

CURSO ESPECIALIZADO

PELIGROSIDAD SÍSMICA

Método Determinista
(DSHA)

Organizado por:



SESIÓN 5: Reproducción del terremoto Pisco 2007, 7.9Mw

DOCENTE DEL CURSO

**Mag. Ing. Jorge
Trujillo**

TIPOS DE FALLA (REFERENTE AL MECANISMO FOCAL)

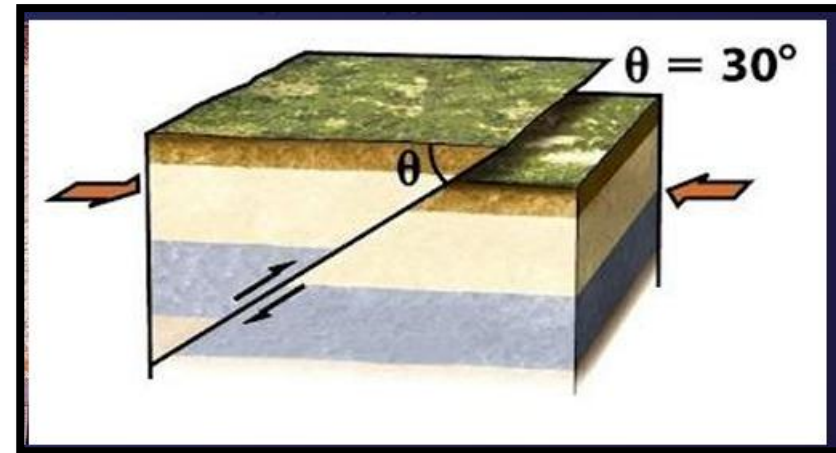
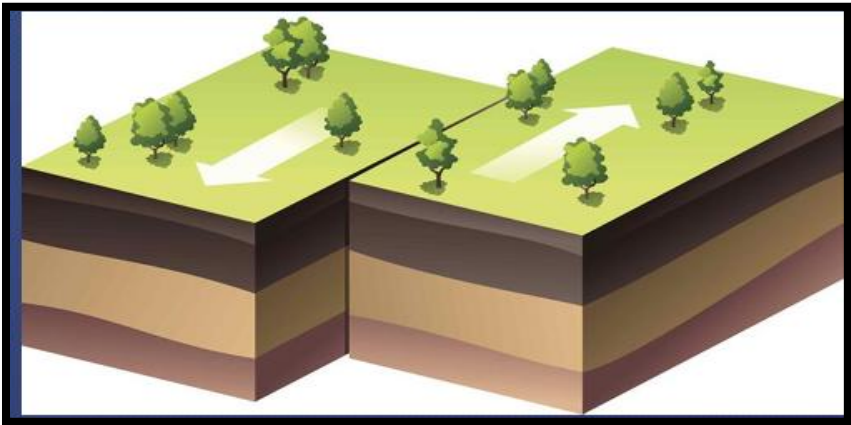
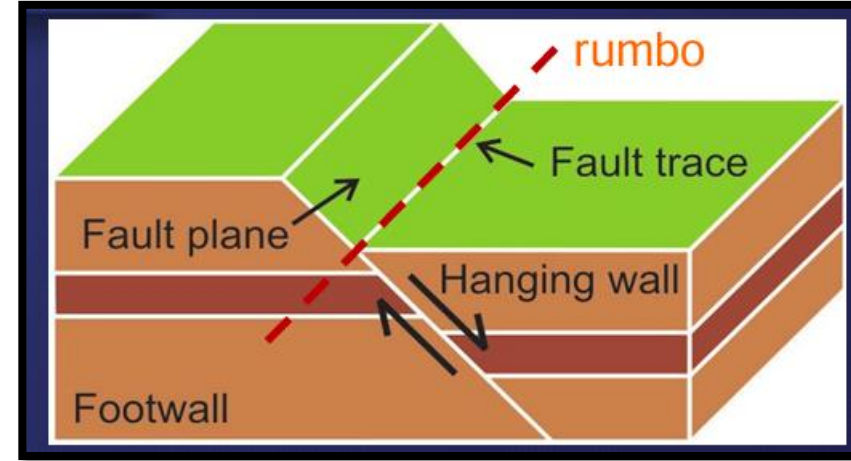
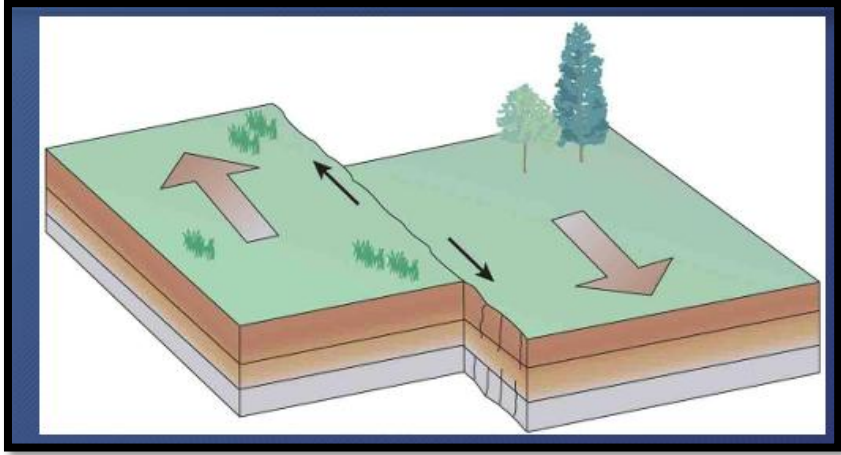






Foto cortesía de P. Murphy



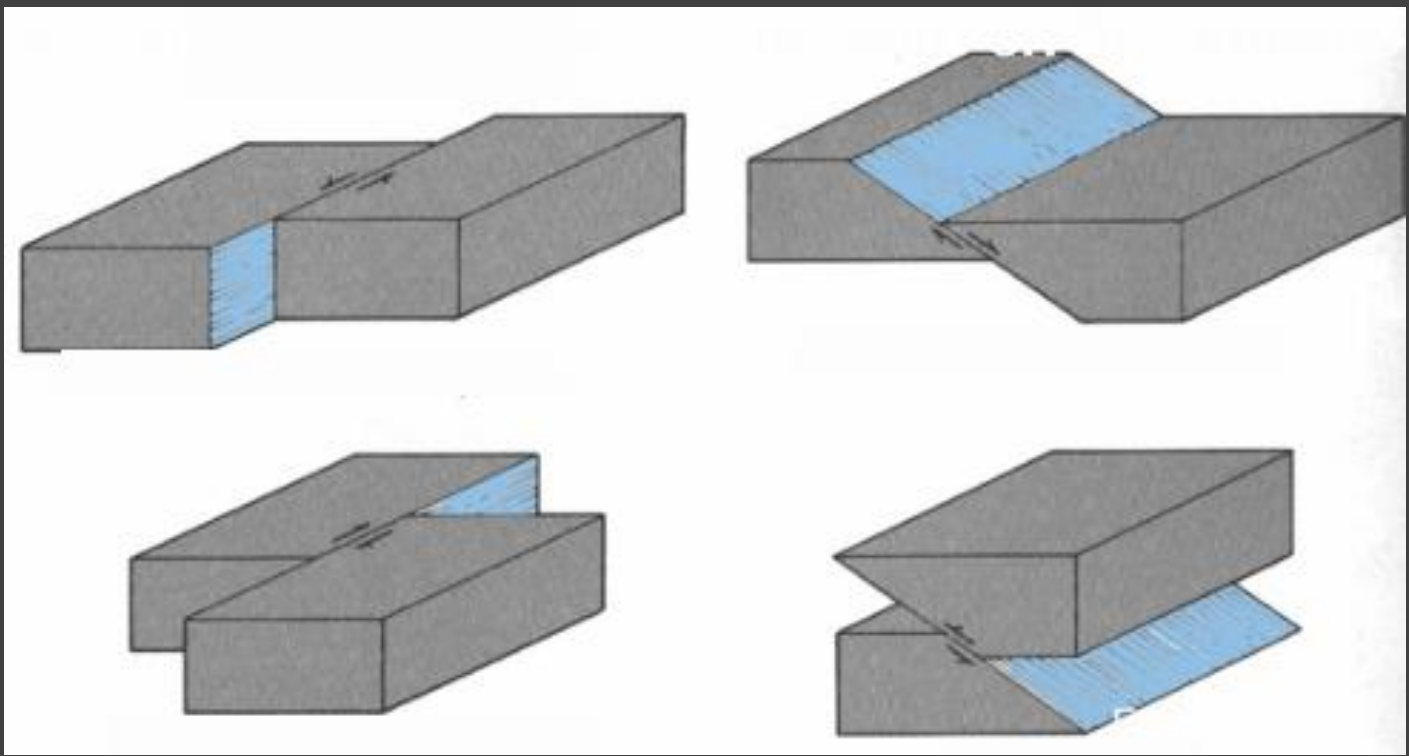






Angelier et al., 2003





EVALUAR EL GRAN TERREMOTO DE PISCO DEL 15 DE AGOSTO, 2007 7.9Mw - IMPLEMENTANDO EL METODO DETERMINISTA (DSHA) CON ARGIS PRO

Acorde al informe preliminar del IGP (2007): *“ocurrió el día 15 de Agosto de 2007 (18 horas y 40 minutos, Hora Local) con una magnitud de 7.0ML (escala de Richter) y 7.9Mw (escala Momento), denominado como “el sismo de Pisco” debido a que su epicentro fue ubicado a 60 km al Oeste de esta ciudad. El sismo produjo daños importantes en un gran número de viviendas de la ciudad de Pisco (aproximadamente el 80%) y menor en localidades aledañas, llegándose a evaluar una intensidad del orden de VII en la escala de Mercalli Modificada (MM). Este sismo presenta su epicentro y replicas entre las áreas de ruptura de los sismos ocurridos en Lima en 1974 (7.5Mw) e Ica en 1996 (7.7Mw). Asimismo, este sismo produjo un tsunami que se originó frente a las localidades ubicadas al sur de la península de Paracas. En este informe preliminar se presenta y discute los parámetros hipocentrales del sismo, además de realizarse su interpretación sismotectónica.”*



Fuente: RPP noticias, 2007



INDECI (2016)



2007 SISMO EN EL DEPARTAMENTO DE ICA, Prov. de Pisco

El 15 de Agosto a las 18:40 horas se registró un violento sismo con las siguientes características:

Magnitud: 7,0 MI (E.R.) - 7,9 Mw (Magnitud Momento)

Intensidad: VII Pisco, VI Lima, V Huancavelica, IV Huairaz, Huánuco, III Abancay, Cajamarca, Mollendo y Camaná, II Chachapoyas, Arequipa y Chiclayo

Profundidad: 40 Kms.

Epicentro: 60 Km - al Oeste de Pisco (en el mar)

Duración: 04 minutos

Daños personales: Ica: 363.841 damnificados y 157.369 afectados; Huancavelica: 10.810 damnificados y 20.870 afectados; Ayacucho: 460 damnificados y 2.450 afectados; Junín: 20 damnificados; Lima: 59.483 damnificados y 40.371 afectados. Además un total de 596 fallecidos y 1.292 heridos.

Daños materiales: se registra un total de 48.208 viviendas destruidas; 45.500 inhabitables y 45.813 afectadas.

También se registra daños en el sector Educación con 643 aulas destruidas y 635 afectadas; y en el Sector Salud, con 14 establecimientos destruidos y 112 afectados. Además 02 puentes destruidos y 04 afectados.

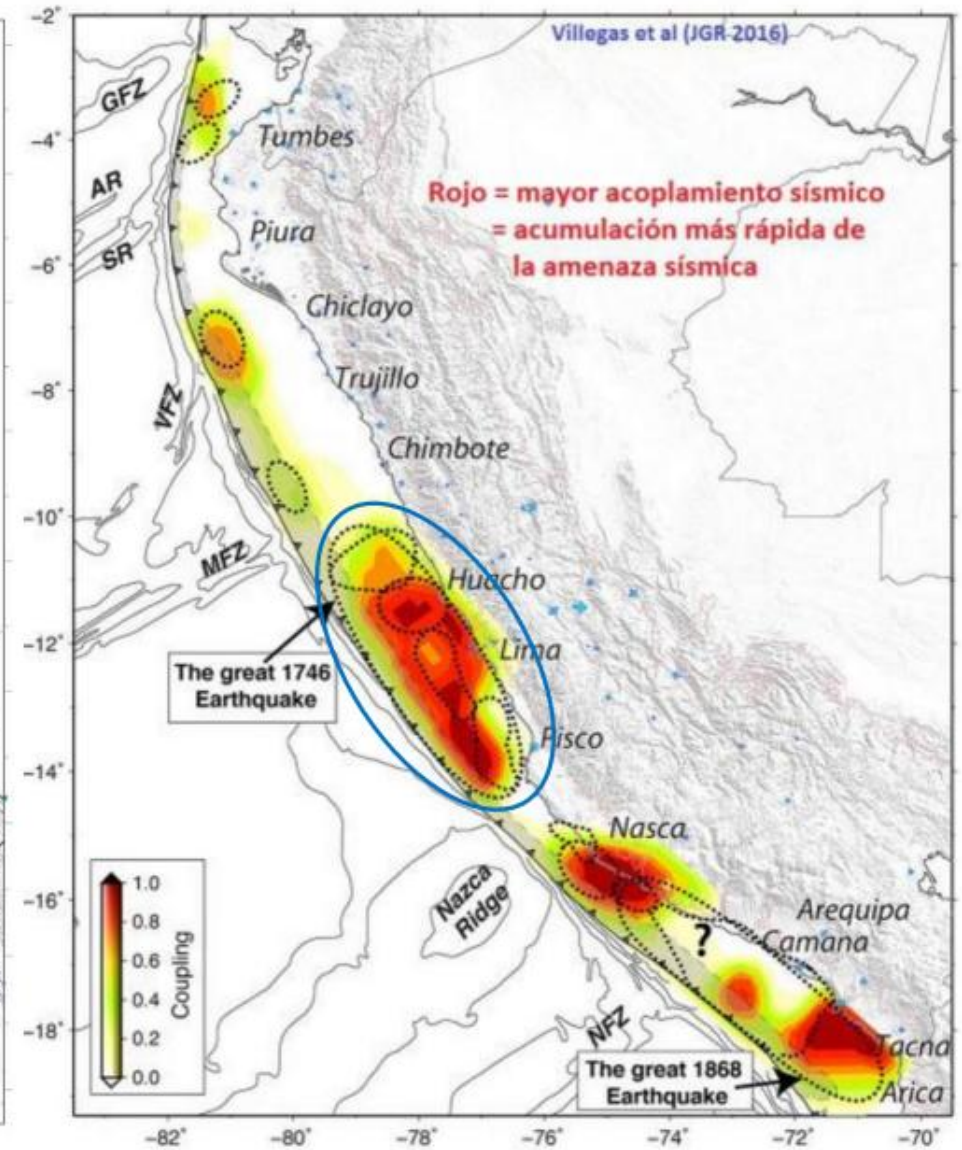
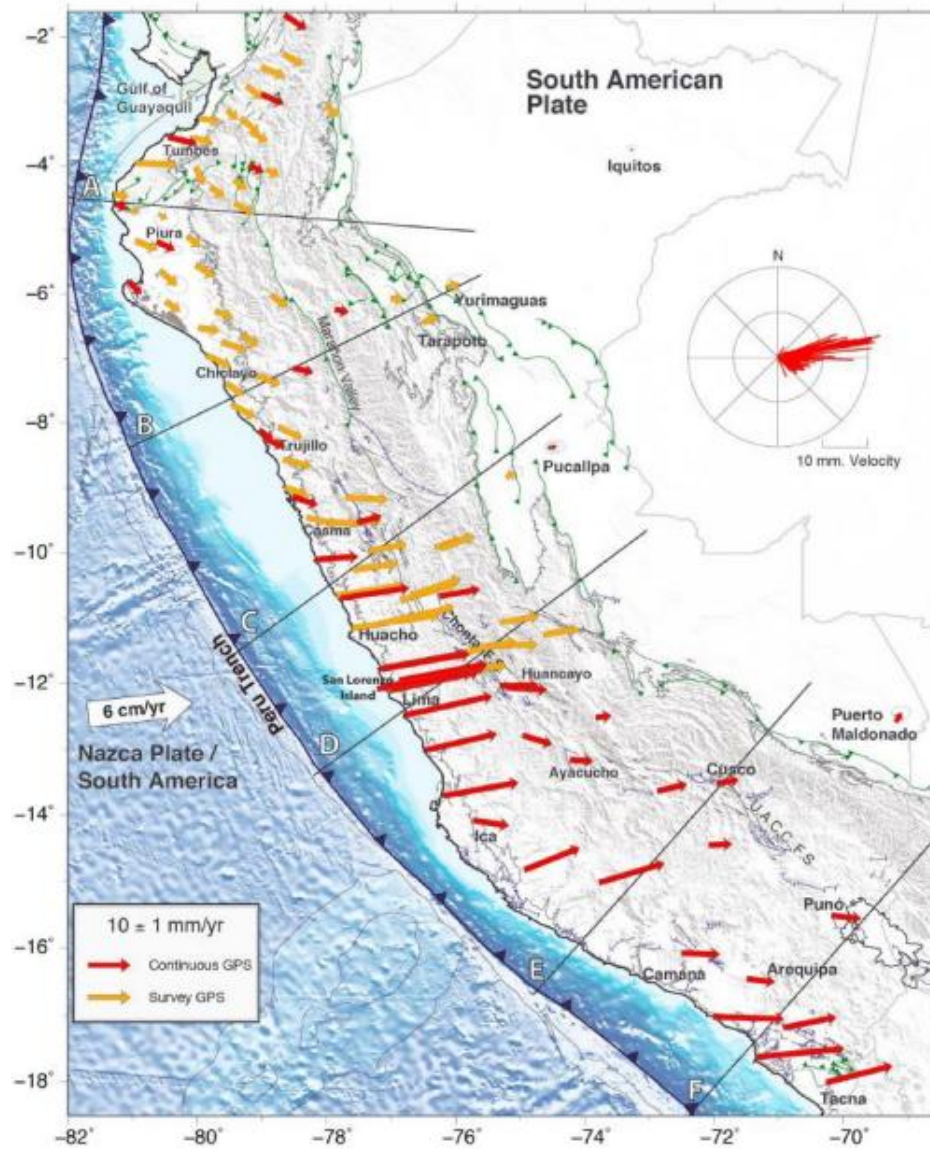
Acciones tomadas: Conocido el hecho el Jefe del INDECI, movilizó personal especializado a las ciudades afectadas a fin de ayudar a organizar el COE, movilizand también a los Jefes de las diferentes Direcciones Regionales a las zonas afectadas. Se estableció un puente aéreo entre el Grupo 8 de Lima y la Base Naval de Pisco.

Se recibió ayuda internacional de los países de Alemania, Argentina, Austria, Bolivia, Brasil, Bélgica, Canadá, Chile, China, Colombia, Corea Cuba, etc.

También se captó donaciones en efectivo y en especie de instituciones y personas naturales para los damnificados del sur.

Se instaló albergues en las Provincias de Pisco, Chincha, Ica y Cañete, a fin de brindar el apoyo logístico, así como atención de ollas comunes de parte de PRONAA. Igualmente se procedió con la remoción de escombros.





Fuente: Villegas-Lanza et al., 2016



TERREMOTO DE PISCO 2007, 7.9MW (TESTIMONIO)



TERREMOTO DE PISCO 2007, 7.9MW (TESTIMONIO)



TERREMOTO DE PISCO 2007, 7.9MW (AFECTADOS)



TERREMOTO DE PISCO 2007, 7.9MW (DETALLES DE INFRAESTRUCTURA DAÑADA)



Parámetros sísmicos	IGP, Tavera (2008)	Modelo de Caltech (Ozgun Konca)	Modelo de Geosciences-Azur(Martin Vallé) - Francia	Modelo de Tsukuba Universidad (Dr.Yagi)
Magnitud (Mw)	7.9	8.0	7.9	8.1
Profundidad (km)	26	39	--	--
Intensidad Max	VIII	--	--	--
Latitud	-13.49° Sur	13.354° S	--	--
Longitud	-76.85° Oeste	76.509° O	--	--
Azimut (Strike)	311	324	318	320
Buzamiento (dip)	14	27	20	18
Mecanismo focal	Inversa	Inversa	Inversa	Inversa

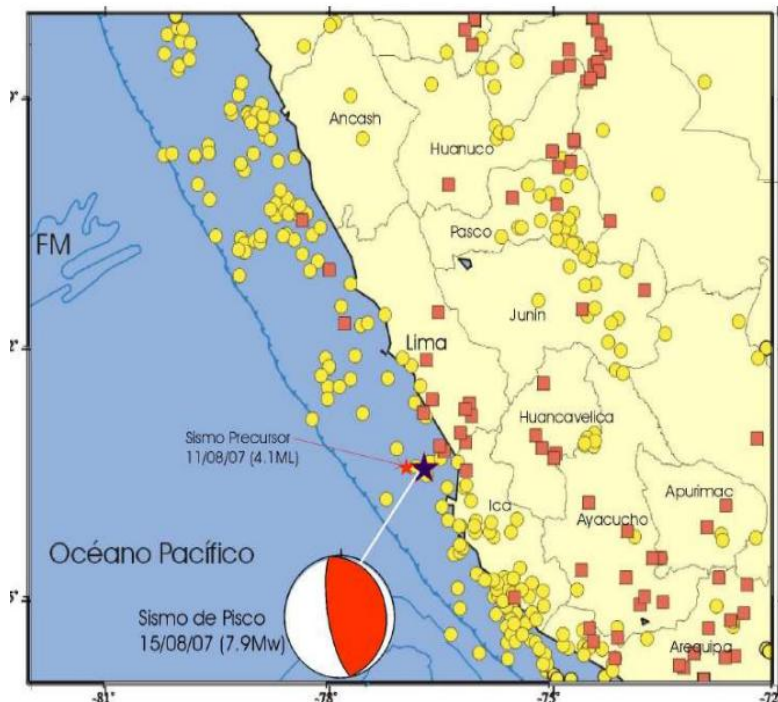


OBJETIVO PRINCIPAL

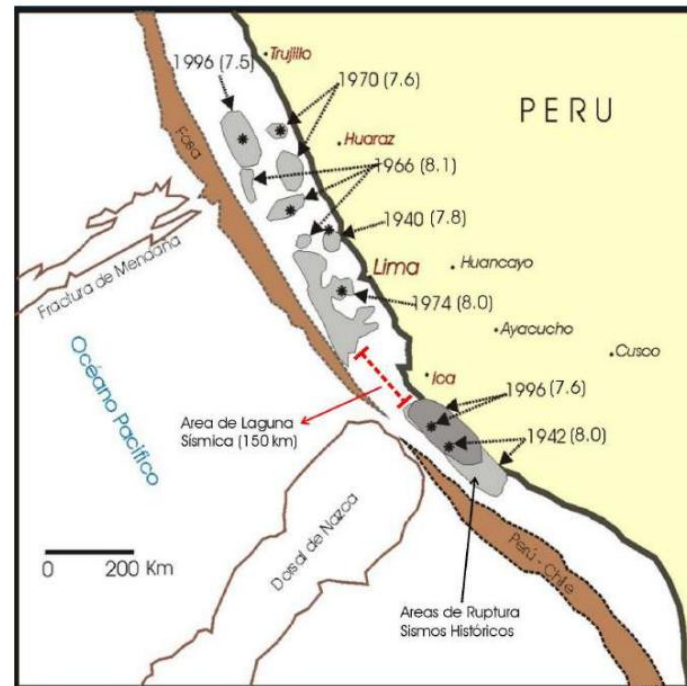
Reproducir el terremoto de Pisco del 2007 de **7.9 Mw** implementando el método determinista (DSHA) en un SIG con la aplicación ArcGIS Pro

Fuente sísmica

El escenario sísmico es el terremoto de Pisco del 2007 con epicentro en las coordenada aproximada de longitud -76.85° Oeste y latitud de -13.49° Sur, con emplazamiento en todo el Perú. La magnitud máxima es de Mw. 7.9. 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 tsunami de 10m en la localidad de Lagunillas. (Tavera, 2008)



Fuente: (Tavera, 2008)



Algunos autores como Tavera y Bernal (2005) realizaron una revisión detallada de estas áreas de ruptura y remarcaron la existencia del área de 150 km de longitud sin ruptura, como la más indicada para producir un terremoto en el futuro. Dichos autores indicaron que el terremoto tendría una magnitud probable de 7.0 Ms y que produciría daños principalmente entre la localidad de Chilca y la ciudad de Pisco



FLUJOGRAMA DEL PROCESO DE MODELAMIENTO DEL PLANO DE RUPTURA

Geometría de plano de ruptura, terremoto de Pisco 2007 Mw7.9;

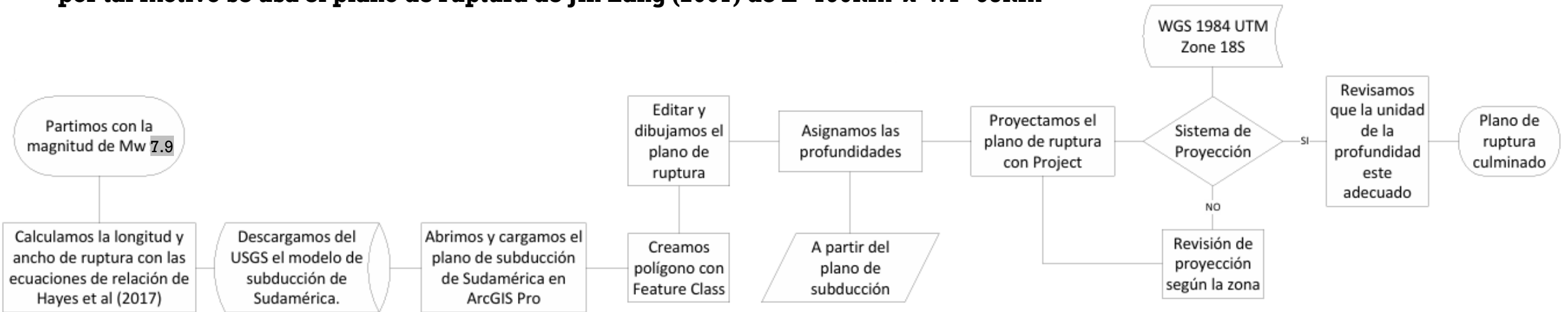
Hayes:

- **L=119.4km**
- **Wr=73.94km**

WellsCoppersmith:

- L=130.92km
- Wr=32.96km

Las correlaciones geométricas no se ajustan adecuadamente para el terremoto de Pisco de 2007 de Mw7.1, por tal motivo se usa el plano de ruptura de Jin Zang (2007) de L=190km x Wr=95km

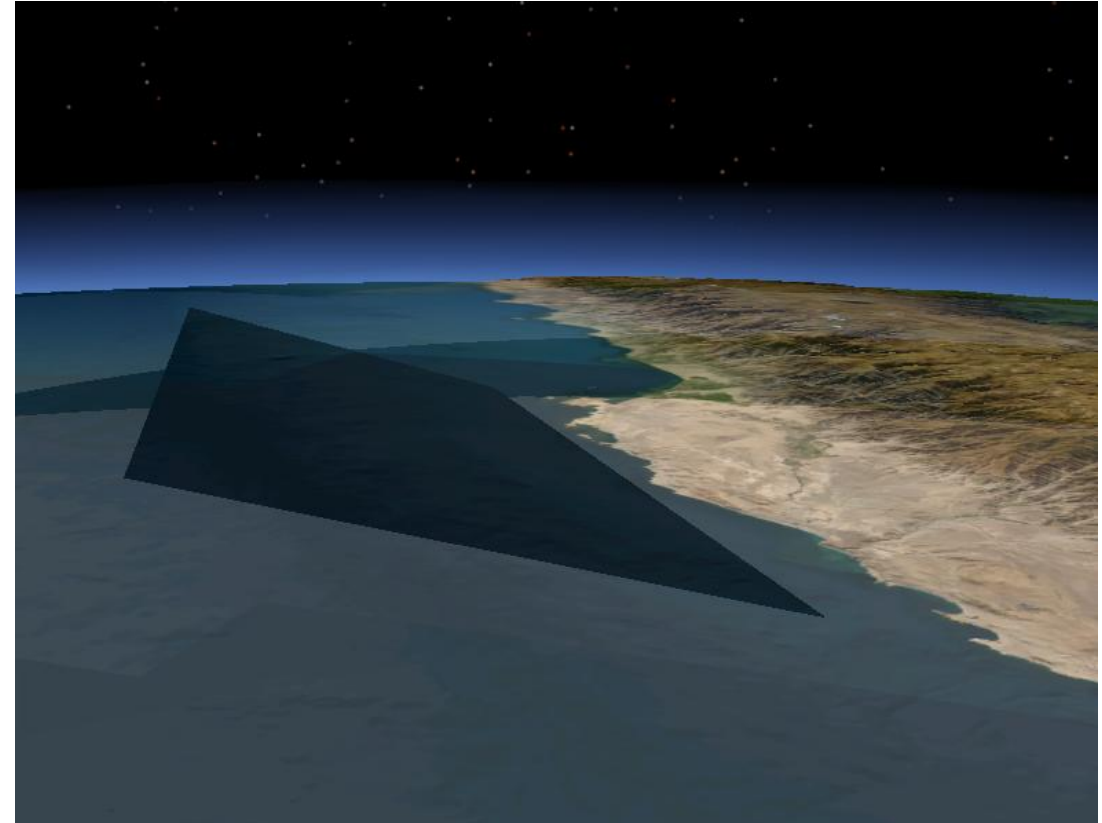
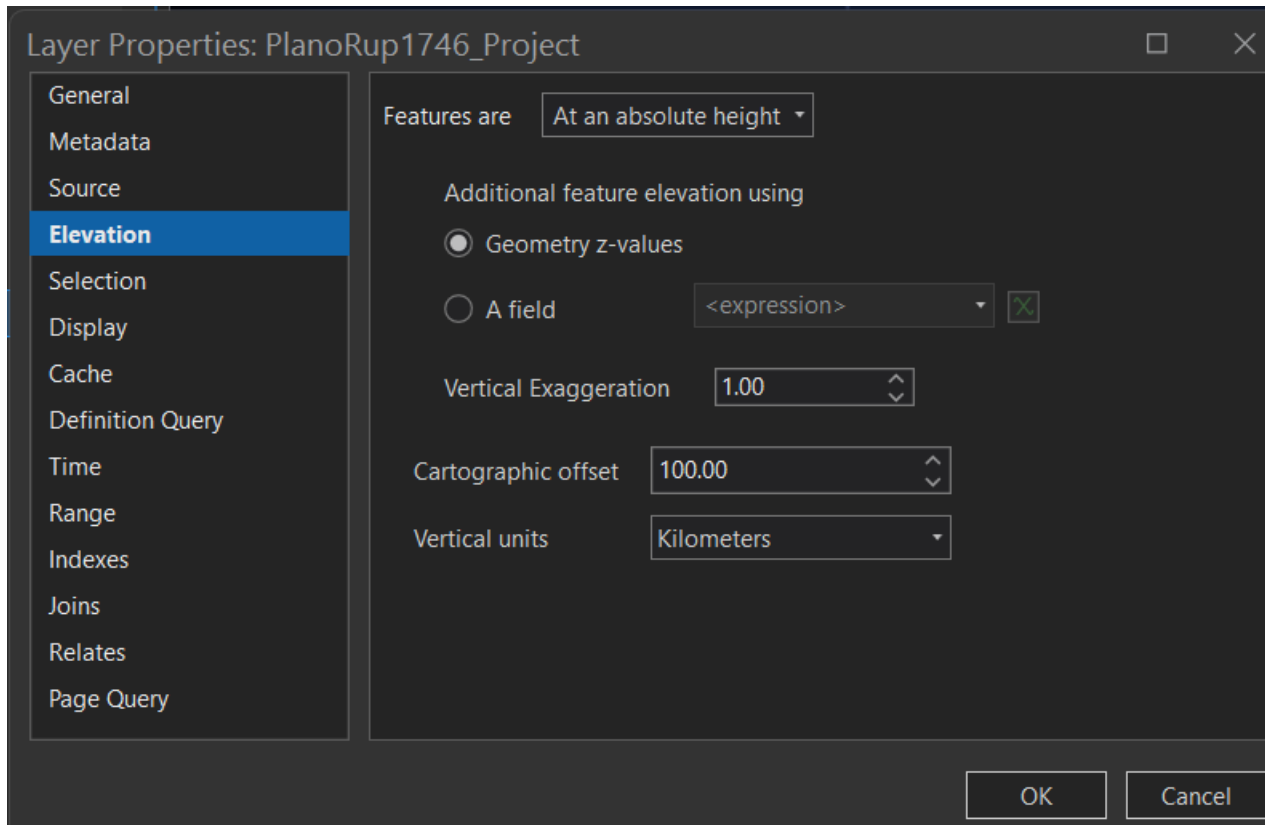




PLANO DE RUPTURA



VISTA 3D: PLANO DE RUPTURA



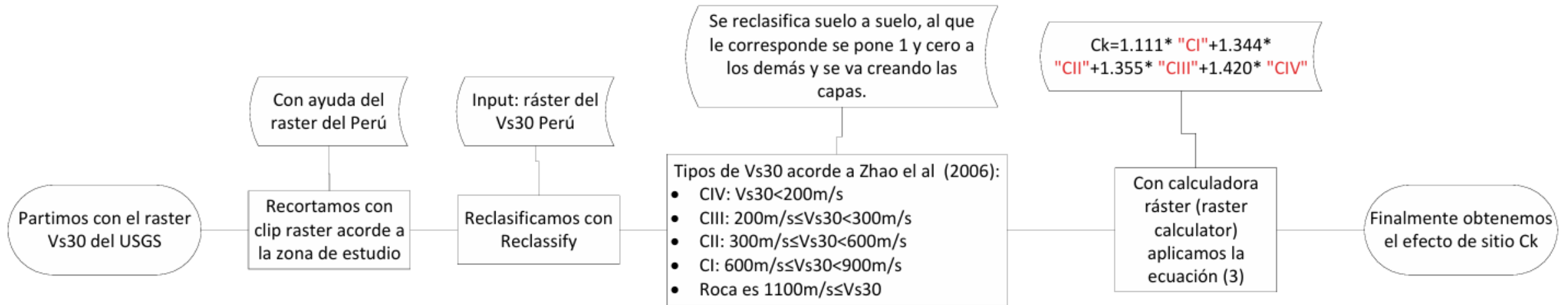
EFFECTO DE SITIO

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

Coeficientes de efecto de sitio

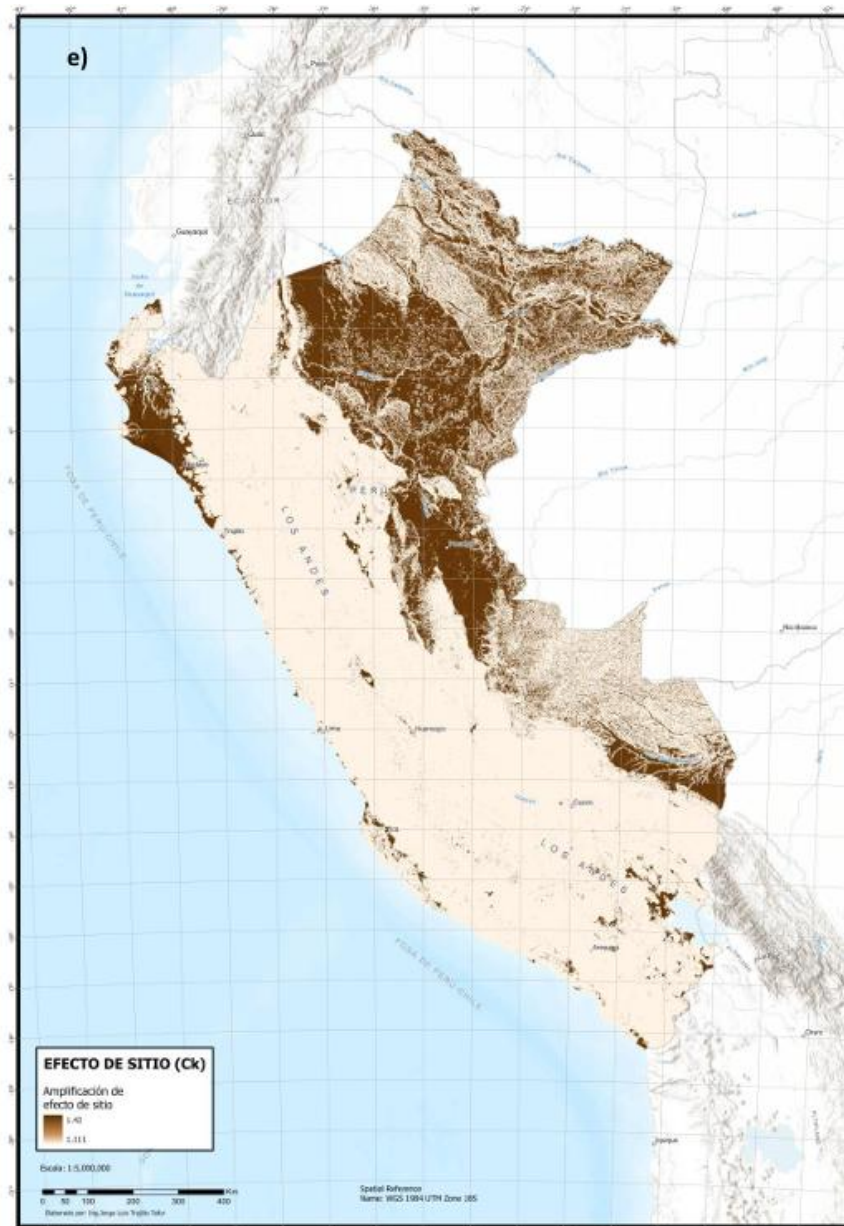
Coeficientes para efecto de sitio					
Periodo	CH	C1	C2	C3	C4
PGA	0.293	1.111	1.344	1.355	1.42

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.
- 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.

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



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 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



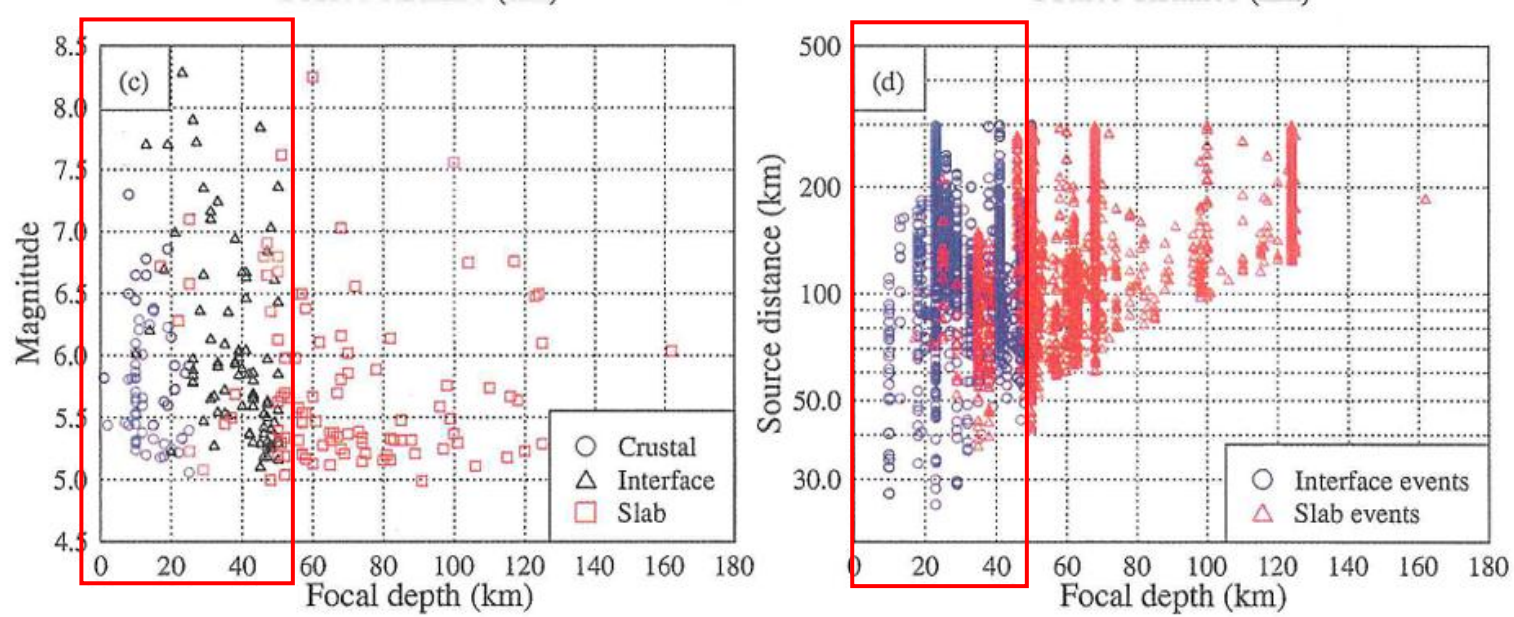


Figure 1. Magnitude-distance distribution for (a) data from Japan; (b) overseas data; (c) magnitude-focal depth distribution; and (d) source distance-focal depth distribution of Japanese data.

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 2007 es de -26km (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

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



ACELERACIÓN SÍSMICA

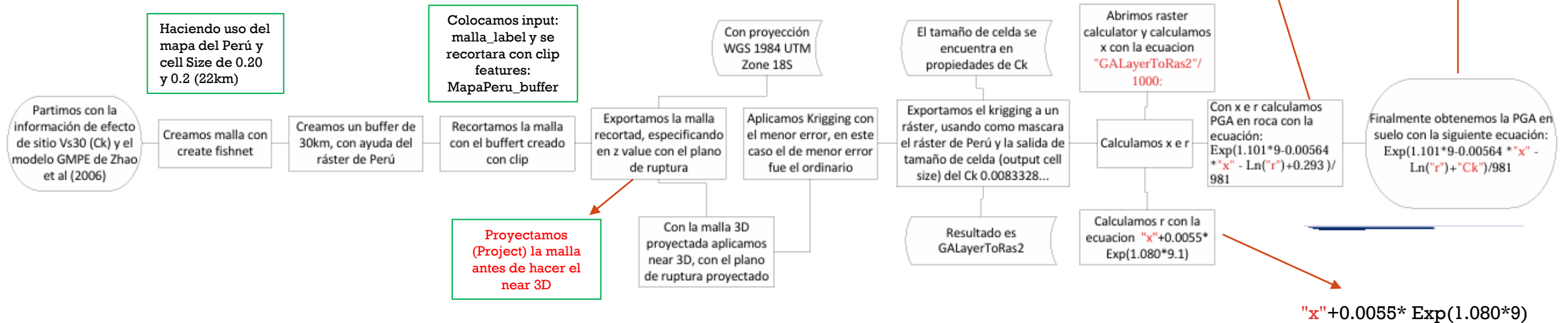
$$\text{Log}(y) = aM_{wi} + bx_{ij} - \log(r_{ij}) + e(h-h_c)\delta h + FR + SI + SS + SSL \log(x_{ij}) + C_k + \xi_{ij} + n_{ij}$$

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

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)

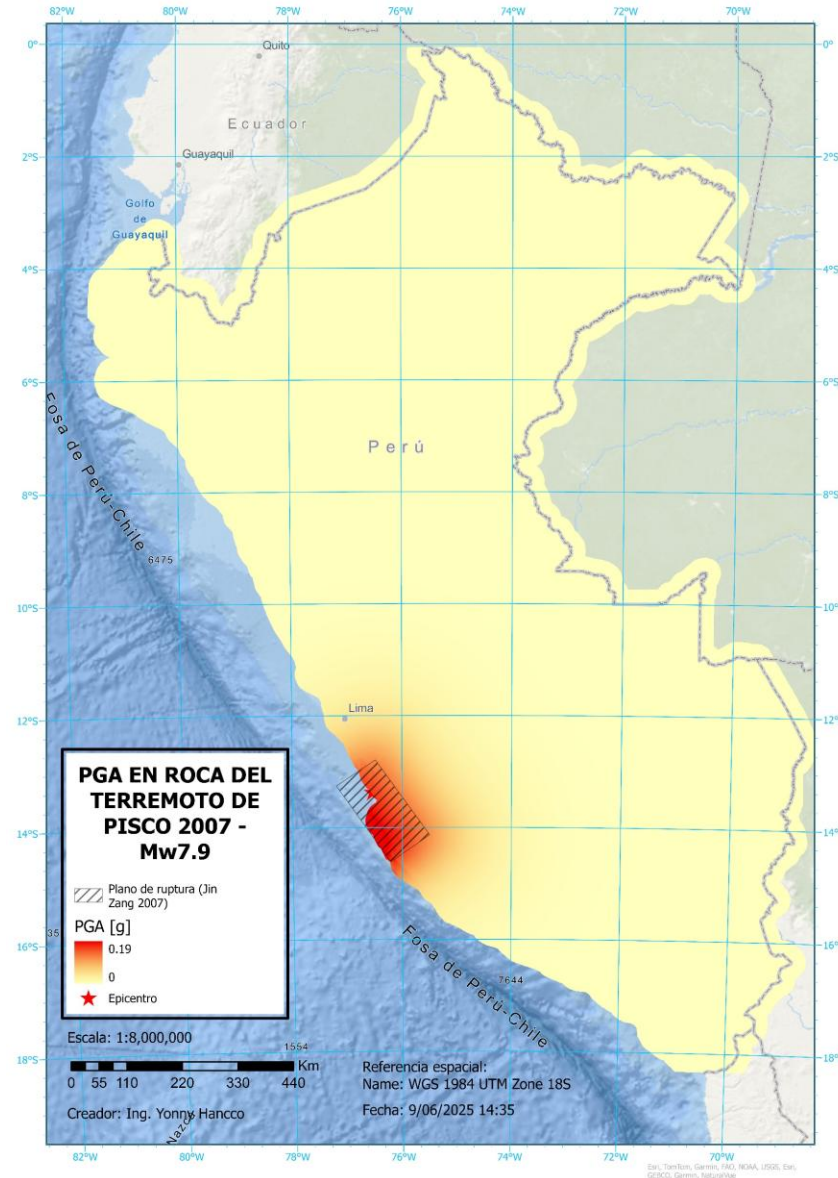


$$\text{Log}(y) = aM_{wi} + bx_{ij} - \log(r_{ij}) + C_k$$



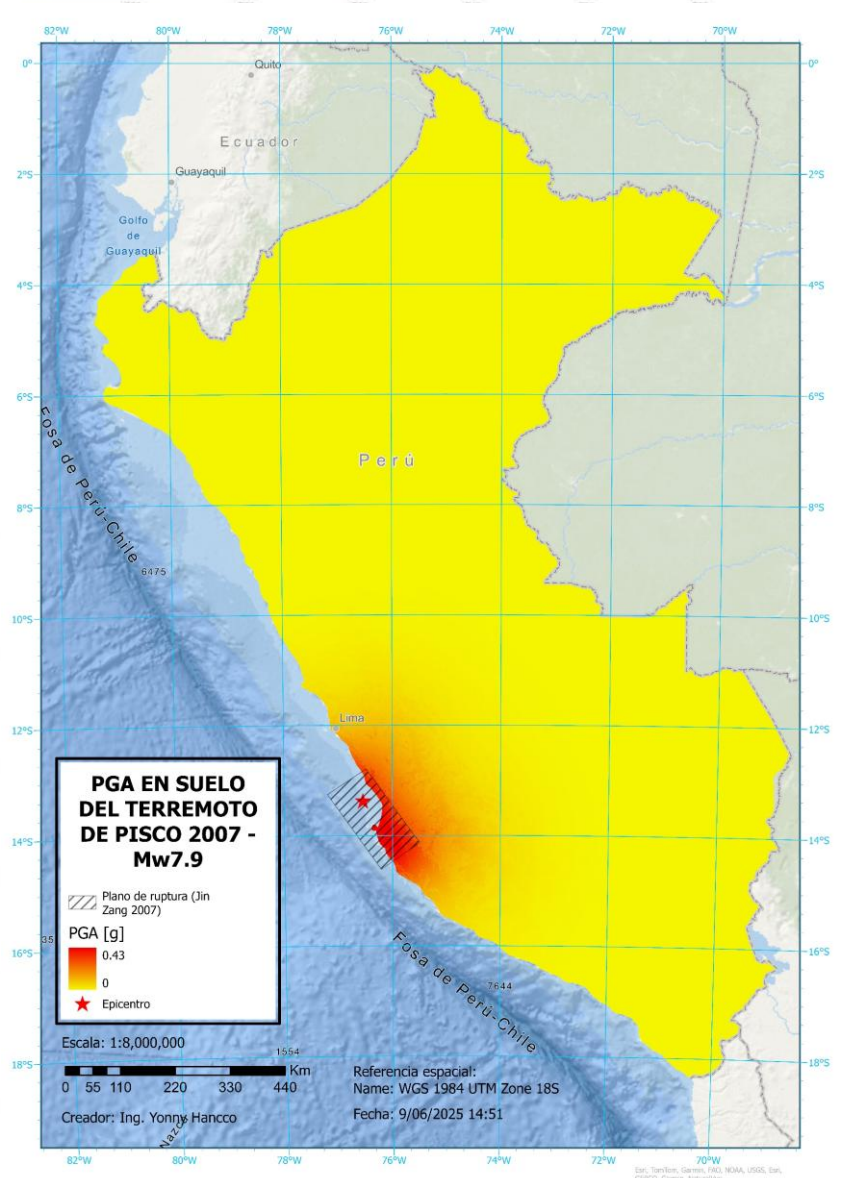
RESULTADO DE ARCCIS PRO

PGA en roca (g)



Fuente: Elaboracion propia

PGA en suelo (g)



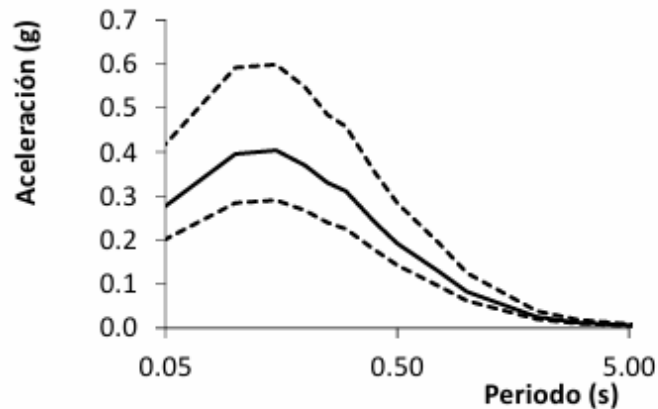
Fuente: Elaboracion propia

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)

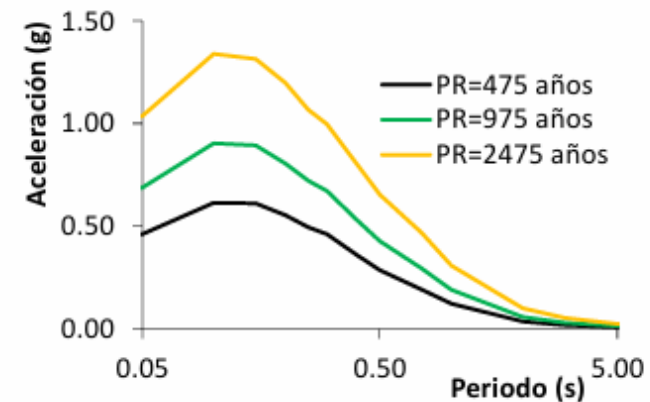


Métodos PROBABILISTA

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

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