

CURSO ESPECIALIZADO
**PELIGROSIDAD
SÍSMICA**



Método Determinista
(DSHA)

Organizado por:

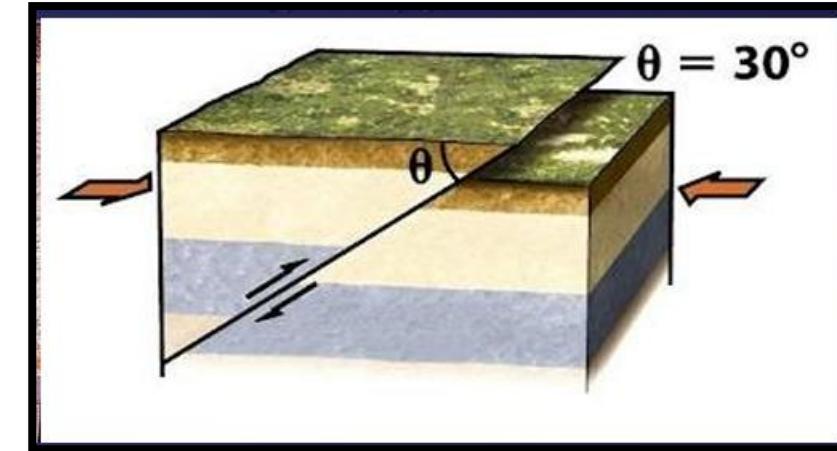
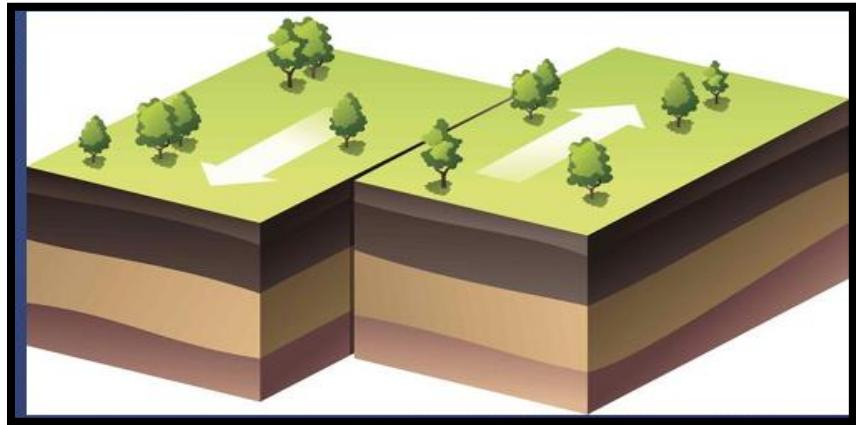
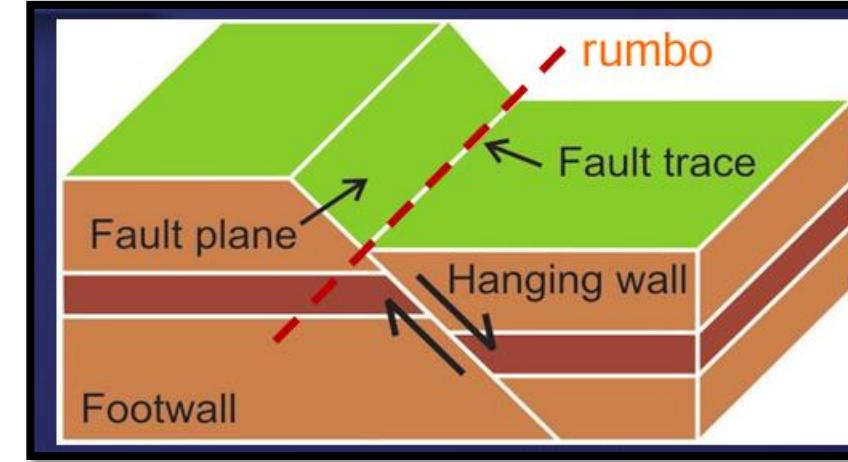
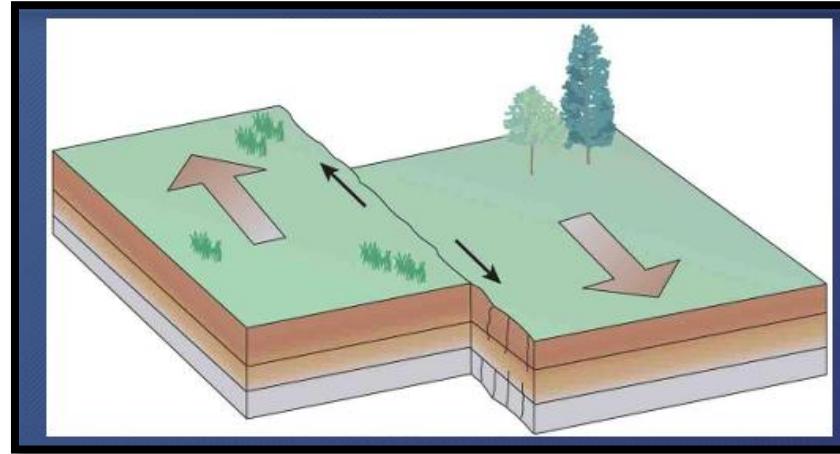


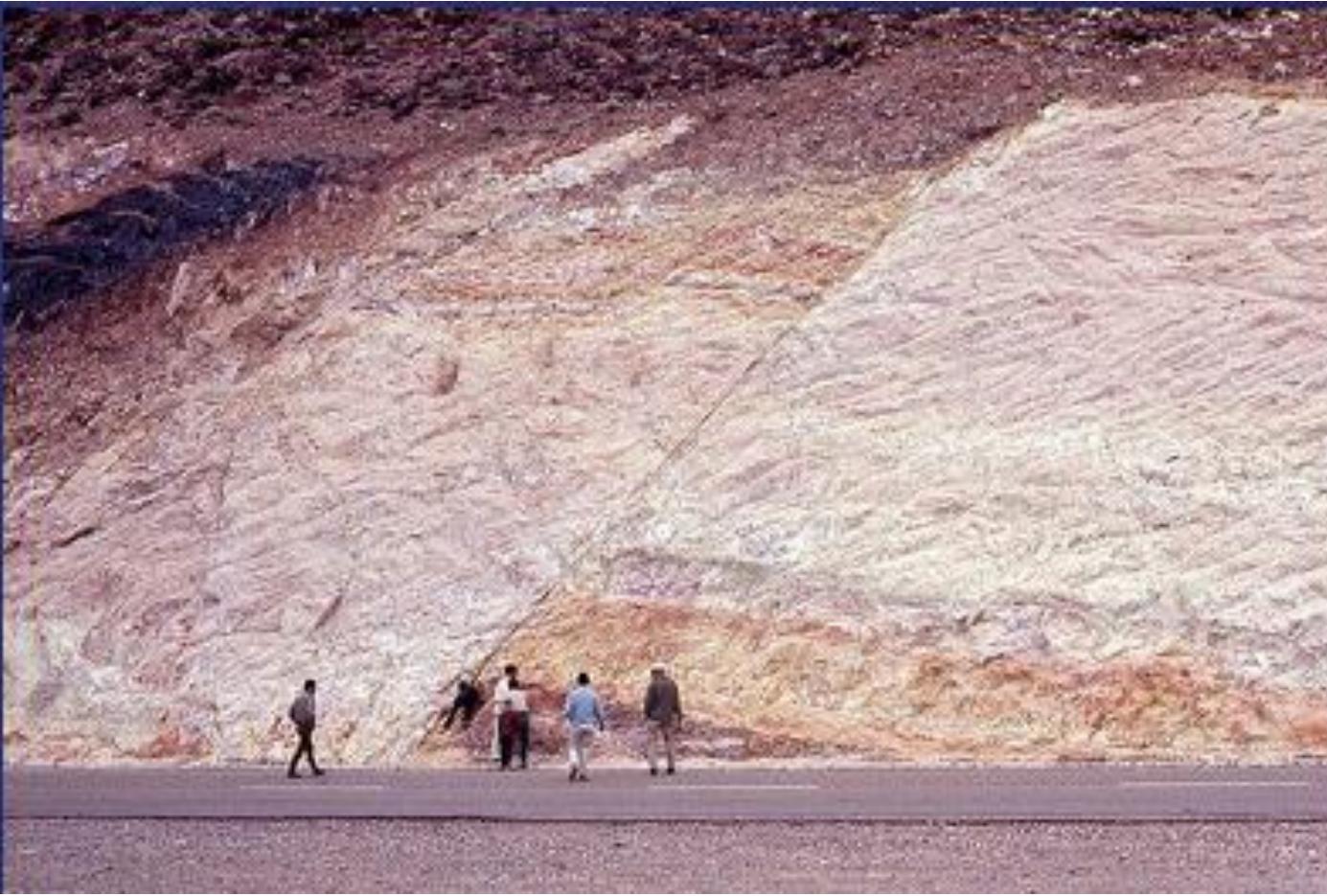
**SESIÓN 5:
Reproducción
del terremoto
del 2001 de
Arequipa Mw
8.4**

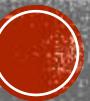
DOCENTE DEL CURSO

**Mag. Ing. Jorge
Trujillo**

TIPOS DE FALLA (REFERENTE AL MECANISMO FOCAL)







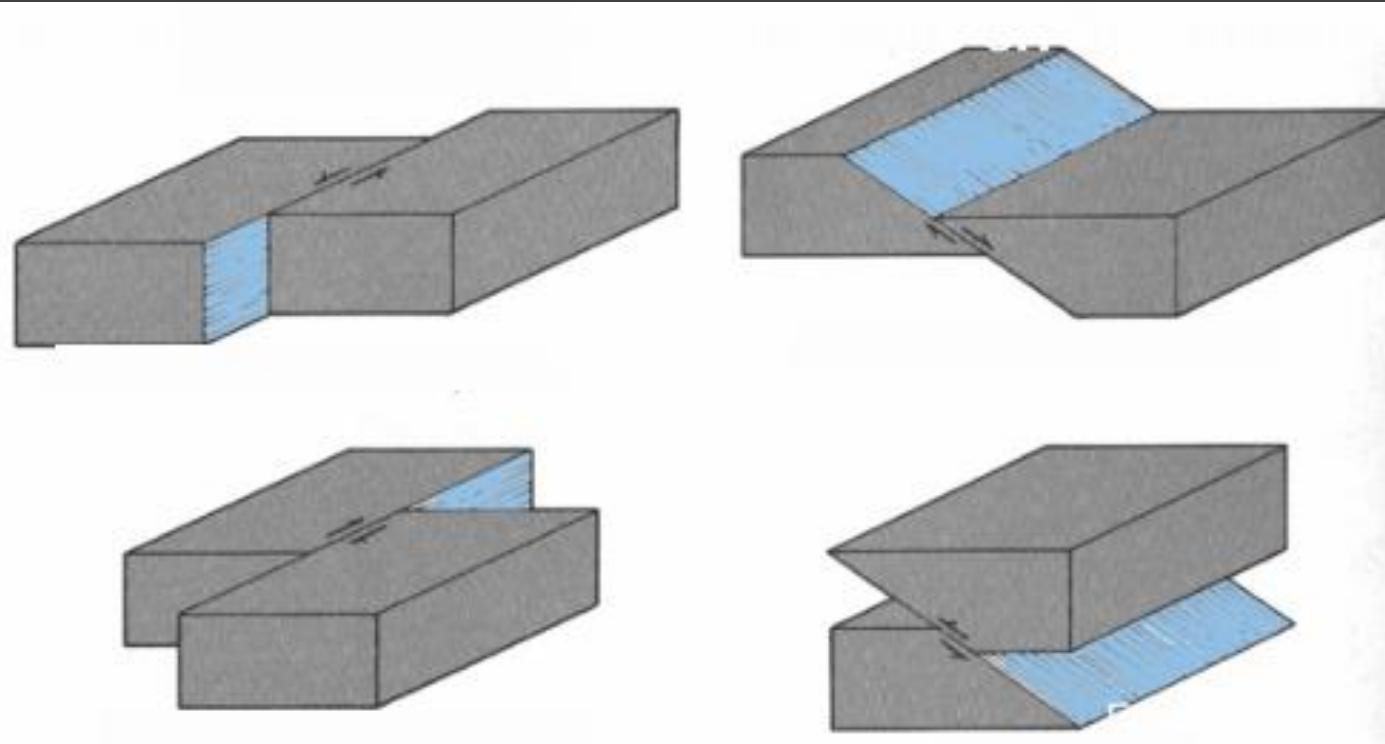






Angelier et al., 2003





EVALUAR EL GRAN TERREMOTO DE AREQUIPA DE 2001, MW 8.4 IMPLEMENTANDO EL METODO DETERMINISTA (DSHA) CON ARGIS PRO

Acorde a Tavera (2002), “*Es importante considerar, que el terremoto del 23 de Junio se constituye como el más grande de los ocurridos en el borde Oeste de Sudamérica en los últimos 133 años.*” Bueno a la fecha en los últimos 155 años

Acorde a Tavera (2002)

“*El día 23 de Junio de 2001, a horas 15 y 33 minutos (Hora Local), la región sur de Perú soportó la ocurrencia de un terremoto de magnitud 8.2 Mw que produjo muerte y destrucción principalmente en los departamentos de Arequipa, Ayacucho, Moquegua y Tacna en Perú, Arica e Iquique en Chile y La Paz en Bolivia. Las intensidades máximas en algunas localidades y ciudades, próximas a la costa, llegaron a VII-VIII en la escala Mercalli Modificada. Este terremoto se constituye como el más grande ocurrido en esta región desde el año de 1868.*

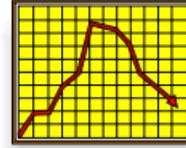
El Instituto de Defensa Civil (INDECI) ha informado de las estadísticas que deja este sismo en la región Sur: 74 muertos, 2689 heridos, 217495 damnificados, 64 desaparecidos, 35601 viviendas afectadas y 17584 viviendas destruidas.”



Fuente: Tavera, H. (2001). El terremoto de la región del sur del Perú del 23 de junio de 2001.



2001



INDECI (2001)

2.3 Informes de los principales Desastres ocurridos en el Perú

2.3.1 Inundaciones en Echarate	CUSCO	Enero
2.3.2 Inundaciones	PUNO	Febrero
2.3.3 Inundación en San Diego	LIMA	Marzo
2.3.4 Situación del Dist. de Camilaca	TACNA	Enero
2.3.5 Terremoto	AREQUIPA	Junio
2.3.6 Inundaciones	UCAYALI	Diciembre
2.3.7 Incendio en "Mesa Redonda"	LIMA	Diciembre
2.3.8 Sismo en Antabamba	APURIMAC	Agosto



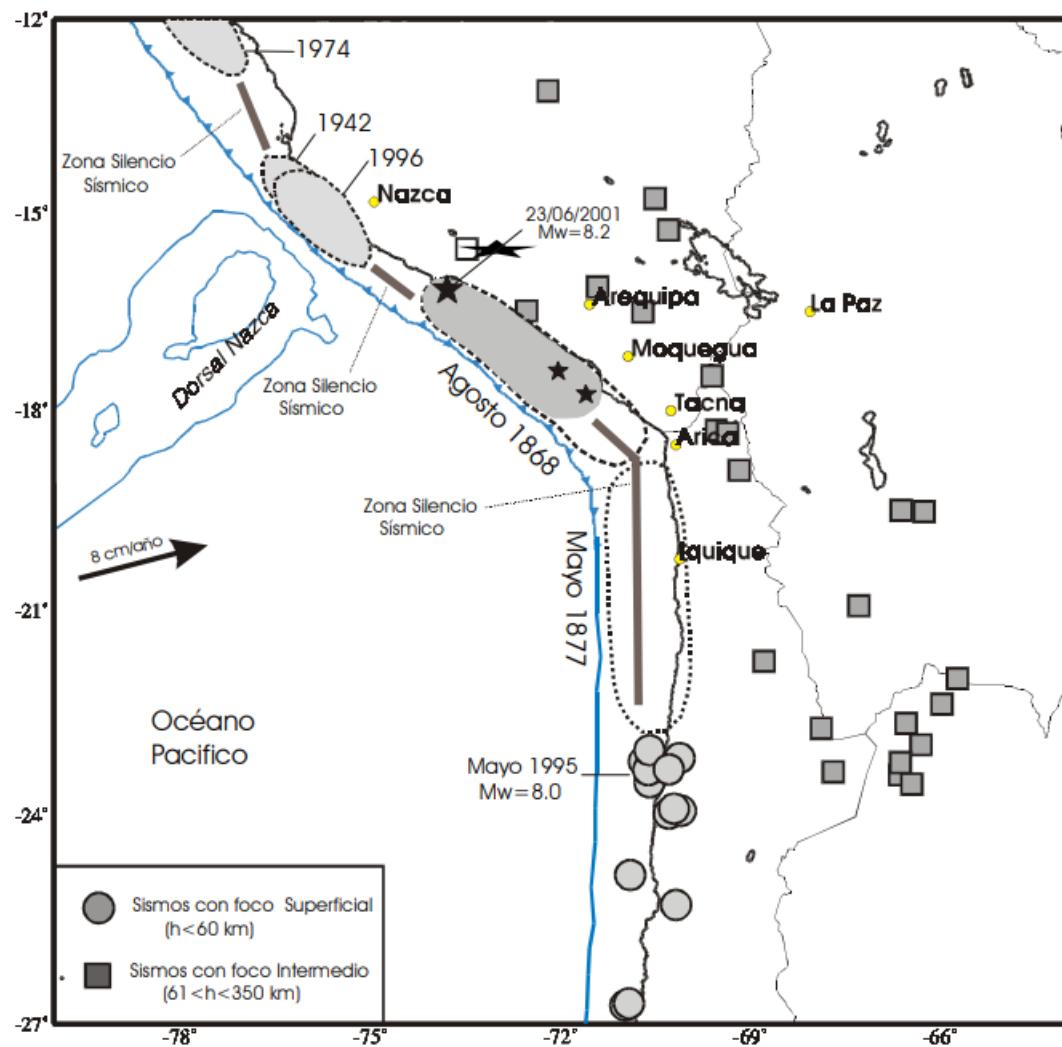
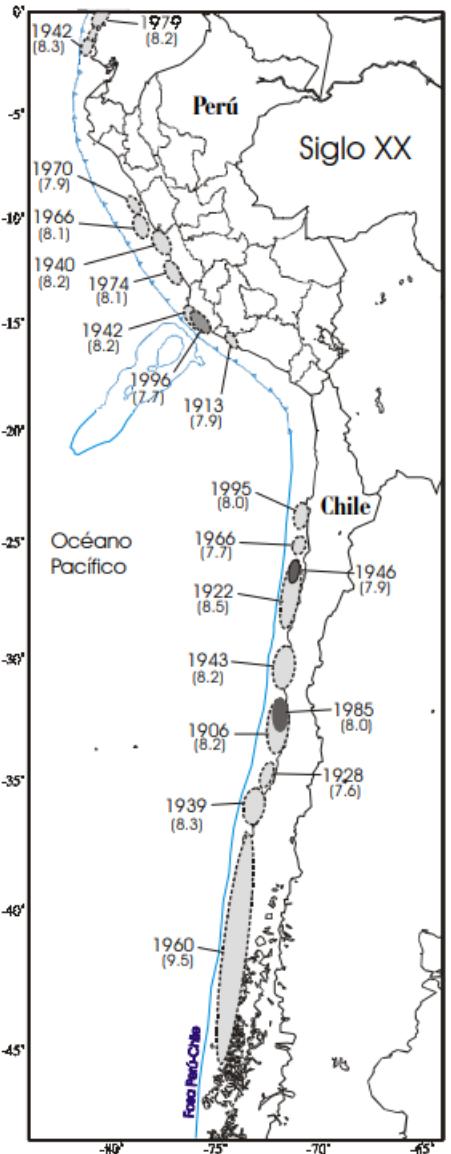
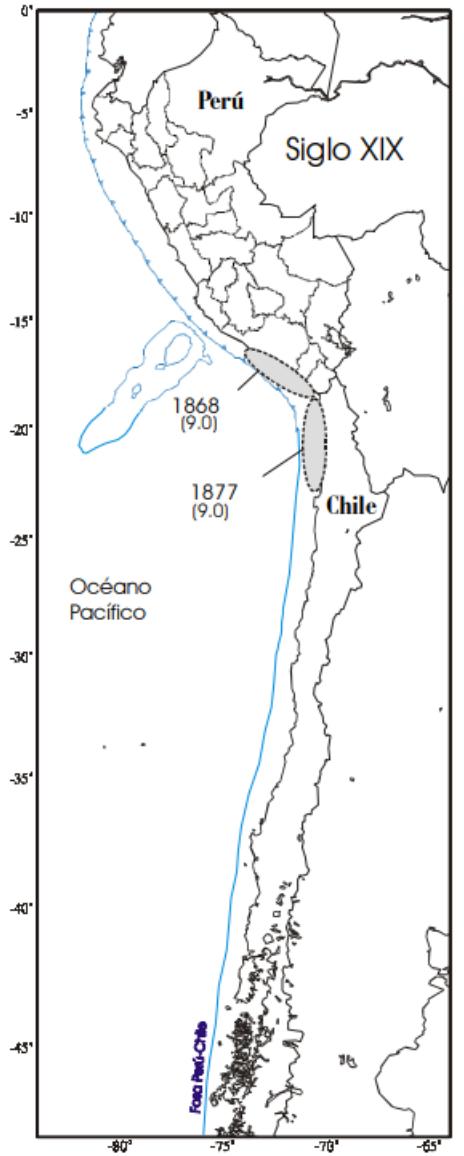


Figura 1. Distribución de las áreas de ruptura de grandes terremotos asociados al proceso de subducción y ocurridos en la región sur de Perú y norte de Chile durante los siglos XIX y XX. La zona sombreada de gris oscuro corresponde al área de ruptura del terremoto de Arequipa del 23 de Junio de 2001 (estrella grande) y su serie de replicas (replicas mayores con estrellas pequeñas).

Figura 1. Distribución de las áreas de ruptura de los grandes terremotos ocurridos en el borde Oeste de Sudamérica durante los Siglos XIX y XX.

Fuente: Tavera, H. (2001). El terremoto de la región del sur del Perú del 23 de junio de 2001

TERREMOTO DE AREQUIPA 2001, 8.2-8.4MW

Terremoto de Arequipa de 2001







Parámetros sísmicos	Informe IGP - Tavera (2001)	USGS	CMT	NEIC National Earthquake Information Center	EIC Earthquake Information Center. Japón	Final
Magnitud (Mw)	8.2	8.4	8.4	8.3	8.2	8.4
Profundidad (km) hipo	28	33	25.7	33	30	28
Intensidad Max	VIII	VIII	--	--	--	VIII
Latitud	-16.26	16.265°S	17.21 S	16.15 S	16.15 S	-16.26
Longitud	-73.64	73.641°W	73.02 W	73.40 W	73.40 W	-73.64
Azimut (Strike)	---	310°	318°	263°	309°	310°
Buzamiento (dip)	---	17.5°	14°	6°	21°	17.5°
Mecanismo focal	Inversa	Inversa	Inversa	Inversa	Inversa	Inversa (79°)



OBJETIVO PRINCIPAL

Reproducir el terremoto de Arequipa del 2001 de **8.4 Mw** implementando el método determinista (DSHA) en un SIG con la aplicación ArcGIS Pro

Fuente sísmica

El escenario sísmico es el terremoto de Arequipa del 2001 con epicentro en las coordenada aproximada de longitud -73.64° y latitud de -16.26° , con emplazamiento en la zona de influencia de Perú (Arequipa, Moquegua, Tacna y Ayacucho). La magnitud máxima es de Mw. 8.4. 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 con olas desde 4 a 7 metros entre las playas de La Chira y Las Cuevas en los extremos NW y SE de la localidad de Camaná respectivamente. Las olas alcanzaron alturas máximas de 7 metros en El Chiflón y la playa El Chorro en las proximidades de la desembocadura del río Camaná y de la laguna Tilimaco (Carpio et al, 2002)

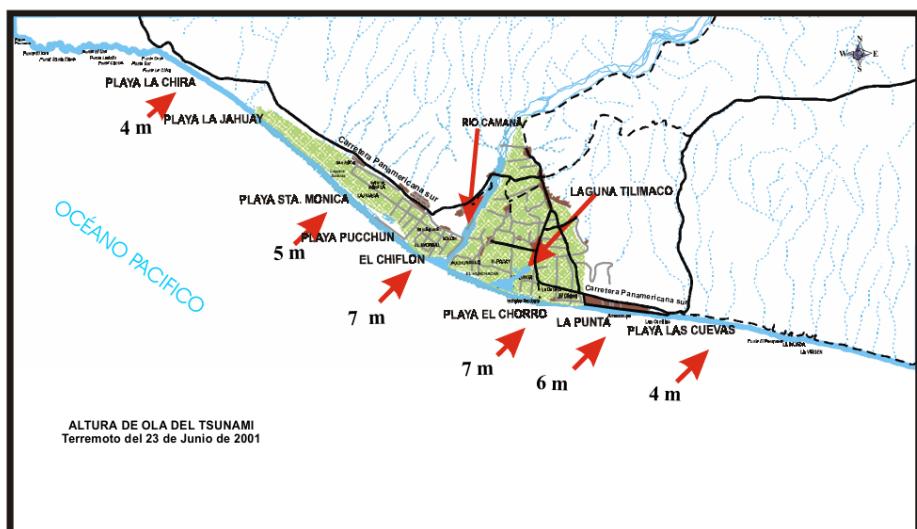


Figura 3. Distribución de los valores de altura máxima de la ola producida por el tsunami generado por el terremoto de Arequipa del 23 de Junio de 2001 en la localidad de Camaná.

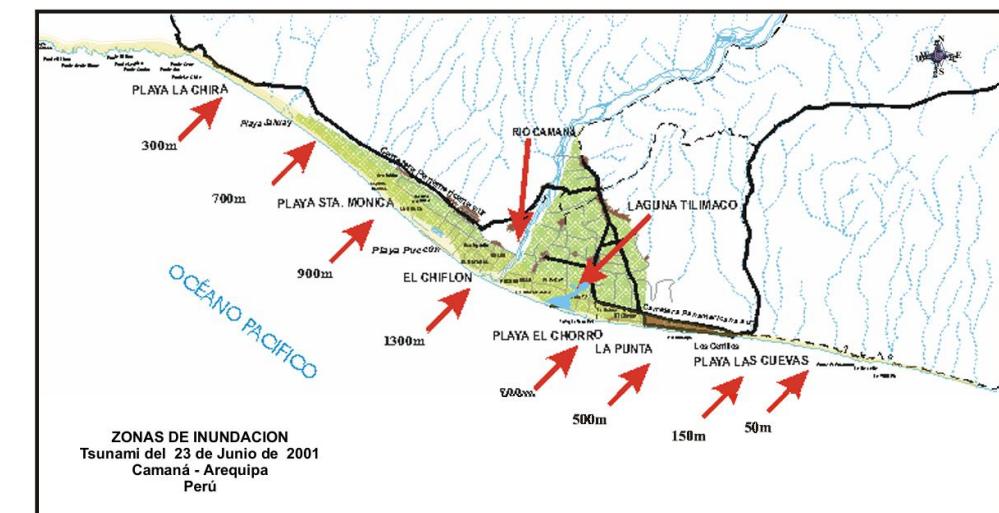


Figura 4. Niveles medios de inundación producidos en las localidades de Camaná debido al tsunami producido por el terremoto de Arequipa del 23 de Junio de 2001.

Fuente: Carpio et al (2002), “Características Generales del Tsunami Asociado al Terremoto de Arequipa del 23 de Junio del 2001 (Mw=8.2) “

FLUJOGRAMA DEL PROCESO DE MODELAMIENTO DEL PLANO DE RUPTURA

Con la correlación de Hayes (2017),
con una Mw8.4 se tiene **L=246.6km**
con **Wr=126.30km**

Análisis Espacial de las Réplicas del Terremoto de Arequipa del 23 de Junio de 2001 a partir de Datos de una Red Sísmica Local
(Resultados Preliminares)

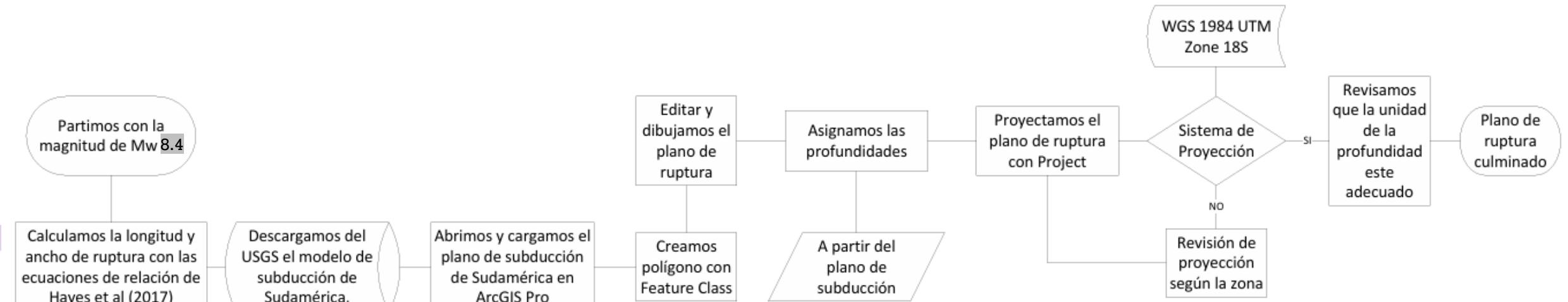
Yanet Antayhua¹, Henry Salas¹, Isabel Bernal¹
Simeón Rodríguez¹, José Millones¹, César Jiménez¹, Ivonne Pérez-Pacheco¹
David Portugal², Adolfo Inza² y Yolanda Zamudio¹

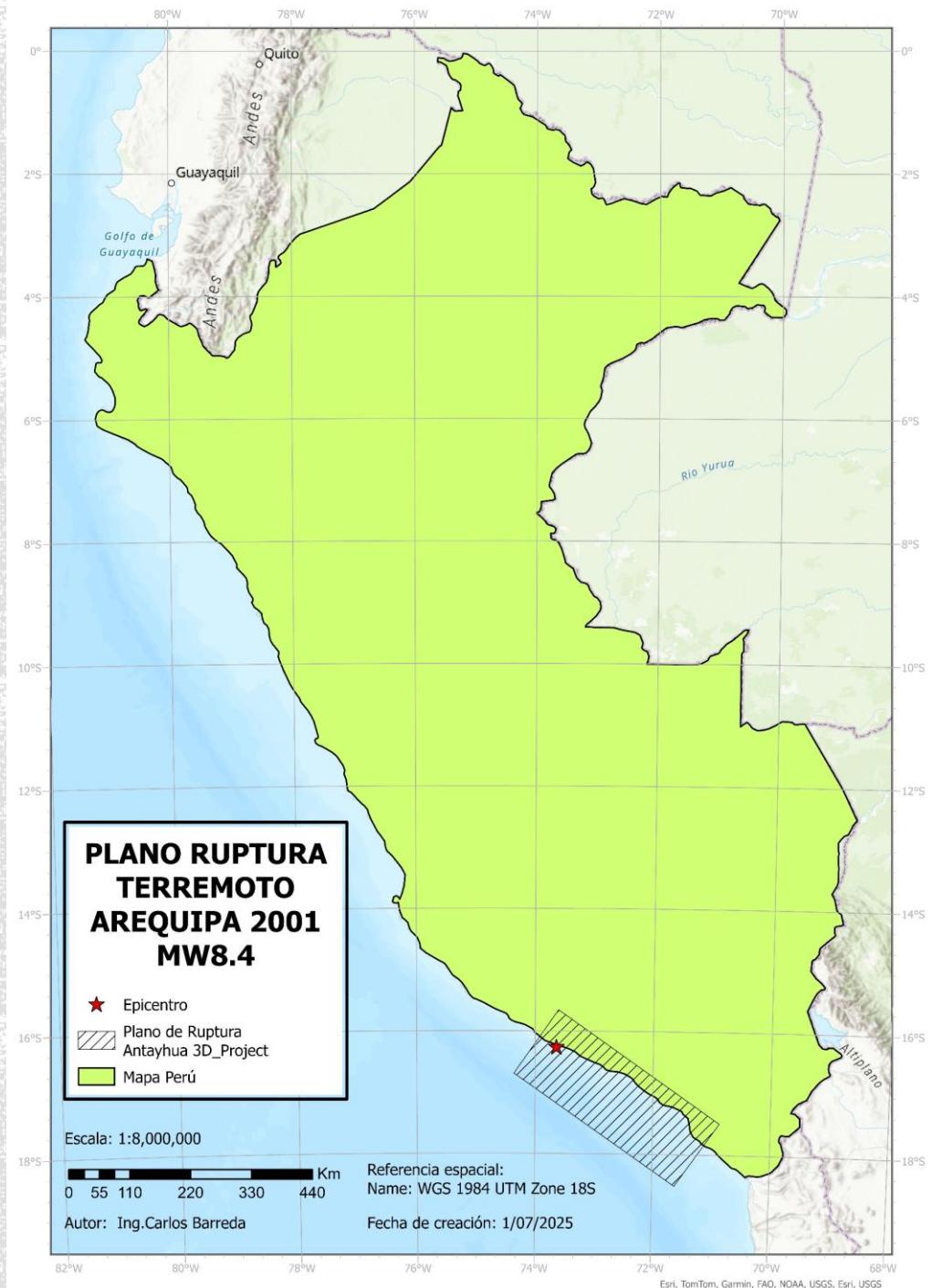
¹Centro Nacional de Datos Geofísicos
²Jefatura de Redes Geofísicas

Resumen

En el presente estudio se realiza el análisis y la evaluación de la distribución espacial de las réplicas del terremoto de Arequipa ocurridas entre el 28 de Junio y 19 de Julio de 2001. Estas réplicas fueron registradas por una red sísmica local compuesta por siete estaciones digitales de tipo reftek que funcionaron por un periodo de 40 día, tiempo durante el cual ocurrieron hasta tres réplicas con magnitudes Mw de 6.5, 6.8 y 7.5. Los resultados indican que el área total de **ruptura** asociado al terremoto de Arequipa fue de 370x150 km² con el eje mayor paralelo a la línea de costa. La distribución de las réplicas, en profundidad, sugiere que la superficie involucrada en la **ruptura** presenta una inclinación de 27°. Asimismo, a partir del área de **ruptura** se estima un desplazamiento medio de 77 cm.

CONCLUSION: SE USA DIMENSIONES DEL INFORME FINAL DEL IGP 370X150KM, SEGÚN ANTAYHUA(2001)

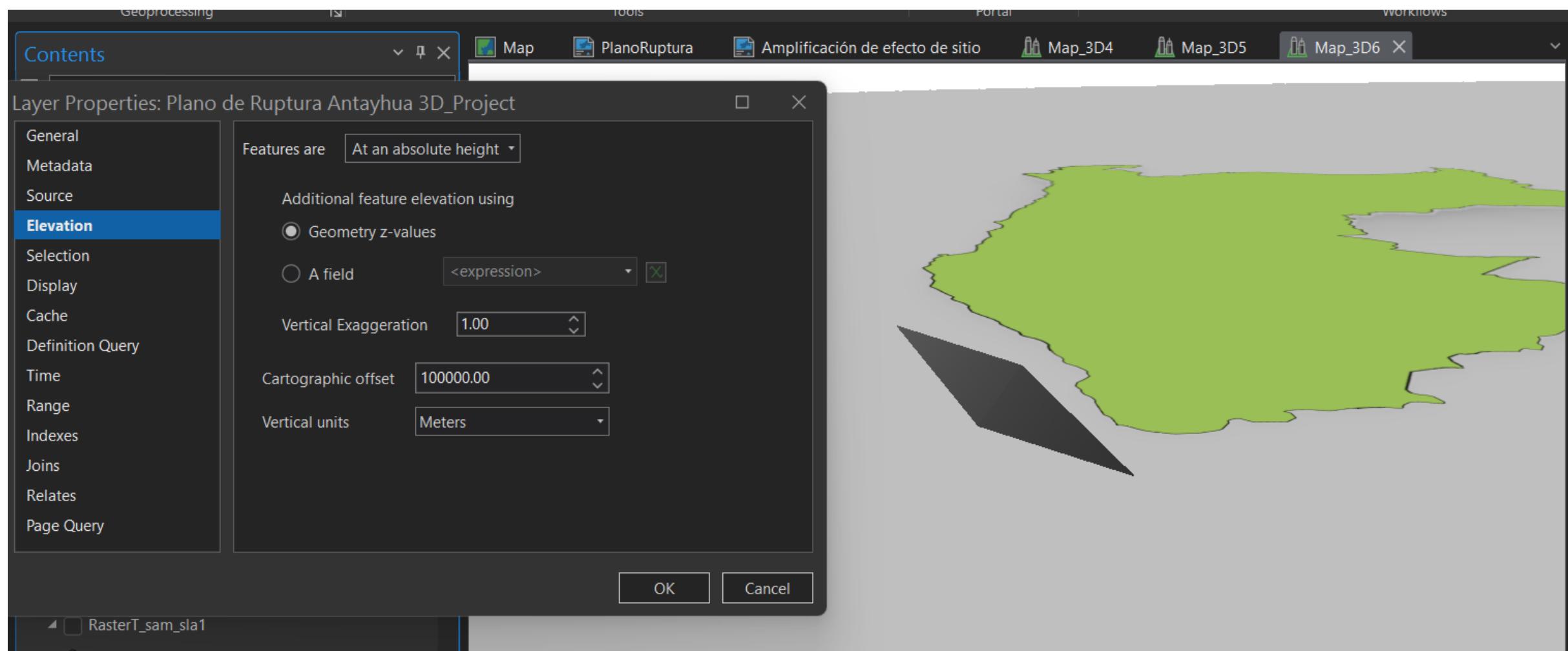




PLANO DE RUPTURA



VISTA 3D: PLANO DE RUPTURA



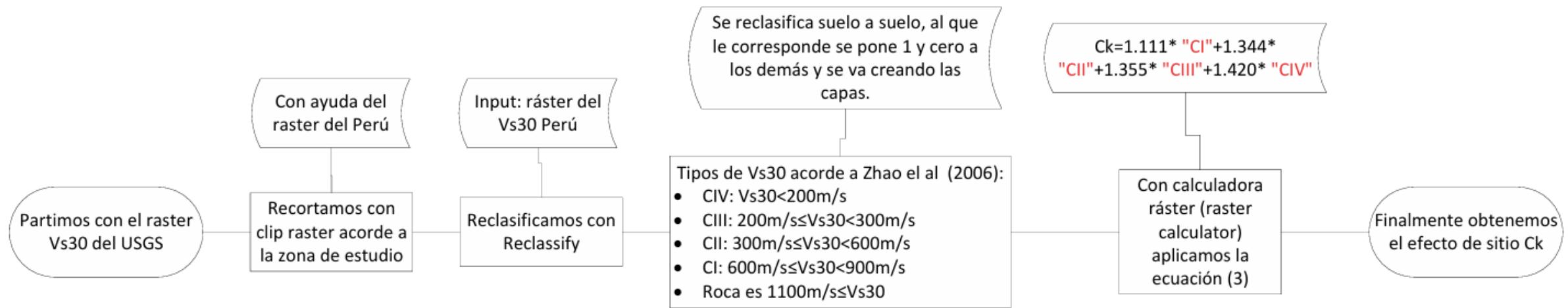
EFFECTO DE SITIO

$$C_k = C_1 \cdot CI + C_2 \cdot CII + C_3 \cdot CIII + C_4 \cdot CIV$$

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	

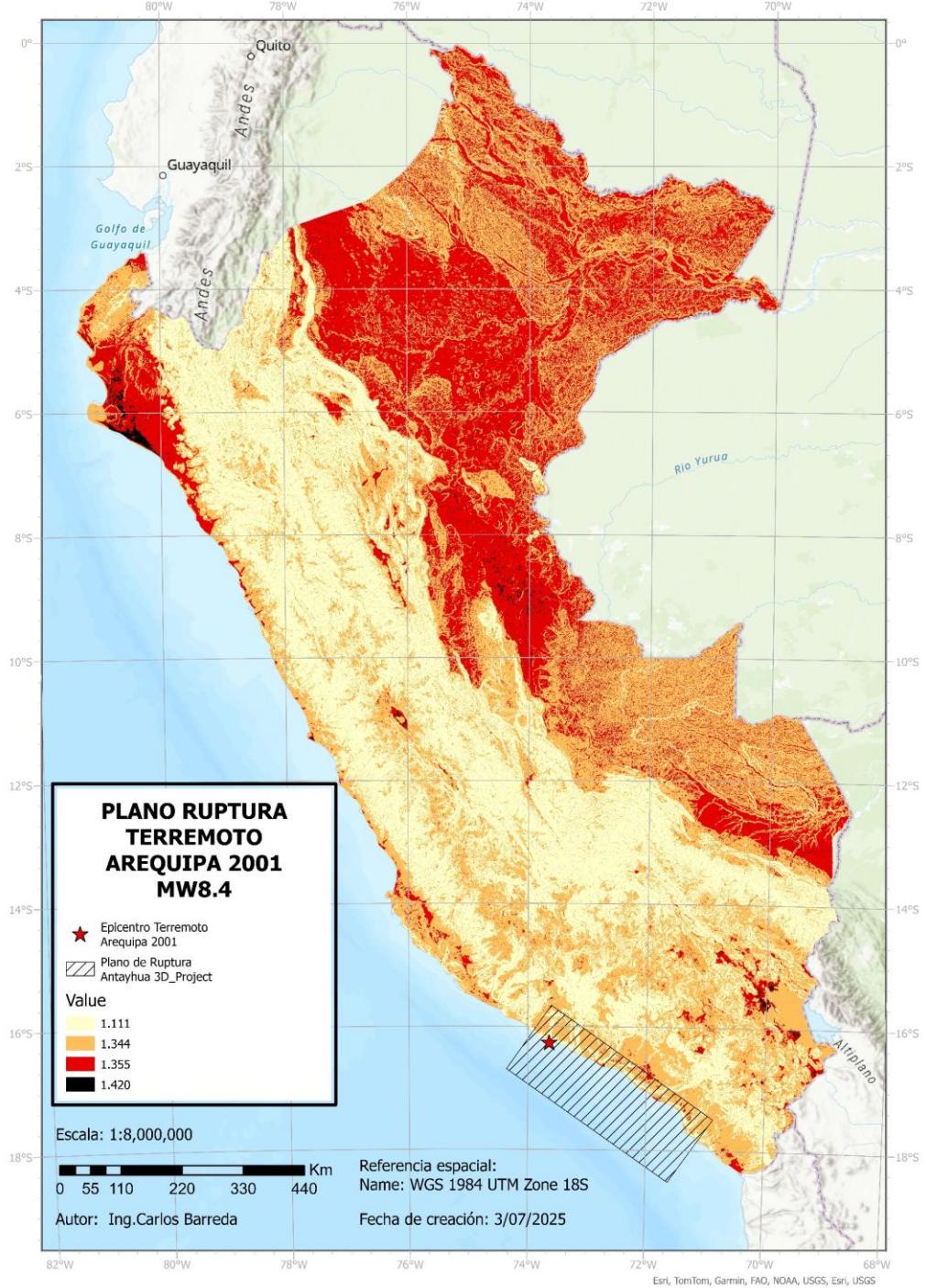
Fuente: Zhao et al., 2006



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



EFECTO DE SITIO (AMPLIFICACIÓN POR TIPOLOGÍA DE SUELO)



ACCELERACIÓN 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.
- δ_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).
- ε : Término de error aleatorio intraevento.
- η : 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.

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



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 δ_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 η_{ij} is the intra-event error (error that represents the variability from the median predicted value for a



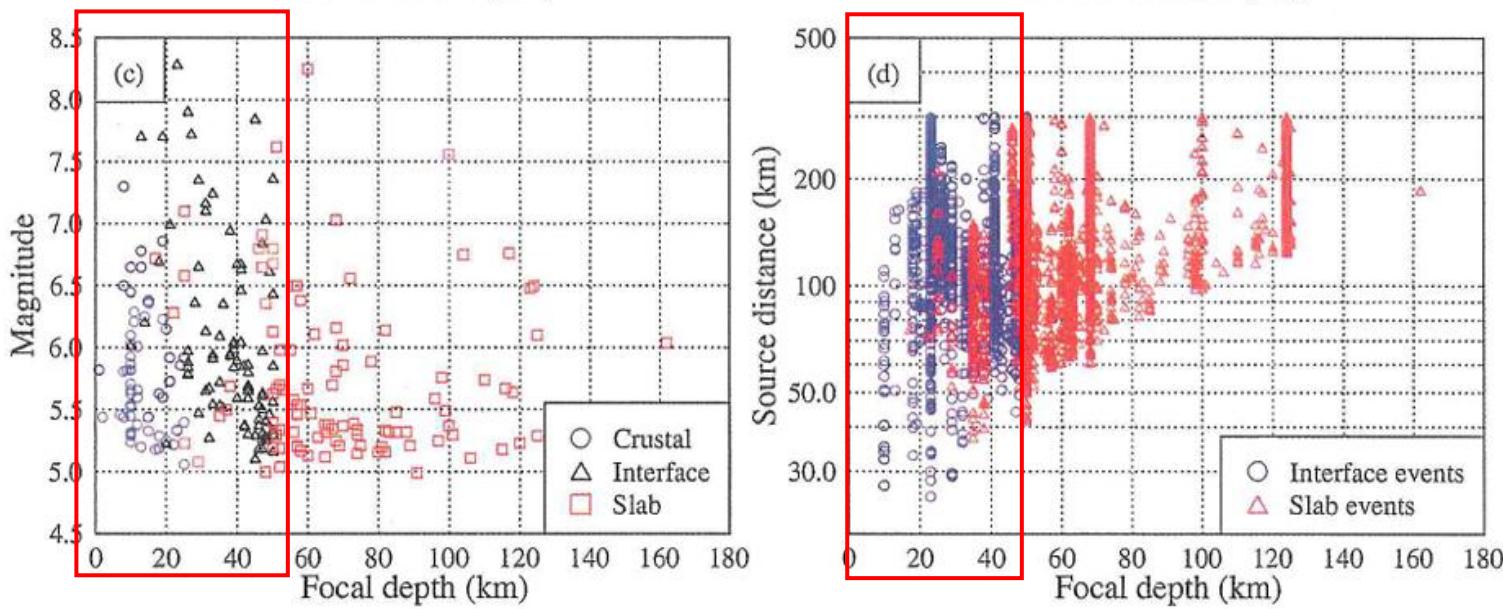


Figure 1. Magnitude-distance distribution for (a) data from Japan; (b) overseas data; (c) magnitude-focal depth distribution; and (d) source distance-focal depth distribution of Japanese data.

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 2001 es de **-28km**(si se considera más critico 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**)

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



ACCELERACIÓN SÍSMICA

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

$$\text{Exp}(1.101*9 - 0.00564 * "x" - \ln("r") + "Ck")/981$$

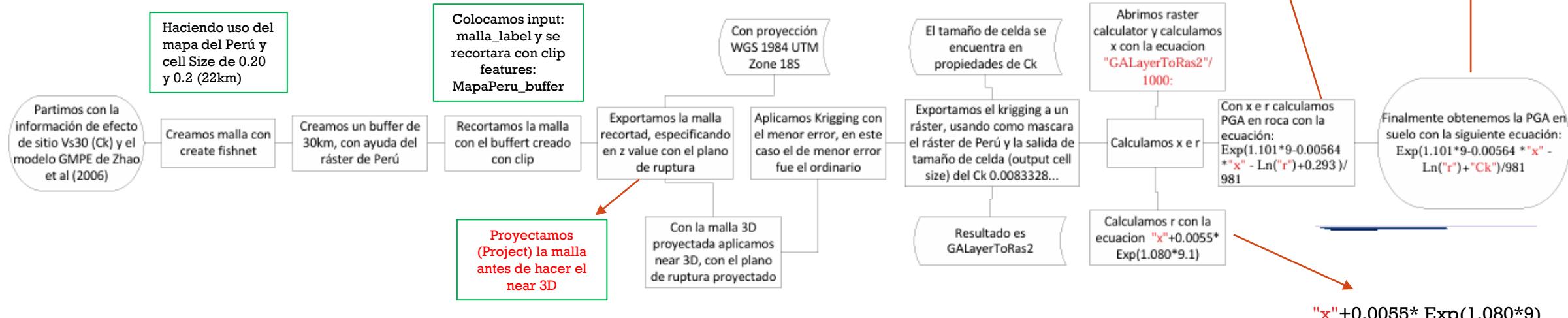
$$r_{ij} = x_{ij} + c \exp(dM_{wi})$$

$$\text{Exp}(1.101*9 - 0.00564 * "x" - \ln("r") + 0.293)/981$$

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	
PGA	1.101	-0.00564	0.0055	1.08	0.01412	0.251	2.607	-0.528

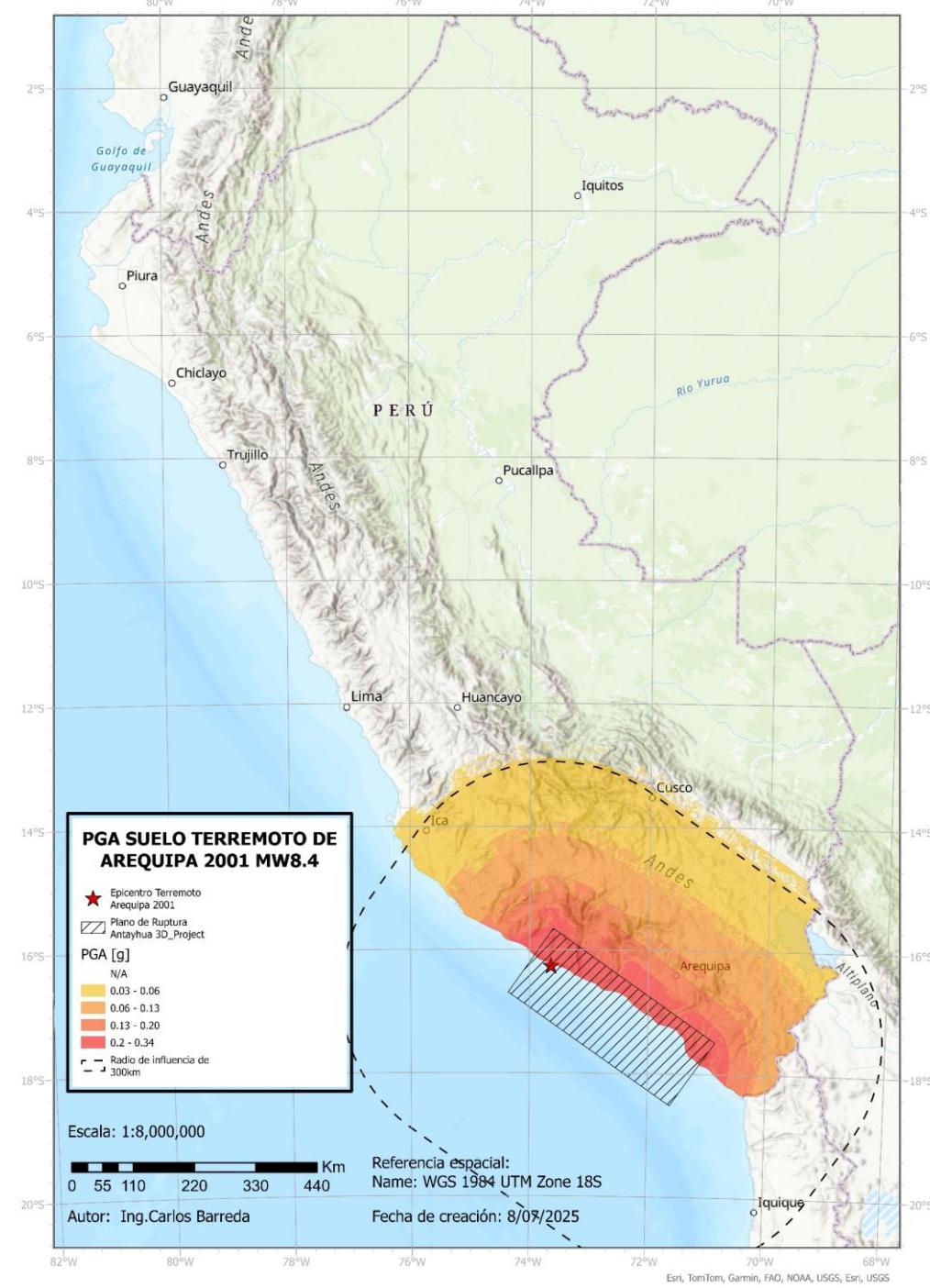
Fuente: Zhao et al (2006)



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



RESULTADO DE ARCGIS PRO

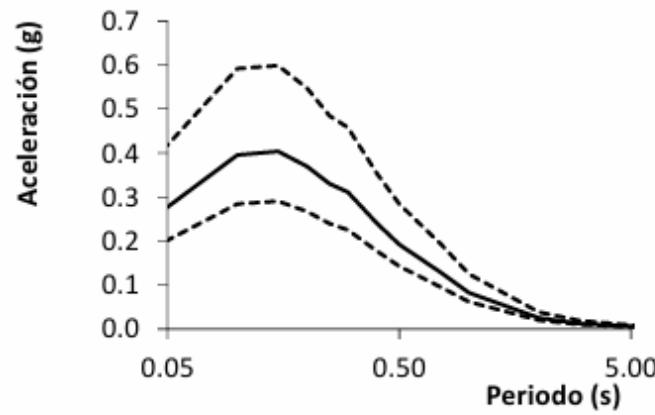


PELIGROSIDAD SÍSMICA

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)

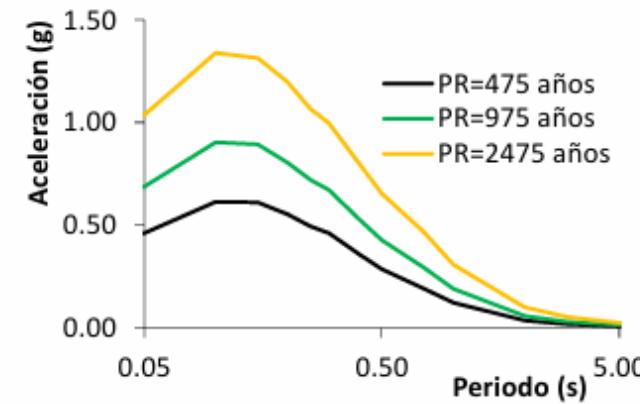


Métodos PROBABILISTA

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)



A composite image featuring a technical architectural blueprint on the left, a large blue gear in the center, and a pen resting on another blueprint on the right.

GRACIAS POR LA ATENCIÓN

□ 92 777 0169

✉ seismicx.proyectos@gmail.com

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