

CONFERENCIA INTERNACIONAL EN INGENIERIA SISMICA  
20 ANIVERSARIO CISMID,  
LIMA – PERU, AGOSTO 20-22, 2007

CARACTERISTICAS DEL PELIGRO SISMICO  
Y  
LOS FACTORES DE RIESGO SISMICO  
EN EL PERU

POR: LEONIDAS OCOLA  
INSTITUTO GEOFISICO DEL PERU

LIMA, 20 DE AGOSTO 2007

## SINOPSIS

- \* ALGUNAS DEFINICIONES BASICAS
- \* CARACTERISTICAS DE LA SISMICIDAD
- \* CARACTERISTICAS DEL PELIGRO SISMICO
- \* FACTORES GENERALES DE VULNERABILIDAD
- \* CARACTERISTICAS DE LA VULNERABILIDAD Y EL RIESGO SISMICOS

## PELIGRO SISMICO

Procesos o fenómenos sísmicos que pueden causar pérdida de vidas o heridos, daño a la propiedad, alteración social y económica y/o degradación del medio-ambiente, en un área determinada y en un período de tiempo dado.

## RIESGO SISMICO

\*La probabilidad de las consecuencias perjudiciales o pérdidas esperadas futuras resultantes de la interacción del peligro natural o inducido y las condiciones de vulnerabilidad de los elementos expuestos al peligro sísmico.

**Convencionalmente: Riesgo = Peligro x Vulnerabilidad**

\***Perjuicios o pérdidas:** Muertes, heridos, propiedad, subsistencias, actividad económica, medio-ambiente, etc

## DEFINICIONES DEL "EARTHQUAKE ENGINEERING RESEARCH INSTITUTE" (EERI)

**RIESGO SISMICO:** La probabilidad que las consecuencias sociales o económicas de los sismos sea igual o exceda un valor especificado en un sitio, varios sitios, o en un área, durante un tiempo de exposición especificado. El riesgo es expresado en términos cuantitativos (Dowrick, 2003).

Es calculable mediante la relación:

**Riesgo Sísmico = (Peligro Sísmico) x Vulnerabilidad x Valor**

Ese valor especificado de riesgo y aceptado por la sociedad tiene que ver con los conceptos de **Riesgo Aceptable** y **Riesgo Específico**.

**RIESGO ACEPTABLE:** El nivel de riesgo que es considerado tolerable dadas las consecuencias y los beneficios esperados. Se puede asignar diferentes niveles de riesgo aceptable a varios peligros, de acuerdo a la naturaleza de los fenómenos y la clase de elementos expuestos al peligro.

## VULNERABILIDAD SISMICA

El grado o nivel de daño o lesión por la acción de un sismo y/o fenómenos asociados a:

- La población
- El ambiente constructivo
- Las actividades socio-económicas
- El patrimonio cultural
- La naturaleza,

en un área determinada.

### SISMICIDAD DEL PERU

COLOR CLASE  
PROFUN.(km) AMBIENTE

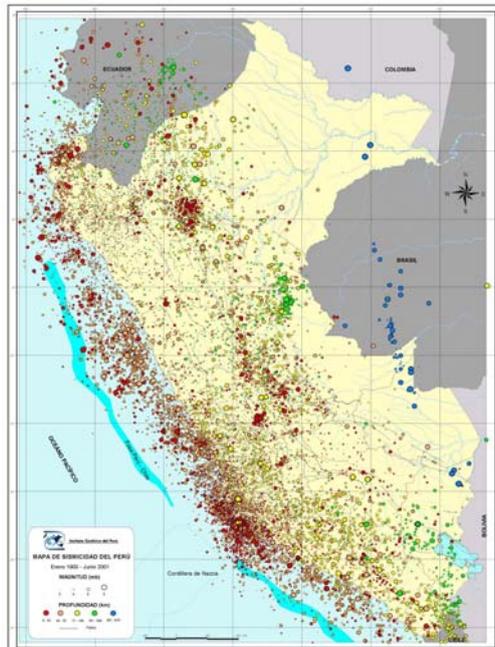
Rojo Superficiales  
0 –32 Colision-Reaj.

Naranja Int. Superficiales  
33-70 Reajuste-sub.

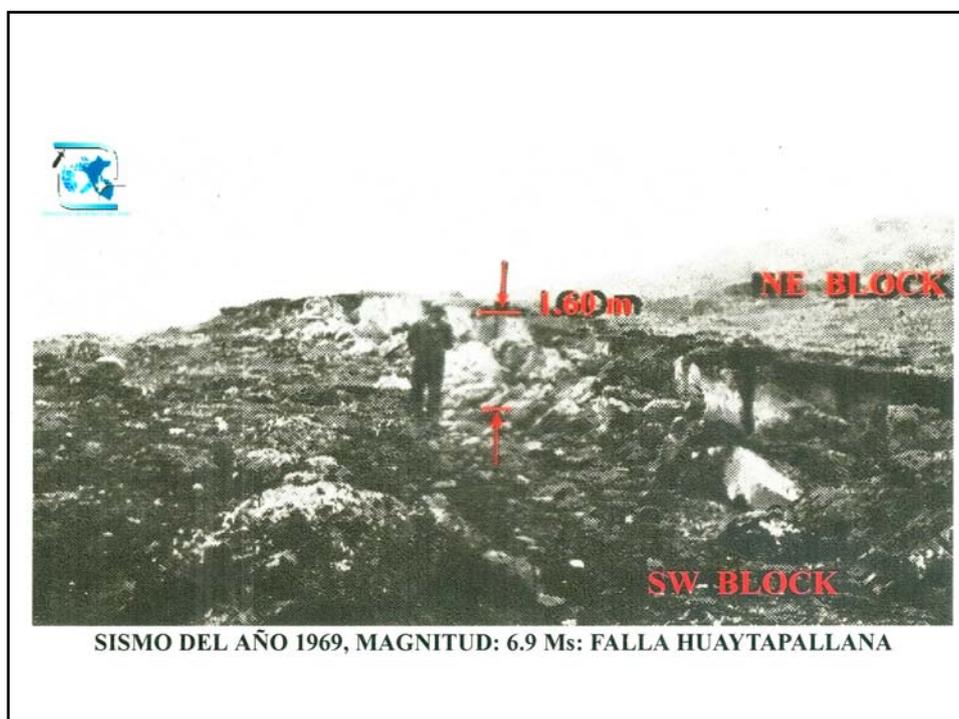
Amarillo Intermedios  
71-150 Subducción

Verde Interm. Profundos  
151-300 Subducción

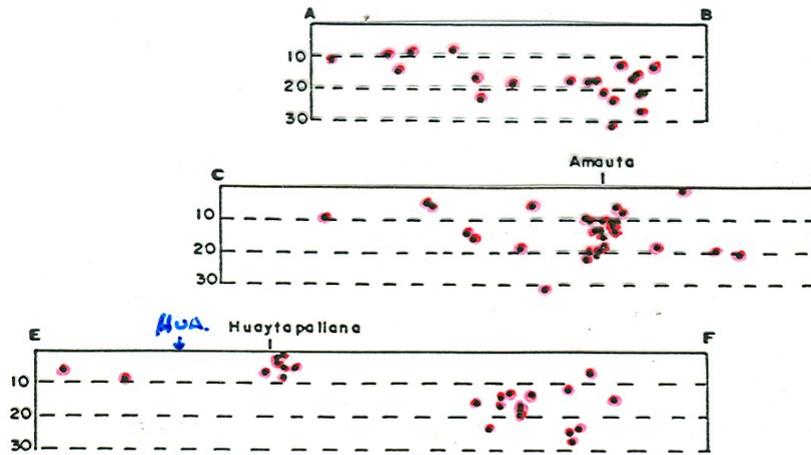
Azul Profundos  
301-670 Subducción



FENOMENOS GEOLOGICOS DE SUPERFICIE CAUSADOS POR SISMOS			
	RUPTURA DEL TERRENO EN SUPERFICIE	AGRIETAMIENTO	
		FALLAS GEOLOGICAS	
		MAREMOTO	
TERREMOTO	SACUDIMIENTO O VIBRACION DEL TERRENO	DERRUMBES	
		DESLIZAMIENTOS	
		BALANCEO REPENTINO DE ROCAS	
		DESPRENDIMIENTO DE MATERIAL GEOLOGICO	
		CAIDA DE MATERIAL GEOLOGICO	
		AVALANCHAS	
		ALUDES	
		ALUVIONES	
		LICUEFACCION DE SUELOS	
		EXPANSION LATERAL DE SUELOS	
		FLUJO DE SUELOS	
		COMPACTACION DE SUELOS	
		HUNDIMIENTO DE SUELOS	
		POLVAREDA ATMOSFERICA	
		LAGOMOTOS	
	MOVIMIENTOS REGIONALES	CAMBIO DEL NIVEL DEL MAR	
		DESPLAZAMIENTOS HORIZONTALES	



PERFILES VERTICALES DE SISMICIDAD A-B, C-D, E-F (Dorbath et al. 1986) PERFIL E-F MUESTRA ACTIVIDAD SÍSMICA A MENOS DE 10 KM DE PROFUNDIDAD EN LAS FALLAS DE HUAYTAPALLANA Y ALTOS DE MANTARO. LA ACTIVIDAD SÍSMICA HASTA LOS 30 KM DE PROFUNDIDAD ES SIGNIFICATIVA



### SISMICIDAD SUPERFICIAL:

PROFUNDIDAD: 0 - 32 km

\*SISMOS ASOCIABLES CON FALLAS GEOLOGICAS

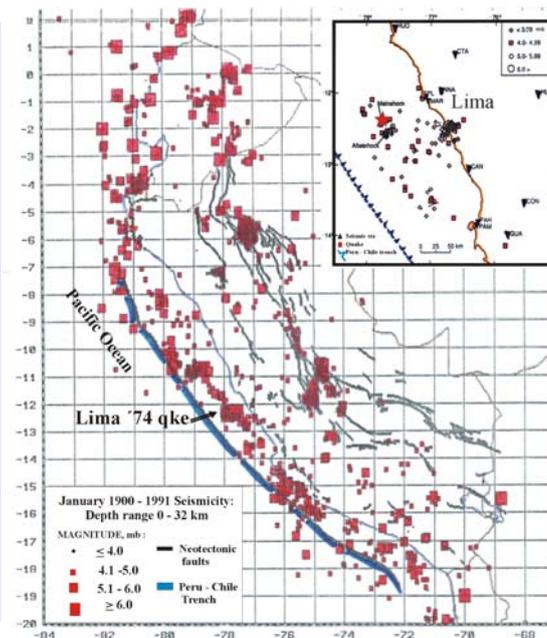
\* SISMOS: MUY ALTA PELIGROSIDAD

\* TIEMPO DE RECURRENCIA DE LOS GRANDES SISMOS:  
- ~1,000 AÑOS EN EL AMBIENTE DE REAJUSTE CORTICAL

-CIENTOS DE AÑOS EN EL AMBIENTE DE SUBDUCCION

-**INSET:** Sismo de Lima 1974 (Langer y Spence, 1995)

(OCOLA, 2006)



**PELIGRO SISMICO –  
FENOMENOS  
ASOCIADOS**

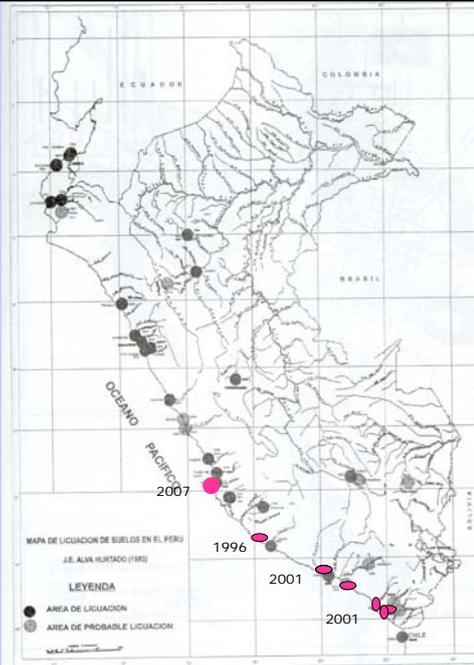
**LICUEFACCION DE  
SUELOS:**

**SISMOS HISTORICOS  
(Alva, 1983, CIP-  
1999: Ponencias)**

**Y**

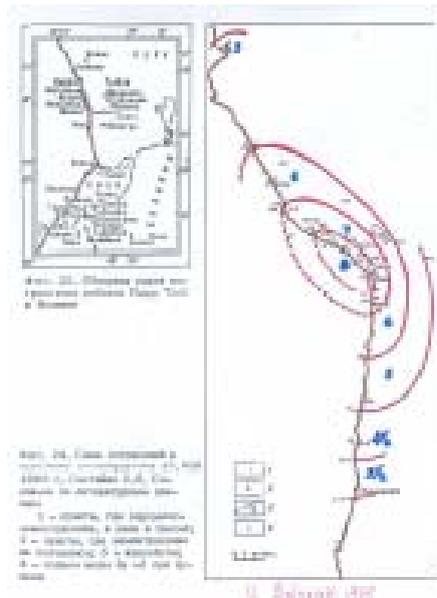
**TERREMOTOS RECIENTES**

**(COLOR: ROJO)**



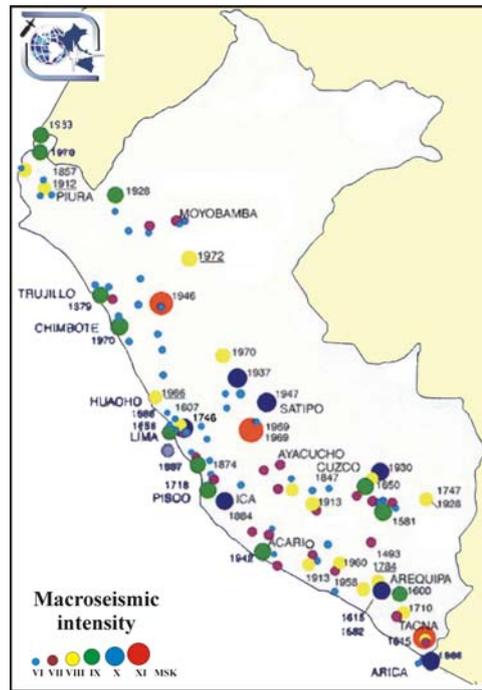
**ISOSISTAS DEL TERREMOTO SUR PERU 1868 (Soloviev V., 1975)**

- \*Terremoto documentado máximo del sur de Perú
- \*Agosto 13, 1868, 16 h 45 min
- \*Hipocentro: 18.29° S Lat., 70.59°W Lon., 25 km Prof., 9.3 Mw Magnitud
- \*Longitud de ruptura: > 600 km
- \*Intensidad máxima: 9-10 MSK: Arica, Tacna. El Morro de Arica se fracturó.
- \*Muertos: Tacna 3, Moquegua 150, Arequipa 10
- \*Distancias máximas: Guayaquil (Ecuador), Valparaíso (Chile): 3 MSK
- \*Maremoto: Arica: 12-16 m, Chala 12-15 m, Callao 4 m.
- \*Muertos: Arica 100, Iquique 200, Chala 30



MAPA DE  
 INTENSIDADES  
 MACROSISMICAS  
 MAXIMAS, MSK:  
 PROYECTO  
 SISAN

\* SITIOS PARA LOS CUALES  
 EXISTE DOCUMENTACION  
 ESCRITA



MAPA DE PELIGRO  
 SISMICO

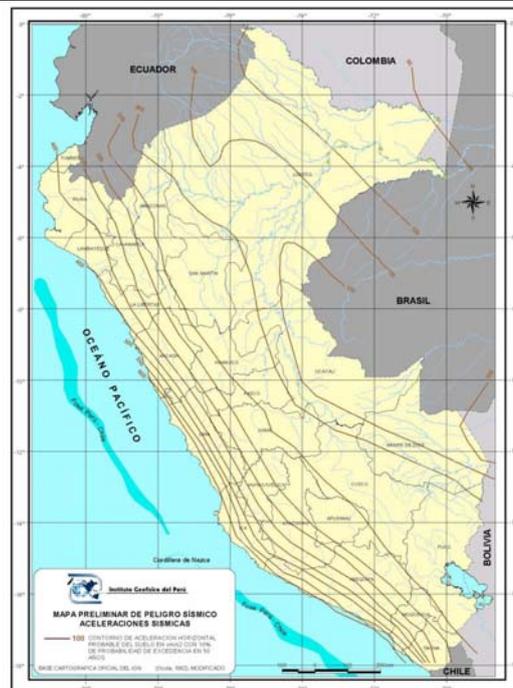
ACELERACIONES  
 SÍSMICAS MÁXIMAS  
 EN  $CM / S^2$

PARA UNA  
 PROBABILIDAD DE  
 EXCEDENCIA DEL 10%  
 EN 50 AÑOS

AÑO DE CALCULO:  
 1996

PUBLICACIÓN: 1997 &  
 2003

ENTIDAD OFICIAL: IGP



**PELIGRO SISMICO**

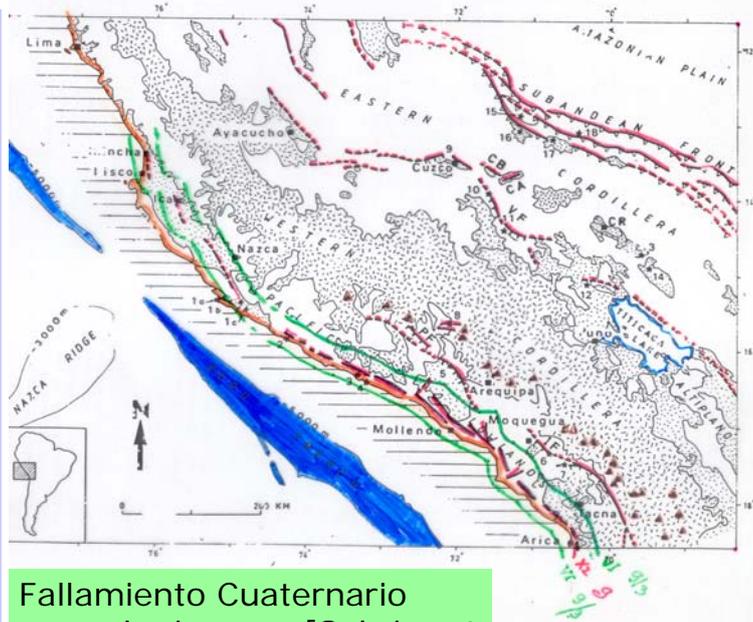
FALLAS GEOLOGICAS CONTINENTALES ACTIVAS

SISTEMA DE FALLAS DE LA COSTA

SISMO HIPOTETICO:

MAGNITUD: 7.8 Ms

Aceleración máxima: 1 g, traza.Línea isogal: g / 3 Int.Max: 11MSK



Fallamiento Cuaternario normal e inverso [Sebrier et al., 1985]

**PELIGRO SISMICO**

FALLAS GEOLOGICAS CONTINENTALES ACTIVAS

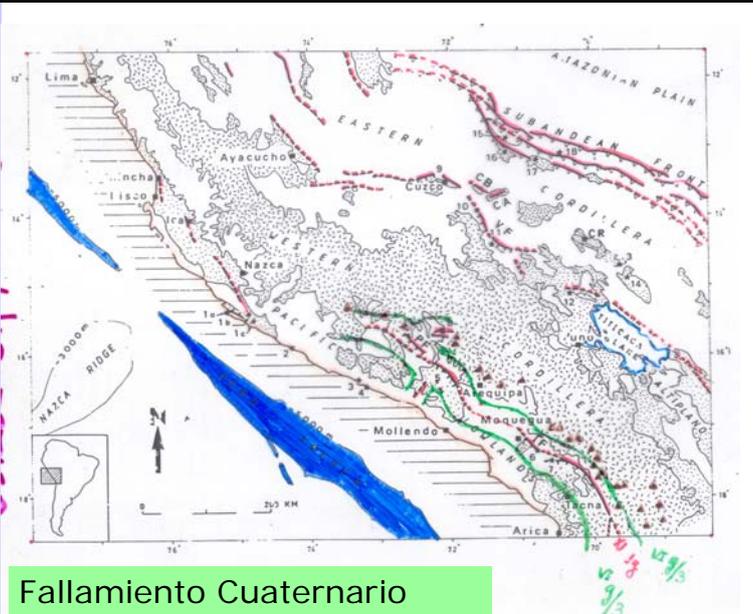
SISTEMA DE FALLAS CORD. OCCIDENTAL

SISMO HIPOTETICO:

MAGNITUD: 7.8 Ms

Aceleración máxima: 1 g, traza.Línea isogal: g / 3

Int.Max: 11MSK



Fallamiento Cuaternario normal e inverso [Sebrier et al., 1985]

**PELIGRO  
SISMICO**

FALLAS  
GEOLOGICAS  
CONTINENTA  
LES ACTIVAS

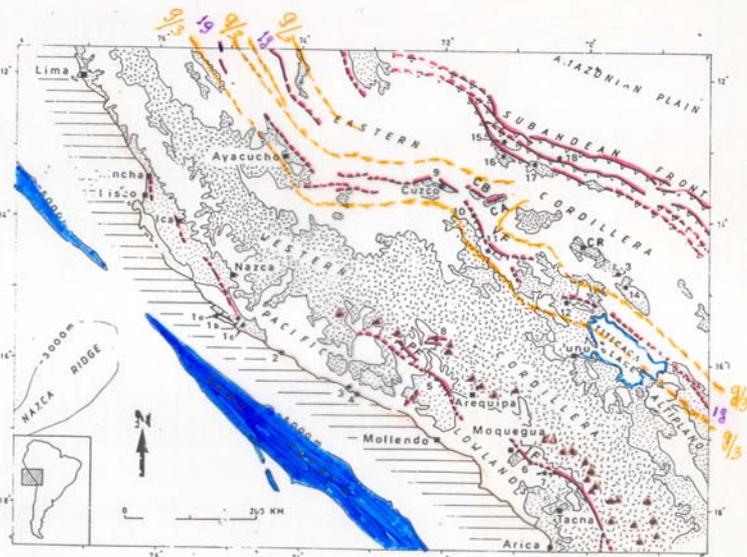
SISTEMA DE  
FALLAS CORD.  
ORIENTAL

SISMO  
HIPOTETICO:

MAGNITUD:  
7.8 Ms

Aceleración  
máxima: 1 g,  
traza.Línea  
isogal: g / 3

Int.Max: 11MSK



Fallamiento Cuaternario normal e inverso  
[Sebrier et al., 1985]

**ZONAS SISMICAS  
OFICIALES DEL  
"REGLAMENTO  
NACIONAL DE  
CONSTRUCCIONES**

NORMA TECNICA DE  
EDIFICACIONES E.030:  
DISEÑO  
SISMORRESISTENTE".  
Octubre 1997.

FACTORES DE ZONA:

ZONA 3: 0.40 G,  
ZONA 2: 0.30 G,  
ZONA 1: 0.15 G

G: Aceleración de la gravedad  
terrestre



RESPUESTA MACROSISMICA DEL SUELO DE AREQUIPA  
 TERREMOTO: 16 DE FEBREO 1979  
 MAGNITUD: 6.9 Pas.

PROCEDIMIENTO:

\*Observación sistemática de efectos de sismo en viviendas, personas animales, naturaleza, suelos, calidad de construcción y materiales, técnica de construcción, antigüedad, etc.

\*Adaptación de la Escala de Intensidades MSK al medio Peruano: Efectos en construcciones, formularios-toma de datos: Tipo encuesta, observación en construcciones, observaciones del suelo de cimentaciones, topografía, etc.

\*Calibración Nivel de daño-Intensidad MSK-Calidad

\*Resultados:

- Evaluación de daños (vulnerabilidad observada),
- Severidad de sacudimiento del suelo
- Otros

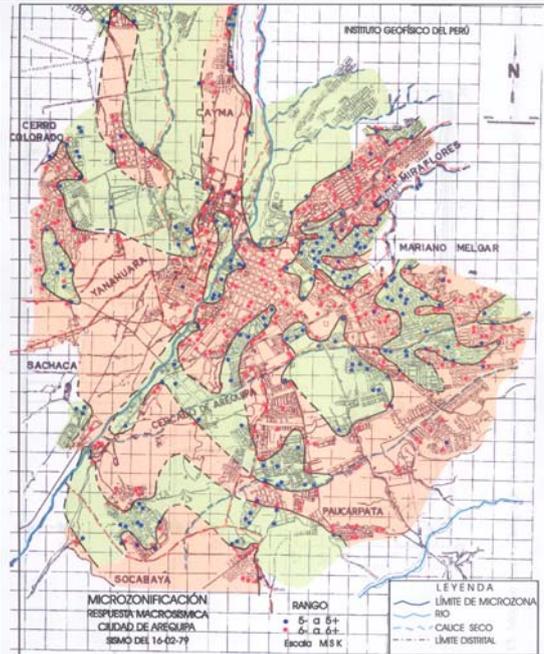


Figura 12. Respuesta dinámica macrosísmica del suelo de Arequipa: Microzonificación macrosísmica de la ciudad. [Ocola L. y P. Huaco, 2005]

## VULNERABILIDAD A PELIGROS NATURALES

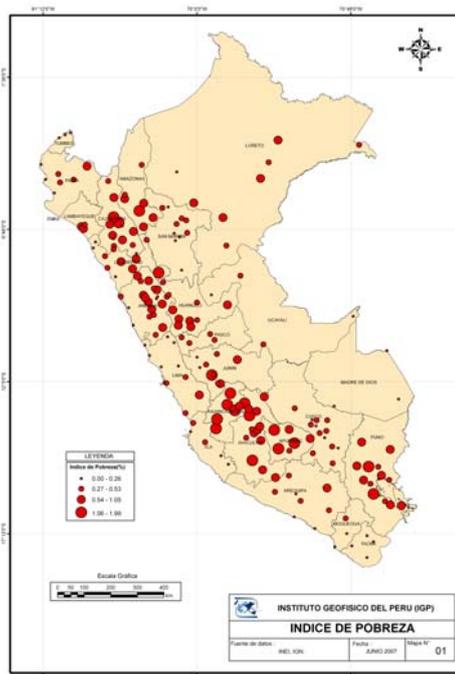
- Una predisposición intrínseca a ser afectado por un peligro natural, y ser susceptible a daño (Cardona, 2004)
- Problema complejo para el cual no hay una solución única, identificable, objetivamente óptima (Rashed T. y J. Weeks, 2003).

## FACTORES GENERALES DE VULNERABILIDAD Y RIESGO

- \*POBREZA
- \*DENSIDAD DE POBLACION
- \*DESARROLLO HUMANO
- \* EXPOSICION DE INFRAESTRUCTURA Y VIVIENDA

### INDICE DE POBREZA CALCULADO POR EL MINISTERIO DE ECONOMIA Y FINANZAS (MEF), PERU.

- \*Indicador de pobreza:  
Gasto per cápita
- \*Indice de Pobreza =  
Severidad de pobreza.
- \*Método: Línea de pobreza  
por consumo normativo por  
región geográfica
- \*INEI: Construyó una  
canasta mínima por región  
geográfica.
- \*Canasta mínima asegura el  
consumo de 2,310 kilo  
calorías diarias "per cápita"



MAPA de peligro sísmico: Aceleraciones sísmicas máximas en  $\text{cm/s}^2$ , para una probabilidad de excedencia del 10% en 50 años.

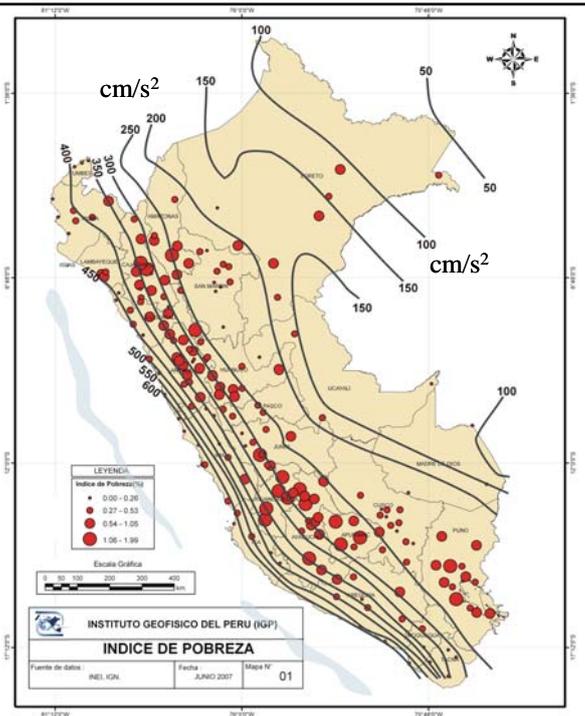
Y

Mapa del Índice de Pobreza del MEF.

Observar:

\*El máximo peligro sísmico coincide con la zona de bajo Índice de Pobreza.

\*Los mayores Índices de Pobreza ocurren entre las isoGals 350–200  $\text{cm/s}^2$

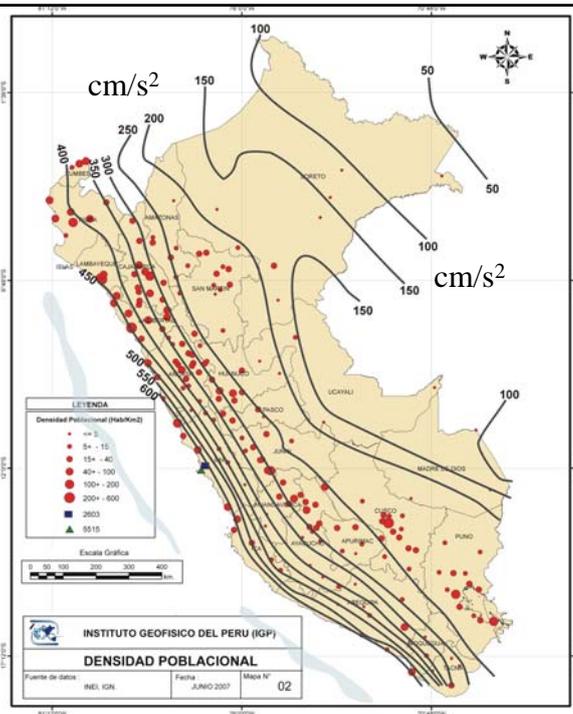


MAPA DE DENSIDAD DE POBLACION POR PROVINCIA

\*Datos: INEI para 2005.

\*Provincias con máxima densidad de población:  
 - Callao 5,515, Lima 2,603  
 Cusco 565  $\text{hb}/\text{km}^2$   
 - Seis provincias:  
 100 – 200  $\text{hb}/\text{km}^2$  -  
 Dos en costa y cuatro en sierra (Piura, Barranca; Hualgayoc, Huancayo, San Román, Yunguyo).

MAPA DE PELIGRO SÍSMICO: Aceleraciones sísmicas máximas en  $\text{cm/s}^2$ , para una probabilidad de excedencia del 10% en 50 años.

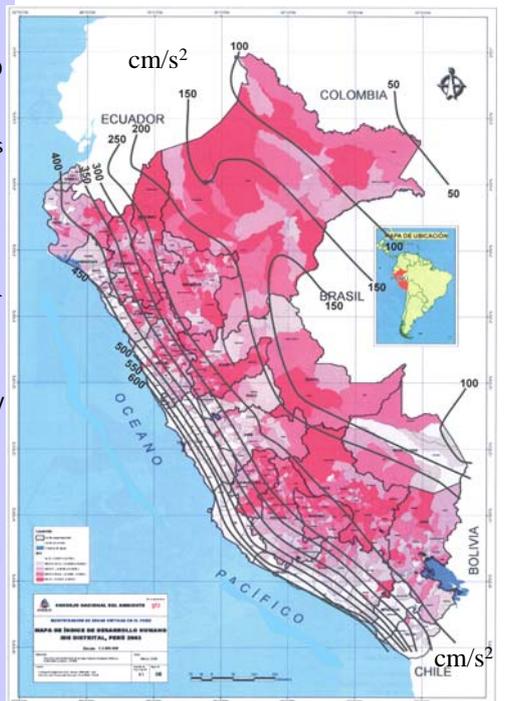


**MAPA DEL INDICE DE DESARROLLO HUMANO (IDH) – UNDP**

- \* Cinco Niveles de IDH: Colores más claros: Más alto desarrollo.
- \* El más alto IDH: Costa centro y costa sur de Perú
- \* IDH medio alto y medio: Costa norte
- \* IDH medio bajo y bajo: Sierra sur altiplánica, sierra centro-norte, zona subandina y selva
- \* IDH medio alto: Regiones Junín y Pasco

**MAPA DE PELIGRO SÍSMICO:**  
Aceleraciones sísmicas máximas en  $cm/s^2$ , para una probabilidad de excedencia del 10% en 50 años.

- \* Sociedades del IDH más alto afrontan el peligro sísmico más alto.



**VULNERABILIDAD POR EXPOSICIÓN**

**ELEMENTO: VIVIENDAS**

**PAREDES:**

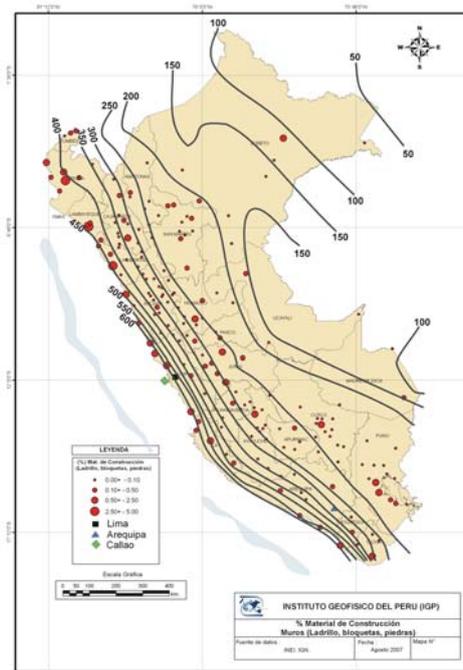
- \* **UNIDAD DE ALBAÑILERÍA:**

- Ladrillo
- Bloquetas de Cemento
- Sillar
- Piedra

- \* **MORTERO:**
- Cemento

[Fuente de datos:  
INEI: Censo 2005]

Distribución: % a nivel provincia, ámbito nacional.  
Concentración dominante: **Lima (47.3%), Arequipa (7.3%), Callao (4.7%)**



**VULNERABILIDAD POR EXPOSICIÓN**

**ELEMENTO: VIVIENDAS**

**PAREDES:**

**\*UNIDAD DE ALBAÑILERÍA:**

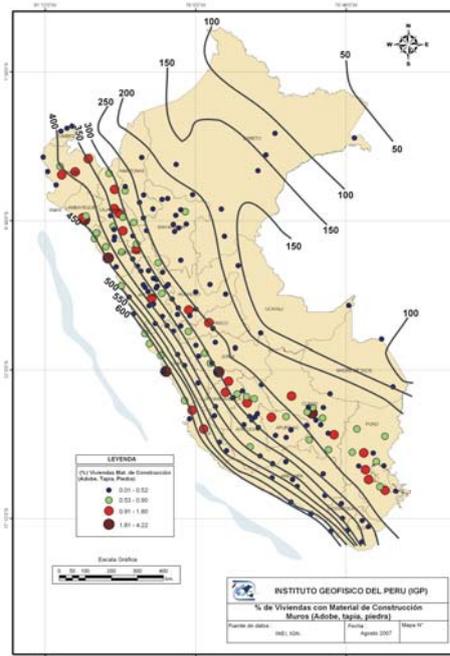
- Adobe
- Tapia
- Sillar
- Piedra

**\*MORTERO:**

- Barro

[Fuente de datos:  
INEI: Censo 2005]

Distribución: % a nivel provincia, ámbito nacional.  
Concentración dominante: Lima (4.2%), Trujillo (3%), Chiclayo (2.9%), Cusco (2.7%), Huancayo (2.2%)



**VULNERABILIDAD POR EXPOSICIÓN**

**ELEMENTO: VIVIENDAS**

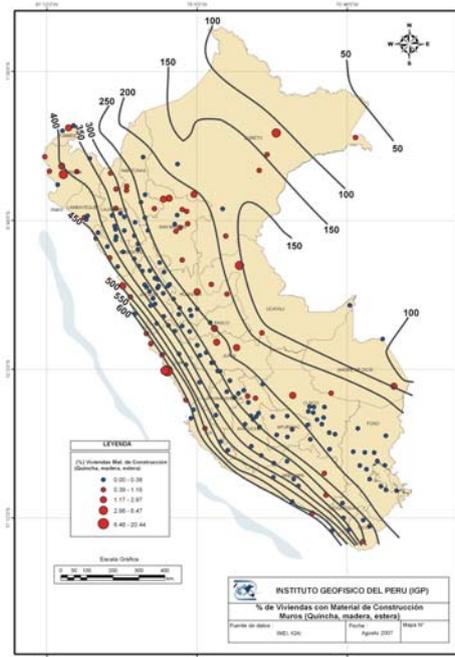
**PAREDES:**

**\*UNIDAD DE ALBAÑILERÍA:**

- Quincha
- Madera
- Estera

[Fuente de datos:  
INEI: Censo 2005]

Distribución: % a nivel provincia, ámbito nacional.  
Concentración dominante: Lima (20.4%), Atalaya (6.5%), Callao (5.9%), Iquitos (5.6%), Piura (4.8%)



## CONCLUSIONES

1. La sismicidad tectónica de Perú proviene de los ambientes sísmicos de subducción y reajuste tectónico cortical del borde continental. La sismicidad cortical produce fenómenos geológicos-de-superficie del fondo marino (maremotos, deslizamientos, etc.) y de alta montaña (avalanchas, deslizamientos, fallamiento, etc.).
2. El nivel de peligro, en el territorio peruano, de los fenómenos geológicos-de-superficie asociados a los terremotos es alto: Licuefacción de suelos (terrenos), inestabilidad de taludes (derrumbes, deslizamientos, desprendimiento de rocas y material geológico, etc.), maremotos, fallamiento y/o agrietamiento de terrenos, etc..

## CONCLUSIONES

3. El peligro de la severidad de sacudimiento sísmico del territorio peruano está documentado en los mapas de peligro sísmico oficiales publicados. Sin embargo, se requiere la actualización de estos a mayor resolución y con mejor documentación de las zonas sismogénicas corticales continentales y marinas.
4. La vulnerabilidad sísmica (debido a los factores: pobreza, concentración poblacional, y desarrollo humano) se concentra en las zonas alto andinas, principalmente.
5. Las zonas geográficas de alto peligro sísmico han forzado la renovación de las edificaciones, y la población ha desarrollado capacidades para hacer frente al impacto de los terremotos y fenómenos asociados.

MUCHAS GRACIAS

POR SU AMABLE

ATENCION