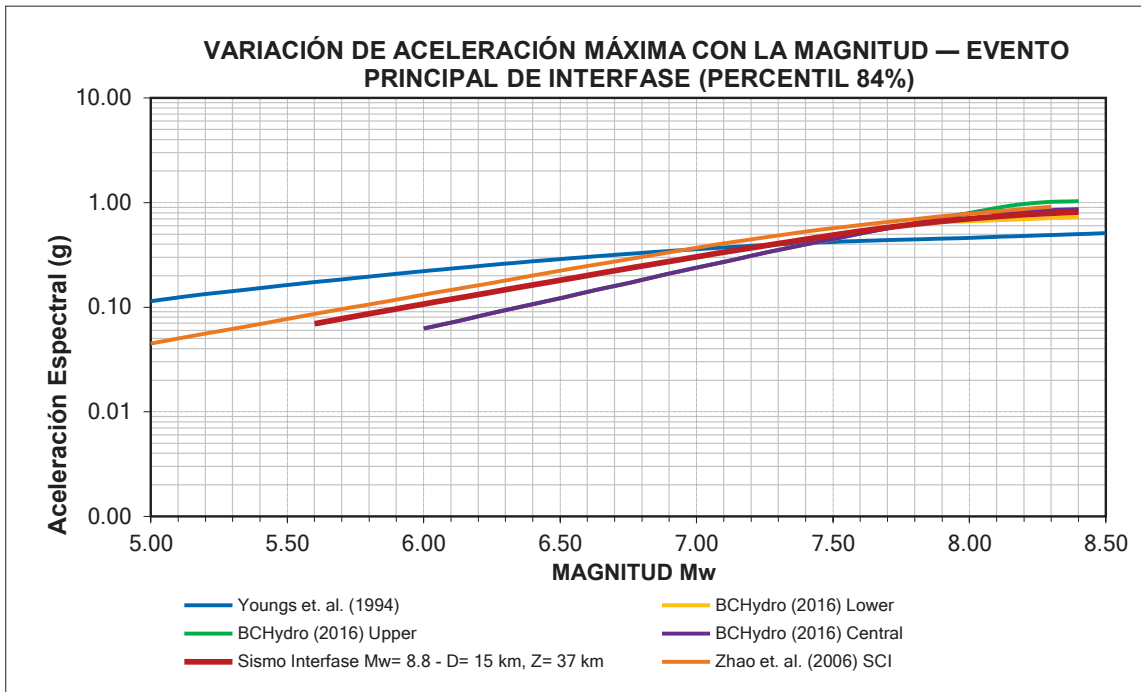
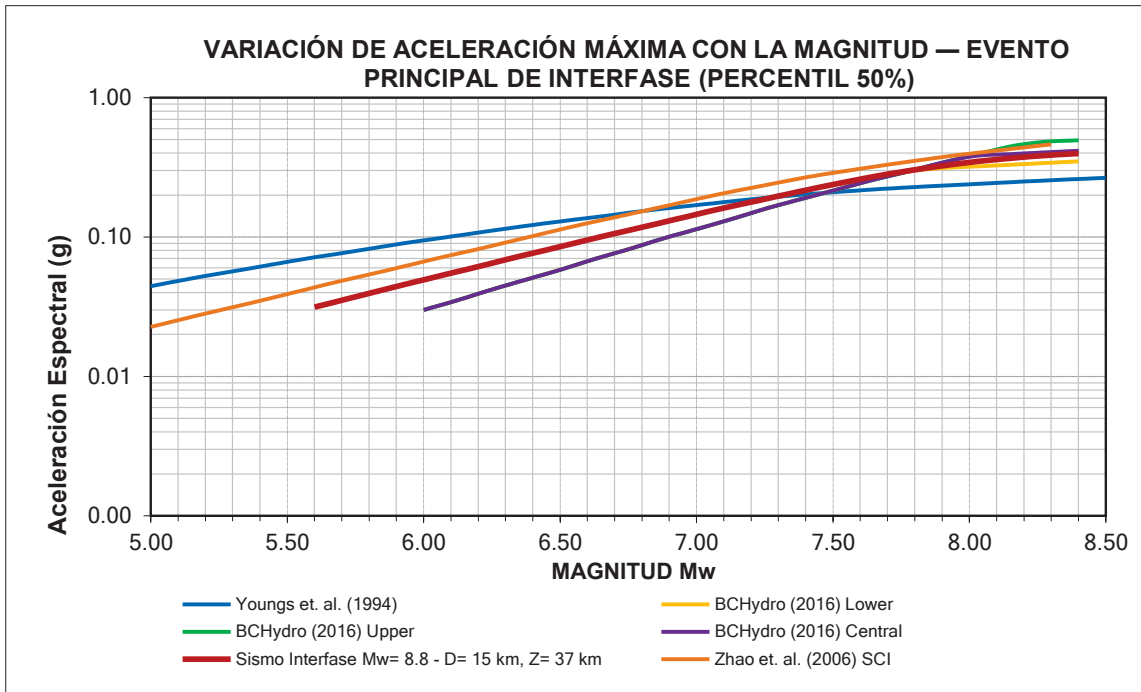
## **Anexo 3**

### **Análisis Determinístico**



## **Anexo 3.1**

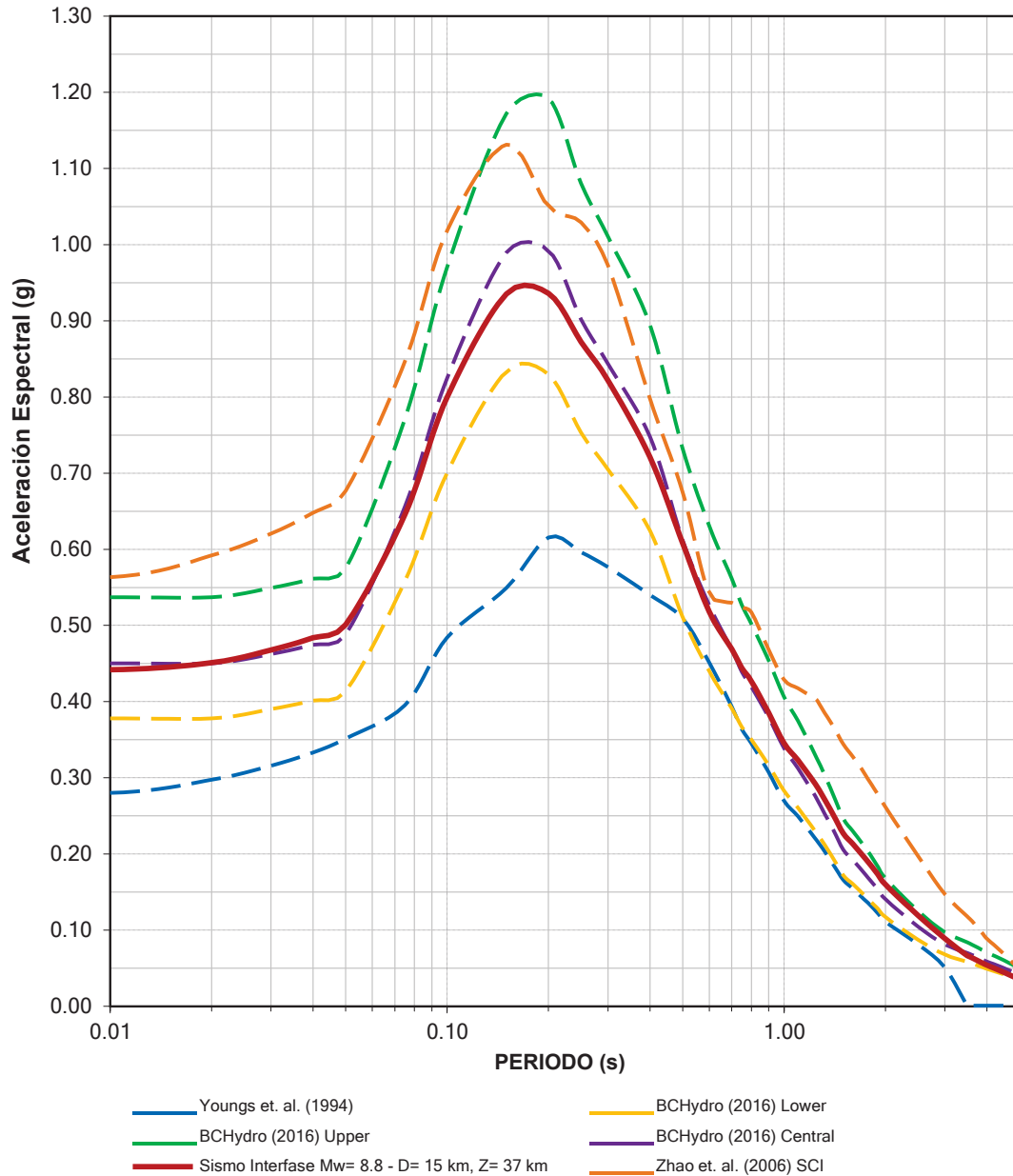
### **Escenarios Principales**



Nota:

- Valores de aceleración espectral en suelo Tipo B ( $V_s > 760$  m/s).
- El espectro promedio mantiene la ponderación empleada en el PSHA.
- Distancia epicentral de 15 km y profundidad de 37 km.

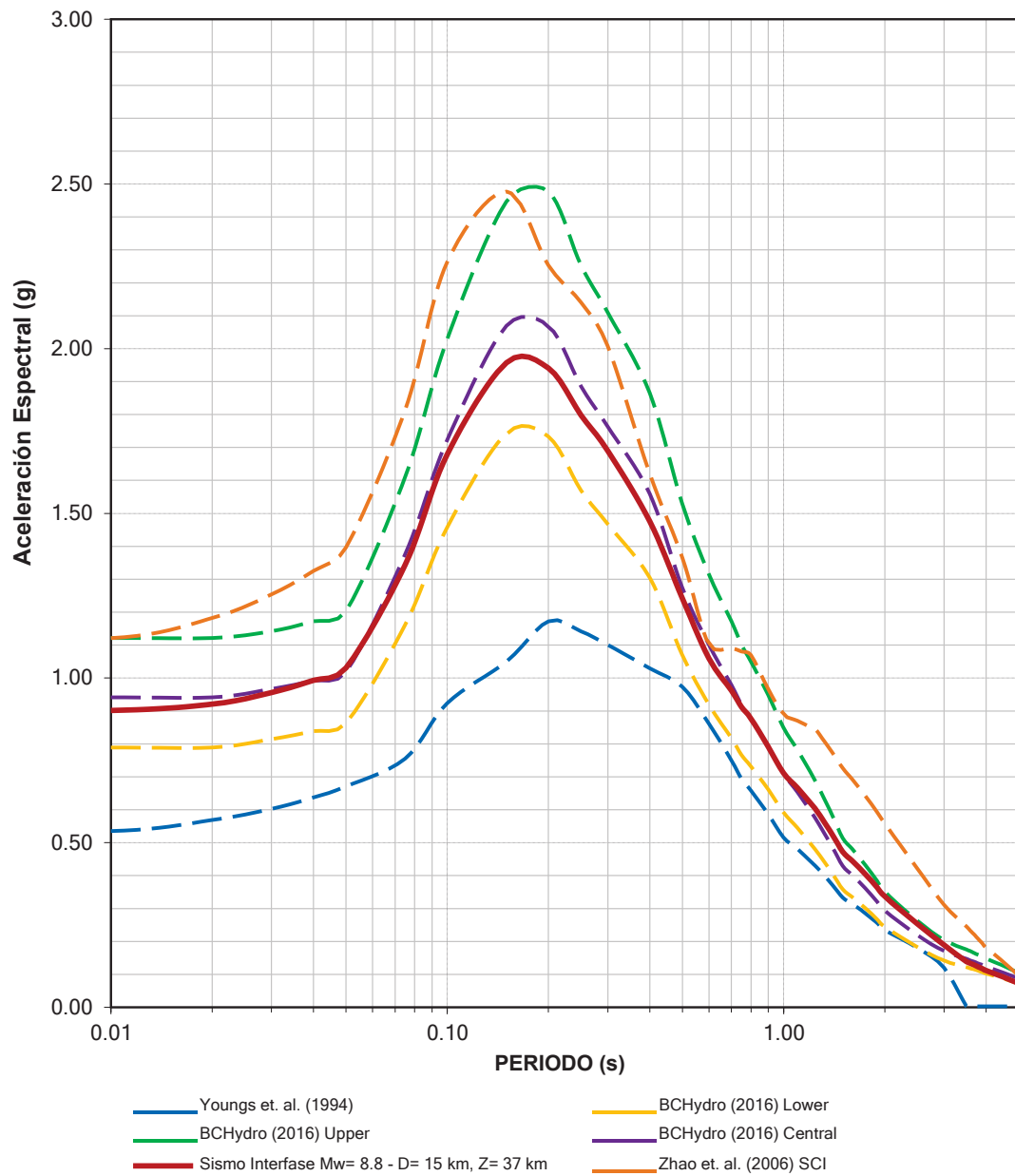
**ESPECTROS SÍSMICOS DETERMINÍSTICOS — EVENTO PRINCIPAL DE INTERFASE (PERCENTIL 50%)**



**Nota:**

- Valores de aceleración espectral en suelo Tipo B ( $V_s > 760$  m/s)
- El espectro promedio mantiene la ponderación empleada en el PSHA.
- Distancia epicentral de 15 km y profundidad de 37 km.

**ESPECTROS SÍSMICOS DETERMINÍSTICOS — EVENTO PRINCIPAL DE INTERFASE (PERCENTIL 84%)**



**Nota:**

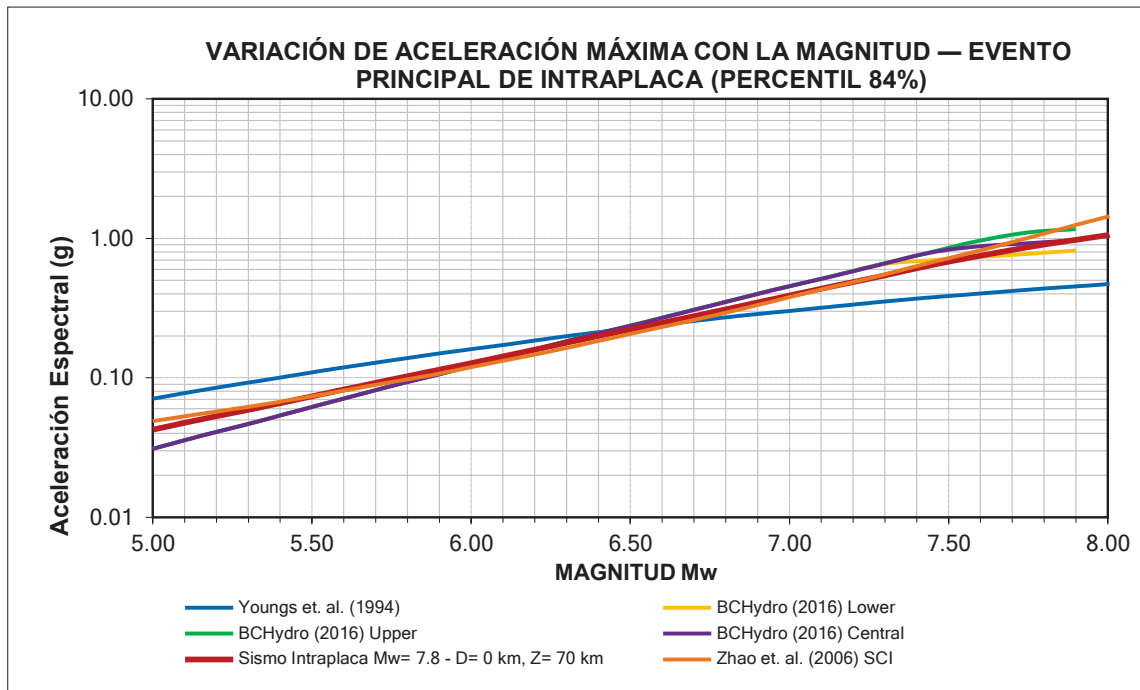
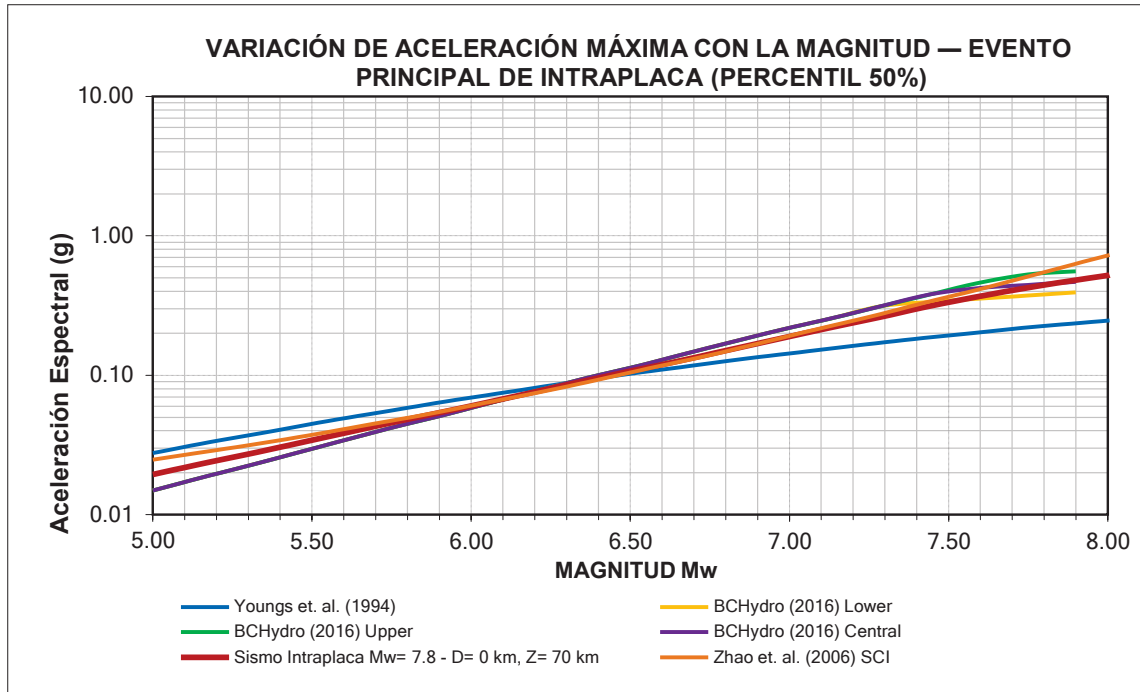
- Valores de aceleración espectral en suelo Tipo B ( $V_s > 760$  m/s)
- El espectro promedio mantiene la ponderación empleada en el PSHA.
- Distancia epicentral de 15 km y profundidad de 37 km.

**Resultados del Análisis determinístico de Peligro Sísmico – Evento Principal de Interfase (P.50)**

Periodo Estructural (s)	Youngs et. al. (1994)	BCHydro (2016) Lower	BCHydro (2016) Central	BCHydro (2016) Upper	Zhao et. al. (2006) SCI	Promedio
0.00	0.280	0.378	0.451	0.537	0.564	0.442
0.01	0.280	0.378	0.451	0.537	0.564	0.442
0.02	0.298	0.378	0.451	0.537	0.592	0.451
0.03	0.316	0.390	0.463	0.549	0.621	0.468
0.04	0.333	0.402	0.475	0.562	0.648	0.484
0.05	0.352	0.414	0.488	0.575	0.677	0.501
0.08	0.396	0.559	0.656	0.772	0.847	0.646
0.10	0.484	0.700	0.825	0.970	1.018	0.800
0.15	0.549	0.834	0.990	1.172	1.131	0.935
0.20	0.616	0.830	0.993	1.193	1.050	0.936
0.25	0.596	0.753	0.902	1.081	1.030	0.872
0.30	0.577	0.705	0.844	1.011	0.973	0.822
0.40	0.540	0.625	0.748	0.895	0.798	0.721
0.50	0.510	0.512	0.613	0.733	0.676	0.609
0.60	0.452	0.440	0.527	0.631	0.541	0.518
0.70	0.393	0.391	0.469	0.562	0.530	0.469
0.75	0.364	0.367	0.439	0.527	0.524	0.444
0.80	0.346	0.351	0.420	0.503	0.518	0.427
0.90	0.308	0.317	0.380	0.455	0.469	0.386
1.00	0.270	0.283	0.339	0.407	0.429	0.346
1.10	0.250	0.261	0.313	0.375	0.418	0.323
1.20	0.228	0.239	0.286	0.343	0.408	0.301
1.25	0.218	0.227	0.273	0.326	0.403	0.290
1.30	0.208	0.217	0.259	0.311	0.390	0.277
1.40	0.187	0.195	0.232	0.278	0.368	0.252
1.50	0.166	0.172	0.206	0.247	0.345	0.227
1.60	0.155	0.161	0.193	0.230	0.328	0.213
1.70	0.144	0.150	0.179	0.215	0.312	0.200
1.80	0.134	0.139	0.166	0.200	0.295	0.187
1.90	0.122	0.128	0.154	0.183	0.278	0.173
2.00	0.111	0.117	0.141	0.168	0.262	0.160
2.50	0.081	0.088	0.105	0.125	0.198	0.119
3.00	0.051	0.068	0.082	0.098	0.148	0.089
3.50	0.001	0.059	0.070	0.084	0.118	0.067
3.60	0.001	0.057	0.068	0.082	0.113	0.064
3.70	0.001	0.055	0.066	0.079	0.107	0.062
3.80	0.001	0.053	0.064	0.076	0.101	0.059
3.90	0.001	0.051	0.061	0.073	0.095	0.056
4.00	0.001	0.049	0.059	0.071	0.089	0.054
4.25	0.001	0.046	0.055	0.066	0.079	0.049
4.50	0.001	0.042	0.050	0.060	0.069	0.045
5.00	0.001	0.035	0.042	0.050	0.048	0.035

**Resultados del Análisis determinístico de Peligro Sísmico – Evento Principal de Interfase (P.84)**

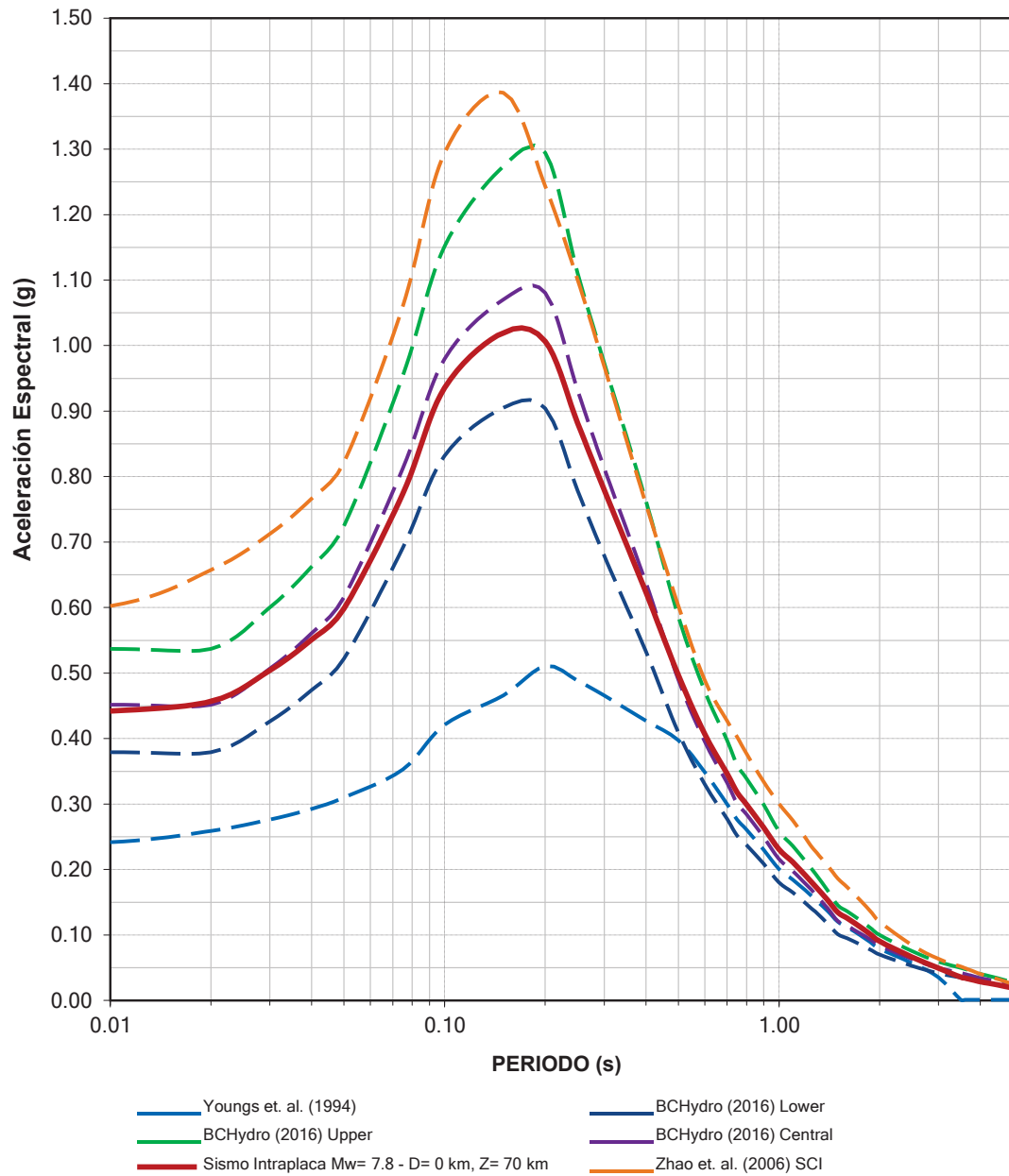
Periodo Estructural (s)	Youngs et. al. (1994)	BCHydro (2016) Lower	BCHydro (2016) Central	BCHydro (2016) Upper	Zhao et. al. (2006) SCI	Promedio
0.00	0.535	0.789	0.941	1.121	1.121	0.902
0.01	0.535	0.789	0.941	1.121	1.121	0.902
0.02	0.569	0.789	0.941	1.121	1.182	0.920
0.03	0.602	0.814	0.966	1.142	1.254	0.956
0.04	0.637	0.839	0.992	1.172	1.325	0.993
0.05	0.671	0.863	1.018	1.203	1.397	1.030
0.08	0.755	1.162	1.376	1.611	1.814	1.344
0.10	0.924	1.458	1.723	2.029	2.263	1.679
0.15	1.050	1.743	2.069	2.446	2.477	1.957
0.20	1.172	1.733	2.069	2.477	2.253	1.941
0.25	1.142	1.570	1.886	2.253	2.141	1.798
0.30	1.101	1.468	1.764	2.110	2.008	1.690
0.40	1.030	1.305	1.560	1.865	1.621	1.476
0.50	0.973	1.070	1.274	1.529	1.366	1.243
0.60	0.861	0.919	1.101	1.315	1.101	1.060
0.70	0.750	0.818	0.979	1.172	1.091	0.962
0.75	0.694	0.767	0.918	1.101	1.081	0.912
0.80	0.659	0.732	0.877	1.050	1.070	0.877
0.90	0.587	0.663	0.793	0.949	0.967	0.792
1.00	0.516	0.592	0.709	0.849	0.890	0.711
1.10	0.481	0.545	0.653	0.782	0.871	0.666
1.20	0.444	0.498	0.597	0.716	0.851	0.621
1.25	0.427	0.476	0.570	0.682	0.842	0.599
1.30	0.409	0.453	0.541	0.648	0.819	0.574
1.40	0.371	0.406	0.485	0.581	0.773	0.523
1.50	0.333	0.359	0.429	0.514	0.727	0.472
1.60	0.314	0.335	0.402	0.481	0.693	0.445
1.70	0.296	0.313	0.375	0.449	0.660	0.418
1.80	0.275	0.291	0.348	0.416	0.626	0.391
1.90	0.256	0.267	0.320	0.383	0.592	0.364
2.00	0.234	0.245	0.293	0.351	0.559	0.336
2.50	0.180	0.183	0.219	0.263	0.422	0.254
3.00	0.120	0.142	0.170	0.204	0.312	0.190
3.50	0.003	0.122	0.147	0.175	0.246	0.139
3.60	0.003	0.118	0.142	0.170	0.232	0.133
3.70	0.003	0.115	0.138	0.164	0.220	0.128
3.80	0.003	0.111	0.133	0.159	0.207	0.122
3.90	0.003	0.107	0.128	0.154	0.195	0.117
4.00	0.003	0.103	0.123	0.148	0.181	0.112
4.25	0.003	0.096	0.114	0.137	0.160	0.102
4.50	0.003	0.088	0.105	0.126	0.139	0.092
5.00	0.003	0.073	0.087	0.104	0.097	0.073



Nota:

- Valores de aceleración espectral en suelo Tipo B ( $V_s > 760$  m/s).
- El espectro promedio mantiene la ponderación empleada en el PSHA.
- Distancia epicentral de 0 km y profundidad de 70 km.

**ESPECTROS SÍSMICOS DETERMINÍSTICOS — EVENTO PRINCIPAL DE INTRAPLACA (PERCENTIL 50%)**

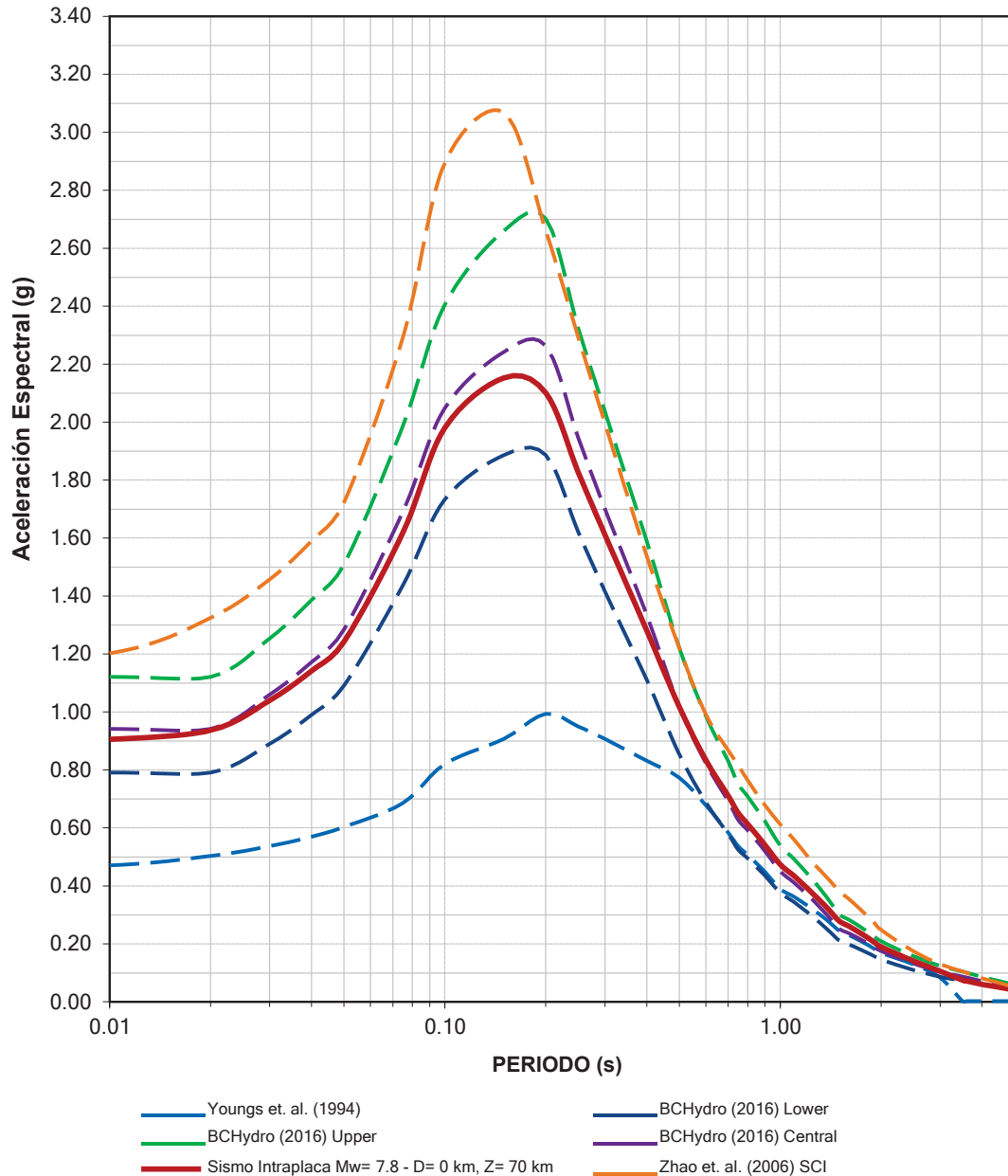


**Nota:**

- Valores de aceleración espectral en suelo Tipo B ( $V_s > 760$  m/s)
- El espectro promedio mantiene la ponderación empleada en el PSHA.
- Distancia epicentral de 0 km y profundidad de 70 km.



**ESPECTROS SÍSMICOS DETERMINÍSTICOS — EVENTO PRINCIPAL DE INTRAPLACA (PERCENTIL 84%)**



**Nota:**

- Valores de aceleración espectral en suelo Tipo B ( $V_s > 760$  m/s)
- El espectro promedio mantiene la ponderación empleada en el PSHA.
- Distancia epicentral de 0 km y profundidad de 70 km.

**Resultados del Análisis determinístico de Peligro Sísmico – Evento Principal de Intraplaca (P.50)**

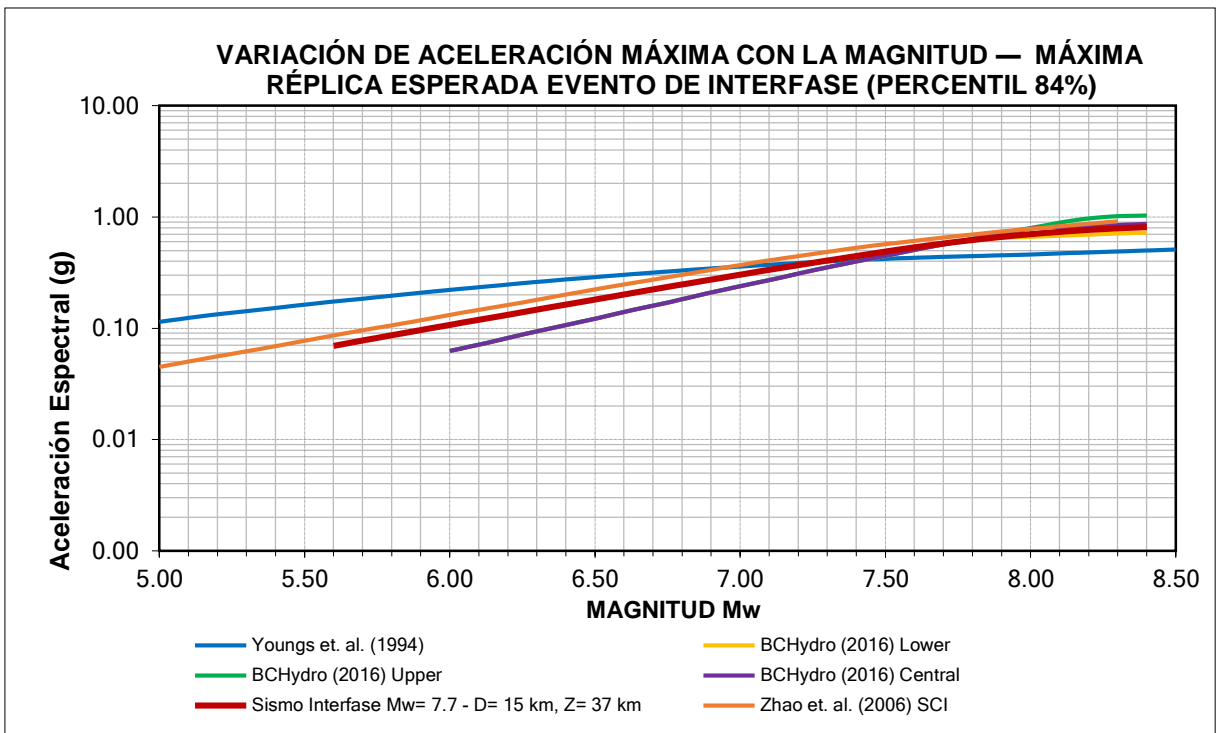
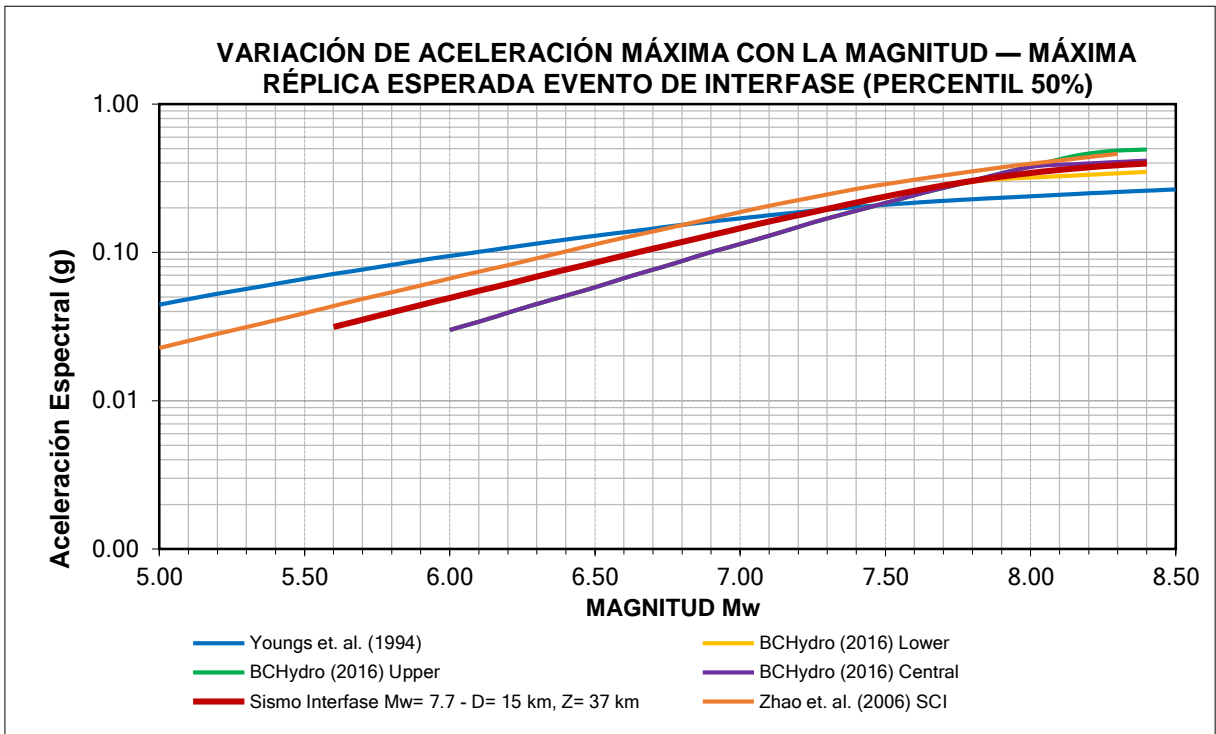
Periodo Estructural (s)	Youngs et. al. (1994)	BCHydro (2016) Lower	BCHydro (2016) Central	BCHydro (2016) Upper	Zhao et. al. (2006) SCI	Ponderado
0.00	0.224	0.379	0.452	0.537	0.547	0.428
0.01	0.242	0.379	0.452	0.537	0.602	0.442
0.02	0.259	0.379	0.452	0.537	0.657	0.457
0.03	0.276	0.426	0.507	0.600	0.713	0.504
0.04	0.293	0.474	0.561	0.663	0.767	0.551
0.05	0.310	0.522	0.616	0.725	0.822	0.599
0.08	0.353	0.691	0.812	0.954	1.060	0.774
0.10	0.421	0.832	0.980	1.152	1.295	0.936
0.15	0.466	0.905	1.070	1.274	1.386	1.020
0.20	0.511	0.904	1.081	1.295	1.244	1.007
0.25	0.488	0.779	0.932	1.111	1.101	0.882
0.30	0.466	0.680	0.813	0.975	0.969	0.781
0.40	0.427	0.533	0.638	0.764	0.758	0.624
0.50	0.398	0.410	0.490	0.587	0.603	0.498
0.60	0.349	0.330	0.396	0.473	0.489	0.407
0.70	0.300	0.277	0.332	0.398	0.427	0.347
0.75	0.276	0.252	0.301	0.360	0.403	0.318
0.80	0.261	0.238	0.284	0.339	0.377	0.300
0.90	0.230	0.209	0.250	0.300	0.334	0.265
1.00	0.201	0.180	0.216	0.259	0.301	0.231
1.10	0.185	0.165	0.198	0.236	0.275	0.212
1.20	0.168	0.149	0.178	0.213	0.249	0.191
1.25	0.160	0.141	0.169	0.202	0.235	0.181
1.30	0.152	0.134	0.159	0.191	0.225	0.172
1.40	0.137	0.117	0.141	0.168	0.206	0.154
1.50	0.120	0.101	0.121	0.146	0.187	0.135
1.60	0.112	0.095	0.114	0.137	0.173	0.126
1.70	0.104	0.089	0.106	0.127	0.160	0.117
1.80	0.095	0.083	0.099	0.118	0.147	0.108
1.90	0.087	0.076	0.091	0.109	0.134	0.099
2.00	0.079	0.070	0.084	0.100	0.120	0.091
2.50	0.057	0.053	0.063	0.076	0.085	0.067
3.00	0.035	0.041	0.050	0.059	0.064	0.050
3.50	0.001	0.035	0.042	0.050	0.052	0.036
3.60	0.001	0.034	0.040	0.048	0.050	0.035
3.70	0.001	0.032	0.039	0.046	0.047	0.033
3.80	0.001	0.031	0.037	0.045	0.045	0.032
3.90	0.001	0.030	0.036	0.043	0.043	0.030
4.00	0.001	0.029	0.034	0.041	0.040	0.029
4.25	0.001	0.026	0.032	0.038	0.037	0.027
4.50	0.001	0.024	0.029	0.035	0.033	0.024
5.00	0.001	0.020	0.024	0.028	0.025	0.020

**Resultados del Análisis determinístico de Peligro Sísmico – Evento Principal de Intraplaca (P.84)**

Periodo Estructural (s)	Youngs et. al. (1994)	BCHydro (2016) Lower	BCHydro (2016) Central	BCHydro (2016) Upper	Zhao et. al. (2006) SCI	Ponderado
0.00	0.437	0.791	0.942	1.121	1.081	0.874
0.01	0.471	0.791	0.942	1.121	1.203	0.906
0.02	0.504	0.791	0.942	1.121	1.325	0.937
0.03	0.537	0.890	1.060	1.254	1.458	1.040
0.04	0.570	0.990	1.172	1.386	1.590	1.142
0.05	0.603	1.091	1.284	1.509	1.723	1.242
0.08	0.686	1.437	1.692	1.988	2.294	1.619
0.10	0.821	1.733	2.049	2.406	2.895	1.981
0.15	0.907	1.886	2.243	2.661	3.068	2.153
0.20	0.994	1.886	2.263	2.701	2.661	2.101
0.25	0.950	1.621	1.947	2.324	2.294	1.827
0.30	0.907	1.417	1.702	2.039	1.998	1.613
0.40	0.832	1.111	1.335	1.590	1.539	1.282
0.50	0.774	0.855	1.019	1.223	1.223	1.019
0.60	0.679	0.689	0.825	0.988	0.993	0.835
0.70	0.584	0.579	0.693	0.831	0.869	0.711
0.75	0.537	0.525	0.628	0.751	0.818	0.652
0.80	0.508	0.495	0.592	0.709	0.766	0.614
0.90	0.450	0.436	0.522	0.625	0.680	0.543
1.00	0.390	0.377	0.452	0.540	0.614	0.475
1.10	0.363	0.345	0.412	0.493	0.561	0.435
1.20	0.334	0.311	0.372	0.445	0.507	0.394
1.25	0.320	0.295	0.353	0.422	0.480	0.374
1.30	0.306	0.278	0.332	0.399	0.461	0.355
1.40	0.276	0.245	0.293	0.351	0.422	0.317
1.50	0.246	0.212	0.253	0.303	0.382	0.279
1.60	0.231	0.199	0.238	0.284	0.357	0.262
1.70	0.216	0.186	0.222	0.266	0.329	0.244
1.80	0.201	0.172	0.206	0.247	0.303	0.226
1.90	0.186	0.159	0.191	0.228	0.276	0.208
2.00	0.169	0.146	0.175	0.209	0.249	0.190
2.50	0.129	0.110	0.133	0.158	0.175	0.141
3.00	0.084	0.087	0.104	0.124	0.130	0.106
3.50	0.003	0.073	0.088	0.105	0.106	0.075
3.60	0.003	0.070	0.084	0.101	0.101	0.072
3.70	0.003	0.068	0.081	0.097	0.096	0.069
3.80	0.003	0.065	0.078	0.093	0.091	0.066
3.90	0.003	0.062	0.075	0.089	0.086	0.063
4.00	0.003	0.060	0.071	0.086	0.081	0.060
4.25	0.003	0.055	0.066	0.079	0.074	0.055
4.50	0.003	0.050	0.060	0.072	0.066	0.050
5.00	0.003	0.041	0.049	0.059	0.051	0.041

## **Anexo 3.2**

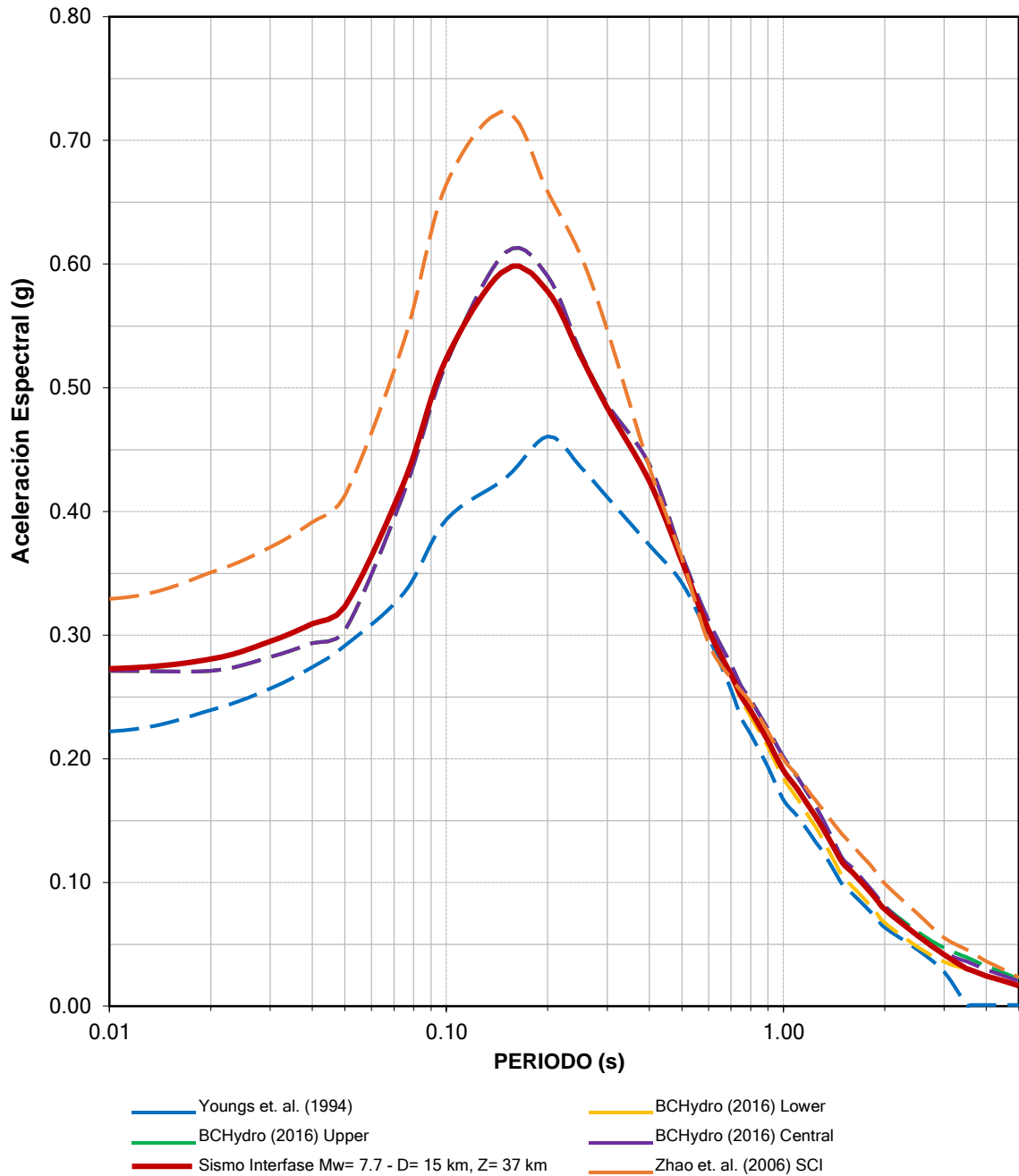
### **Máxima Réplica Esperada**



**Nota:**

- Valores de aceleración espectral en suelo Tipo B ( $V_s > 760$  m/s).
- El espectro promedio mantiene la ponderación empleada en el PSHA.
- Distancia epicentral de 15 km y profundidad de 37 km.

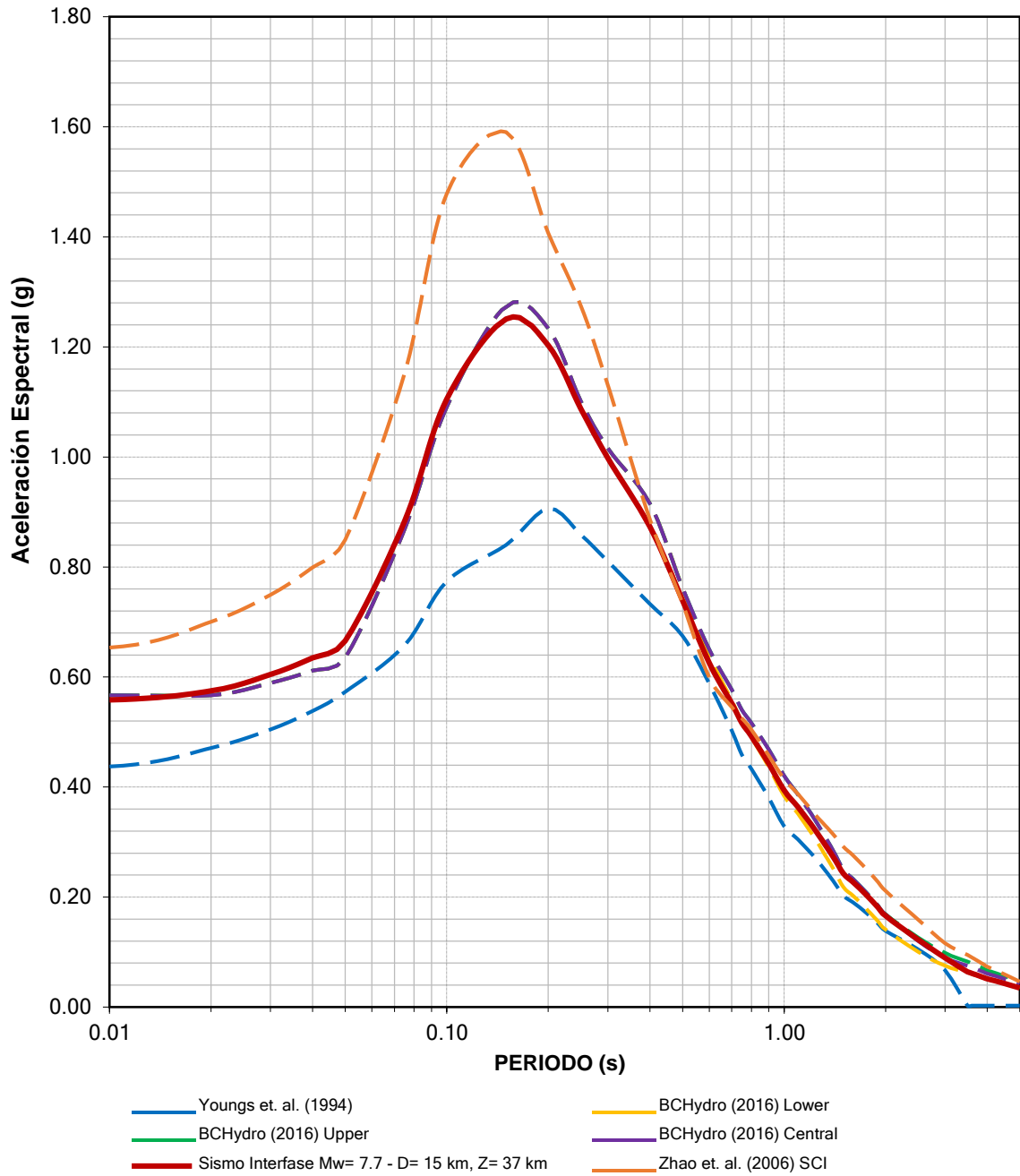
**ESPECTROS SÍSMICOS DETERMINÍSTICOS — MÁXIMA RÉPLICA ESPERADA EVENTO DE INTERFASE (PERCENTIL 50%)**



**Nota:**

- Valores de aceleración espectral en suelo Tipo B ( $V_s > 760$  m/s)
- El espectro promedio mantiene la ponderación empleada en el PSHA.
- Distancia epicentral de 15 km y profundidad de 37 km.

**ESPECTROS SÍSMICOS DETERMINÍSTICOS — MÁXIMA RÉPLICA ESPERADA EVENTO DE INTERFASE (PERCENTIL 84%)**



Nota:

- Valores de aceleración espectral en suelo Tipo B ( $V_s > 760$  m/s)
- El espectro promedio mantiene la ponderación empleada en el PSHA.
- Distancia epicentral de 15 km y profundidad de 37 km.

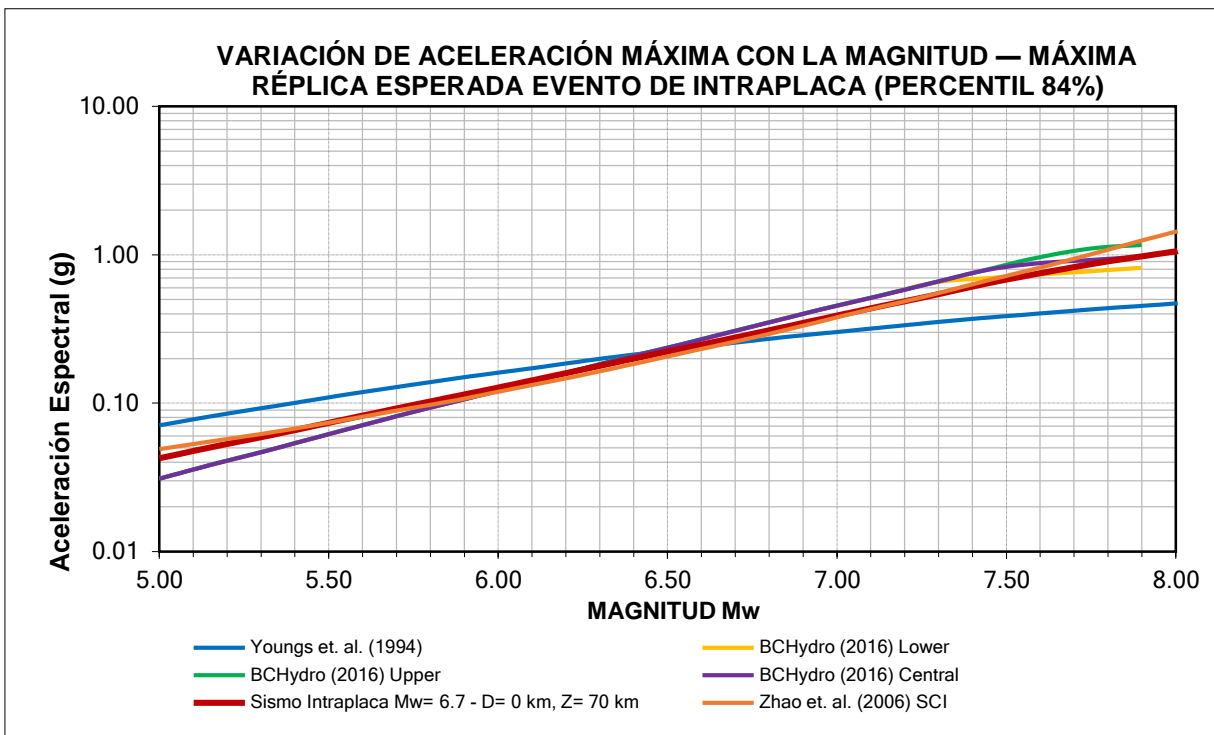
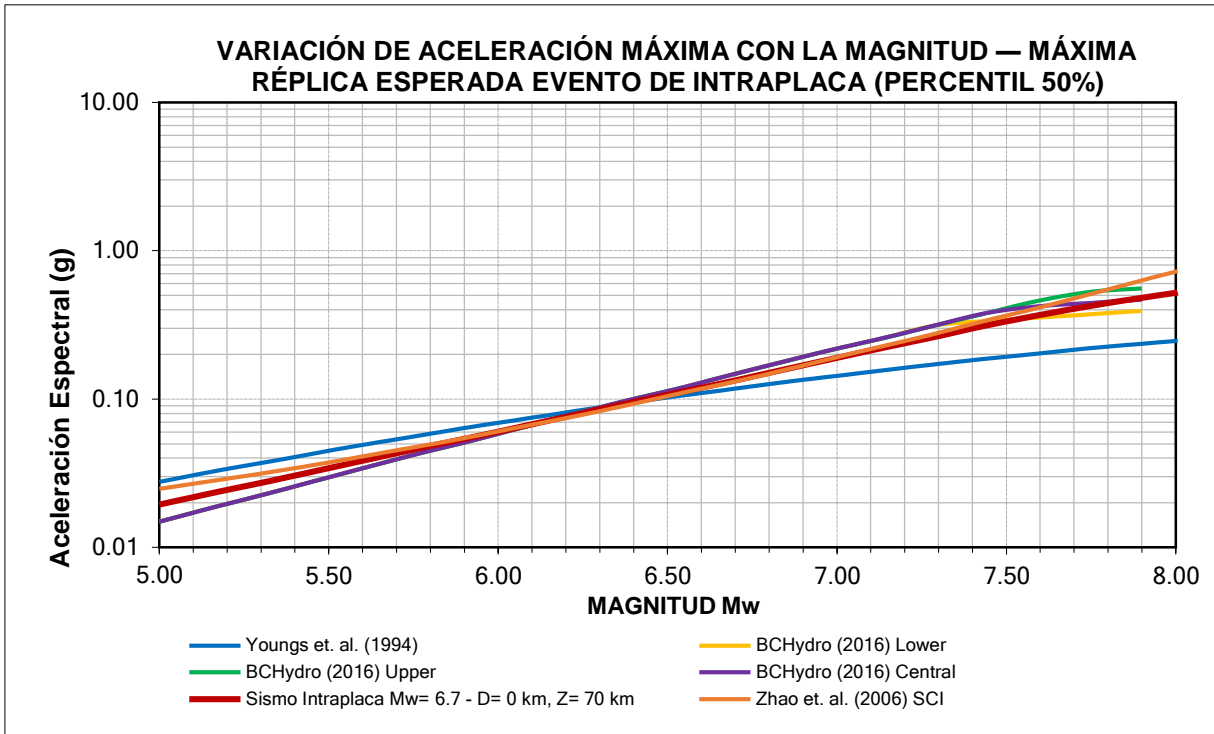
**Resultados del Análisis determinístico de Peligro Sísmico – Máxima Réplica Esperada  
Evento de Interfase (P.50)**

Periodo Estructural (s)	Youngs et. al. (1994)	BCHydro (2016) Lower	BCHydro (2016) Central	BCHydro (2016) Upper	Zhao et. al. (2006) SCI	Promedio
0.00	0.222	0.271	0.271	0.271	0.329	0.273
0.01	0.222	0.271	0.271	0.271	0.329	0.273
0.02	0.240	0.271	0.271	0.271	0.351	0.281
0.03	0.257	0.282	0.282	0.282	0.371	0.295
0.04	0.274	0.294	0.294	0.294	0.391	0.309
0.05	0.292	0.304	0.304	0.304	0.413	0.323
0.08	0.334	0.416	0.416	0.416	0.538	0.424
0.10	0.393	0.520	0.520	0.520	0.665	0.524
0.15	0.427	0.610	0.610	0.610	0.724	0.596
0.20	0.461	0.590	0.590	0.590	0.659	0.578
0.25	0.436	0.529	0.529	0.529	0.608	0.526
0.30	0.412	0.487	0.487	0.487	0.547	0.484
0.40	0.373	0.438	0.438	0.438	0.436	0.425
0.50	0.343	0.365	0.365	0.365	0.363	0.360
0.60	0.299	0.306	0.312	0.312	0.294	0.304
0.70	0.256	0.267	0.276	0.276	0.265	0.268
0.75	0.233	0.248	0.259	0.259	0.255	0.251
0.80	0.220	0.234	0.248	0.248	0.246	0.239
0.90	0.194	0.210	0.224	0.224	0.222	0.215
1.00	0.167	0.185	0.202	0.202	0.200	0.191
1.10	0.154	0.168	0.186	0.186	0.187	0.176
1.20	0.140	0.152	0.169	0.169	0.172	0.160
1.25	0.133	0.145	0.161	0.161	0.166	0.153
1.30	0.126	0.137	0.153	0.153	0.160	0.146
1.40	0.112	0.120	0.136	0.136	0.149	0.130
1.50	0.098	0.105	0.119	0.119	0.139	0.116
1.60	0.091	0.097	0.112	0.112	0.130	0.109
1.70	0.084	0.090	0.104	0.104	0.122	0.101
1.80	0.077	0.082	0.096	0.096	0.115	0.093
1.90	0.071	0.075	0.088	0.088	0.107	0.086
2.00	0.064	0.067	0.081	0.081	0.099	0.078
2.50	0.046	0.048	0.058	0.060	0.075	0.057
3.00	0.028	0.036	0.043	0.047	0.055	0.042
3.50	0.001	0.030	0.036	0.040	0.046	0.031
3.60	0.001	0.029	0.035	0.038	0.044	0.029
3.70	0.001	0.028	0.033	0.037	0.042	0.028
3.80	0.001	0.027	0.032	0.035	0.040	0.027
3.90	0.001	0.026	0.031	0.034	0.038	0.026
4.00	0.001	0.024	0.029	0.032	0.036	0.025
4.25	0.001	0.023	0.027	0.030	0.033	0.023
4.50	0.001	0.021	0.025	0.027	0.030	0.021
5.00	0.001	0.017	0.020	0.022	0.023	0.017



**Resultados del Análisis determinístico de Peligro Sísmico – Máxima Réplica Esperada  
Evento de Interfase (P.84)**

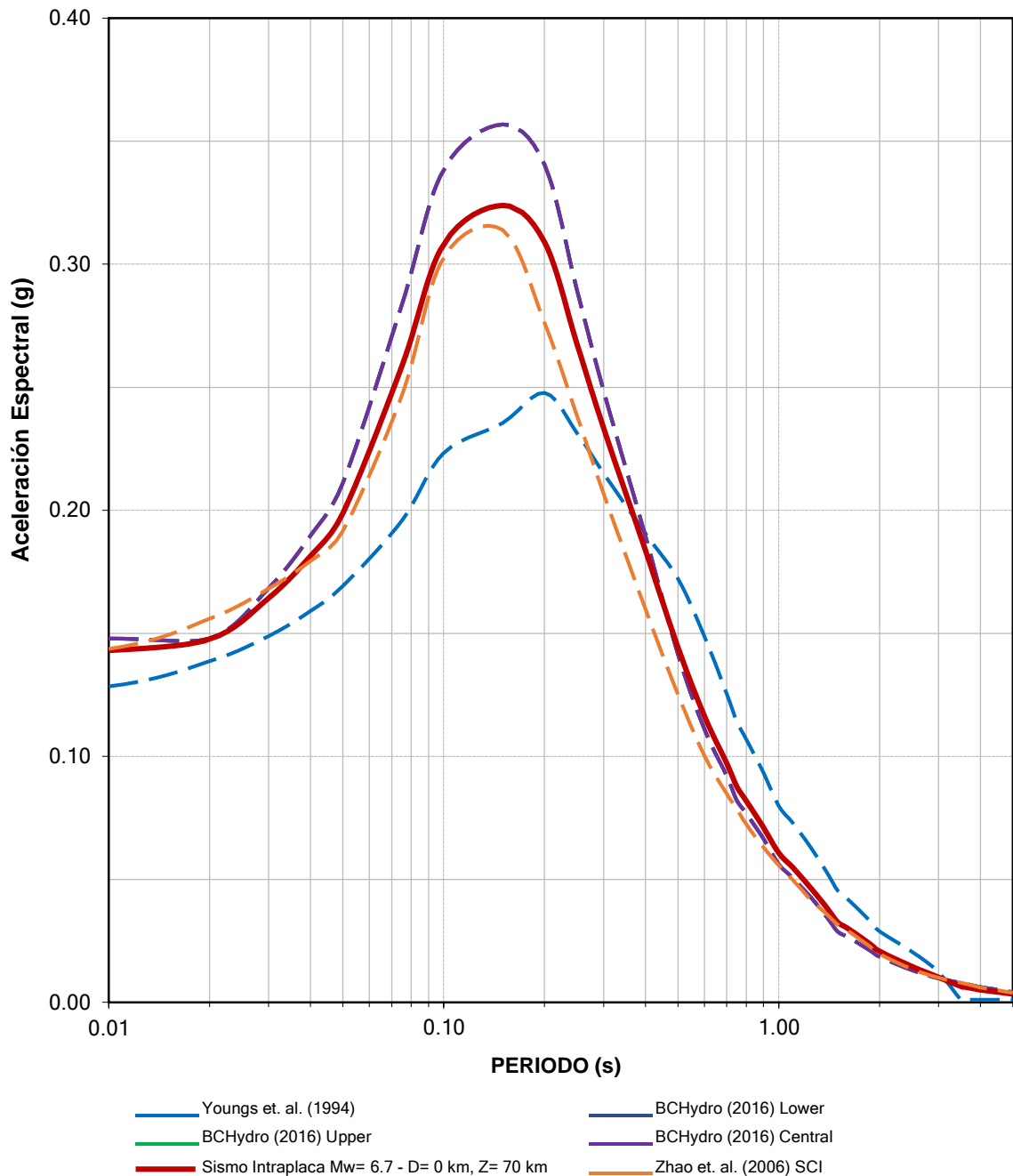
Periodo Estructural (s)	Youngs et. al. (1994)	BCHydro (2016) Lower	BCHydro (2016) Central	BCHydro (2016) Upper	Zhao et. al. (2006) SCI	Promedio
0.00	0.437	0.567	0.567	0.567	0.653	0.558
0.01	0.437	0.567	0.567	0.567	0.653	0.558
0.02	0.471	0.567	0.567	0.567	0.700	0.574
0.03	0.505	0.589	0.589	0.589	0.749	0.604
0.04	0.538	0.612	0.612	0.612	0.799	0.634
0.05	0.573	0.635	0.635	0.635	0.849	0.665
0.08	0.657	0.869	0.869	0.869	1.152	0.883
0.10	0.774	1.091	1.091	1.091	1.478	1.105
0.15	0.840	1.274	1.274	1.274	1.590	1.251
0.20	0.906	1.233	1.233	1.233	1.407	1.203
0.25	0.858	1.101	1.101	1.101	1.274	1.087
0.30	0.810	1.016	1.016	1.016	1.131	0.998
0.40	0.733	0.915	0.915	0.915	0.887	0.873
0.50	0.675	0.762	0.762	0.762	0.734	0.739
0.60	0.588	0.639	0.650	0.650	0.599	0.625
0.70	0.503	0.558	0.577	0.577	0.545	0.552
0.75	0.459	0.517	0.540	0.540	0.525	0.516
0.80	0.433	0.490	0.517	0.517	0.505	0.492
0.90	0.381	0.437	0.469	0.469	0.458	0.443
1.00	0.329	0.384	0.421	0.421	0.415	0.394
1.10	0.305	0.352	0.386	0.386	0.387	0.363
1.20	0.280	0.318	0.353	0.353	0.360	0.333
1.25	0.268	0.302	0.335	0.335	0.347	0.317
1.30	0.255	0.284	0.318	0.318	0.335	0.302
1.40	0.229	0.252	0.284	0.284	0.314	0.273
1.50	0.203	0.218	0.250	0.250	0.292	0.242
1.60	0.191	0.203	0.233	0.233	0.276	0.227
1.70	0.178	0.188	0.217	0.217	0.260	0.212
1.80	0.165	0.171	0.201	0.201	0.244	0.196
1.90	0.152	0.156	0.185	0.185	0.227	0.181
2.00	0.139	0.141	0.168	0.168	0.211	0.165
2.50	0.105	0.101	0.120	0.126	0.159	0.122
3.00	0.067	0.075	0.090	0.098	0.116	0.089
3.50	0.003	0.063	0.075	0.083	0.095	0.064
3.60	0.003	0.061	0.073	0.079	0.091	0.061
3.70	0.003	0.058	0.070	0.076	0.086	0.059
3.80	0.003	0.056	0.067	0.073	0.082	0.056
3.90	0.003	0.053	0.064	0.070	0.078	0.054
4.00	0.003	0.051	0.061	0.067	0.074	0.051
4.25	0.003	0.047	0.056	0.062	0.067	0.047
4.50	0.003	0.043	0.052	0.056	0.060	0.043
5.00	0.003	0.035	0.042	0.046	0.046	0.034



Nota:

- Valores de aceleración espectral en suelo Tipo B ( $V_s > 760$  m/s).
- El espectro promedio mantiene la ponderación empleada en el PSHA.
- Distancia epicentral de 0 km y profundidad de 70 km.

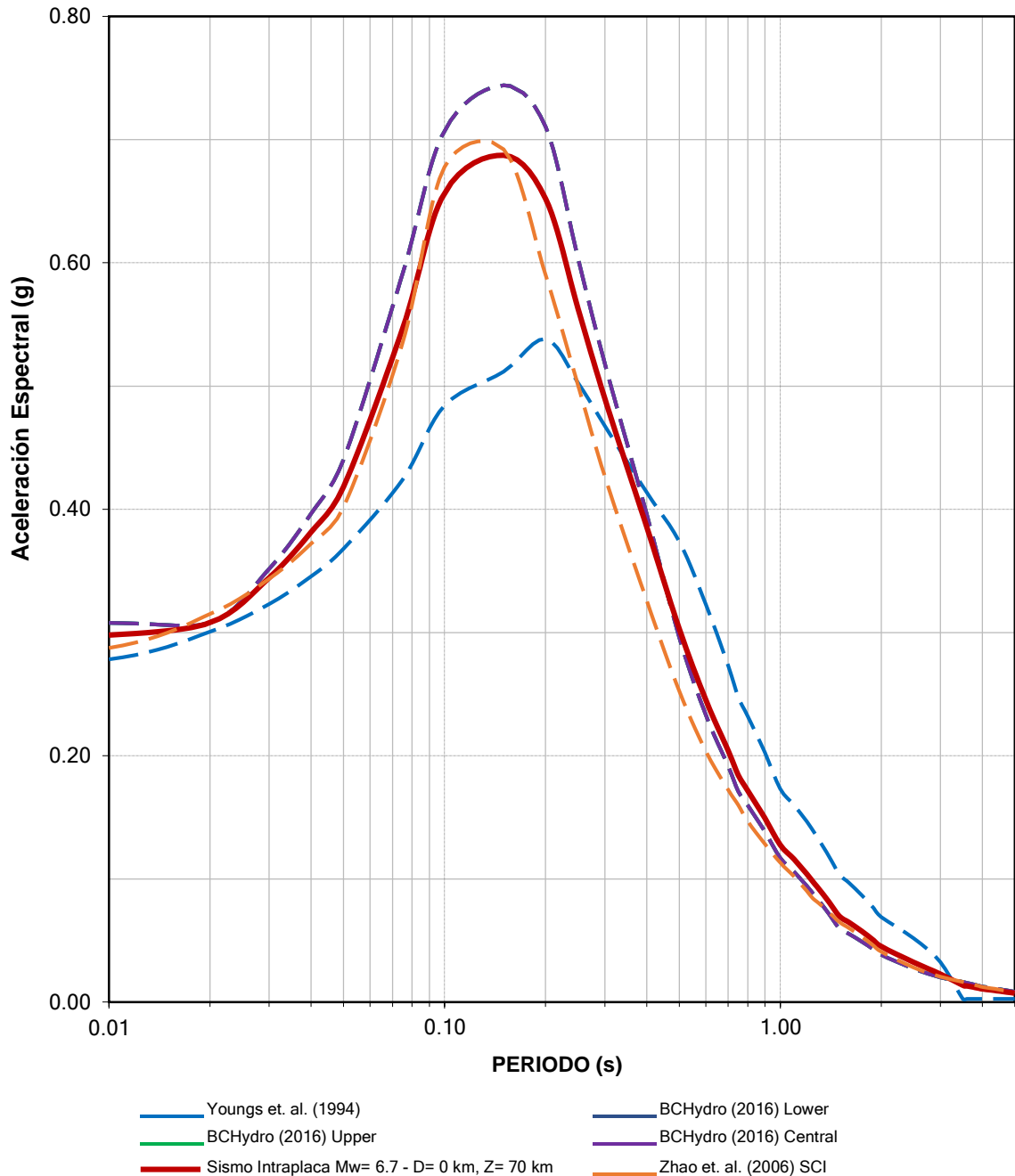
**ESPECTROS SÍSMICOS DETERMINÍSTICOS — MÁXIMA RÉPLICA ESPERADA EVENTO DE INTRAPLACA (PERCENTIL 50%)**



Nota:

- Valores de aceleración espectral en suelo Tipo B ( $V_s > 760$  m/s)
- El espectro promedio mantiene la ponderación empleada en el PSHA.
- Distancia epicentral de 0 km y profundidad de 70 km.

**ESPECTROS SÍSMICOS DETERMINÍSTICOS — MÁXIMA RÉPLICA ESPERADA EVENTO DE INTRAPLACA (PERCENTIL 84%)**



Nota:

- Valores de aceleración espectral en suelo Tipo B ( $V_s > 760$  m/s)
- El espectro promedio mantiene la ponderación empleada en el PSHA.
- Distancia epicentral de 0 km y profundidad de 70 km.

**Resultados del Análisis determinístico de Peligro Sísmico – Máxima Réplica Esperada  
Evento de Intraplaca (P.50)**


Periodo Estructural (s)	Youngs et. al. (1994)	BCHydro (2016) Lower	BCHydro (2016) Central	BCHydro (2016) Upper	Zhao et. al. (2006) SCI	Ponderado
0.00	0.118	0.148	0.148	0.148	0.131	0.139
0.01	0.128	0.148	0.148	0.148	0.144	0.143
0.02	0.139	0.148	0.148	0.148	0.156	0.148
0.03	0.149	0.168	0.168	0.168	0.168	0.164
0.04	0.159	0.190	0.190	0.190	0.179	0.181
0.05	0.169	0.211	0.211	0.211	0.192	0.199
0.08	0.196	0.283	0.283	0.283	0.247	0.259
0.10	0.223	0.338	0.338	0.338	0.303	0.308
0.15	0.235	0.357	0.357	0.357	0.314	0.324
0.20	0.248	0.340	0.340	0.340	0.276	0.309
0.25	0.231	0.290	0.290	0.290	0.239	0.268
0.30	0.215	0.249	0.249	0.249	0.207	0.234
0.40	0.191	0.190	0.190	0.190	0.160	0.184
0.50	0.172	0.142	0.142	0.142	0.125	0.145
0.60	0.149	0.111	0.111	0.111	0.100	0.117
0.70	0.125	0.092	0.092	0.092	0.085	0.097
0.75	0.114	0.082	0.082	0.082	0.079	0.088
0.80	0.107	0.077	0.077	0.077	0.072	0.082
0.90	0.093	0.067	0.067	0.067	0.063	0.071
1.00	0.080	0.056	0.056	0.056	0.056	0.061
1.10	0.073	0.051	0.051	0.051	0.050	0.055
1.20	0.066	0.045	0.045	0.045	0.044	0.049
1.25	0.063	0.043	0.043	0.043	0.041	0.046
1.30	0.059	0.040	0.040	0.040	0.039	0.044
1.40	0.052	0.034	0.034	0.034	0.036	0.038
1.50	0.045	0.029	0.029	0.029	0.032	0.033
1.60	0.042	0.027	0.027	0.027	0.029	0.030
1.70	0.039	0.025	0.025	0.025	0.027	0.028
1.80	0.035	0.023	0.023	0.023	0.024	0.026
1.90	0.032	0.020	0.020	0.020	0.022	0.023
2.00	0.029	0.018	0.018	0.018	0.020	0.021
2.50	0.021	0.013	0.013	0.013	0.014	0.015
3.00	0.012	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010
3.50	0.001	0.008	0.008	0.008	0.008	0.007
3.60	0.001	0.008	0.008	0.008	0.008	0.006
3.70	0.001	0.007	0.007	0.007	0.007	0.006
3.80	0.001	0.007	0.007	0.007	0.007	0.006
3.90	0.001	0.006	0.006	0.006	0.007	0.005
4.00	0.001	0.006	0.006	0.006	0.006	0.005
4.25	0.001	0.006	0.006	0.006	0.006	0.005
4.50	0.001	0.005	0.005	0.005	0.005	0.004
5.00	0.001	0.004	0.004	0.004	0.004	0.003

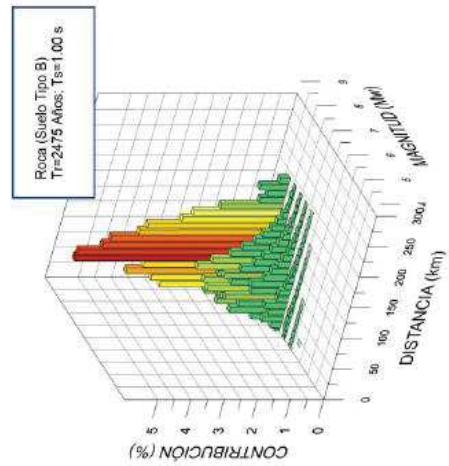
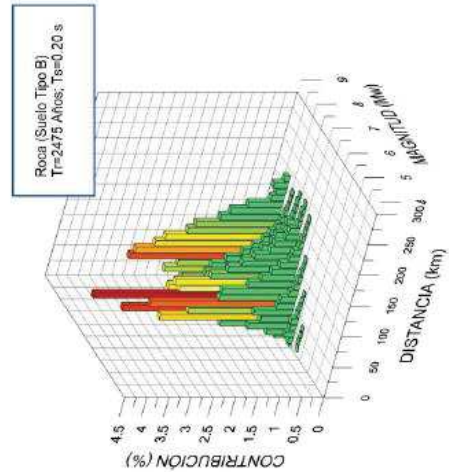
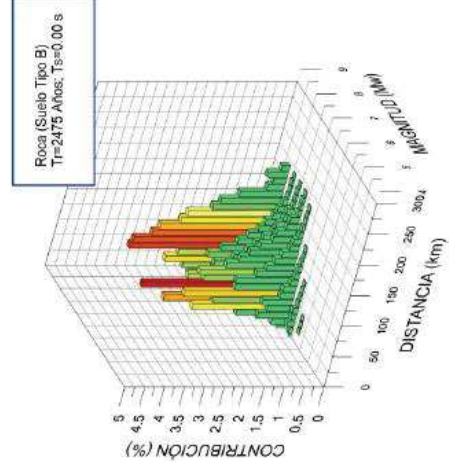
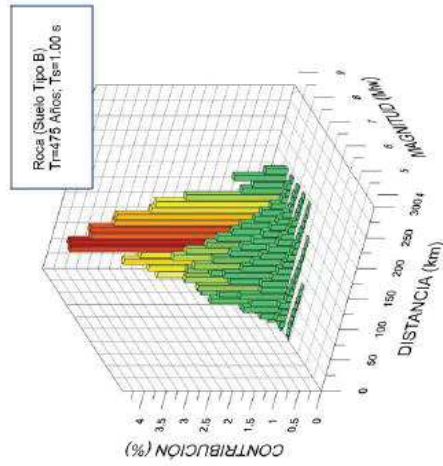
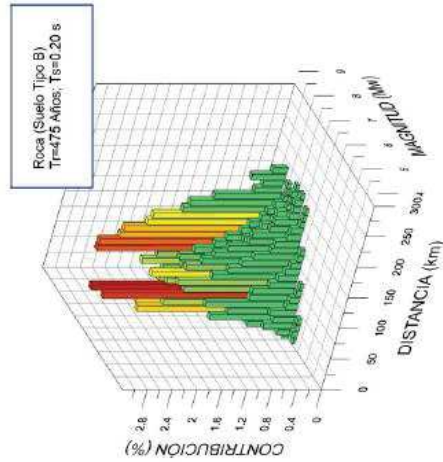
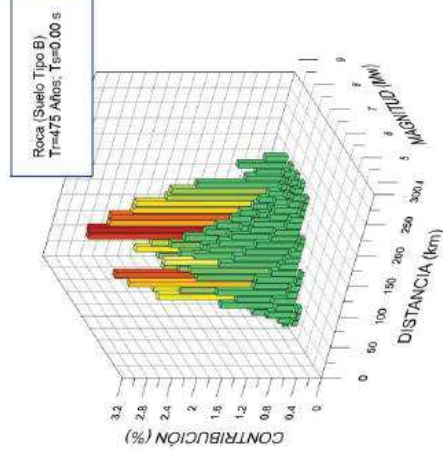
**Resultados del Análisis determinístico de Peligro Sísmico – Máxima Réplica Esperada  
Evento de Intraplaca (P.50)**

Periodo Estructural (s)	Youngs et. al. (1994)	BCHydro (2016) Lower	BCHydro (2016) Central	BCHydro (2016) Upper	Zhao et. al. (2006) SCI	Ponderado
0.00	0.256	0.308	0.308	0.308	0.260	0.288
0.01	0.278	0.308	0.308	0.308	0.287	0.298
0.02	0.301	0.308	0.308	0.308	0.315	0.308
0.03	0.323	0.352	0.352	0.352	0.344	0.344
0.04	0.346	0.397	0.397	0.397	0.372	0.381
0.05	0.368	0.440	0.440	0.440	0.402	0.418
0.08	0.424	0.591	0.591	0.591	0.535	0.547
0.10	0.484	0.707	0.707	0.707	0.678	0.657
0.15	0.512	0.744	0.744	0.744	0.692	0.687
0.20	0.538	0.710	0.710	0.710	0.590	0.652
0.25	0.503	0.603	0.603	0.603	0.501	0.563
0.30	0.468	0.519	0.519	0.519	0.427	0.490
0.40	0.414	0.397	0.397	0.397	0.326	0.386
0.50	0.374	0.297	0.297	0.297	0.253	0.303
0.60	0.323	0.233	0.233	0.233	0.204	0.245
0.70	0.273	0.192	0.192	0.192	0.172	0.204
0.75	0.248	0.171	0.171	0.171	0.160	0.184
0.80	0.232	0.160	0.160	0.160	0.147	0.172
0.90	0.203	0.139	0.139	0.139	0.128	0.149
1.00	0.173	0.117	0.117	0.117	0.113	0.128
1.10	0.160	0.106	0.106	0.106	0.102	0.116
1.20	0.147	0.094	0.094	0.094	0.090	0.104
1.25	0.140	0.089	0.089	0.089	0.084	0.098
1.30	0.133	0.083	0.083	0.083	0.081	0.092
1.40	0.118	0.071	0.071	0.071	0.073	0.081
1.50	0.104	0.060	0.060	0.060	0.065	0.070
1.60	0.097	0.056	0.056	0.056	0.060	0.065
1.70	0.090	0.051	0.051	0.051	0.055	0.060
1.80	0.083	0.047	0.047	0.047	0.051	0.055
1.90	0.076	0.043	0.043	0.043	0.046	0.050
2.00	0.069	0.038	0.038	0.038	0.041	0.045
2.50	0.052	0.027	0.027	0.027	0.028	0.032
3.00	0.033	0.020	0.020	0.020	0.021	0.023
3.50	0.003	0.017	0.017	0.017	0.016	0.014
3.60	0.003	0.016	0.016	0.016	0.016	0.013
3.70	0.003	0.015	0.015	0.015	0.015	0.012
3.80	0.003	0.014	0.014	0.014	0.014	0.012
3.90	0.003	0.013	0.013	0.013	0.013	0.011
4.00	0.003	0.013	0.013	0.013	0.012	0.011
4.25	0.003	0.012	0.012	0.012	0.011	0.010
4.50	0.003	0.011	0.011	0.011	0.010	0.009
5.00	0.003	0.009	0.009	0.009	0.008	0.007

## **Anexo 4**

### **Desagregación Sísmica**

 <p><b>ZER</b> Geosystem Perú S.A.C. INGENIERÍA GEOTÉCNICA</p>	<p>GENERACIÓN DE ESCENARIOS SISMICOS PARA LIMA METROPOLITANA</p>
<p>P040-148 IGP ACE SINT</p>	<p>Revisión: A</p>
<p>Enero 2021</p>	





## **Anexo 5**

### **Ajuste Espectral**

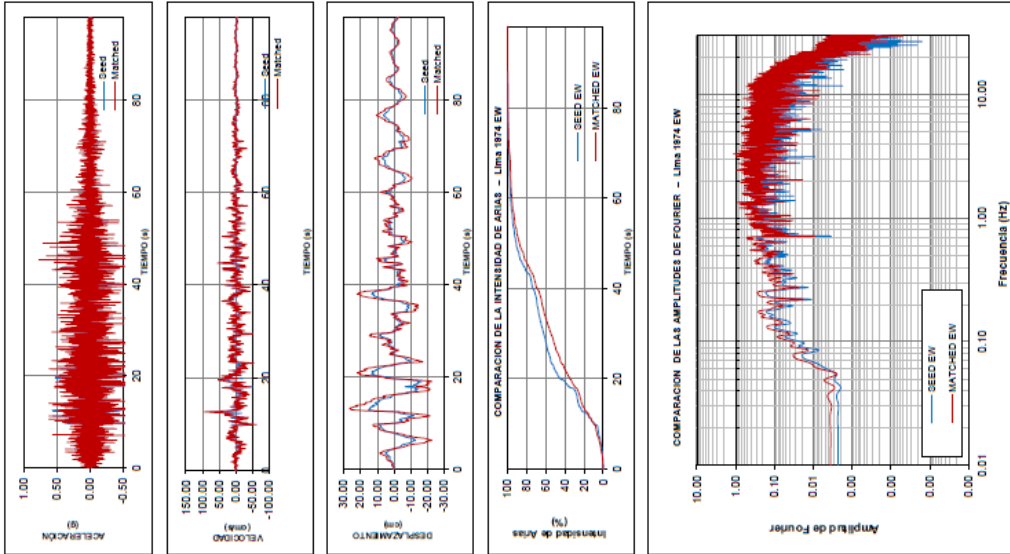
El contenido de este Anexo están disponibles en:

[https://drive.google.com/drive/folders/14WA2w8kWU\\_bMjbHz5M0HA3wawqHIQPte](https://drive.google.com/drive/folders/14WA2w8kWU_bMjbHz5M0HA3wawqHIQPte)

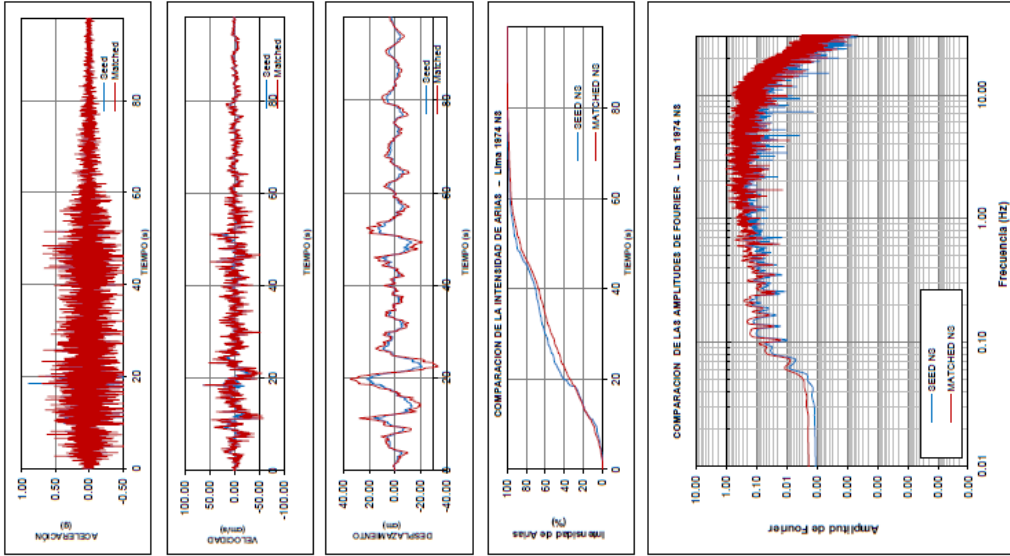
## **Anexo 5.1**

### **Escenarios Principales**

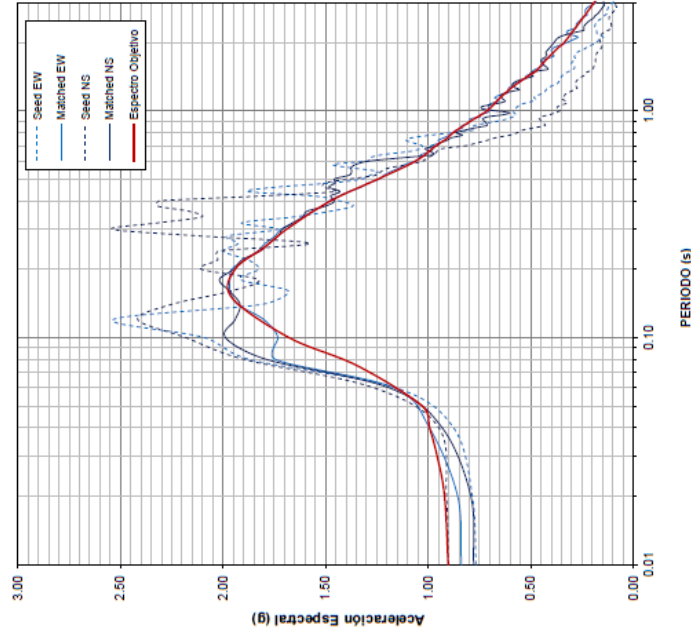
**COMPONENTE EW**



**COMPONENTE NS**



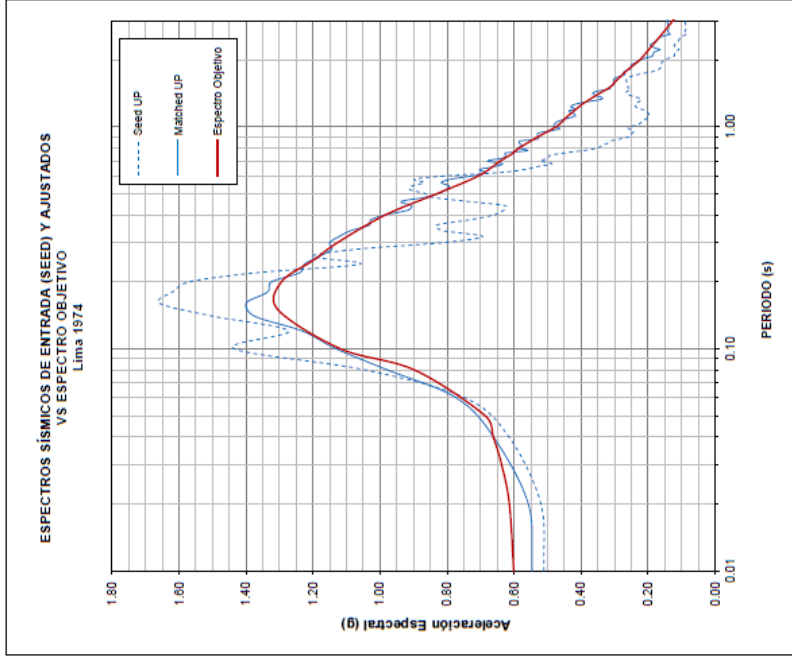
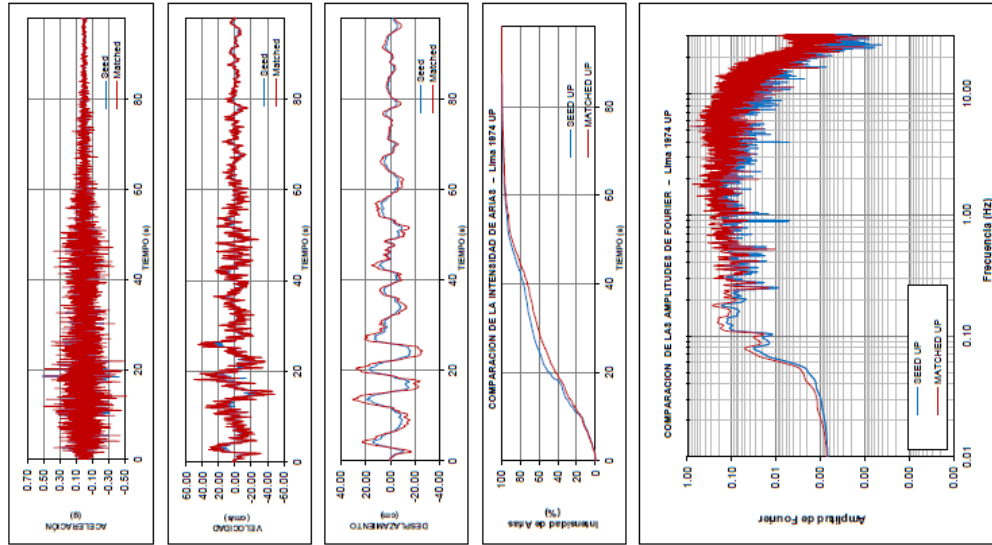
ESPECTROS SISMICOS DE ENTRADA (SEED) Y AJUSTADOS VS ESPECTRO OBJETIVO  
Lima 1974



Nota:

- Valores de aceleración espectral en suelo Tipo B ( $V_s = 760$  m/s)
- El espectro objetivo empleado es el correspondiente al  $MCE_{EPI-INTERFASE}$ .
- Los espectros han sido escalados considerando un rango de interés de 0.02 a 2.00 s

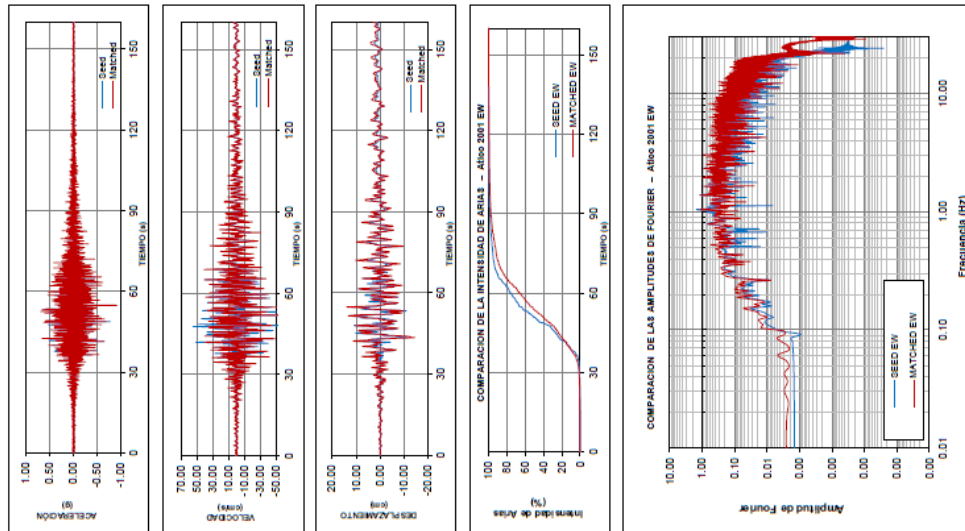
COMPONENTE UP



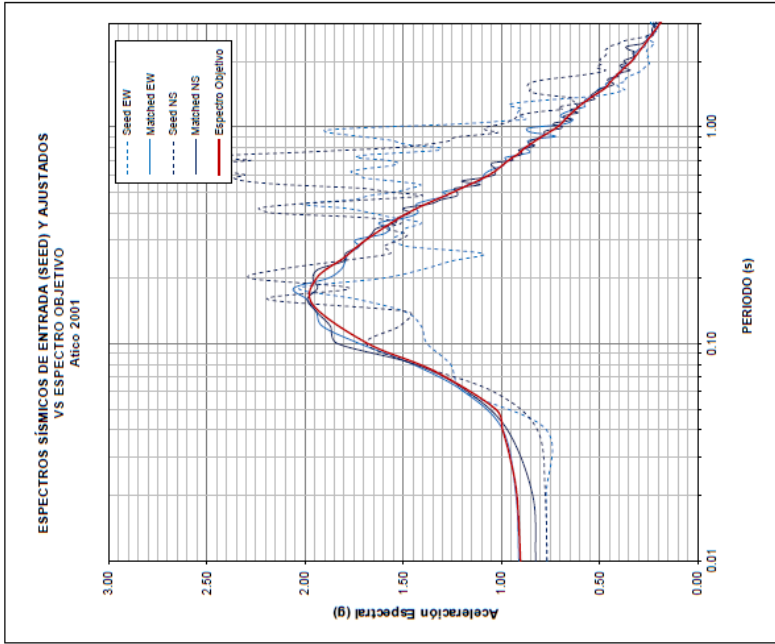
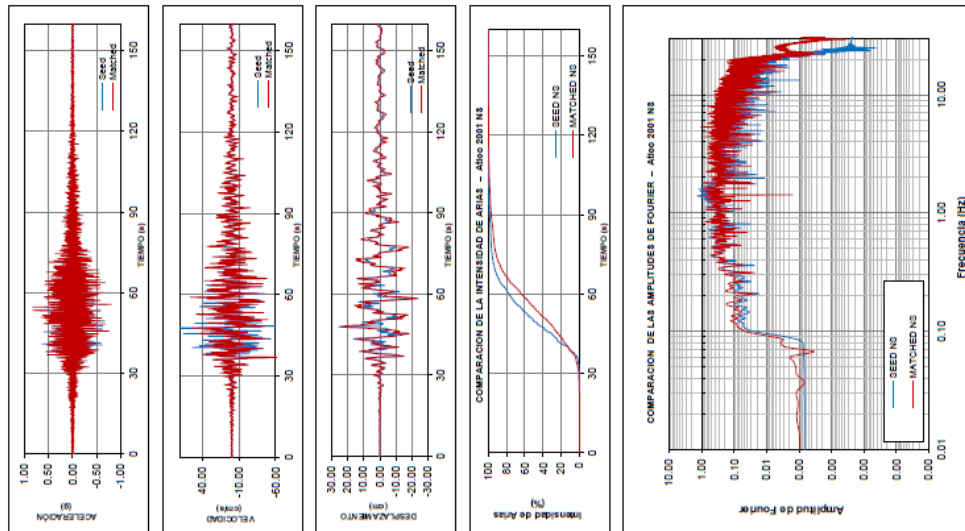
Nota:

- Valores de aceleración espectral en suelo Tipo B ( $V_s = 760$  m/s)
- El espectro objetivo empleado es el correspondiente al componente vertical:  $2/3 * MCE_{CT-INTREASE}$ .
- Los espectros han sido escalados considerando un rango de interés de 0.02 a 2.00 s

**COMPONENTE EW**



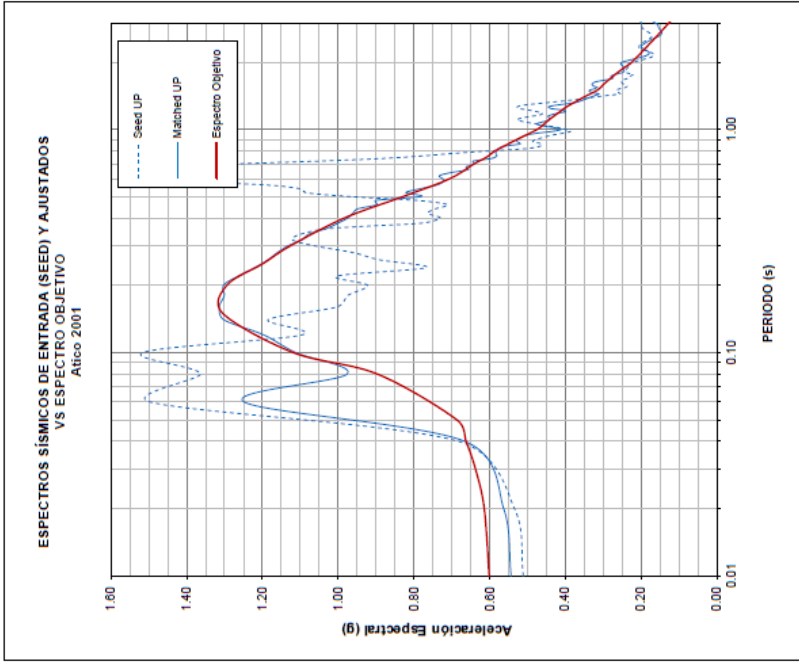
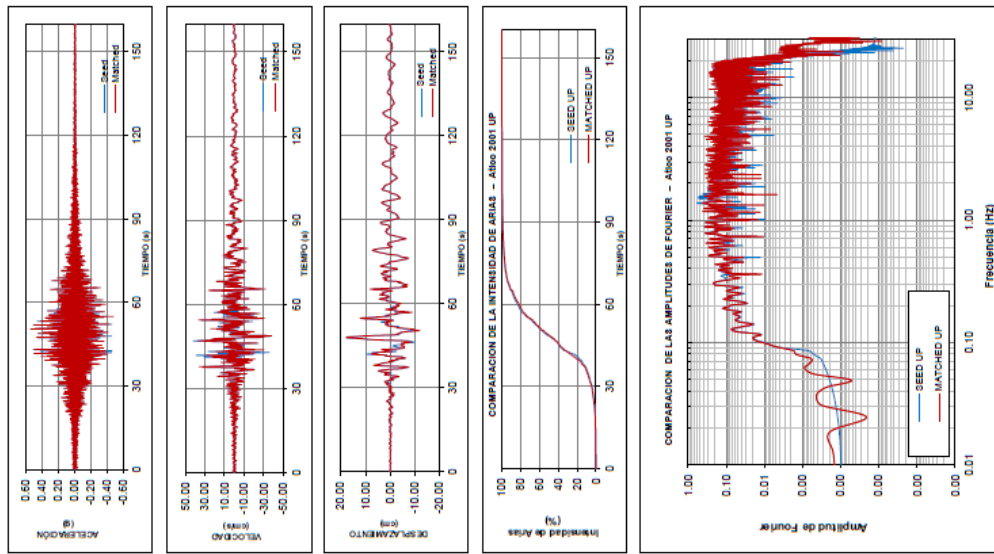
**COMPONENTE NS**



**Nota:**

- Valores de aceleración espectral en suelo Tipo B ( $V_s = 760$  m/s)
- El espectro objetivo empleado es el correspondiente al  $MC_Eq-INTERFASE$ .
- Los espectros han sido escalados considerando un rango de interés de 0.02 a 2.00 s

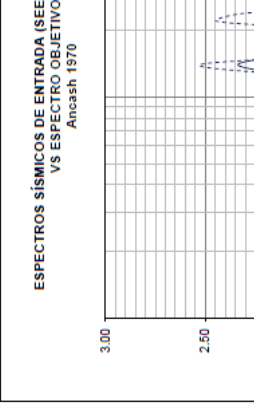
COMPONENTE UP



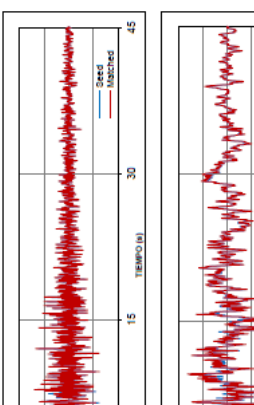
Nota:

- Valores de aceleración espectral en suelo Tipo B ( $V_s = 760$  m/s)
- El espectro objetivo empleado es el correspondiente al componente vertical:  $2/3$  de la máxima réplica esperada para el  $MC_{EPI-INTERFASE}$ .
- Los espectros han sido escalados considerando un rango de interés de 0.02 a 2.00 s

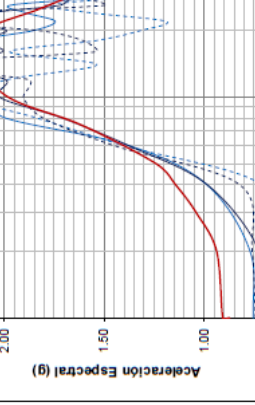
**COMPONENTE EW**



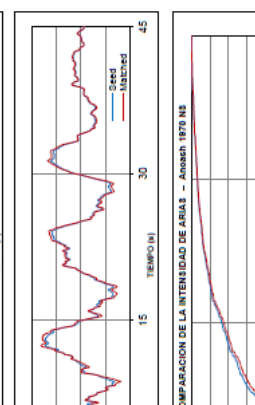
**COMPONENTE NS**



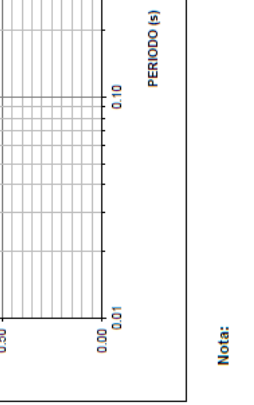
**COMPONENTE EW**



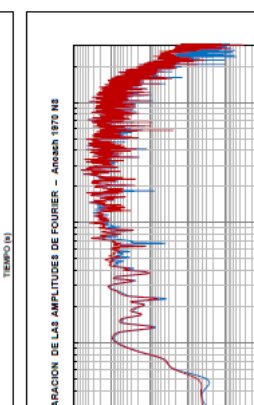
**COMPONENTE NS**



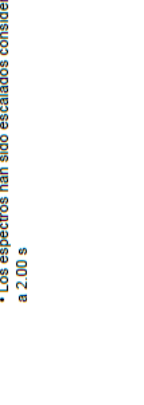
**COMPONENTE EW**



**COMPONENTE NS**



**COMPONENTE EW**



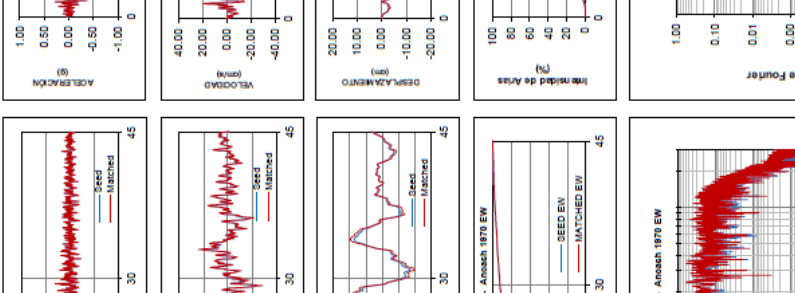
**COMPONENTE NS**



**COMPONENTE EW**



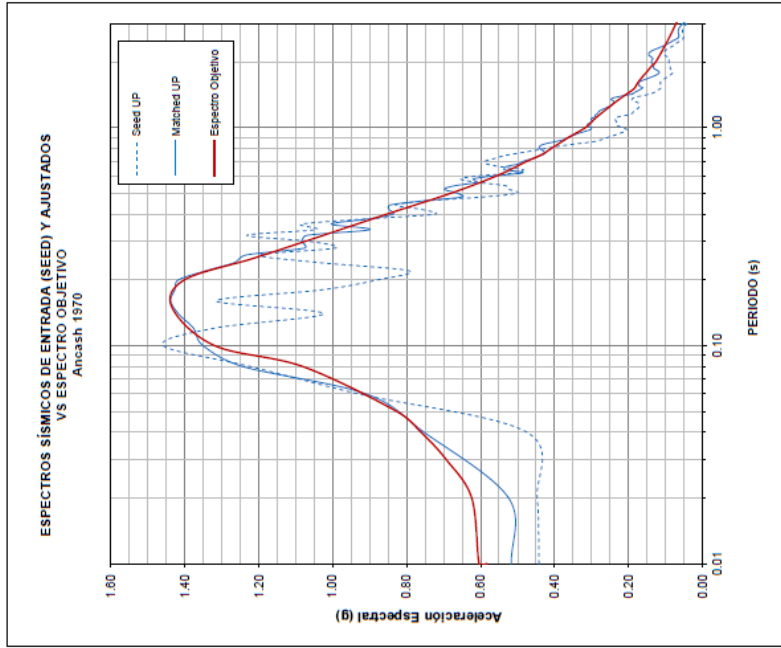
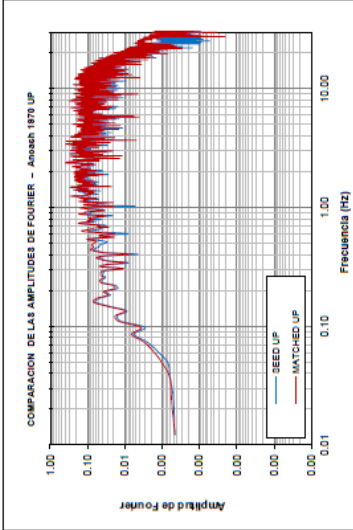
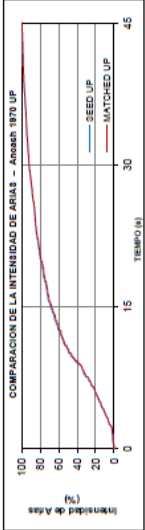
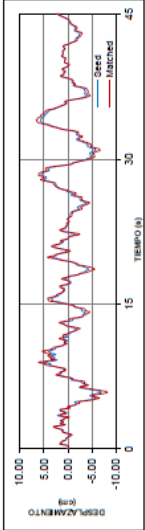
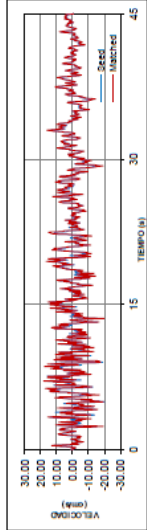
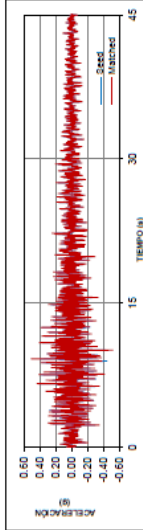
**COMPONENTE NS**



**Nota:**

- Valores de aceleración espectral en suelo Tipo B ( $V_s = 760$  m/s)
- El espectro objetivo empleado es el correspondiente al  $MCE_{ENTRADA}$
- Los espectros han sido escalados considerando un rango de interés de 0.02 a 2.00 s

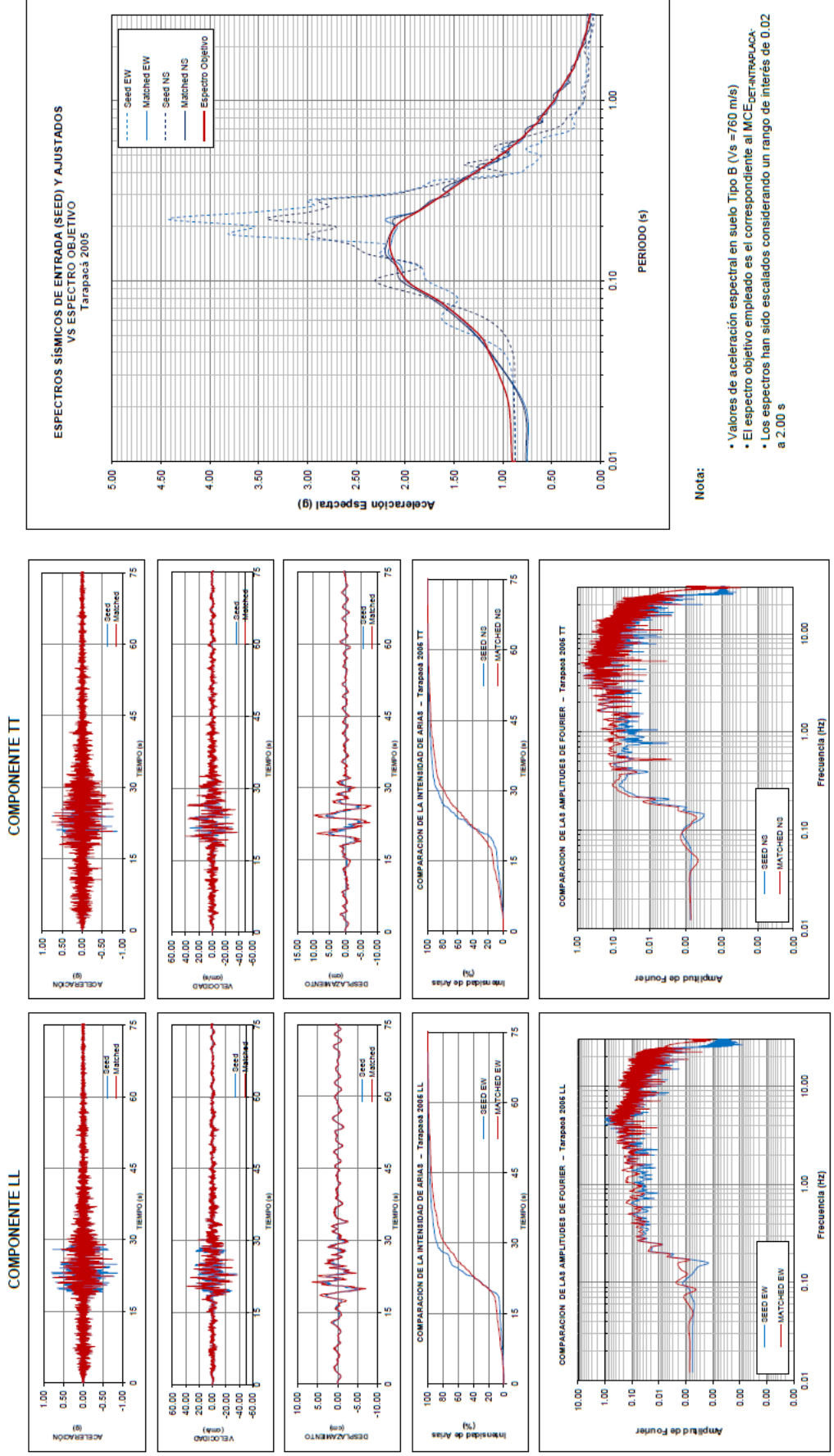
COMPONENTE UP



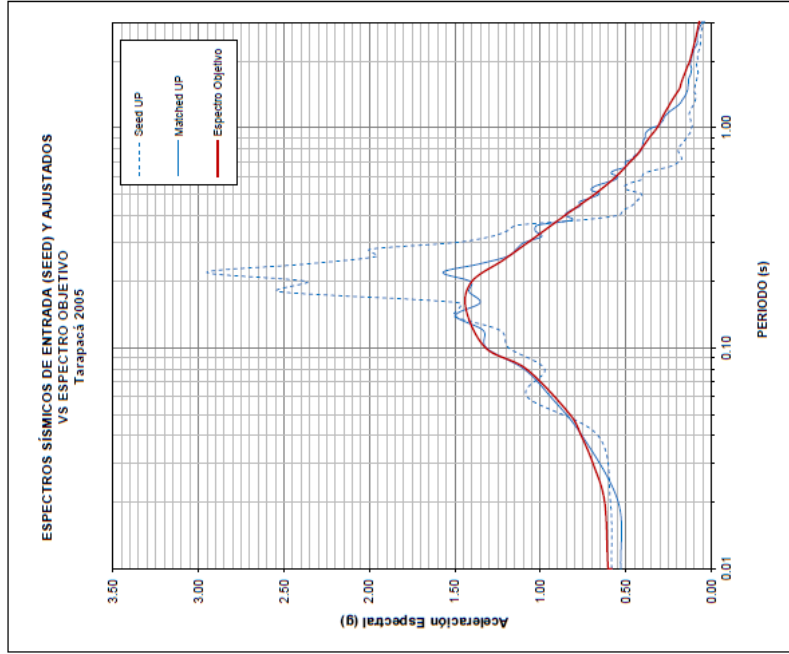
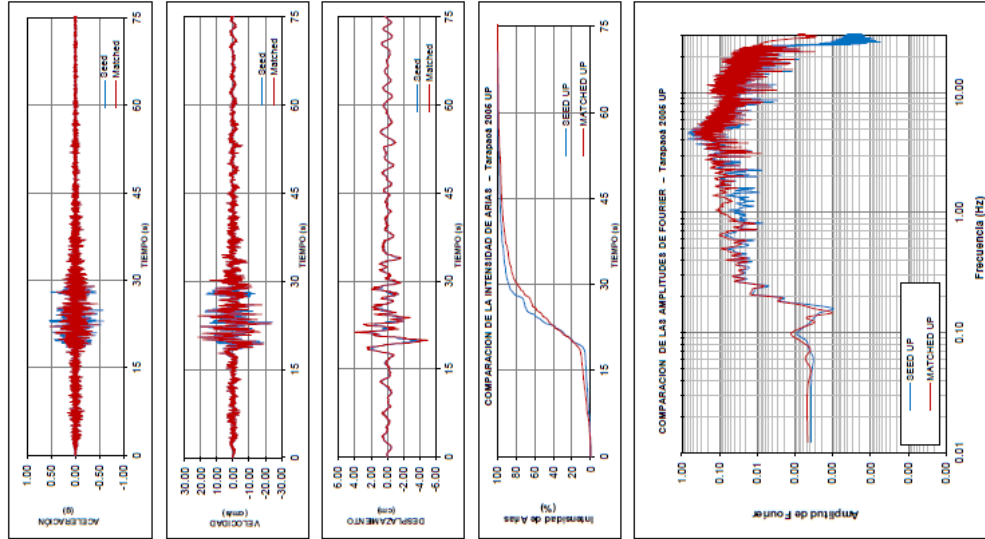
Nota:

- Valores de aceleración espectral en suelo Tipo B ( $V_s = 760$  m/s)
- El espectro objetivo empleado es el correspondiente al componente vertical:  $2/3 * MCE_{EPI-ANP-LACK}$ .
- Los espectros han sido escalados considerando un rango de interés de 0.02 a 2.00 s





COMPONENTE UP

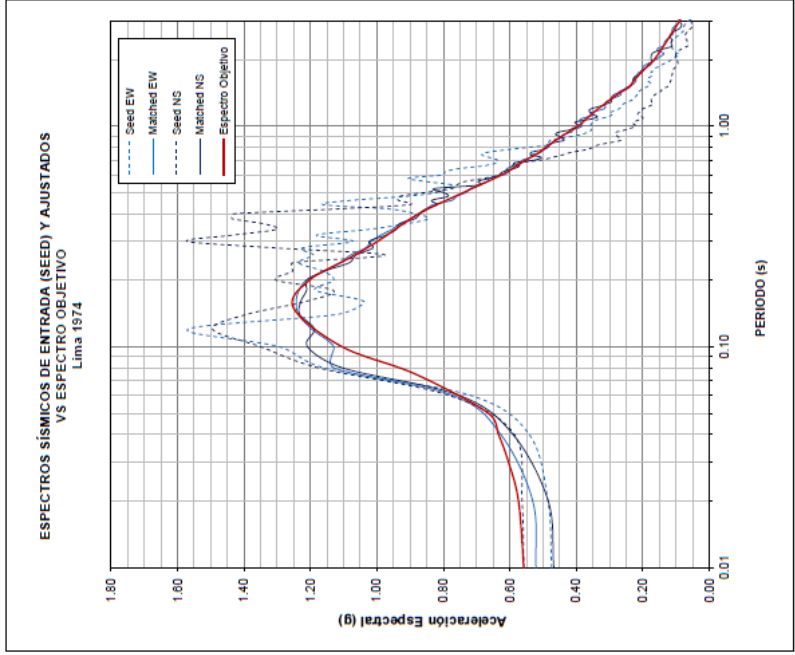
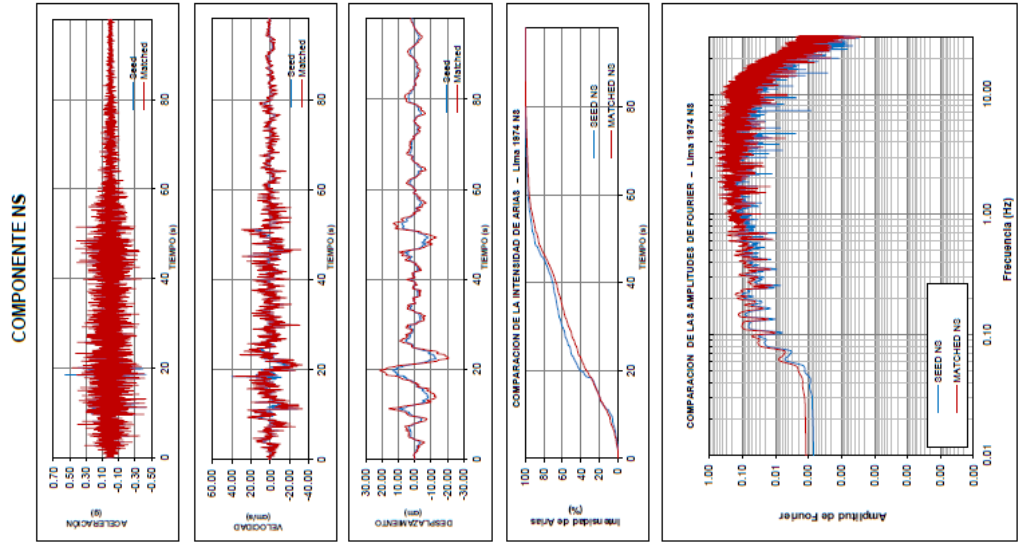
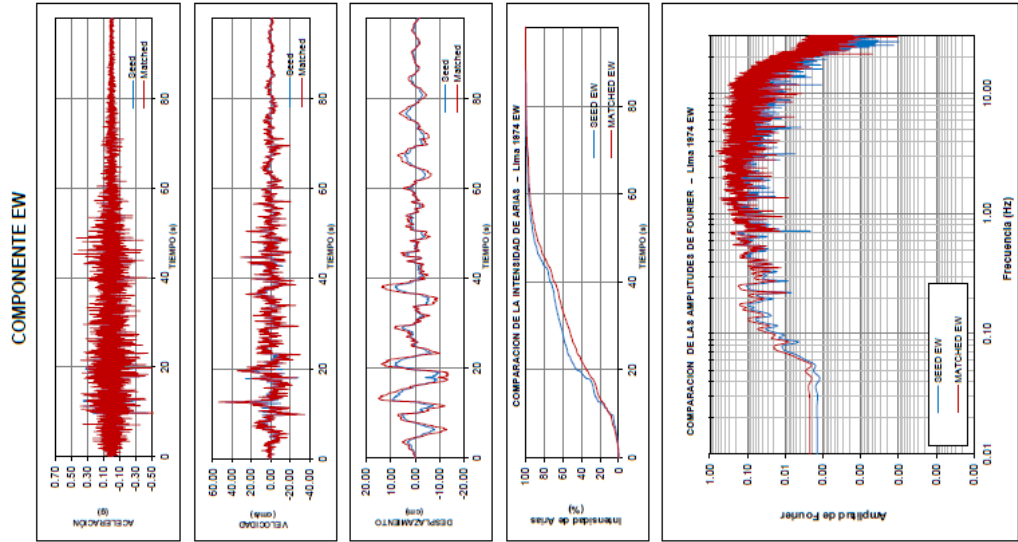


Nota:

- Valores de aceleración espectral en suelo Tipo B ( $V_s = 760$  m/s)
- El espectro objetivo empleado es el correspondiente al componente vertical: 2/3 \* MCE<sub>DEF-NTRAPLACA</sub>.
- Los espectros han sido escalados considerando un rango de interés de 0.02 a 2.00 s

## **Anexo 5.2**

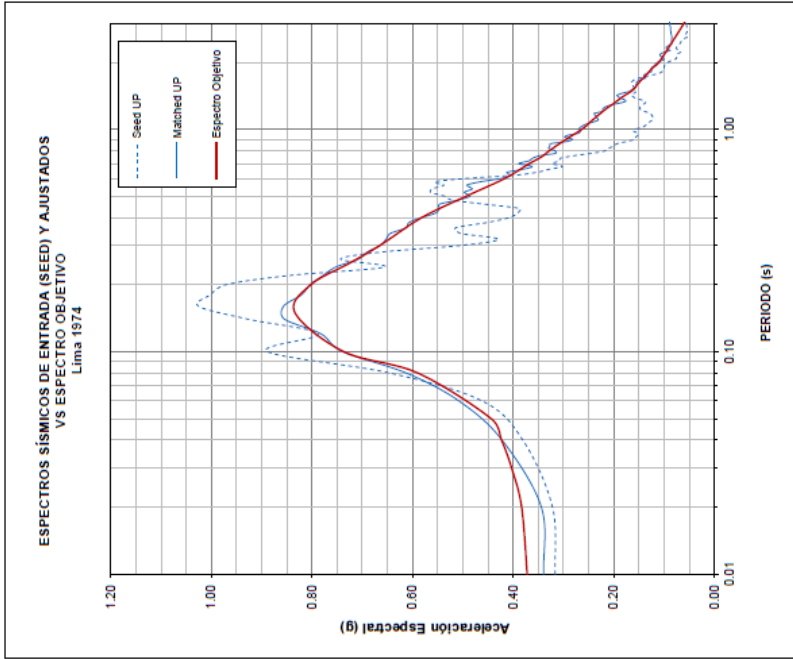
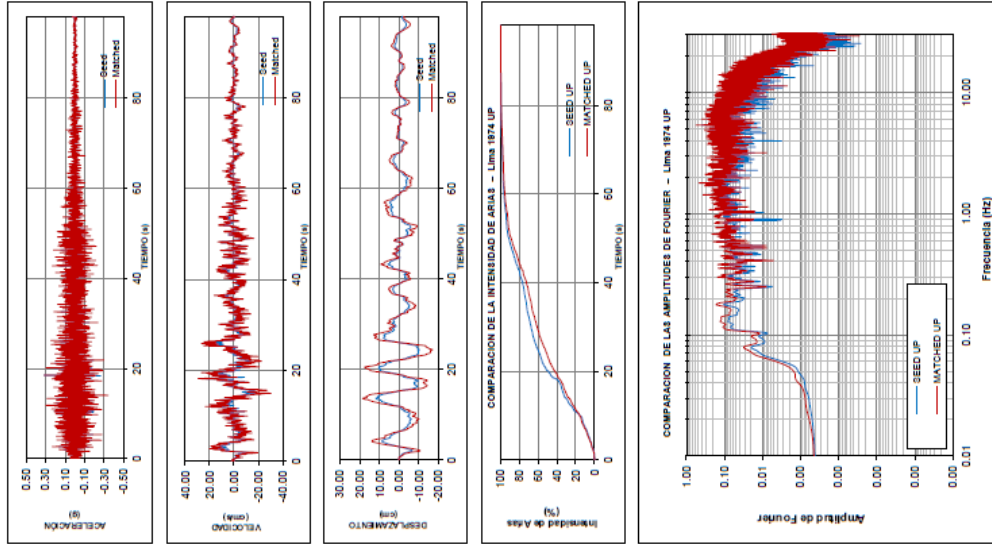
### **Máxima Réplica Esperada**



**Nota:**

- Valores de aceleración espectral en suelo Tipo B ( $V_s = 760$  m/s)
- El espectro objetivo empleado es el correspondiente a la máxima réplica esperada para el MCE<sub>E</sub>-INTERASE.
- Los espectros han sido escalados considerando un rango de interés de 0.02 a 2.00 s

COMPONENTE UP

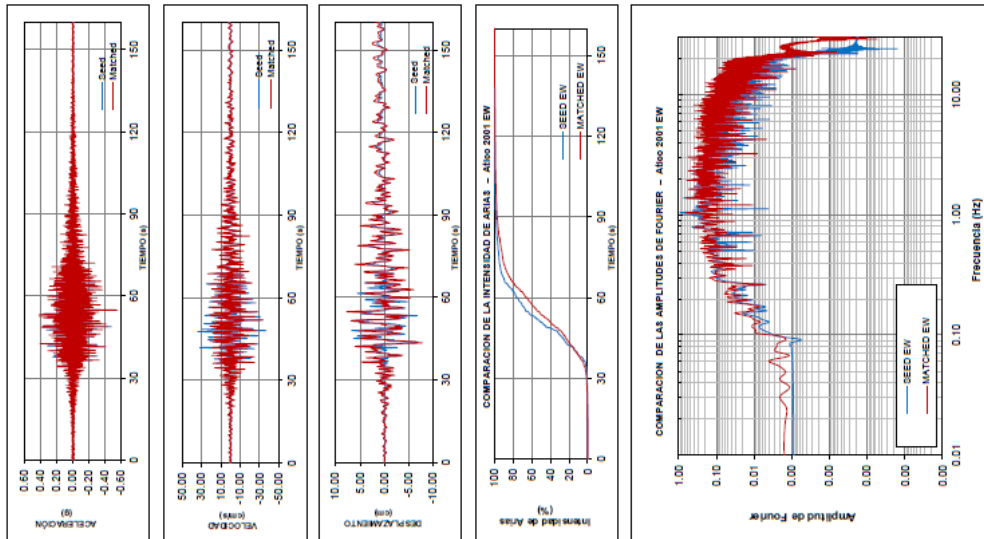


Nota:

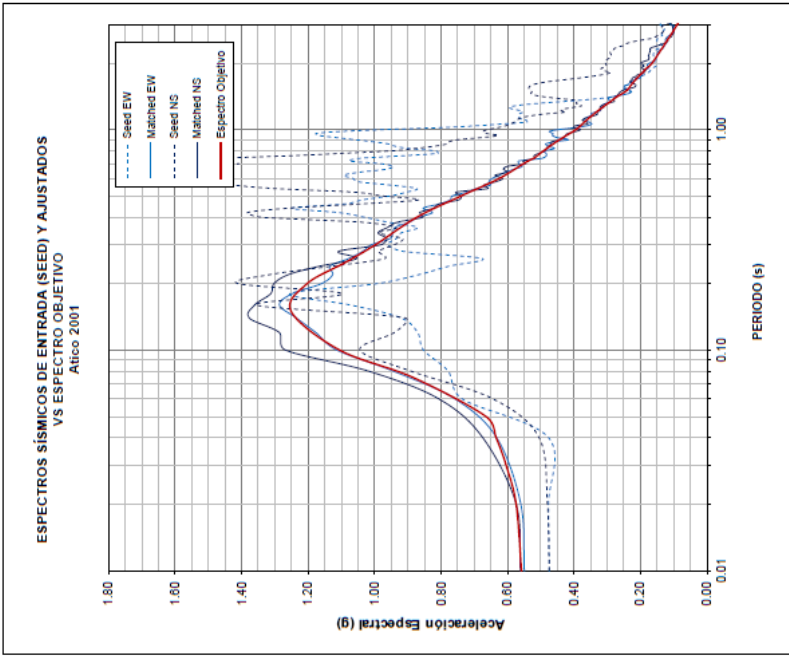
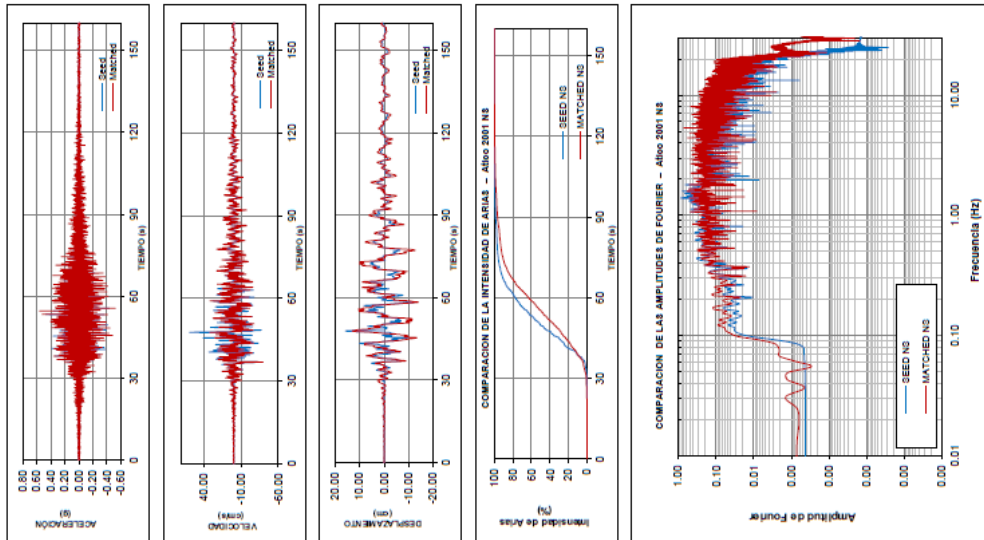
- Valores de aceleración espectral en suelo Tipo B ( $V_s = 760$  m/s)
- El espectro objetivo empleado es el correspondiente al componente vertical: 2/3 de la máxima réplica esperada para el  $MC_{Exp-NTFRASE}$ .
- Los espectros han sido escalados considerando un rango de interés de 0.02 a 2.00 s

 <b>ZER</b> Geosystem Perú S.A.C. <small>Ingeniería y Construcción</small>	<b>GENERACIÓN DE ESCENARIOS SISMICOS PARA LIMA METROPOLITANA</b>			P040-148 IGP ACE SINT
	Anexo 5.3 Ajuste Espectral	Año 2001	EW	Revisión: A
		NS	Enero 2021	

**COMPONENTE EW**



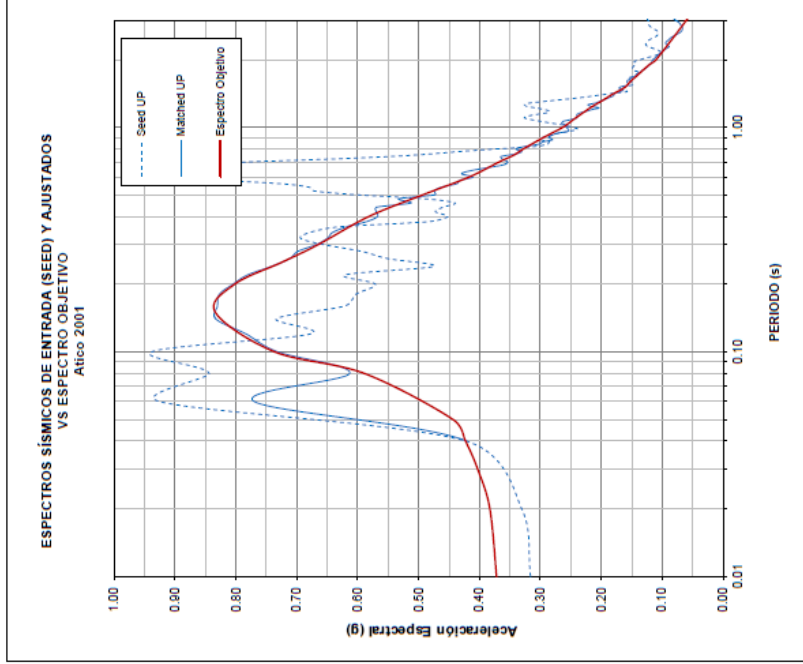
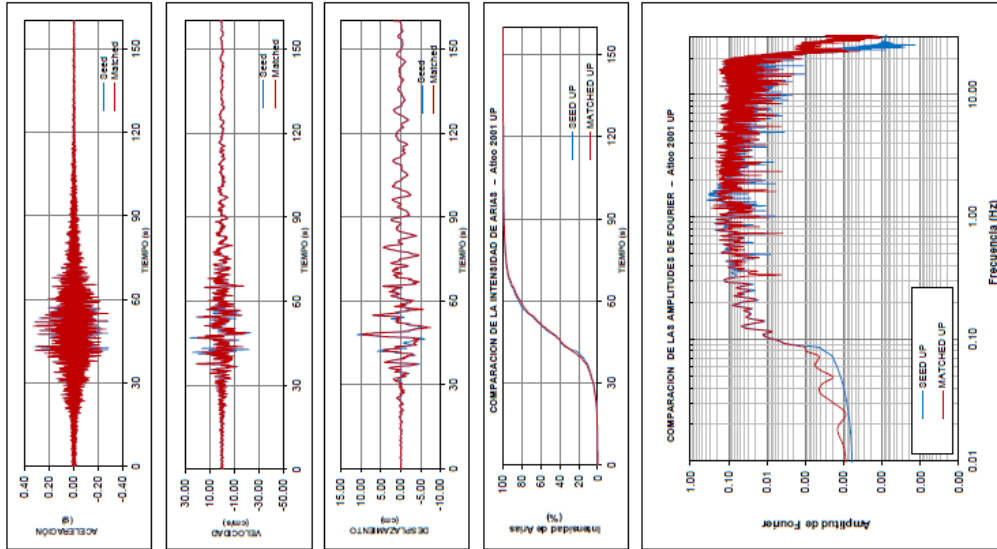
**COMPONENTE NS**



**Nota:**

- Valores de aceleración espectral en suelo Tipo B ( $V_s = 760$  m/s)
- El espectro objetivo empleado es el correspondiente a La máxima réplica esperada para el MCE<sub>DEF-INTREFASE</sub>.
- Los espectros han sido escalados considerando un rango de interés de 0.02 a 2.00 s

COMPONENTE UP

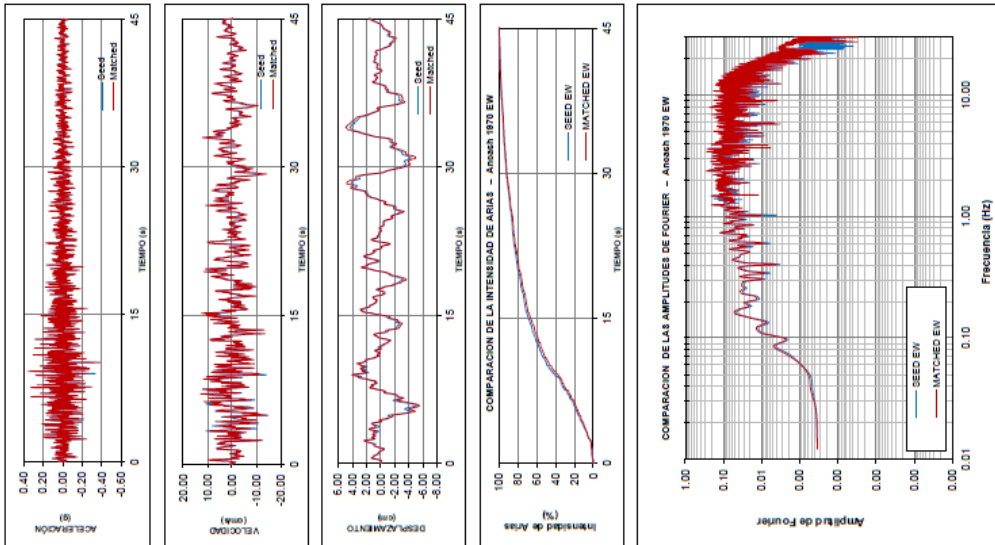


Nota:

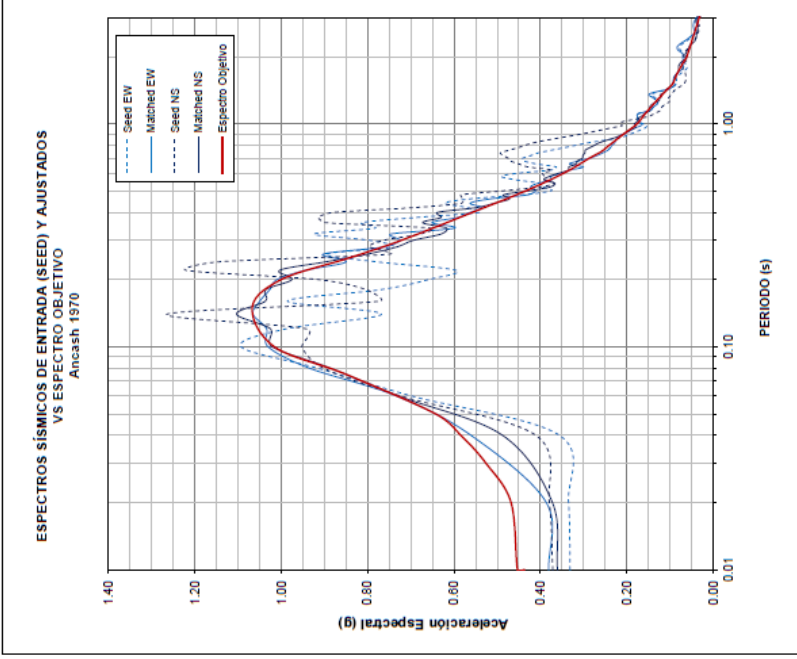
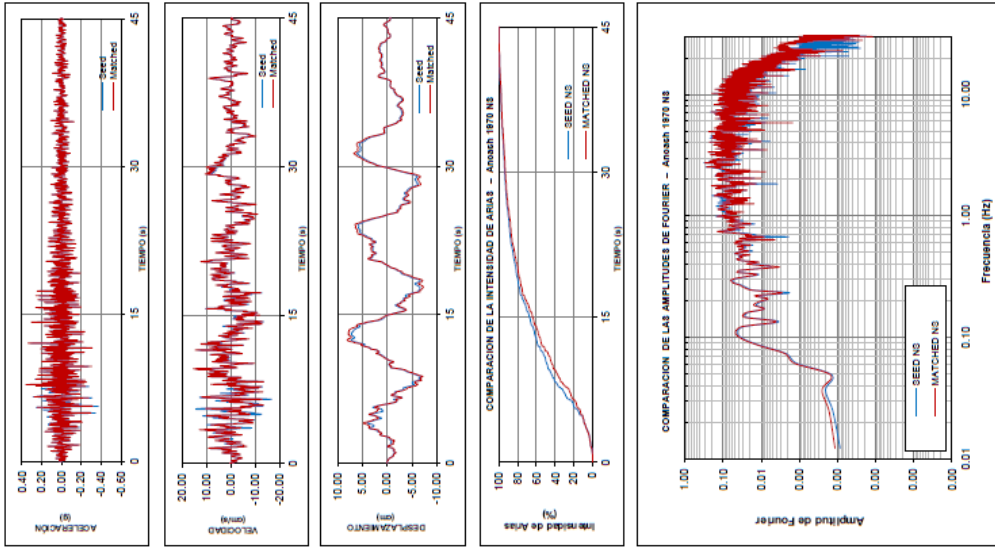
- Valores de aceleración espectral en suelo Tipo B ( $V_s = 760$  m/s)
- El espectro objetivo empleado es el correspondiente al componente vertical:  $2/3$  de la máxima réplica esperada para el  $MC_{EPI-INTERFASE}$ .
- Los espectros han sido escalados considerando un rango de interés de 0.02 a 2.00 s



**COMPONENTE EW**



**COMPONENTE NS**

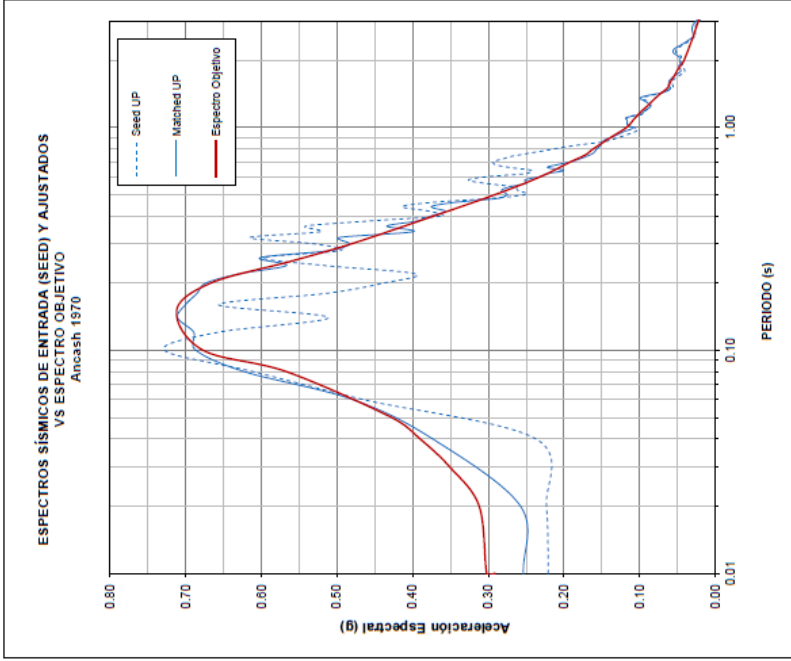
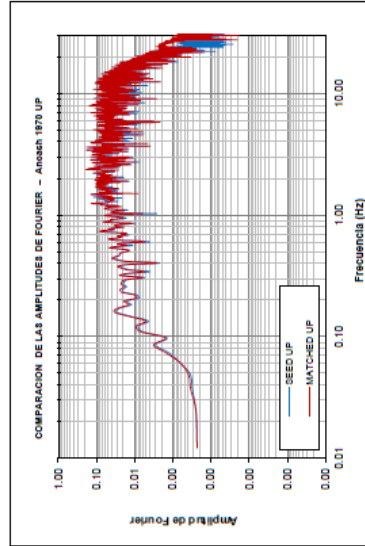
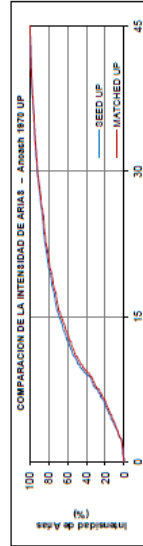
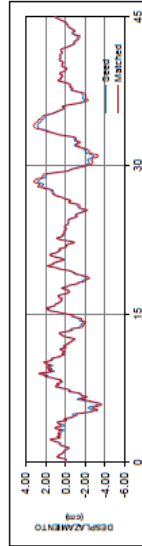
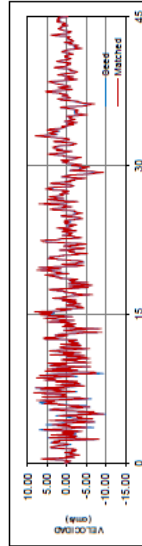
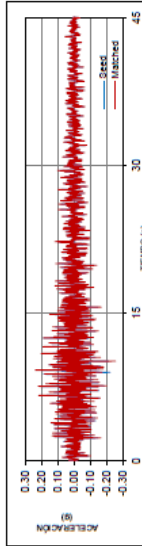


**Nota:**

- Valores de aceleración espectral en suelo Tipo B ( $V_s = 760$  m/s)
- El espectro objetivo empleado es el correspondiente a La máxima réplica esperada para el MCE-INT-PAE-LACK.
- Los espectros han sido escalados considerando un rango de interés de 0.02 a 2.00 s



COMPONENTE UP



Nota:

- Valores de aceleración espectral en suelo Tipo B ( $V_s = 760$  m/s)
- El espectro objetivo empleado es el correspondiente al componente vertical: 2/3 de la máxima réplica esperada para el MCE<sub>ER-INTPAC-A</sub>.
- Los espectros han sido escalados considerando un rango de interés de 0.02 a 2.00 s



GENERACIÓN DE ESCENARIOS SISMICOS PARA LIMA METROPOLITANA

P040-148 IGP ACE SINT

Anexo 5.2.7 Ajuste Espectral

Tarapacá 2005

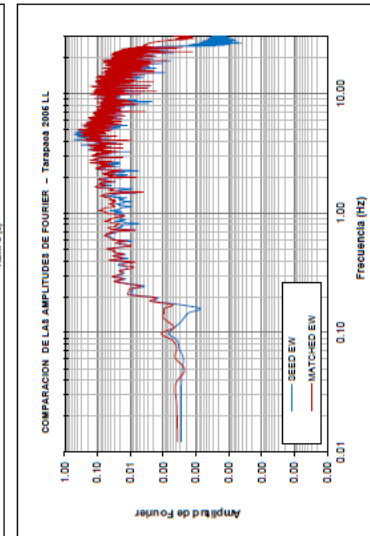
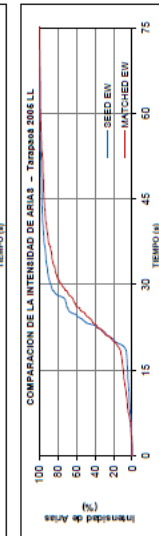
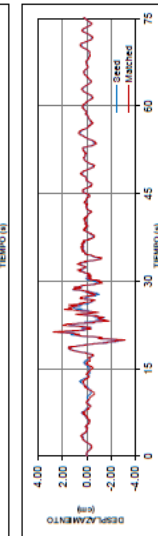
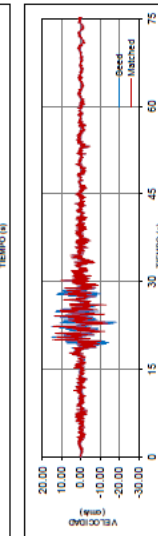
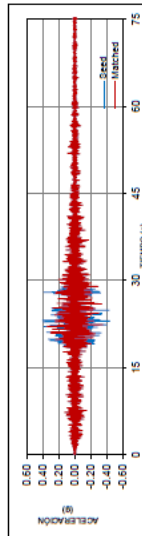
LL

TT

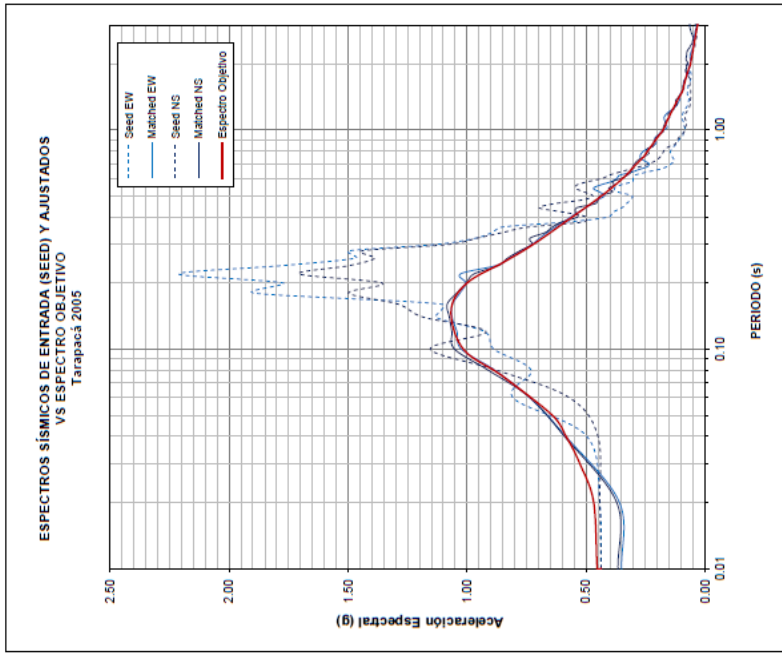
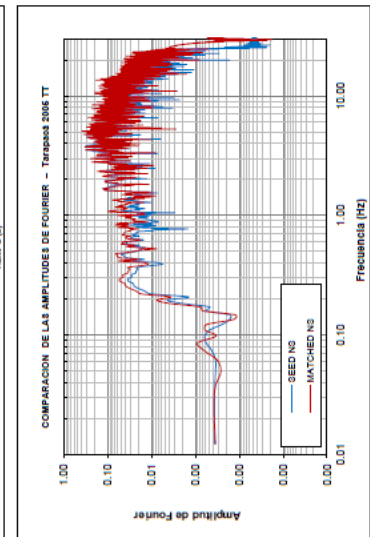
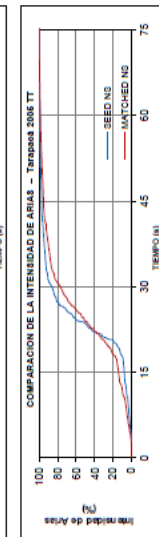
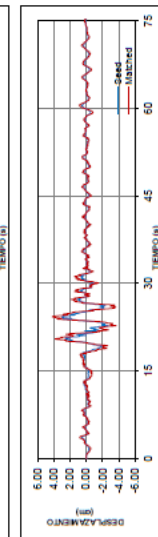
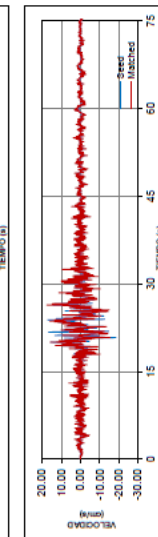
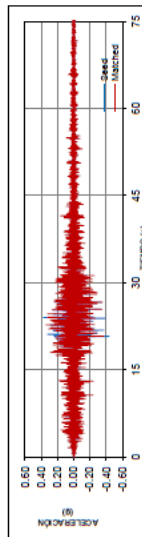
Enero 2021

Revisión: A

COMPONENTE LL



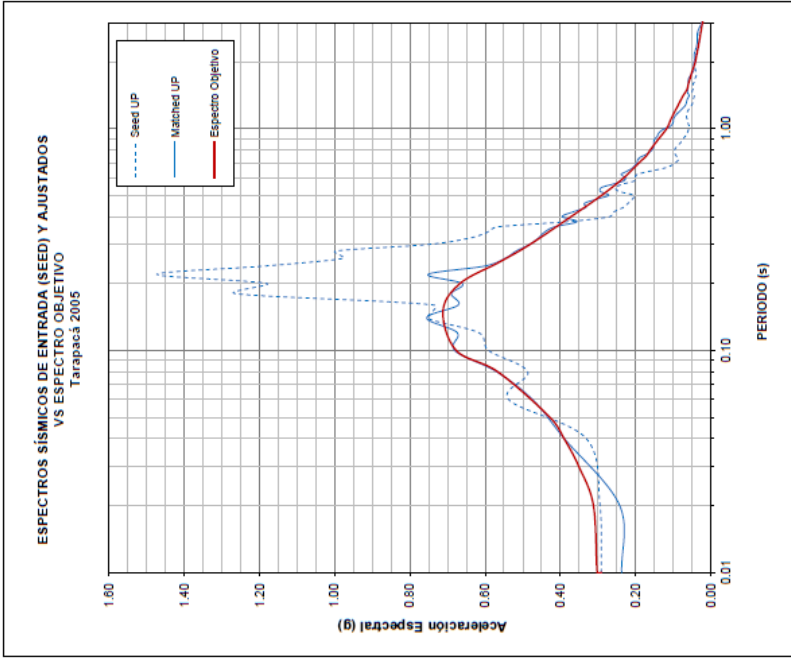
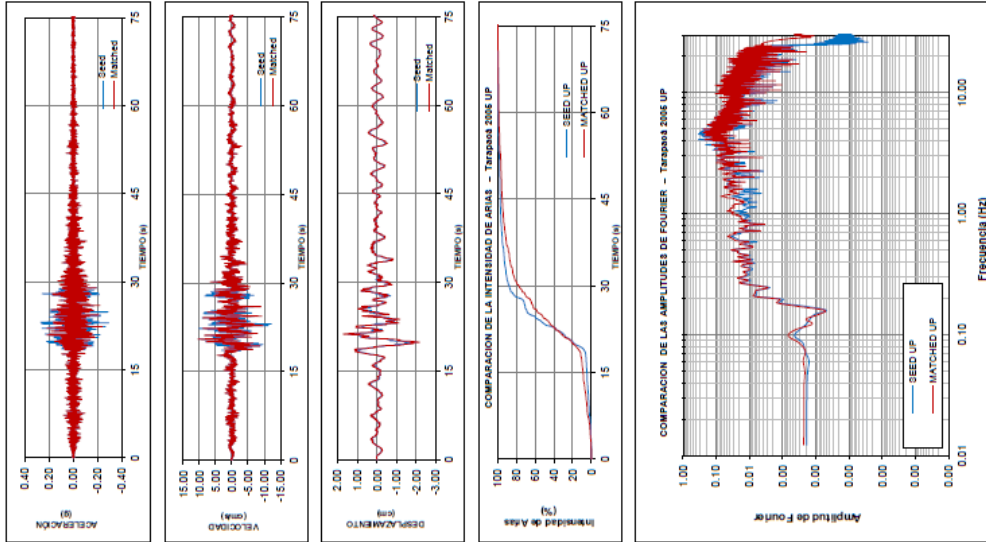
COMPONENTE TT



Nota:

- Valores de aceleración espectral en suelo Tipo B ( $V_s = 760$  m/s)
- El espectro objetivo empleado es el correspondiente a La máxima réplica esperada para el  $MC E_{cr} - I_{mp} - L_{ck}$ .
- Los espectros han sido escalados considerando un rango de interés de 0.02 a 2.00 s

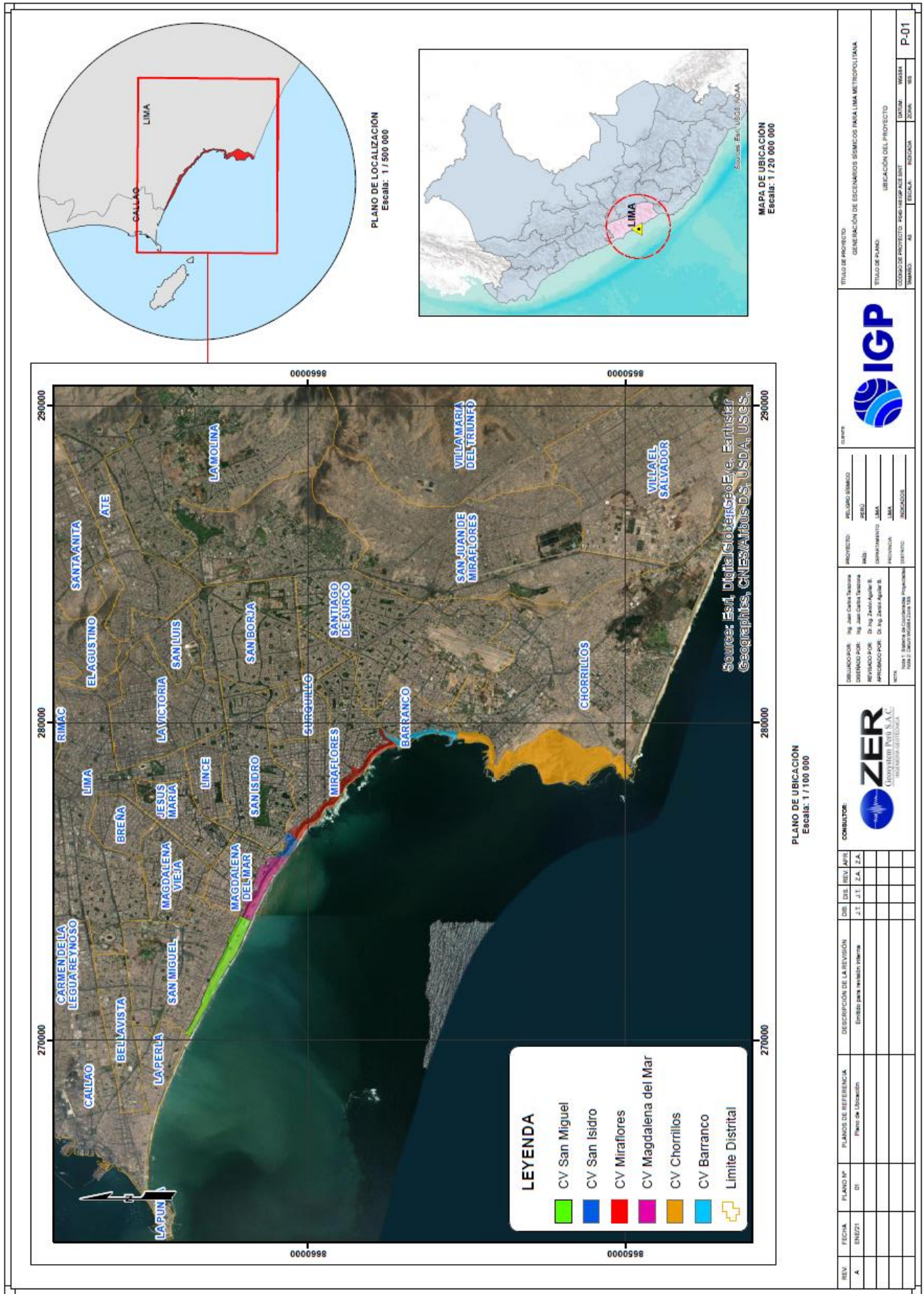
COMPONENTE UP



Nota:

- Valores de aceleración espectral en suelo Tipo B ( $V_s = 760$  m/s)
- El espectro objetivo empleado es el correspondiente al componente vertical: 2/3 de la máxima réplica esperada para el  $MCE_{EPR-UP}$ .
- Los espectros han sido escalados considerando un rango de interés de 0.02 a 2.00 s

## **Planos**



Source: Earth Digital Globe, GeoEye, Earthstar, Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS,

PLANO DE UBICACIÓN  
Escala: 1 / 100 000

PLANO DE LOCALIZACIÓN  
Escala: 1 / 500 000

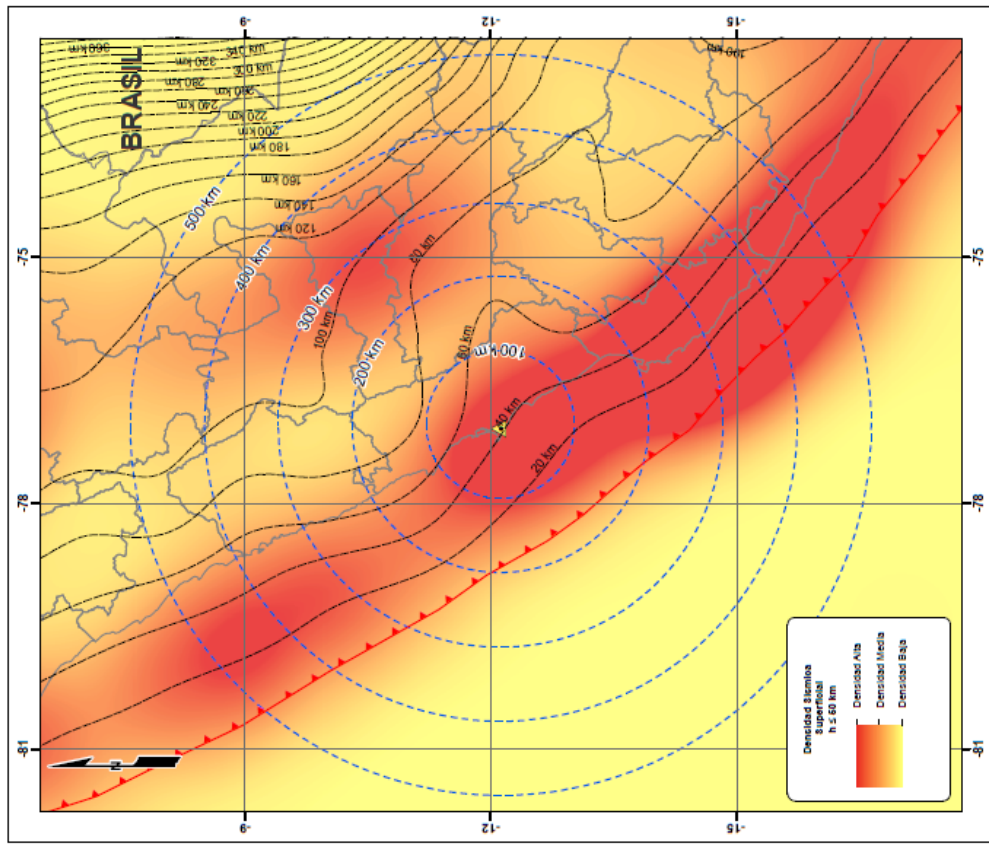
MAPA DE UBICACIÓN  
Escala: 1 / 20 000 000

REV.	FECHA	PLANO DE REFERENCIA	DESCRIPCIÓN DE LA REVISIÓN	DES.	DES.	REV.	FECHA
A.	08/2021	Planos de Ubicación	Elaborado para revisión interna	J.T.	J.T.	J.A.	J.A.

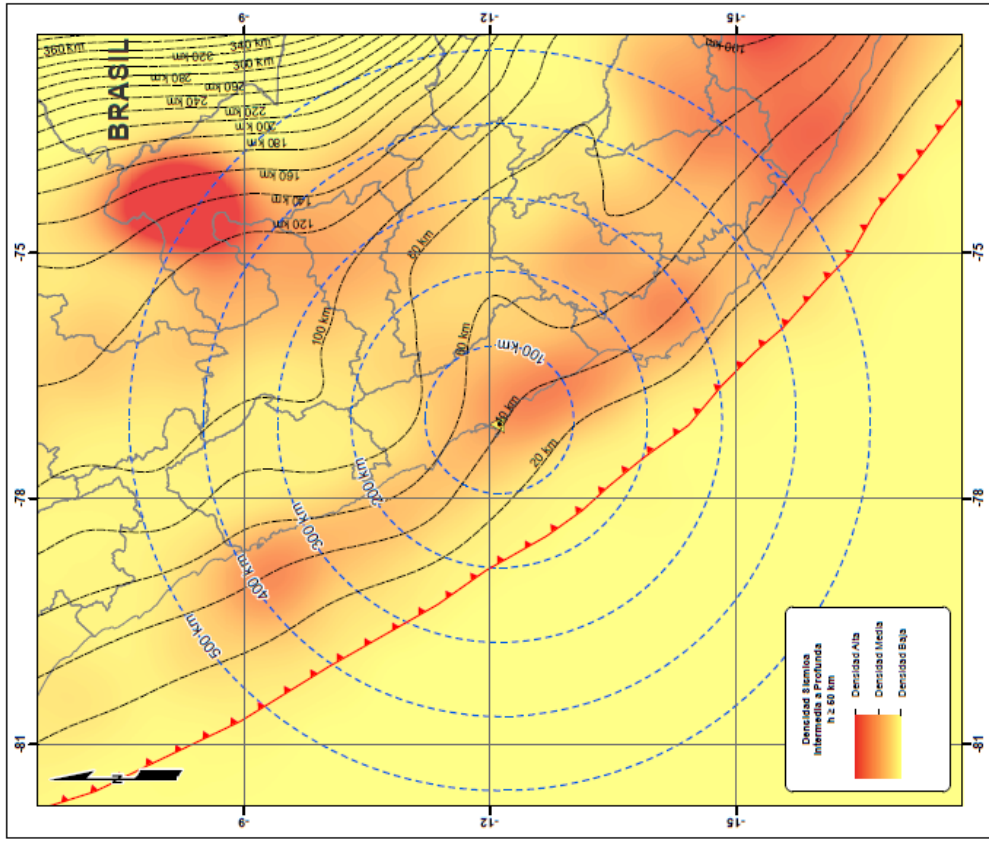
COMITULADOR:		COMITULADO:	
 ZER CONSULTORÍA PERÚ S.A.C. INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL		 IGP INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ	
TÍTULO DE PROYECTO: GENERACIÓN DE ESCENARIOS SÍSMICOS PARA LIMA METROPOLITANA		TÍTULO DE PLANO: UBICACIÓN DEL PROYECTO	
CÓDIGO DE PROYECTO: 1640-148-IMP-AE-01-INT		DATUM: WGS84	
NOMBRE: AN		INDICADOR: 001	
		ESCALA: 1:100 000	
		P-01	





Mapa de Densidad para Sismos Superficiales ( $h \leq 50$  km) Escala: 1/6 000 000

▲ Zona de Estudio      - - - - - Distancias a la Zona de estudio



Mapa de Densidad para Sismos Intermedios y Profundos ( $h > 50$  km) Escala: 1/6 000 000

▲ Fosa Perú Chile      - - - - - Placa de Nazca Borde Superior USGS (2011)

REV.	FECHA	PLANO DE REFERENCIA	DESCRIPCIÓN DE LA REVISIÓN	SR	DEL	REV.	APR
A	ENE21	Plano de Ubicación	Emisión para estudio técnico	A.1	A.1	Z.A	Z.A

CONSULTOR:

ZER  
Geoservicios Perú S.A.C.  
INGENIERÍA GEOTÉCNICA

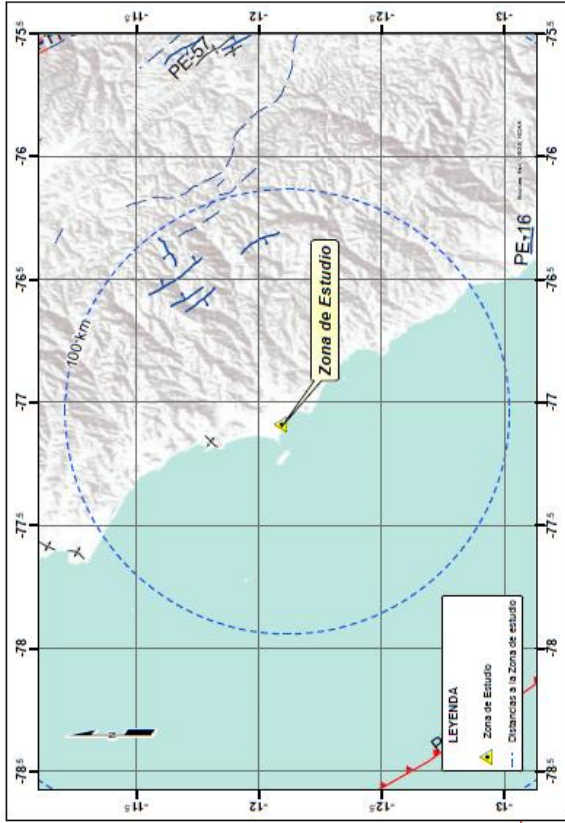
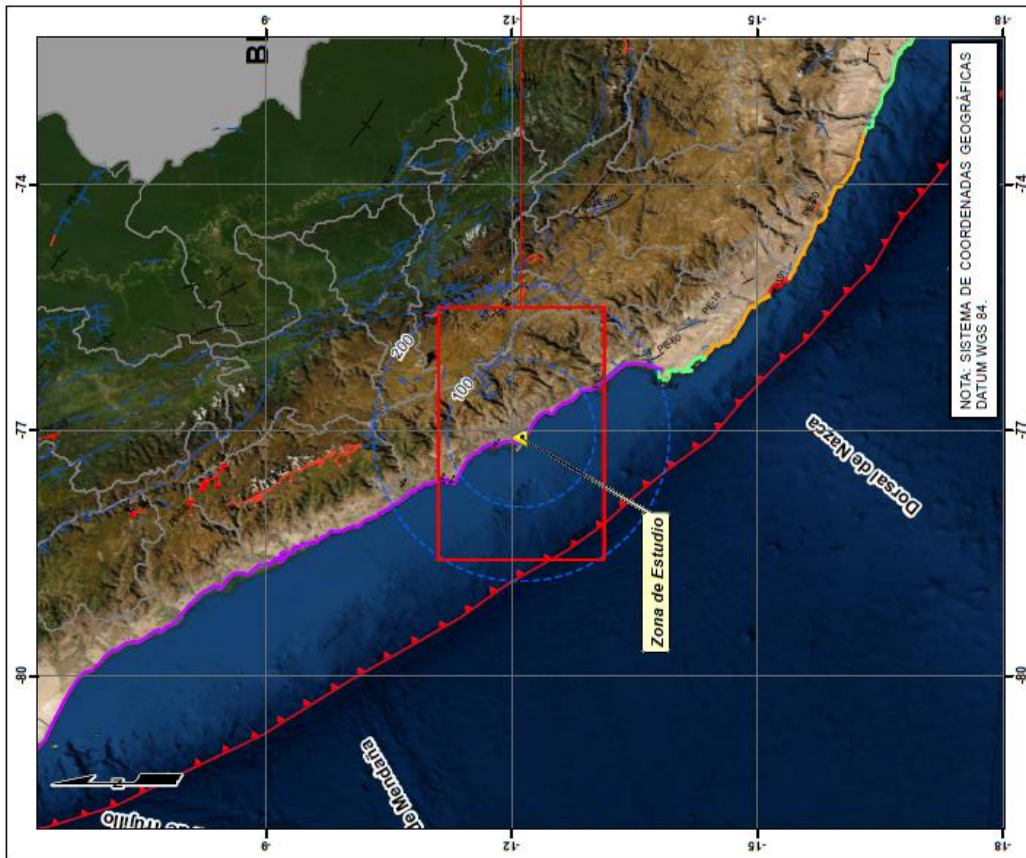
ELABORÓ POR: Ing. Juan Carlos Torres  
 DISEÑADO POR: Ing. Juan Carlos Torres  
 REVISADO POR: Dr. Rogelio Aguilar R.  
 APROBADO POR: Dr. Rogelio Aguilar R.

PROYECTO: RECURSO SÍSMICO  
 PAÍS: PERÚ  
 DEPARTAMENTO: LIMA  
 PROVINCIAS: LIMA  
 DISTRITOS: ADOBE

IGP

TÍTULO DE PROYECTO: GENERACIÓN DE ESCENARIOS SÍSMICOS PARA LIMA METROPOLITANA  
 TÍTULO DE PLANO: DENSIDAD SÍSMICA SUPERFICIAL, INTERMEDIA Y PROFUNDA  
 CÓDIGO DE PROYECTO: P-02-IMP-02-001  
 TERCERA: AS      ESCALA: REGIONAL      DATUM: WGS84      ZONA: 18S

P-02



FALLAS Y PLEGUES CUATERNARIOS DEL PERU

COORDENADAS	MOVIMIENTO	MOVIMIENTO	MOVIMIENTO
PE-01	Normal	Normal	Normal
PE-02	Inversa	Inversa	Inversa
PE-03	Normal	Normal	Normal
PE-04	Inversa	Inversa	Inversa
PE-05	Normal	Normal	Normal
PE-06	Inversa	Inversa	Inversa
PE-07	Normal	Normal	Normal
PE-08	Inversa	Inversa	Inversa
PE-09	Normal	Normal	Normal
PE-10	Inversa	Inversa	Inversa
PE-11	Normal	Normal	Normal
PE-12	Inversa	Inversa	Inversa
PE-13	Normal	Normal	Normal
PE-14	Inversa	Inversa	Inversa
PE-15	Normal	Normal	Normal
PE-16	Inversa	Inversa	Inversa
PE-17	Normal	Normal	Normal
PE-18	Inversa	Inversa	Inversa
PE-19	Normal	Normal	Normal
PE-20	Inversa	Inversa	Inversa
PE-21	Normal	Normal	Normal
PE-22	Inversa	Inversa	Inversa
PE-23	Normal	Normal	Normal
PE-24	Inversa	Inversa	Inversa
PE-25	Normal	Normal	Normal
PE-26	Inversa	Inversa	Inversa
PE-27	Normal	Normal	Normal
PE-28	Inversa	Inversa	Inversa
PE-29	Normal	Normal	Normal
PE-30	Inversa	Inversa	Inversa
PE-31	Normal	Normal	Normal
PE-32	Inversa	Inversa	Inversa
PE-33	Normal	Normal	Normal
PE-34	Inversa	Inversa	Inversa
PE-35	Normal	Normal	Normal
PE-36	Inversa	Inversa	Inversa
PE-37	Normal	Normal	Normal
PE-38	Inversa	Inversa	Inversa
PE-39	Normal	Normal	Normal
PE-40	Inversa	Inversa	Inversa
PE-41	Normal	Normal	Normal
PE-42	Inversa	Inversa	Inversa
PE-43	Normal	Normal	Normal
PE-44	Inversa	Inversa	Inversa
PE-45	Normal	Normal	Normal
PE-46	Inversa	Inversa	Inversa
PE-47	Normal	Normal	Normal
PE-48	Inversa	Inversa	Inversa
PE-49	Normal	Normal	Normal
PE-50	Inversa	Inversa	Inversa
PE-51	Normal	Normal	Normal
PE-52	Inversa	Inversa	Inversa
PE-53	Normal	Normal	Normal
PE-54	Inversa	Inversa	Inversa
PE-55	Normal	Normal	Normal
PE-56	Inversa	Inversa	Inversa
PE-57	Normal	Normal	Normal
PE-58	Inversa	Inversa	Inversa
PE-59	Normal	Normal	Normal
PE-60	Inversa	Inversa	Inversa
PE-61	Normal	Normal	Normal
PE-62	Inversa	Inversa	Inversa
PE-63	Normal	Normal	Normal
PE-64	Inversa	Inversa	Inversa
PE-65	Normal	Normal	Normal
PE-66	Inversa	Inversa	Inversa
PE-67	Normal	Normal	Normal
PE-68	Inversa	Inversa	Inversa
PE-69	Normal	Normal	Normal
PE-70	Inversa	Inversa	Inversa
PE-71	Normal	Normal	Normal
PE-72	Inversa	Inversa	Inversa
PE-73	Normal	Normal	Normal
PE-74	Inversa	Inversa	Inversa
PE-75	Normal	Normal	Normal
PE-76	Inversa	Inversa	Inversa
PE-77	Normal	Normal	Normal
PE-78	Inversa	Inversa	Inversa
PE-79	Normal	Normal	Normal
PE-80	Inversa	Inversa	Inversa
PE-81	Normal	Normal	Normal
PE-82	Inversa	Inversa	Inversa
PE-83	Normal	Normal	Normal
PE-84	Inversa	Inversa	Inversa
PE-85	Normal	Normal	Normal
PE-86	Inversa	Inversa	Inversa
PE-87	Normal	Normal	Normal
PE-88	Inversa	Inversa	Inversa
PE-89	Normal	Normal	Normal
PE-90	Inversa	Inversa	Inversa
PE-91	Normal	Normal	Normal
PE-92	Inversa	Inversa	Inversa
PE-93	Normal	Normal	Normal
PE-94	Inversa	Inversa	Inversa
PE-95	Normal	Normal	Normal
PE-96	Inversa	Inversa	Inversa
PE-97	Normal	Normal	Normal
PE-98	Inversa	Inversa	Inversa
PE-99	Normal	Normal	Normal
PE-100	Inversa	Inversa	Inversa

REPÚBLICA DEL PERÚ  
SECTOR DE ENERGÍA Y MINAS  
INSTITUTO GEOLOGICO MINERO Y METALURGICO  
Mazorra, J., Benavente, C. & Audin, L.  
**MAPA NEOTECTÓNICO DEL PERÚ**  
2008

**LEYENDA**

Falla normal histórica	Falla inversa holocena probable	Levantamiento	Subsidiario
Falla normal holocena	Falla inversa cuaternaria probable	En línea de costa	Subsidiario
Falla normal cuaternaria	Falla transcurrente cuaternaria probable	Alta	Subsidiario
Falla inversa histórica	Lineamiento	En continente	Subsidiario
Falla inversa holocena	Anticlinal		
Falla inversa cuaternaria	Sinclinal		
Falla transcurrente histórica	Marcopostal		
Falla transcurrente holocena	Subducción		

**MOVIMIENTOS VERTICALES**

Esja	V < 0.3 mm/año	Levantamiento	Subsidiario
Moderada	0.3 < V < 0.5		
Alta	V > 0.6 mm/año		
En continente			

TÍTULO DE PROYECTO: GENERACIÓN DE ESCENARIOS SÍSMICOS PARA LIMA METROPOLITANA

TÍTULO DE PLANO: NEOTECTÓNICA REGIONAL

LOGO DE PROYECTO: P-03

LOGO DE INSTITUCIÓN: IGP

LOGO DE INSTITUCIÓN: ZER

COMITENTE: COMITENTE

ELABORADO POR: Ing. Juan Carlos Benavente

DISEÑADO POR: Ing. Juan Carlos Benavente

REVISADO POR: Dr. Ing. Zoraida Aguilar

APROBADO POR: Dr. Ing. Zoraida Aguilar

PROYECTISTA: IGM

COORDINADOR: IGM

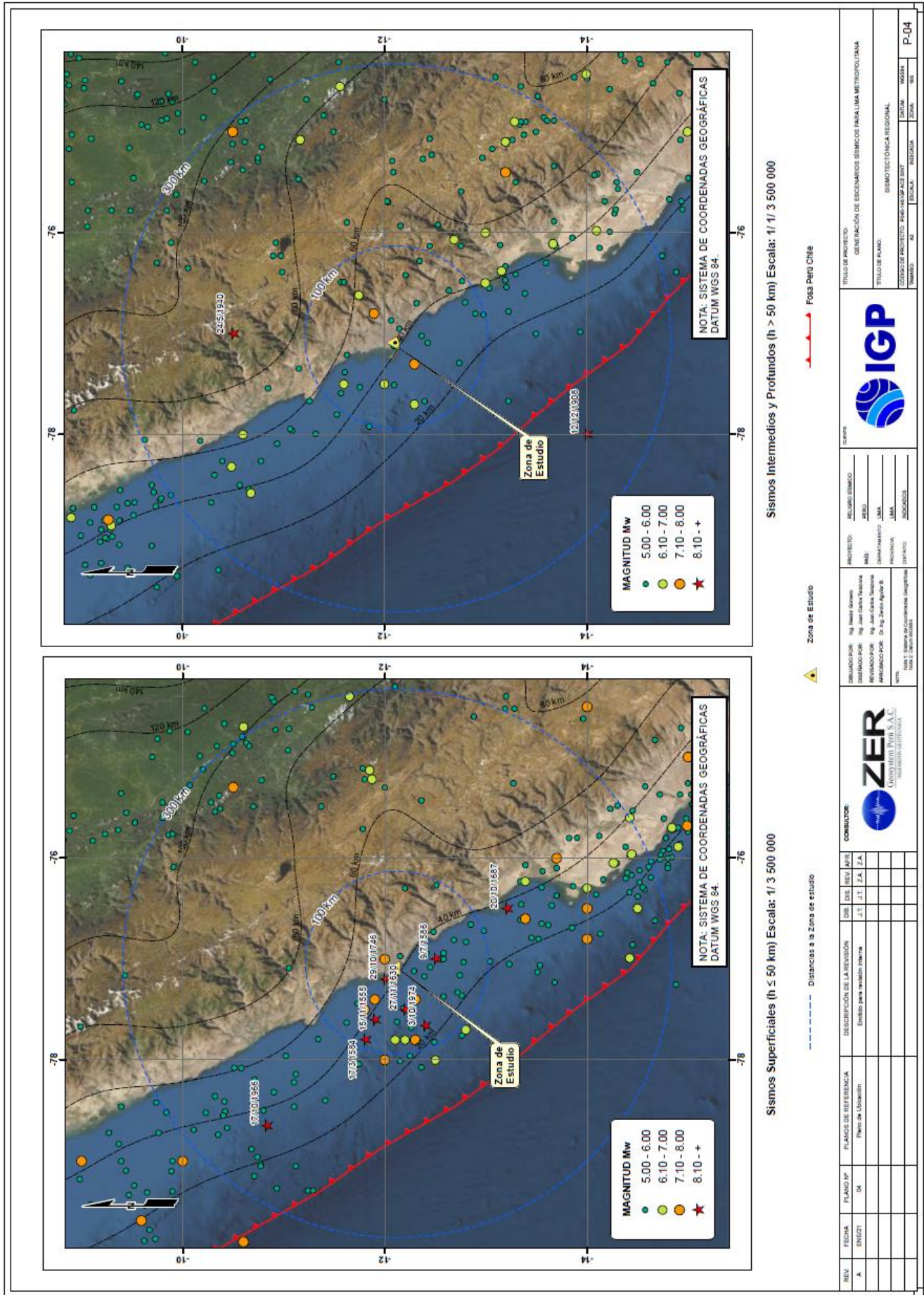
REVISOR: IGM

APROBADOR: IGM

NOTA: Sistema de Coordenadas Geográficas Datum WGS 84.

NOTA: Sistema de Coordenadas Geográficas Datum WGS 84.





REV	FECHA	PLANO Nº	PLANO DE REFERENCIA	DESCRIPCIÓN DE LA REVISIÓN	DES	REV	FECHA
A	04/02/21	04	Plano de Ubicación	Eliminado para revisión interna	J.T.	J.T.	J.T.

CONSEJERO:	INGENIERO EN SEISMOLOGÍA	CONSEJERO:	INGENIERO EN SEISMOLOGÍA
INGENIERO EN SEISMOLOGÍA	INGENIERO EN SEISMOLOGÍA	INGENIERO EN SEISMOLOGÍA	INGENIERO EN SEISMOLOGÍA

ELABORADO POR:	Ing. Néstor Soto	PROYECTO:	ALUMNO SEISMO
REVISADO POR:	Ing. Juan Carlos Paredes	NOMBRE:	ALUMNO
APROBADO POR:	Dr. Ing. Juan Carlos Paredes	INSTITUCIÓN:	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

TRÁMITE DE PROYECTO:	GENERACIÓN DE ESCENARIOS SÍSMICOS PARA LIMA METROPOLITANA
TRÁMITE DE PLANO:	SISMOTECTÓNICA REGIONAL
COORDINADOR DE PROYECTO:	INGENIERO EN SEISMOLOGÍA
ELABORADO POR:	INGENIERO EN SEISMOLOGÍA
REVISADO POR:	INGENIERO EN SEISMOLOGÍA
APROBADO POR:	INGENIERO EN SEISMOLOGÍA

IGP

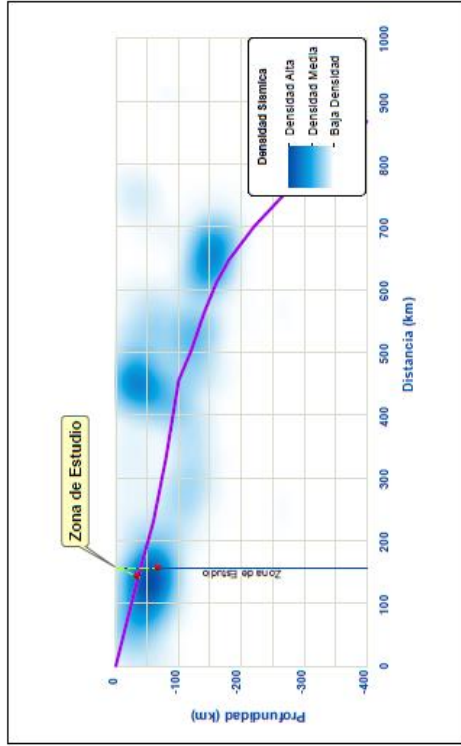
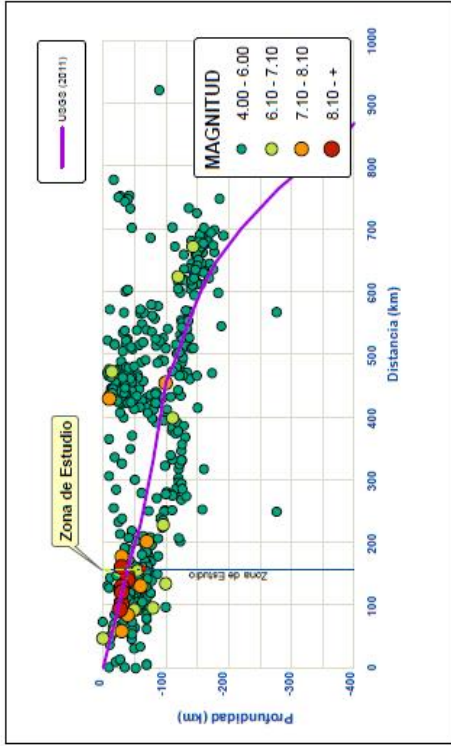
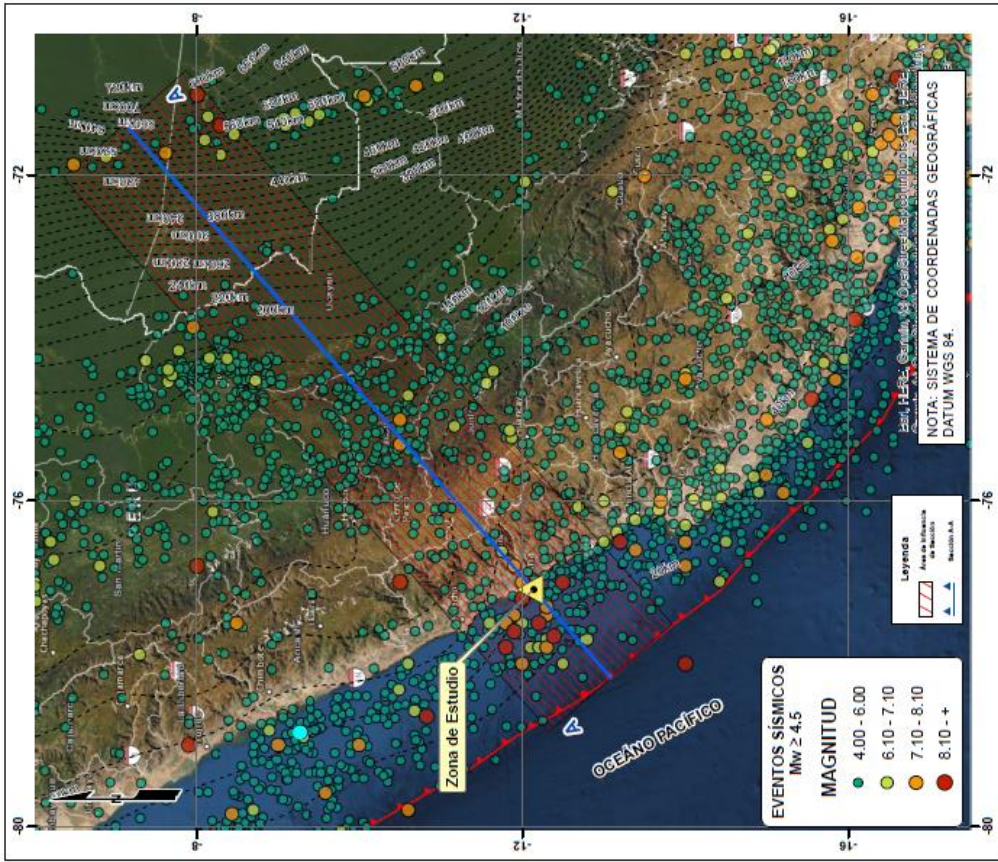
ZER

INGENIERIA PERU S.A.C.

INGENIERIA PERU S.A.C.

INGENIERIA PERU S.A.C.

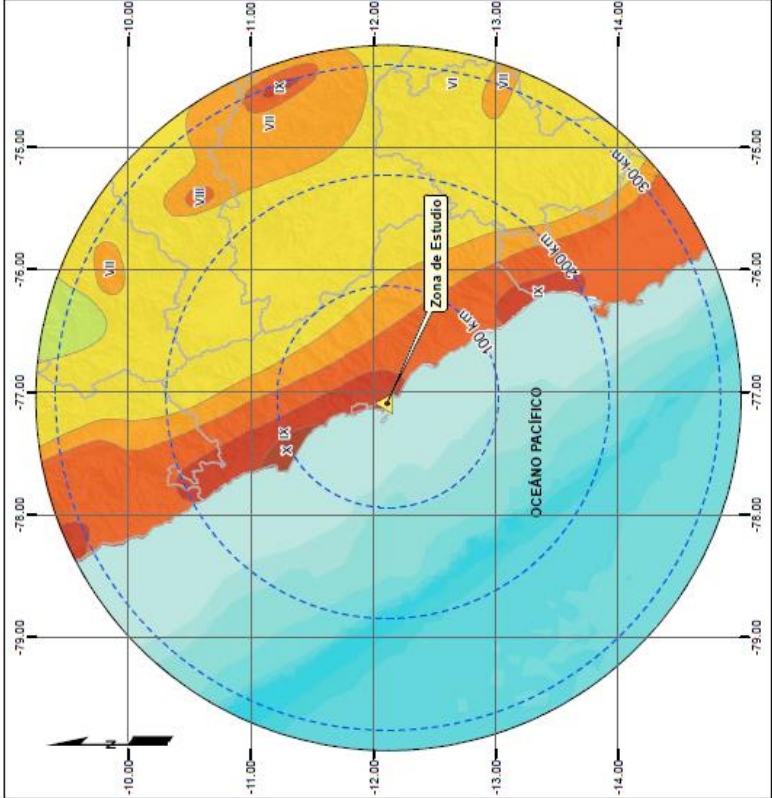
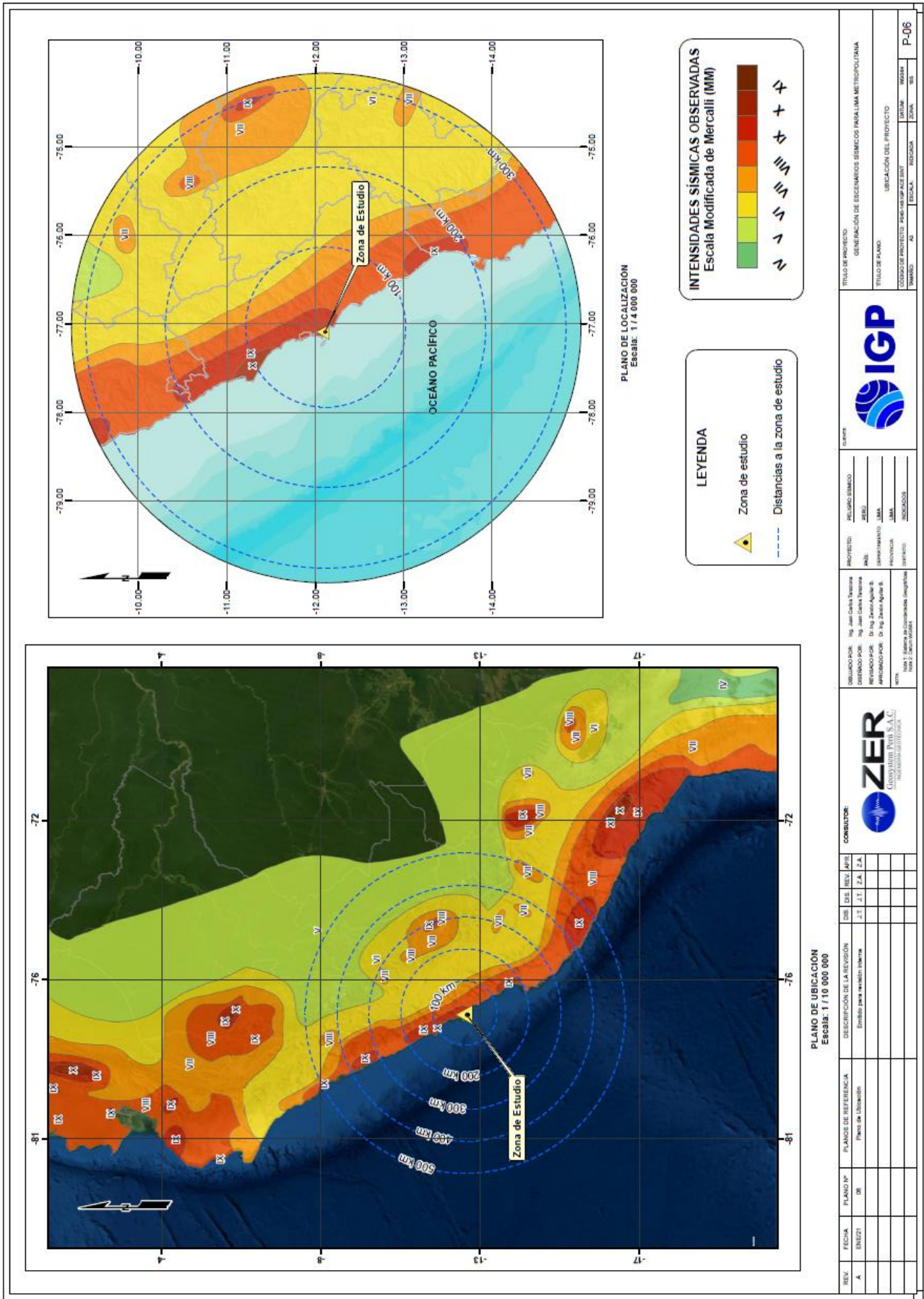




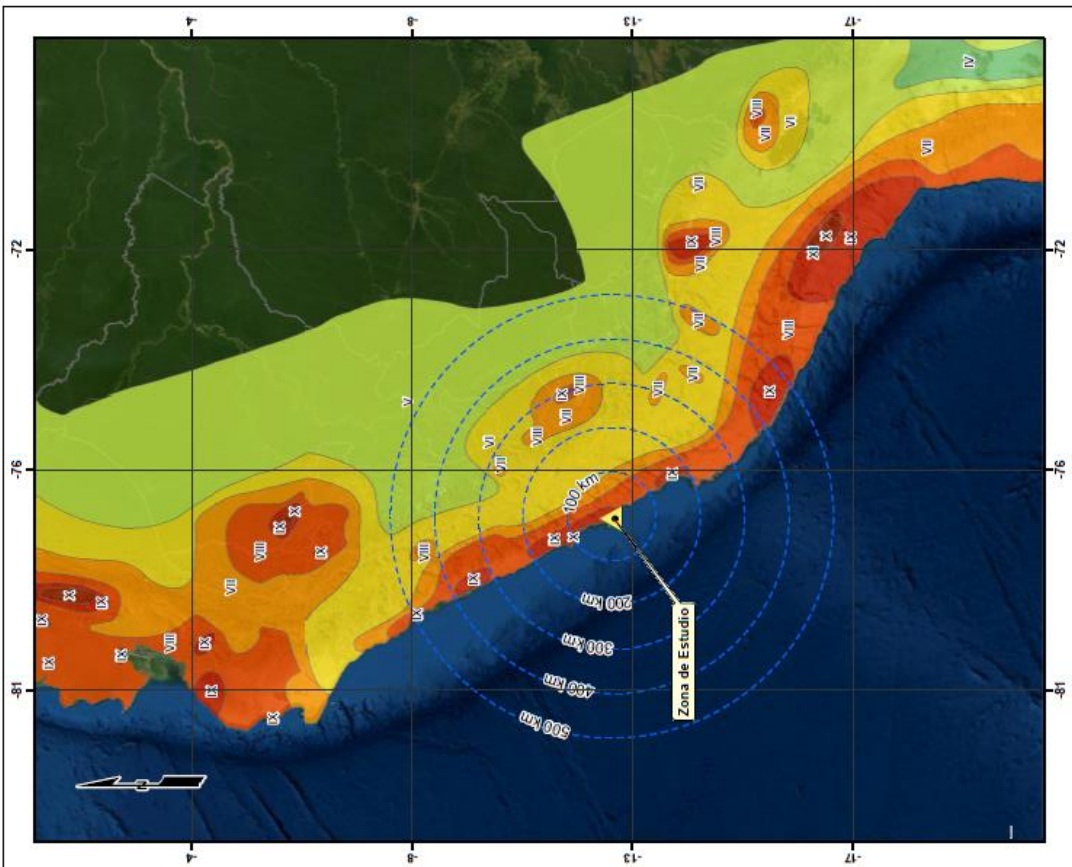
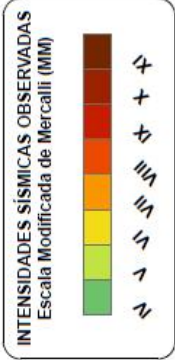
REV.	FECHA	PLANO Nº	PLANO DE REFERENCIA	DESCRIPCIÓN DE LA REVISIÓN	SIS	DES	REV	FECHA	COMITENTE	CONTRATISTA	PROYECTO	FEELAR SISMICO	REPORTE
A.		05	Plano de Ubicación	Emisión para revisión interna	J.T	J.T	J.A	Z.A	ZER INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ S.A.S. INSTITUTO NACIONAL DE GEOMÁTICA	PROYECTO: PLAN SISMICO REPORTE: PLAN SISMICO	PROYECTO: PLAN SISMICO REPORTE: PLAN SISMICO	PROYECTO: PLAN SISMICO REPORTE: PLAN SISMICO	TÍTULO DE PROYECTO: GENERACIÓN DE ESCHEMAS SISMICOS PARA LA METROPOLITANA

TÍTULO DE PROYECTO:	GENERACIÓN DE ESCHEMAS SISMICOS PARA LA METROPOLITANA
TÍTULO DE PLANO:	SECCIÓN TRANSVERSAL DE UBICACIÓN
CODIGO DE PROYECTO:	REP-VAL-041-001
MANDANTE:	AN
ESCALA:	INDICADA
FECHA:	2011

P-05



PLANO DE LOCALIZACIÓN  
Escala: 1 / 4 000 000



PLANO DE UBICACIÓN  
Escala: 1 / 10 000 000

<b>TÍTULO DE PROYECTO</b> GENERACIÓN DE ESCENARIOS SÍSMICOS PARA LIMA METROPOLITANA		<b>CLIENTE</b> 	
<b>TÍTULO DE PLANO</b> UBICACIÓN DEL PROYECTO		<b>PROYECTO</b> NOMBRE: <input type="text"/> <input type="text"/> MAIL: <input type="text"/> DEPARTAMENTO: <input type="text"/> <input type="text"/> PROVINCIA: <input type="text"/> <input type="text"/> DISTRITO: <input type="text"/> <input type="text"/>	
<b>CODIGO DE PROYECTO</b> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>		<b>FECHA</b> DIA: <input type="text"/> / MES: <input type="text"/> / AÑO: <input type="text"/>	
<b>FECHA</b> 06/03/21		<b>COMITENTE</b> 	
<b>PLANO DE REFERENCIA</b> Plano de Ubicación		<b>REVISIÓN</b> NO.   FECHA   DESCRIPCIÓN DE LA REVISIÓN 1-1   11-24   2-A   2-A	
<b>REVISIÓN</b> A.		<b>DESCRIPCIÓN DE LA REVISIÓN</b> Estudio para estudio de caso	
<b>PLANO Nº</b> 06		<b>ESTADO</b> <input type="checkbox"/> Borrador <input type="checkbox"/> Aprobado	
<b>FECHA</b> 06/03/21		<b>ELABORADO POR</b> Ing. Juan Carlos Pacheco	
<b>ELABORADO POR</b> Ing. Juan Carlos Pacheco		<b>REVISADO POR</b> Ing. Juan Carlos Pacheco	
<b>APROBADO POR</b> Dr. Ing. Zoraida Aguilar B.		<b>APROBADO POR</b> Dr. Ing. Zoraida Aguilar B.	
<b>VALIDADO POR</b> Mtro. E. Javier Villalón		<b>VALIDADO POR</b> Mtro. E. Javier Villalón	

