

CURSO ESPECIALIZADO

# PELIGROSIDAD SÍSMICA

Método Determinista  
(DSHA)

Organizado por:

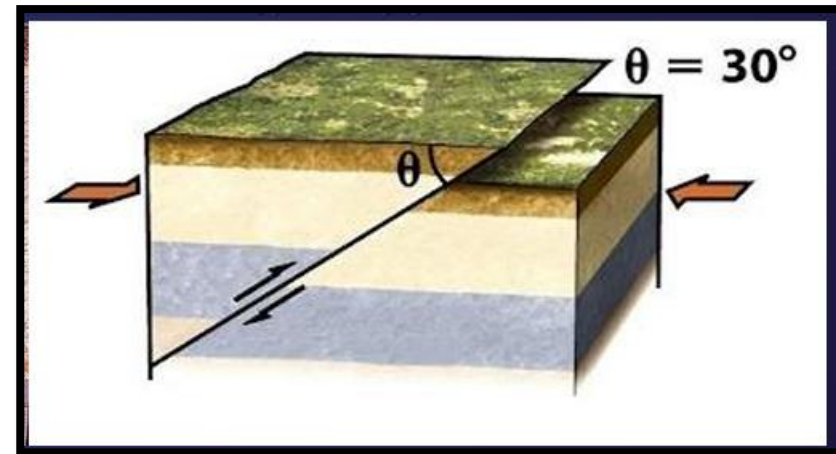
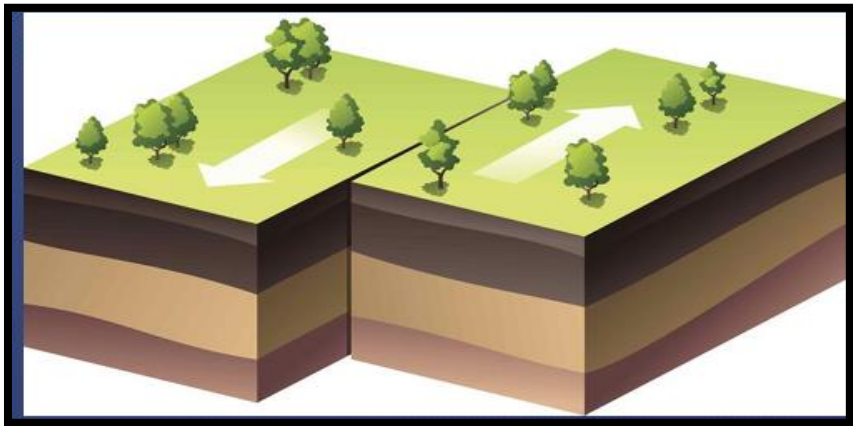
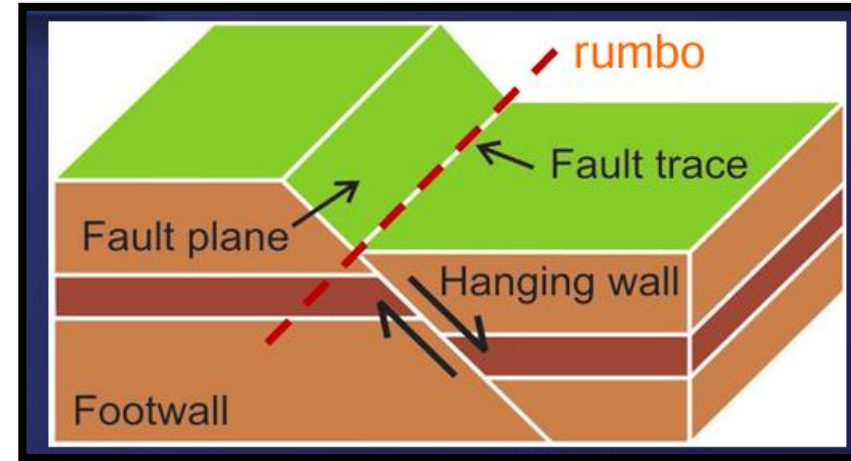
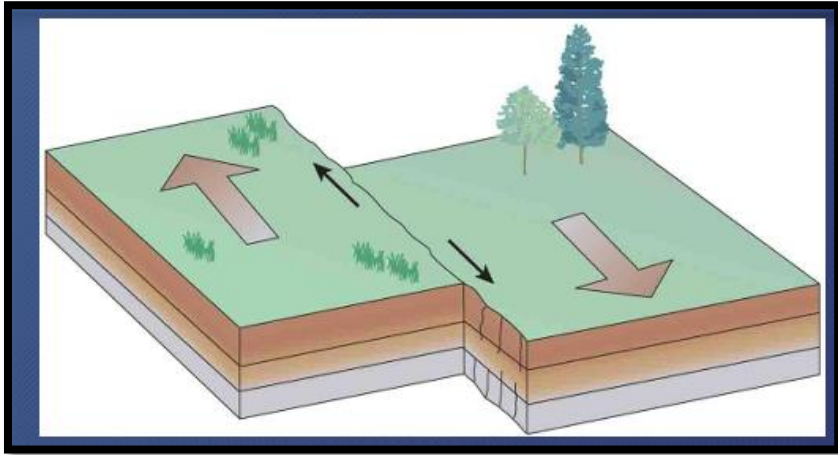


## SESIÓN 5: Reproducción del terremoto del 1746 de Lima Mw 9.0

DOCENTE DEL CURSO

**Mag. Ing. Jorge  
Trujillo**

# TIPOS DE FALLA (REFERENTE AL MECANISMO FOCAL)











*Foto cortesía de P. Murphy*







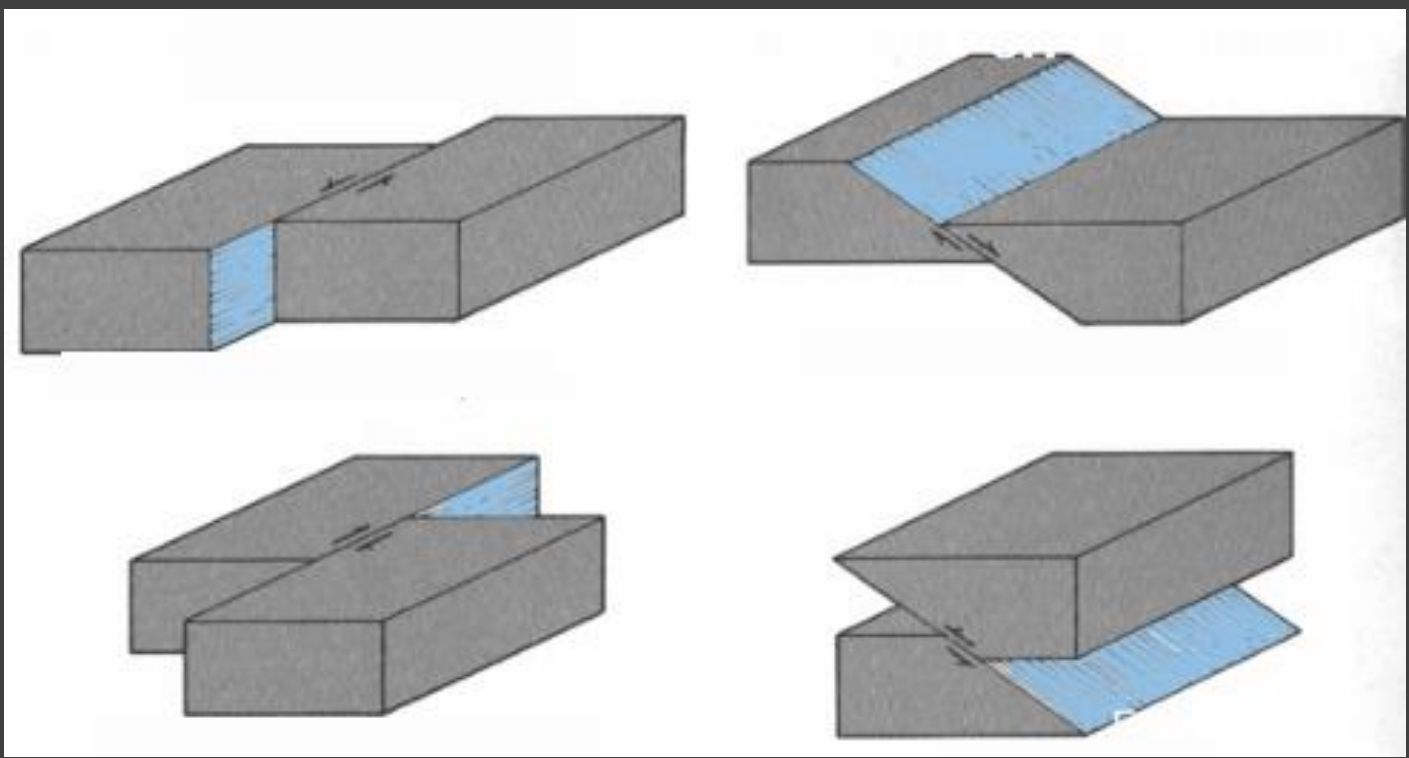






Angelier et al., 2003







# EVALUAR EL GRAN TERREMOTO DE LIMA DE 1746, MW 9.0 IMPLEMENTANDO EL METODO DETERMINISTA (DSHA) CON ARGIS PRO

**Acorde a Pérez (2005),** *“El gran terremoto que destruyó Lima y asoló su puerto de El Callao en 1746. Fue el movimiento sísmico más destructivo que sopórtala capital del Perú durante la época colonial y originó una profunda y dramática crisis.”*

### Carcelén et al (2020):

*“El 28 de octubre de 1746 a las 10:30 de la noche <sup>4</sup>, Lima fue sacudida por un terremoto que dejó unas 1300 personas muertas <sup>5</sup> mientras que en El Callao el número fue mayor, unos 3800 muertos <sup>2</sup>, ya que el sismo fue seguido por un tsunami, con olas de entre 10 y 24 metros <sup>6</sup>. En total se puede hablar de la pérdida del 8% de la población total de Lima y Callao, que se calculaba en unos 65 000 habitantes en esos años <sup>4</sup>. Se calcula la fuerza sísmica en 8.4° en la escala Richter. La severidad del terremoto fue tal, que la intensidad en la escala Mercalli Modificada se ha estimado en X-XI, lo que indica un grado de destrucción altísimo.*

*Respecto a los daños se requirió la reconstrucción de «las fortificaciones y población de El Callao, al igual que los dos edificios más significativos de la capital: el palacio virreinal y la catedral. Los principales hospitales, conventos y templos sufrieron derrumbes y grandes destrozos, únicamente permaneció ilesa la iglesia de San Francisco y la de Santo Domingo sufrió daños menores»<sup>7</sup>.»*

2. Petit-Breuilh M. Desastres naturales y ocupación del territorio en Hispanoamérica. Huelva: Universidad de Huelva; 2004.

4. Walker C. The Upper Classes and Their Upper Stories: Architecture and the Aftermath of the Lima Earthquake of 1746. *Hispanic American Historical Review*. 2003; 83(1): 53-82.

5. Pérez-Mallaína P. Retrato de una ciudad en crisis: la sociedad limeña ante el movimiento sísmico de 1746. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú - Instituto Riva-Agüero; 2001.

6. Jiménez C. et al. Seismic Source of 1746 Callao Earthquake from Tsunami Numerical Modeling, Journal of Disaster Research. 2013; 8 (2): 270.

7. Pérez-Mallaína P. & «§§¹,²,³»&THORN;,&thorn;,&times;,&Uacute;,&uacute;,&Ucirc;,&ucirc;,&Ugrave;,&ugrave;,&uml;,&Uuml;,&uuml;,&Yacute;,&yacute;,&yen;,&¥&uml;,&y&para;¶ Las catástrofes naturales como instrumento de observación social: el caso del terremoto de Lima en 1746 & «§§¹,²,³»&THORN;,&thorn;,&times;,&Uacute;,&uacute;,&Ucirc;,&ucirc;,&Ugrave;,&ugrave;,&uml;,&Uuml;,&uuml;,&Yacute;,&yacute;,&yen;,&¥&uml;,&y&para;¶ . Anuario de Estudios Americanos. 2005; 62(2): 47-63.



# INDECI – DIPRE (2017)

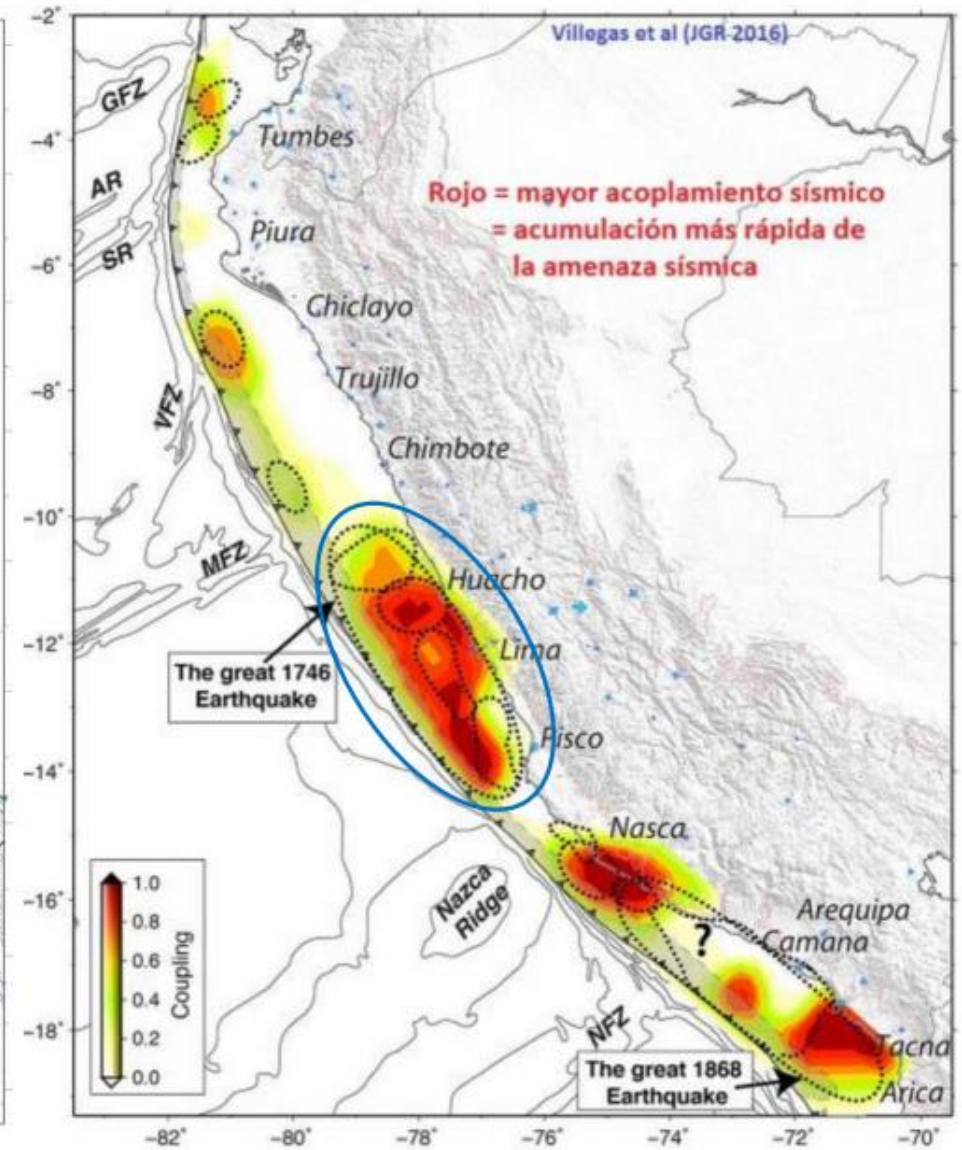
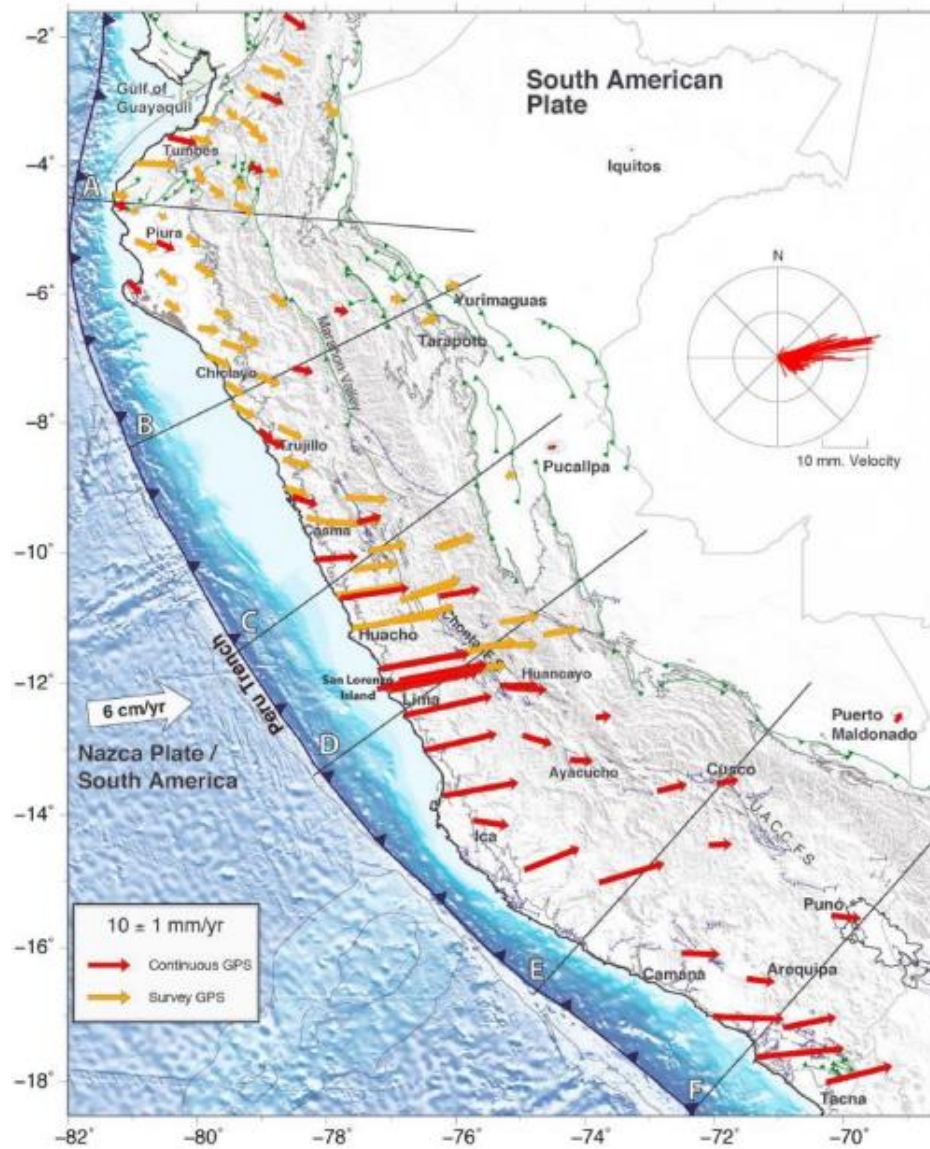
CEPIG

2017



**Escenario sísmico para Lima  
Metropolitana y Callao: Sismo  
8.8Mw**





Fuente: Villegas-Lanza et al., 2016



# TERREMOTO DE LIMA 1746, 8.6-9.0MW





<b>Parámetros sísmicos</b>	<b>INDECI (2017)</b>	<b>USGS</b>	<b>Jiménez (2016)</b>	<b>Final</b>
Magnitud (Mw)	8.8	--	9.0	9.0
Profundidad (km)	35	Hayes et al (2018)	--	Hayes et al (2018)
Intensidad Max	VIII	--	--	N/A
Latitud	Extiende (-13 a -10S)		-11.35°	-11.35°
Longitud	--		-77.28°	-77.28°
Azimut (Strike)		Hayes et al (2018)		Hayes et al (2018)
Buzamiento (dip)		Hayes et al (2018)		Hayes et al (2018)
Mecanismo focal	Inversa	--	Inversa	Inversa



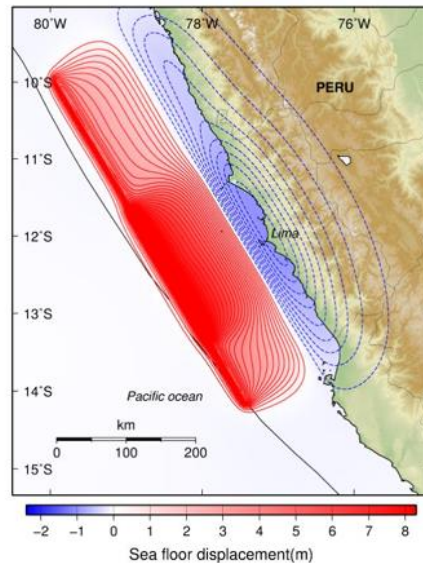
# OBJETIVO PRINCIPAL

Reproducir el terremoto de Lima del 1746 de 9.0 Mw implementando el método determinista (DSHA) en un SIG con la aplicación ArcGIS Pro

## Fuente sísmica

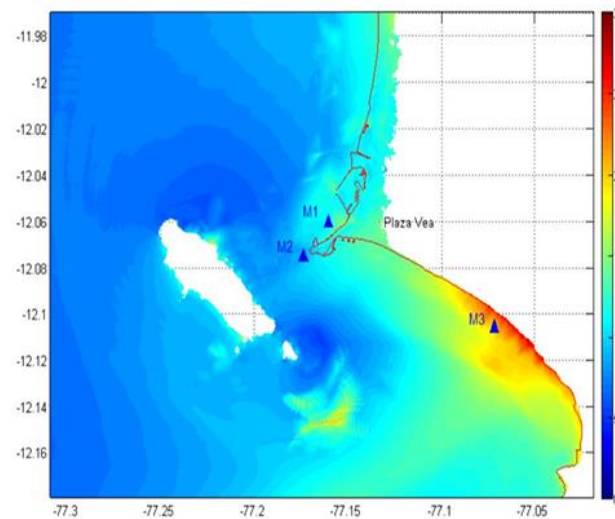
El escenario sísmico es el terremoto de Lima del 1746 con epicentro en las coordenada aproximada de longitud  $77.28^\circ$  y latitud de  $-11.35^\circ$ , con emplazamiento en todo el Perú. La magnitud máxima es de Mw. 9.0. Haciendo uso de las relaciones alternativas de subducción de Hayes et al (2017), que a partir de la magnitud se obtiene la longitud y ancho del plano de ruptura. Este terremoto generó un gran tsunami de dos ola de las cuales la más grande fue de 25m. Además este terremoto genero un desplazamiento de aproximadamente 10m (Jiménez, 2016).

Deformación inicial del fondo marino



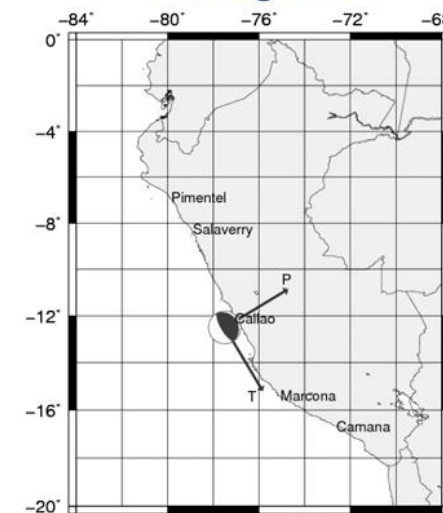
Fuente: Bruno et al (2013)

Mapa de inundación del tsunami en el Callao y Miraflores (altura máxima de ola, 25m)



Fuente: Jiménez (2013)

Mecanismo focal del terremoto del Lima, 1746. En proyección estereográfica

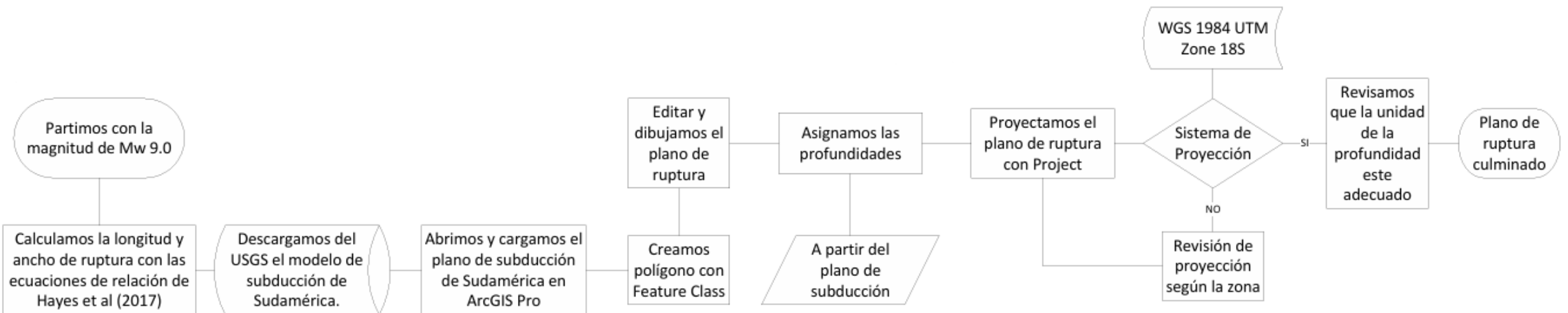


Fuente: Jiménez (2016)

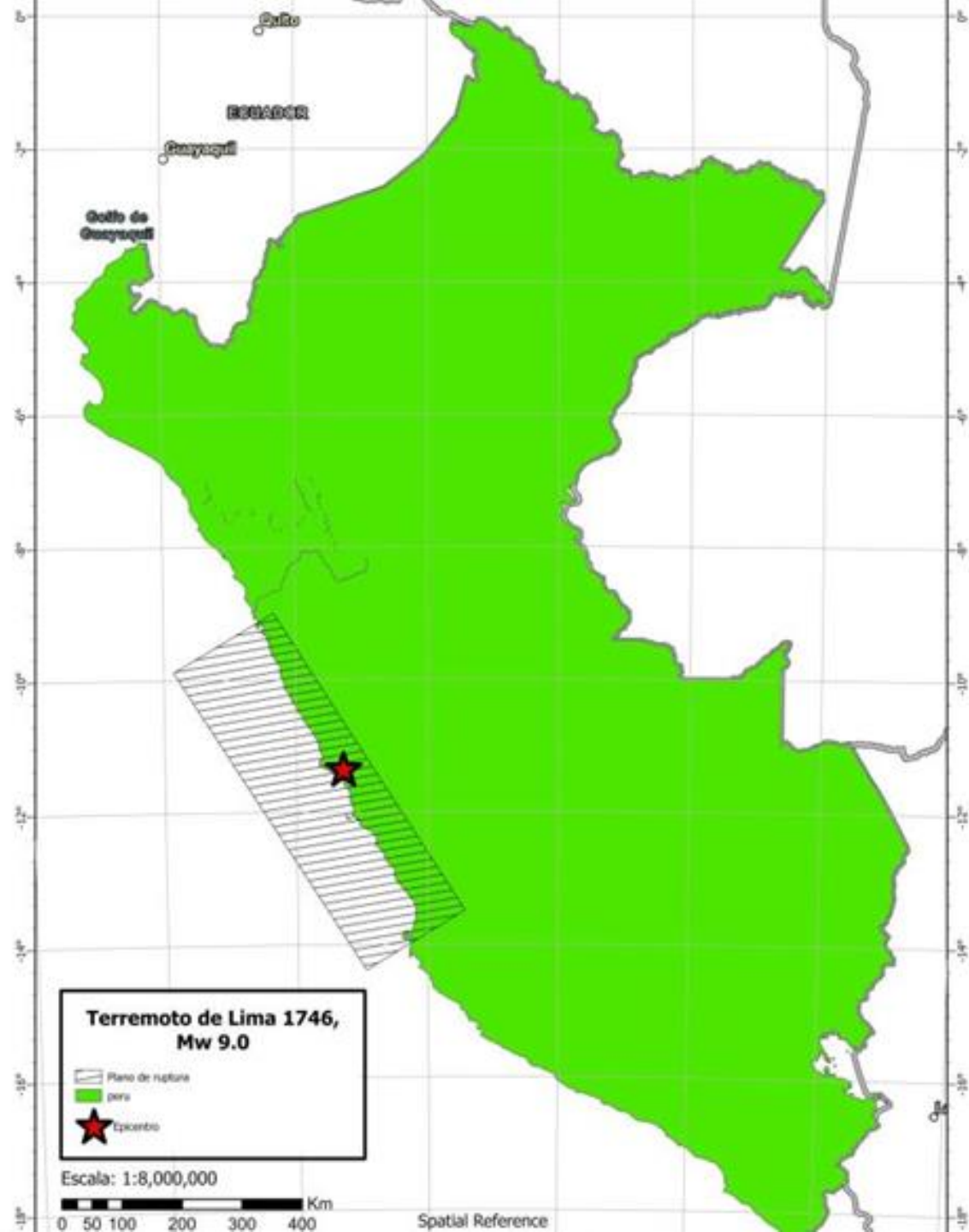




# FLUJOGRAMA DEL PROCESO DE MODELAMIENTO DEL PLANO DE RUPTURA

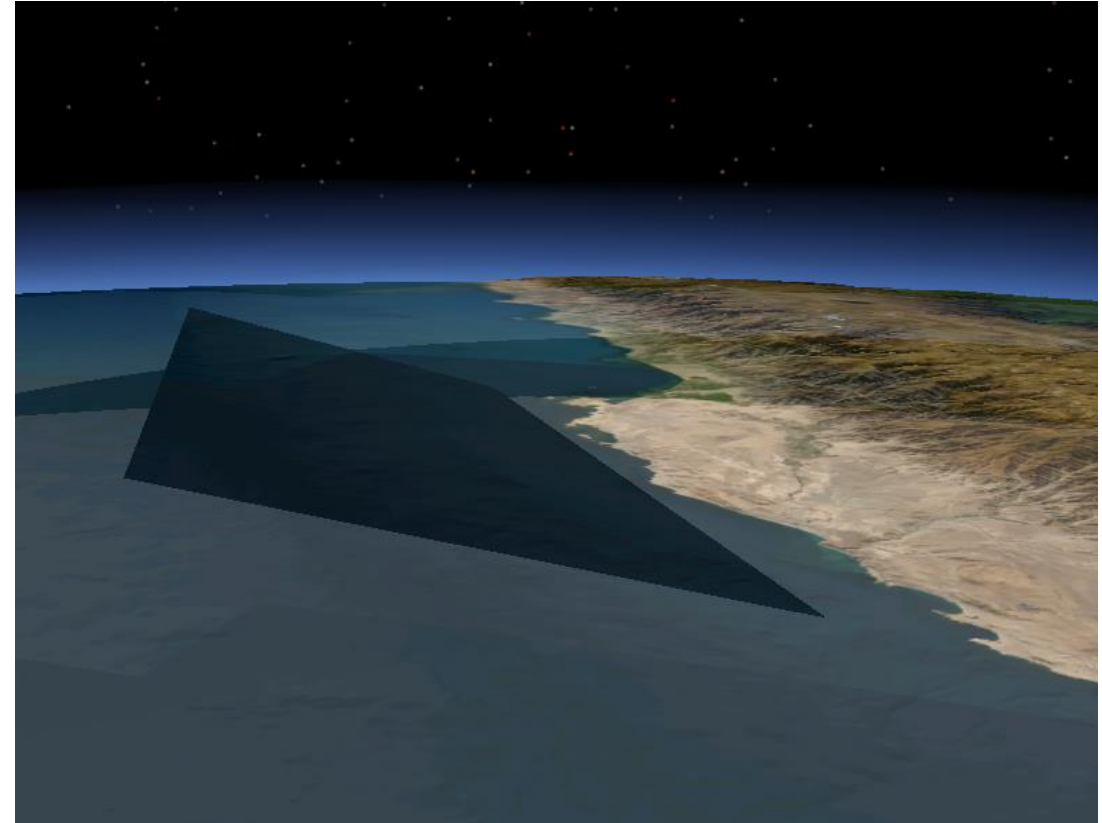
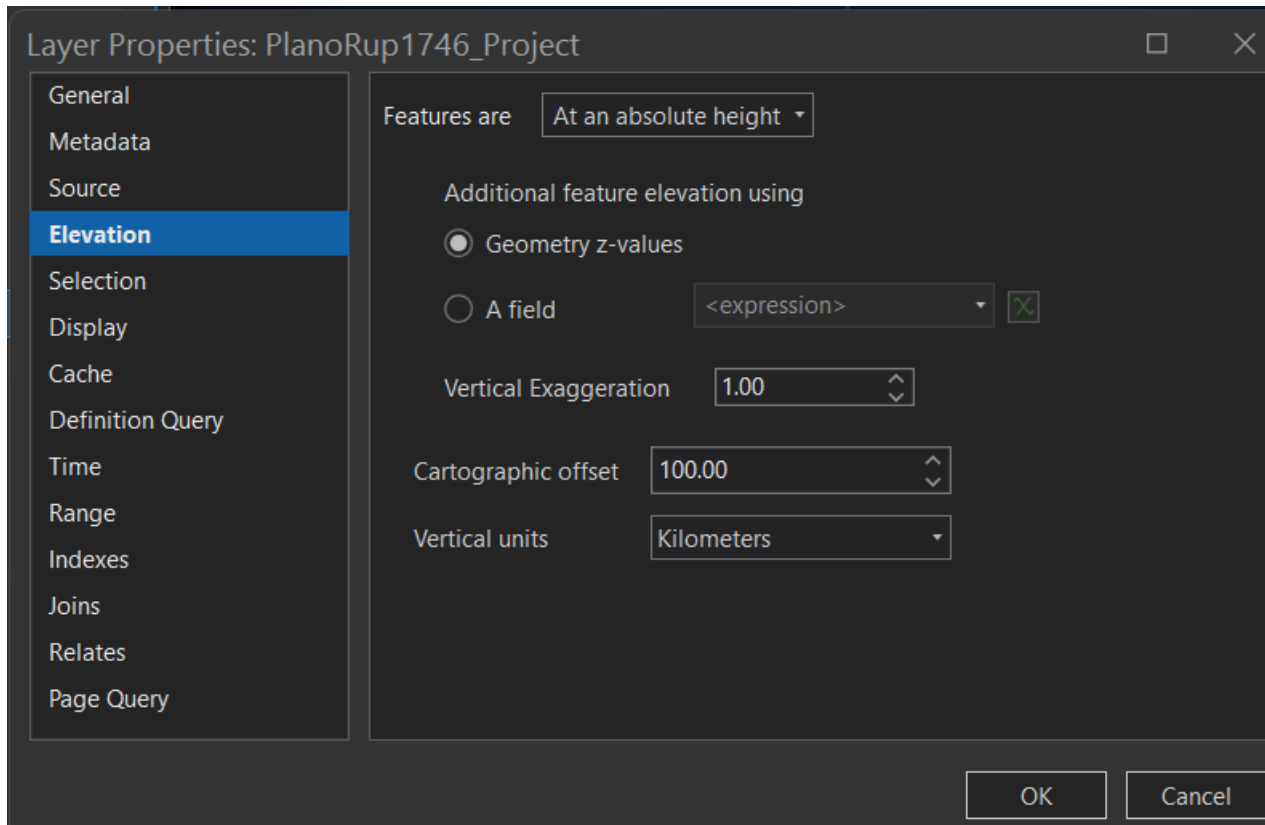


# PLANO DE RUPTURA





# VISTA 3D: PLANO DE RUPTURA



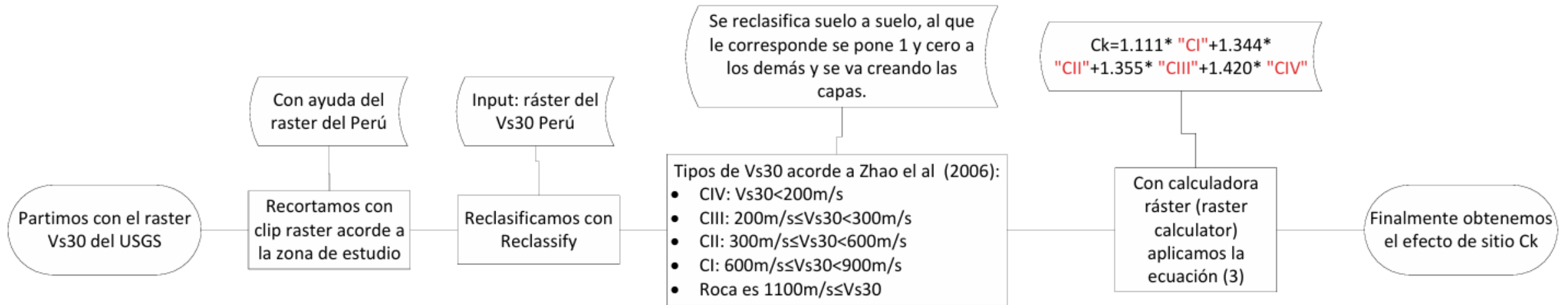
# EFFECTO DE SITIO

$$C_k = C_1 * C_I + C_2 * C_{II} + C_3 * C_{III} + C_4 * C_{IV}$$

## Coeficientes de efecto de sitio

Coeficientes para efecto de sitio					
Periodo	CH	C1	C2	C3	C4
PGA	0.293	1.111	1.344	1.355	1.42

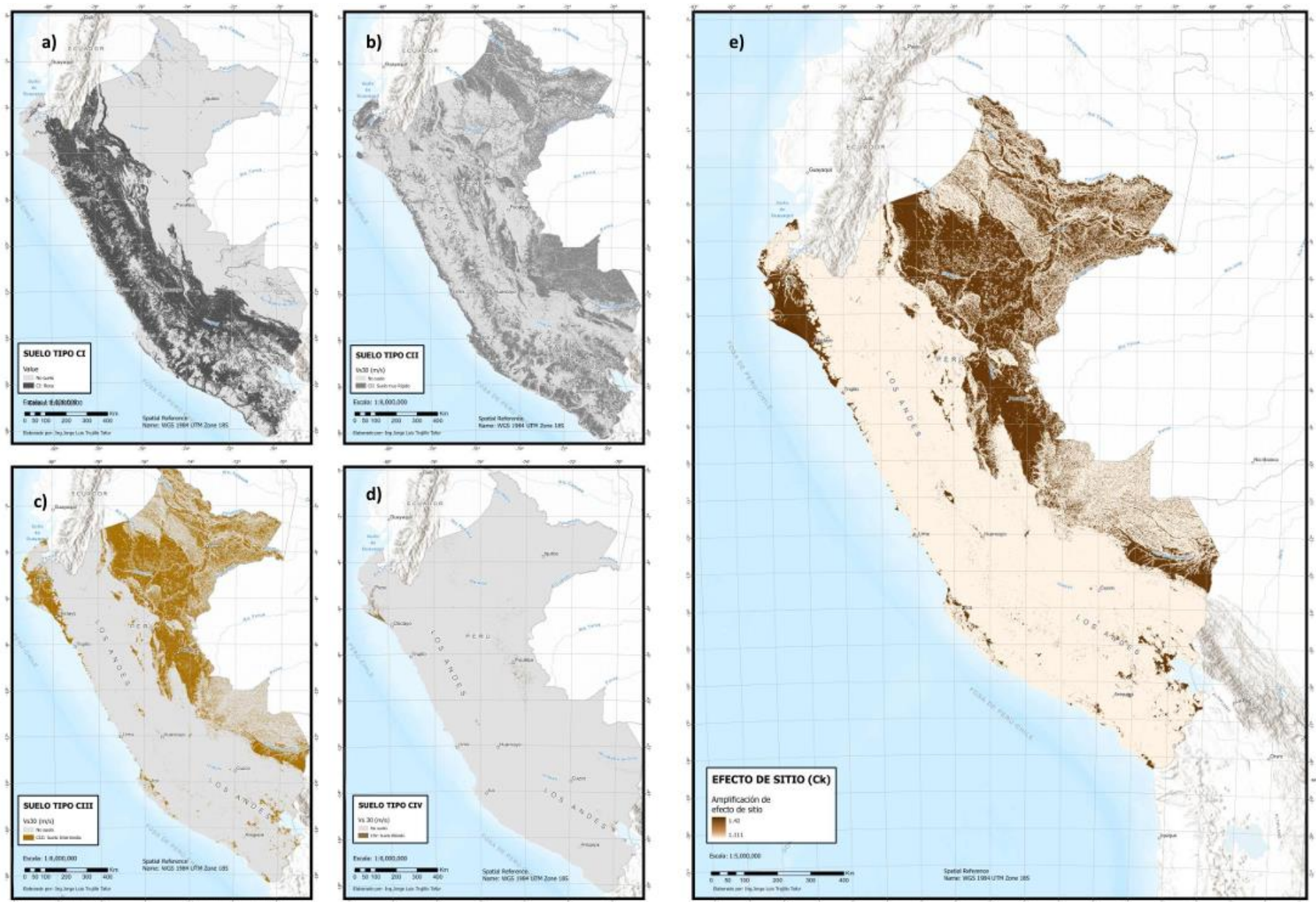
*Fuente: Zhao et al., 2006*



Copiar:  $1.111 * "CI" + 1.344 * "CII" + 1.355 * "CIII" + 1.420 * "CIV"$







Fuente: Elaboración propia



# ACELERACIÓN SÍSMICA

$$\begin{aligned}\log_e(y_{i,j}) = & aM_{wi} + bx_{i,j} - \log_e(r_{i,j}) \\ & + e(h - h_c) \delta_h + F_R + S_I + S_S \\ & + S_{SL} \log_e(x_{i,j}) + C_k + \xi_{i,j} + \eta_i,\end{aligned}\quad (1)$$

$$r_{i,j} = x_{i,j} + c \exp(dM_{wi}), \quad (2)$$

**Tabla del modelo GMPE de Zhao et al (2006)**

Coeficientes del modelo GMPE de Zhao et al (2006)								
Periodo (seg)	a	b	c	d	e	SR	Ss	SsL
PGA	1.101	-0.00564	0.0055	1.08	0.01412	0.251	2.607	-0.528

*Fuente: Zhao et al (2006)*





$$\log(y) = aM + bX - \log(r) + e(h - h_c)\delta_h + FR + S_I + S_s + S_{SL} \log(X) + C_k + \varepsilon + \eta$$

Donde:

- $y$ : Parámetro de movimiento del suelo (por ejemplo, aceleración pico del suelo, PGA).
- $M$ : Magnitud momento del sismo.
- $X$ : Distancia al epicentro o a la fuente sísmica.
- $r$ : Distancia hipocentral o métrica de distancia ajustada.
- $h$ : Profundidad focal del sismo.
- $h_c$ : Profundidad de referencia.
- $\delta_h$ : Indicador de profundidad (1 si  $h > h_c$ , 0 en caso contrario).
- $FR$ : Término de corrección para mecanismos de falla inversa en sismos corticales.
- $S_I$ : Término de corrección para sitios de tipo roca.
- $S_s$ : Término de corrección para sismos de intraplaca (slab).
- $S_{SL}$ : Coeficiente relacionado con la propagación en el slab.
- $C_k$ : Corrección por tipo de suelo, donde  $k$  indica la categoría del suelo (por ejemplo, roca, suelo duro, suelo medio, suelo blando).
- $\varepsilon$ : Término de error aleatorio intraevento.
- $\eta$ : Término de error aleatorio interevento.



Es importante destacar que algunos términos se aplican únicamente en contextos específicos. Por ejemplo:

- $FR$ : Se utiliza solo para sismos corticales con mecanismos de falla inversa.
- $S_I$ : Se aplica para sitios clasificados como roca.
- $S_s$  y  $S_{SL} \log(X)$ : Se aplican en sismos de intraplaca (slab).

Para un sismo de **interfase**, los términos  $FR$ ,  $S_s$  y  $S_{SL} \log(X)$  no se incluyen, ya que no son relevantes en este contexto.

$$\log(y) = aM + bX - \log(r) + e(h - h_c)\delta_h + \cancel{FR} + \cancel{S_I} + \cancel{S_s} + \cancel{S_{SL} \log(X)} + C_k + \cancel{\varepsilon} + \cancel{\eta}$$





for a spectral period  $T$ ,  $M_w$  is the moment magnitude,  $x$  is the source distance in kilometers, and  $h$  is the focal depth in kilometers. The reverse-fault parameter  $F_R$  applies only to crustal events with a reverse-faulting mechanism and is zero for all other events. The tectonic source-type parameter  $S_I$  applies to interface events and is 0 for all other type events, and  $S_S$  applies to subduction slab events only and is zero for all other type events.  $S_{SL}$  is a magnitude-independent path modification term for slab events to account for the complex seismic wave travel path for slab events.  $C_k$  is the site-class term for a given site class. Subscript  $i$  denotes event number and  $j$  denotes record number from event  $i$ . Coefficient  $h_c$  is a depth constant. When  $h$  is larger than  $h_c$ , the depth term  $e(h - h_c)$  takes effect, with  $\delta_h$  being a dummy variable that equals 0 for  $h < h_c$  and 1 for  $h \geq h_c$ . When  $h$  is larger than 125 km,  $h = 125$  km is selected so that a constant factor is used for deeper earthquakes (i.e., depth is capped at 125 km). Random variable  $\eta_{ij}$  is the intra-event error (error that represents the variability from the median predicted value for a



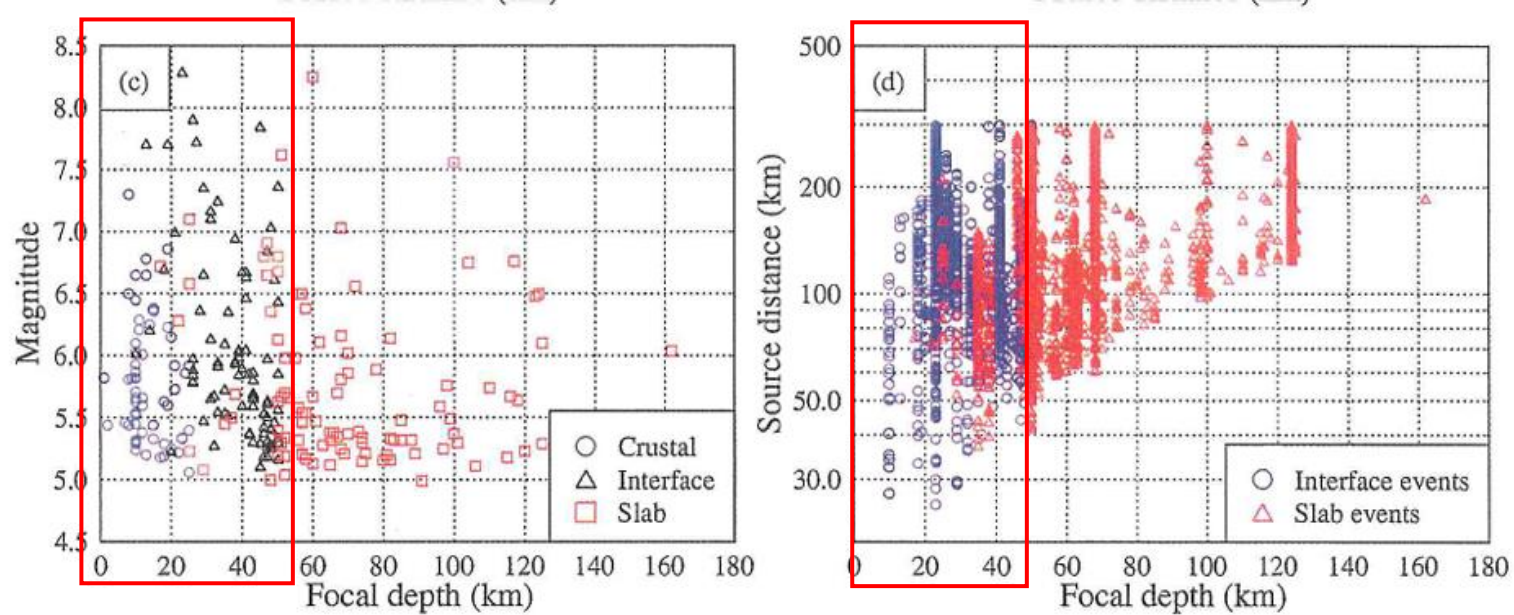


Figure 1. Magnitude-distance distribution for (a) data from Japan; (b) overseas data; (c) magnitude-focal depth distribution; and (d) source distance-focal depth distribution of Japanese data.

Si la profundidad del terremoto es menor al de referencia se considera  $\delta h=0$ , al contrario, si la profundidad de terremoto es mayor a la profundidad de referencia  $\delta h=1$

El rango de profundidades del terremoto de 1746 es de **-8km a -60km** (si se considera más crítico es cuando se tiene una menor profundidad, por tal motivo se considera que el terremoto tiene una profundidad menor al de referencia que viene a ser de **0 a -50km**

$$\log(y) = aM + bX - \log(r) + \cancel{e(h - h_c)\delta_h} + \cancel{FR} + \cancel{S_I} + \cancel{S_s} + \cancel{S_{SL} \log(X)} + \cancel{C_k} + \cancel{\varepsilon} + \cancel{\eta}$$





# ACELERACIÓN SÍSMICA

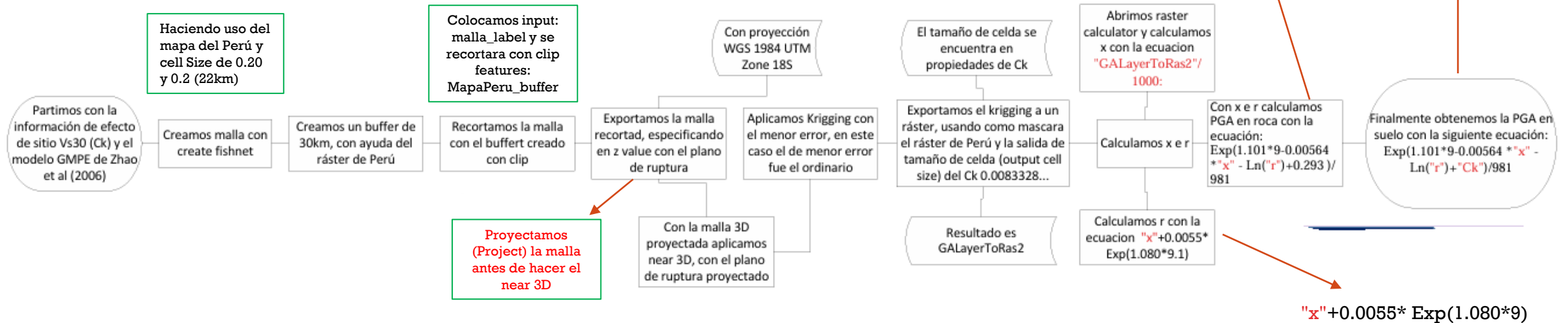
$$\text{Log}(y) = aM_{wi} + bx_{ij} - \log(r_{ij}) + e(h - h_c)\delta h + FR + SI + SS + SSL \log(x_{ij}) + C_k + \xi_{ij} + n_{ij}$$

$$r_{ij} = x_{ij} + c \exp(dM_{wi})$$

Tabla del modelo GMPE de Zhao et al (2006)

Coeficientes del modelo GMPE de Zhao et al (2006)								
Periodo (seg)	a	b	c	d	e	SR	SS	SSL
PGA	1.101	-0.00564	0.0055	1.08	0.01412	0.251	2.607	-0.528

Fuente: Zhao et al (2006)

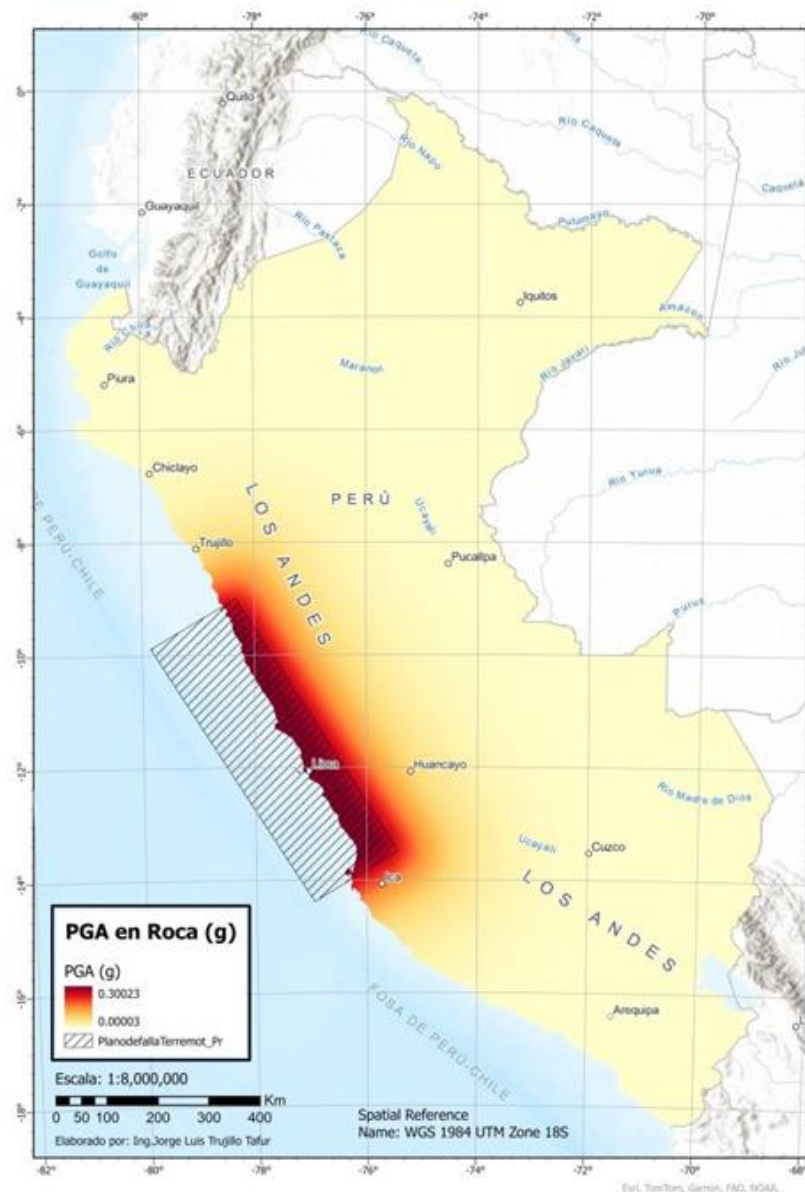


$$\text{Log}(y) = aM_{wi} + bx_{ij} - \log(r_{ij}) + C_k$$



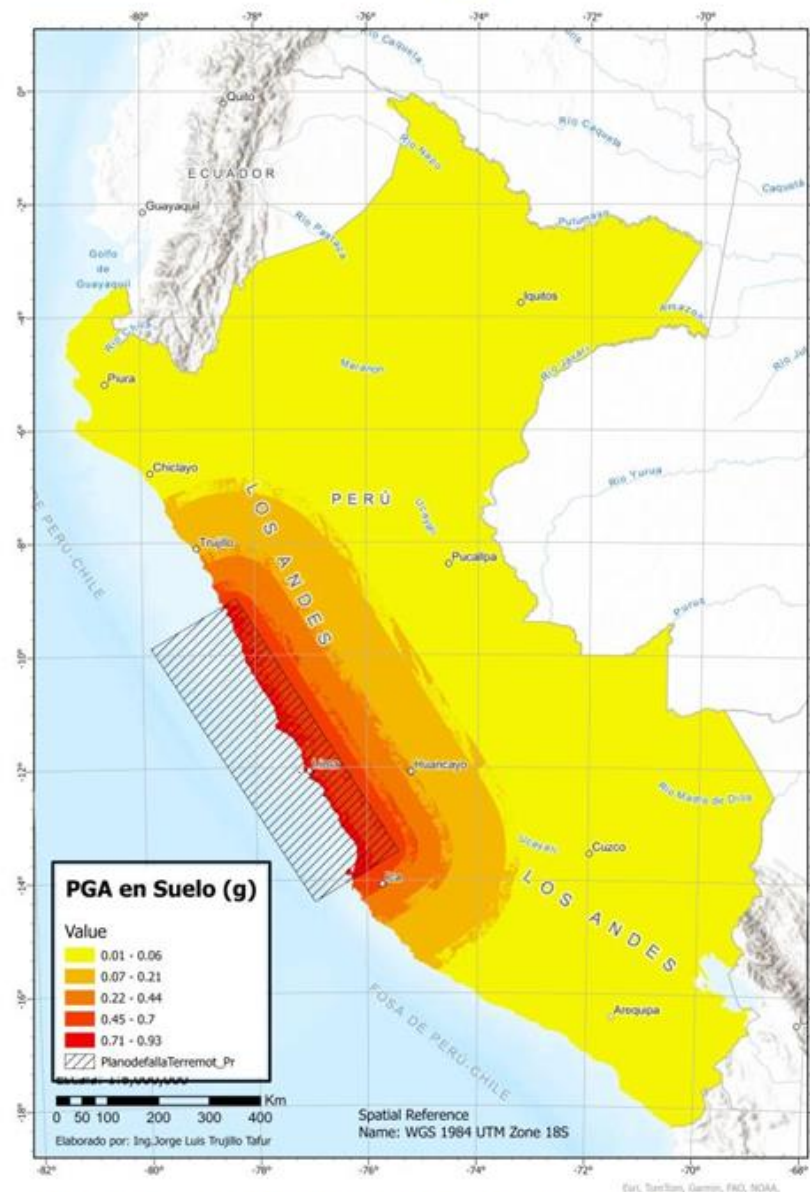
# RESULTADO DE ARCCIS PRO

## PGA en roca (g)



Fuente: Elaboracion propia

## PGA en suelo (g)



Fuente: Elaboracion propia

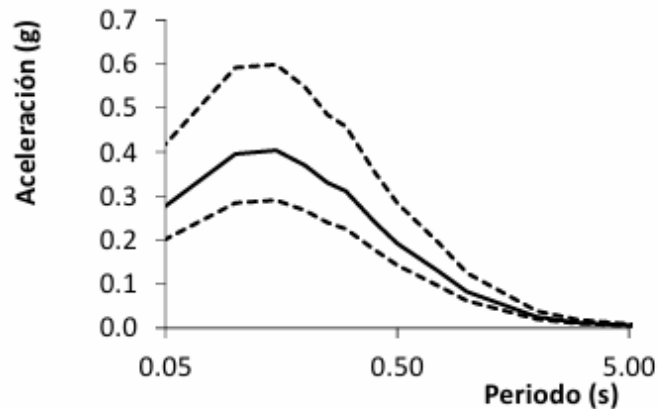


# PELIGROSIDAD SÍSMICA

## Métodos DETERMINISTA

El movimiento sísmico se debe a UN ESCENARIO SÍSMICO CONCRETO, relacionado con la ocurrencia de **un único terremoto**.

Resultado: en un punto concreto  
Espectro de respuesta específico (SRS)

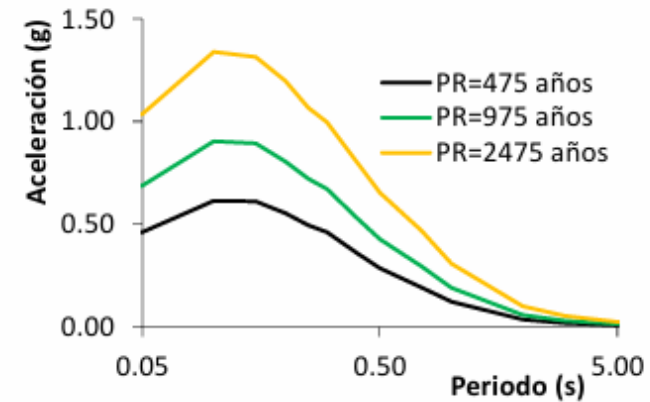


## Métodos PROBABILISTA

Probabilidad de que un cierto valor del parámetro de movimiento sea excedido en un emplazamiento específico durante un determinado periodo de tiempo.

$$P(y > Y, t) = \tau \iiint P(y > Y, t | m, r, \varepsilon) \cdot p(m) \cdot p(r) \cdot p(\varepsilon) \, dm \, dr \, d\varepsilon$$

Resultado en un punto concreto:  
Espectro de peligrosidad uniforme (UHS)





# GRACIAS POR LA ATENCIÓN

---

☎ 92 777 0169

✉ [seismicx.proyectos@gmail.com](mailto:seismicx.proyectos@gmail.com)

🌐 <https://seismicx.github.io/Intranet-DHSA/>