

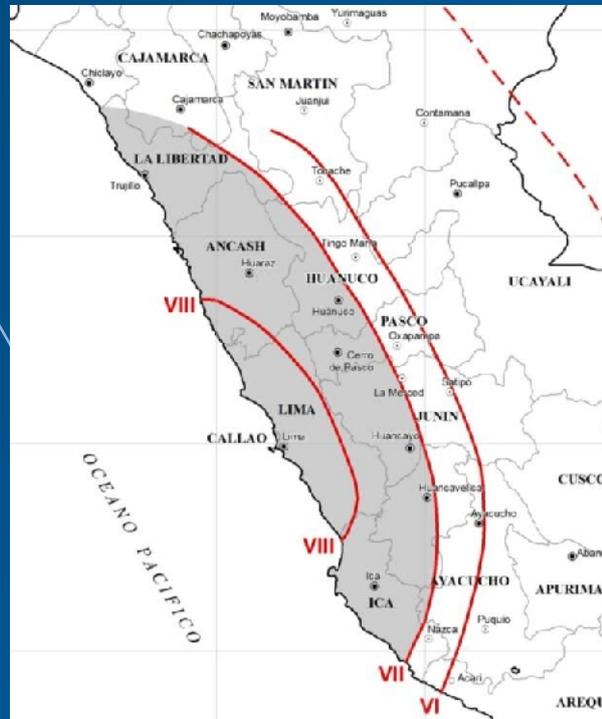


PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Instituto
Geofísico del Perú - IGP

Ciencias de la Tierra
Sólida - CTS



ESTIMACIÓN DEL RIESGO POR EXPOSICIÓN A PARTIR DE MAPAS DE ISOSISTAS EN PERÚ

Hernando Tavera
Ademir Cuya

Lima - Perú
Febrero - 2017



Hernando Tavera
Investigador Científico
Instituto Geofísico del Perú

Hernando.tavera@igp.gob.pe

RESÚMEN

El presente informe es elaborado a solicitud de la Secretaria de Gestión de Riesgos de la PCM y tiene por objetivo realizar la estimación del riesgo por exposición de distritos, viviendas y población (DVP) ante la posible ocurrencia de sismos de gran magnitud en el Perú. Considerando que los sismos son cíclicos en el tiempo, es de esperarse que ellos se repitan en el futuro afectando a las mismas áreas con igual o mayor nivel de intensidad y/o sacudimiento del suelo. De acuerdo a este criterio, se hace uso de los mapas de isosistas de los últimos grandes sismos ocurridos en el territorio peruano para estimar los daños a producirse en DVP por exposición. En los resultados obtenidos no se detalla el tipo de daño que podría presentarse, pero como información "referencial" es válida para el tema de gestión del riesgo

ÍNDICE

RESÚMEN

1.- INTRODUCCIÓN

2.- MAPAS DE ISOSISTAS

3.- LOS SISMOS SON CÍCLICOS

4.- RIESGO POR EXPOSICIÓN

4.1.- Región norte

4.2.- Región centro-norte

4.3.- Región central

4.4.- Región centro-sur

4.5.- Región sur

4.6.- Sismos corticales

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFÍA

1.- INTRODUCCIÓN

El responsable de la actual geodinámica y geomorfología de todo el territorio peruano es el proceso de convergencia entre la placa de Nazca (oceánica) y la Sudamericana (continental) con velocidades promedio del orden de 7-8 centímetros por año (DeMets et al, 1980; Norabuena et al, 1999). Este proceso genera sismos de diversas magnitudes y focos ubicados a diferentes profundidades, siendo los mayores quienes producen, en áreas urbanas, diversos niveles de daño estructural y pérdida de vidas humanas. En general, se puede afirmar que toda la población peruana ha sido testigo en el tiempo de la ocurrencia continua de estos sismos (Figura 1).

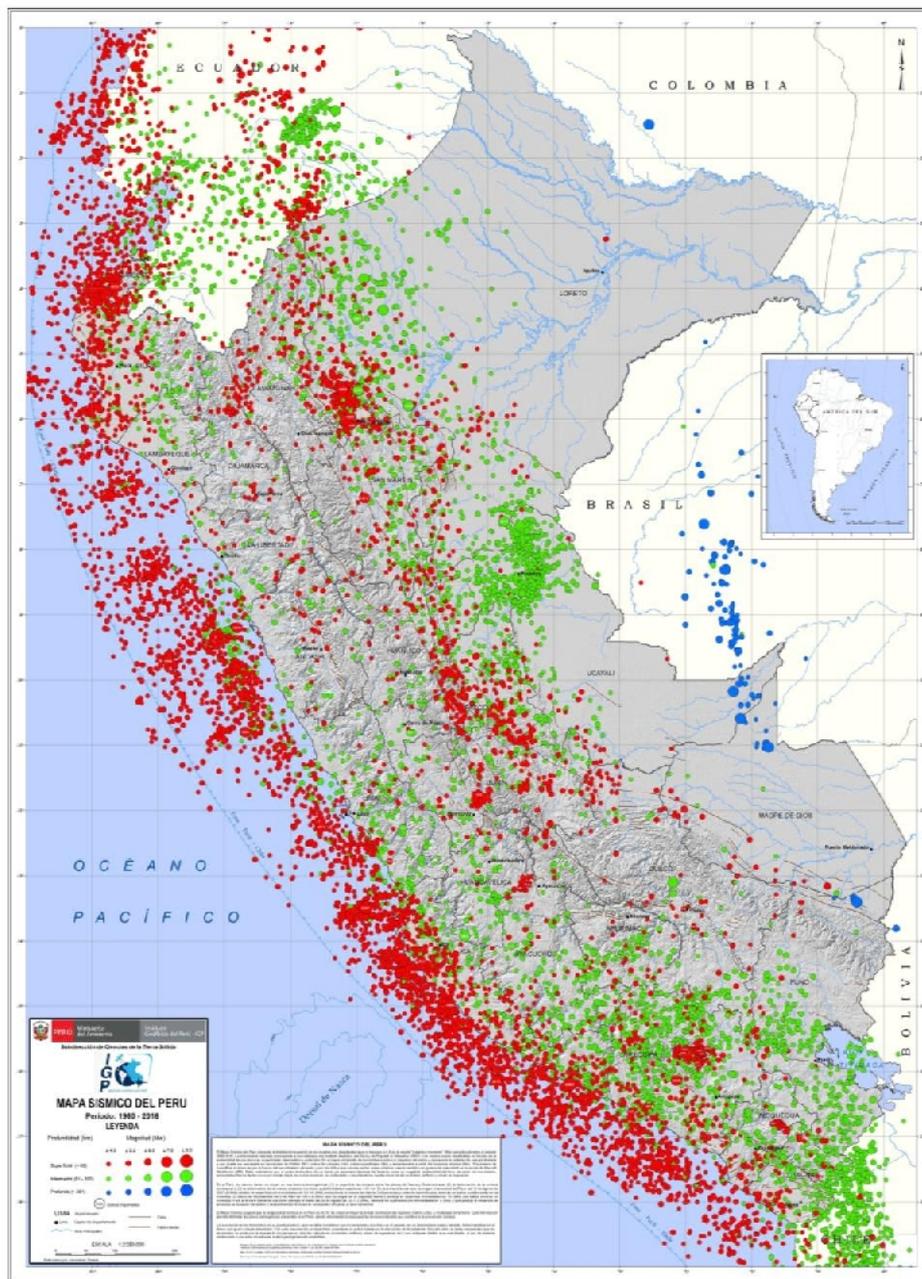


Figura 1: Mapa Sismico del Perú para el periodo 1960 - 2016. La magnitud de los sismos es diferenciado por el tamaño de los círculos y la profundidad de sus focos por el color de los mismos. Los círculos con número inscrito en su interior indican la ubicación y año de ocurrencia de los sismos de mayor magnitud e intensidad.

En el Perú, la distribución espacial de los sismos ha permitido definir la existencia de tres fuentes sismogénicas principales (Figura 2):

- *La primera y más importante fuente, la constituye la superficie de fricción entre las placas de Nazca y Sudamericana, presente en el borde occidental del Perú. Esta fuente ha dado origen, en el pasado, a los sismos más importantes ($M > 7.0$ Mw), en cuanto a su magnitud, intensidad y niveles de destrucción en superficie. Muchos de estos eventos fueron acompañados de tsunamis que incrementaron el daño, principalmente en zonas costeras. Por lo tanto, es de interés conocer los periodos de retorno de estos eventos o en el mejor de los casos, a ubicación espacial de las áreas que se encuentran en actual estado de acumulación de deformación y energía, ya que ellas serían las causantes de un nuevo sismo en el futuro.*

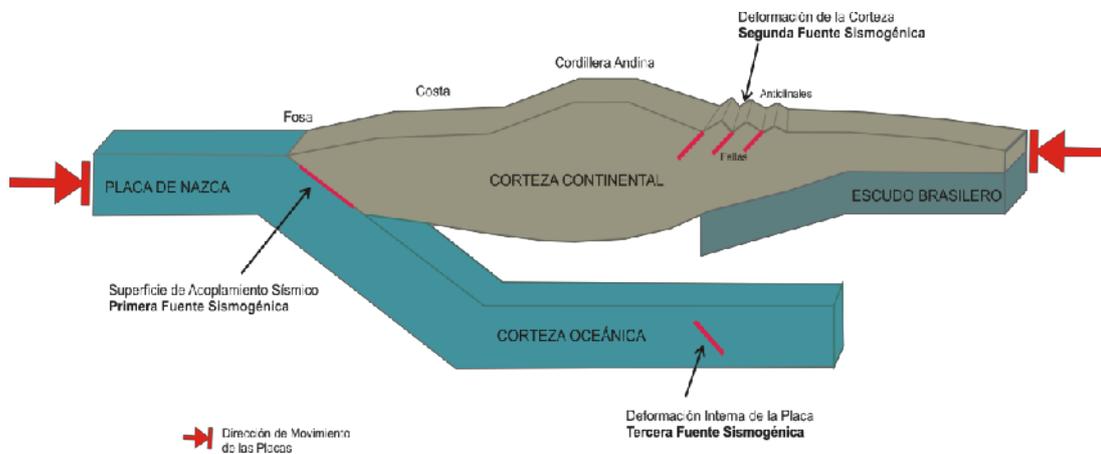


Figura 2: Esquema que muestra la geometría de la subducción y la ubicación de las principales fuentes sismogénicas en el Perú.

- *La segunda fuente, considera la deformación superficial de la corteza continental con la presencia de fallas geológicas de diversas geometrías y dimensiones. Esta fuente genera sismos de magnitud moderada ($M > 7.0$ Mw), pero estos al ocurrir cerca de las áreas urbanas y ha escasos niveles de profundidad, producen daños y destrucción similar a los grandes sismos con origen en primera fuente sismogénica.*
- *La tercera fuente, corresponde a la deformación interna de la placa de Nazca por debajo de la cordillera de los Andes a niveles de profundidad del orden de 100 km a más. En general, esta fuente ha dado origen a sismos de magnitudes moderadas que han producido en superficie procesos de licuación de suelos en los valles de las zonas andinas y subandinas ($M < 7.0$ Mw).*

Mw= Magnitud momento

Históricamente, estas fuentes sismogénicas han dado origen a sismos de gran magnitud que han afectado a ciudades y población en diferente grado debido básicamente al año de ocurrencia del sismo, al desarrollo estructural de la ciudad y a su densidad poblacional. En este escenario, el mapa de isosistas de un determinado sismo, podría proporcionar información básica para proyectar el número de distritos expuestos de repetirse el mismo sismo en el futuro. Considerando esta premisa, en el presente informe se analiza los mapas de isosistas de los sismos más importantes ocurridos en el Perú a fin de estimar el número aproximado de viviendas y población que podría estar expuesta.

2. - MAPAS DE ISOSISTAS

Conocer las características del sismo que presumiblemente pueda afectar a una estructura, dependerá de la historia sísmica de cada región. Por tanto, el parámetro intensidad sísmica aún es primordial al momento de realizar cualquier investigación que permita conocer el riesgo sísmico de una determinada región y/o ciudad, sobre todo si dicho parámetro permite estimar la severidad del sacudimiento del suelo en el lugar afectado por el sismo.

La información macrosísmica que se recoge en campo después de ocurrido un sismo, reúne los datos que describen los efectos de un determinado sismo en superficie y que al ser interpretados, considerando una determinada escala, permiten conocer la intensidad del sismo; es decir, su tamaño de manera cualitativa. La escala de intensidad más utilizada es la propuesta por Guillermo Mercalli en el siglo XIX (Escala de Mercalli Modificada) y en detalle, esta escala considera los efectos del sismo en las personas, objetos, construcciones y en el terreno. Esta información, permite mostrar en mapas la distribución espacial de los grados de intensidad y luego de ser evaluados, se obtienen los mapas de isosistas o mapas de valores similares de intensidad unidos con líneas.

Los mapas de isosistas han permitido conocer diversos parámetros físicos que definen los procesos que se desarrollan alrededor de los sismos como el grado de fracturamiento de rocas, la respuesta dinámica de los suelos y los patrones de atenuación de la intensidad (Gasperini, 2001). Del mismo modo, la intensidad sísmica ha sido usada para estimar los valores espectrales de la aceleración para sismos históricos (Boatwright et al., 2006); además de ser útil para los proyectos de planificación del crecimiento urbano de ciudades (Musson y Henni, 2001).

La escala de Mercalli Modificada (MM) está constituida de doce grados, todos enumerados con números romanos a fin de diferenciarlos de las escalas de magnitud. En general, los grados del I al IV, corresponden a sismos percibidos levemente por la población, los grados del V al VII a sismos cuyo movimiento del suelo produce la oscilación de objetos pesados, la vibración de ventanas, caída de objetos inestables y pánico en la población. Los grados de VIII a X corresponden a sacudimientos del suelo

que producen el colapso de viviendas, formación de fisuras en las calles, caída de objetos pesados, daños en grandes obras de ingeniería y pánico total de la población. Valores mayores de intensidad, definen el colapso total de viviendas, efectos mayores en suelos y cerros, caos total (Tabla 1).

Tabla 1: Descripción cualitativa para cada grado de la escala de Mercalli Modificada.

GRADO	DESCRIPCIÓN
I	No sentido excepto por algunas personas bajo circunstancias especialmente favorables.
II	Sentido solo por muy pocas personas en reposo, especialmente en pisos altos. Objetos suspendidos pueden oscilar.
III	Sentido por personas dentro de edificaciones, especialmente las ubicadas en pisos superiores. Muchas personas no se dan cuenta que se trata de un sismo. Automóviles parados pueden balancearse ligeramente. Vibraciones como las producidas por el paso de un camión. Duración apreciable.
IV	Durante el día sentido en interiores por muchos, al aire libre por algunos. Por la noche algunos se despiertan. Ventanas y puertas son agitadas; las paredes crujen. Sensación como si un camión pesado chocara contra el edificio. Automóviles parados se balancean apreciablemente.
V	Sentido por casi todos, muchos se despiertan. Algunas ventanas y puertas de vidrio se rompen; grietas en el revestimiento de algunos sitios. Objetos inestables volcados. Algunas veces se aprecia balanceo de árboles, postes y otros objetos altos. Los péndulos de los relojes pueden pararse.
VI	Sentido por todos, muchos se asustan y salen al exterior. Algunos muebles pesados se mueven; algunos casos de caída de revestimientos y paredes inestables. Daño leve.
VII	Muchas personas corren al exterior. Daño significativo en edificios de buen diseño y bien construidos; leve a moderado en estructuras bien construidas; considerable en estructuras pobremente construidas o mal diseñadas; caída de paredes inestables. Notado por personas que conducen automóviles.
VIII	Daño leve en estructuras de diseño especial; considerable en edificios corrientes sólidos con colapso parcial; grande en estructuras de construcción pobre. Paredes separadas de la estructura. Caída de paredes inestables, rimeros de fábricas, columnas, monumentos y paredes. Muebles pesados volcados. Posibles procesos de licuación de suelos. Cambios en niveles de agua en pozos. Conductores en automóviles entorpecidos. En zonas costeras generación de tsunamis. En zonas andinas y subandinas, presencia de deslizamientos.
IX	Daño considerable en estructuras de diseño especial; estructuras con armaduras bien diseñadas pierden la vertical; grande en edificios sólidos con colapso parcial. Los edificios se desplazan de los cimientos. Grietas visibles en el suelo. Tuberías subterráneas rotas. Procesos de licuación de suelos. En zonas costeras generación de tsunamis y procesos de licuación de suelos. En zonas andinas y subandinas, presencia de deslizamientos.
X	Algunos edificios bien construidos en madera, destruidos; la mayoría de las obras de estructura de ladrillo, destruidas con los cimientos; suelo muy agrietado. Carriles torcidos. Corrimientos de tierra considerables en las orillas de los ríos y en laderas escarpadas. En zonas costeras generación de tsunamis de gran envergadura y procesos de licuación de suelos. En zonas andinas y subandinas, presencia de deslizamientos.
XI	Pocas o ninguna obra de albañilería queda en pie. Puentes destruidos. Anchas grietas en el suelo. Tuberías subterráneas completamente fuera de servicio. La tierra se hunde y el suelo se desliza en terrenos blandos. Carriles muy retorcidos. En zonas costeras generación de tsunamis y procesos de licuación de suelos. En zonas andinas y subandinas, presencia de deslizamientos.
XII	Destrucción total.

3. - LOS SISMOS SON CÍCLICOS

De acuerdo a la geodinámica de las placas tectónicas, la ocurrencia de sismos sigue un proceso cíclico, el mismo que es más notorio cuando la magnitud del sismo se incrementa. Dentro de este supuesto, también es válido indicar que los sismos presentan periodos de recurrencia, que en el caso de sismos pequeños es del orden de segundos; mientras que, para sismos de gran magnitud, pueden ser de décadas y centurias para los sismos con magnitudes del orden de 9.0 Mw. Entonces, identificada la zona en donde ocurrió un gran sismo en el pasado, es de esperarse que este se repita en el futuro y ocasione los mismos o mayores niveles de sacudimiento del suelo. En este escenario, los daños y efectos en las estructuras y población se incrementarán en el mismo nivel en el cual se incrementó la expansión urbana, la población y la ocupación de áreas de alto riesgo por parte de la población. Entonces, los mapas de isosistas de un determinado sismo pueden ser muy útiles para estimar el número de viviendas y población afectada, y para ello se requiere disponer de bases de datos reales con este tipo de información.

Un ejemplo de que los sismos son cíclicos fue puesto en evidencia por Tavera et al (1998) cuando analizaron los procesos de ruptura y los mapas de isosistas de los sismos ocurridos en los años de 1942 y 1996 en la región sur del Perú. Ambos sismos afectaron principalmente a la ciudad de Nazca en el departamento de Ica. En la Figura 3, se muestra las señales de ambos sismos registrados por las mismas estaciones de la Red Sísmica Mundial y en otros casos, por estaciones cercanas, sea en distancia o azimut. Obsérvese que las señales de ambos sismos -sin considerar su amplitud y periodo, sino solo sus formas- son muy similares, lo cual evidencia que los dos sismos presentaron procesos complejos de ruptura con las mismas o similares características. En conclusión, se puede afirmar que el sismo de 1996 (7.7 Mw) es el repetitivo del ocurrido en el año 1942 (8.2 Mw) en la misma región.

Asimismo, en la Figura 4 se muestra los mapas de isosistas de los sismos de 1942 (Silgado, 1978) y 1996 (Chatelain et al, 1997), y en este caso, lo primero que se observa es que las curvas de intensidad siguen las mismas tendencias y/o formas a lo largo de la costa y hacia el interior del continente, pero con la salvedad de que el sismo de 1942, para una determinada curva de intensidad, presenta un grado mayor en la escala de

Mercalli Modificada, lo cual sugiere que este sismo fue mayor en magnitud que el ocurrido en 1996, diferencia confirmada con los reportes de magnitud provenientes del Instituto Geofísico del Perú y de algunas publicaciones científicas.

De acuerdo a lo indicado anteriormente, de haberse considerado el mapa de isosistas del sismo de 1942 para proyectar el posible número de distritos, viviendas y población a ser afectados de repetirse el mismo sismo en el futuro, se hubiera dispuesto de información referencial válida para ejecutar proyectos y realizar actividades orientadas a la gestión del riesgo de desastres, lo cual hubiera permitido reducir la vulnerabilidad de las áreas urbanas a ser afectadas por el sismo y por sus efectos secundarios (tsunami, licuación de suelos y deslizamientos).

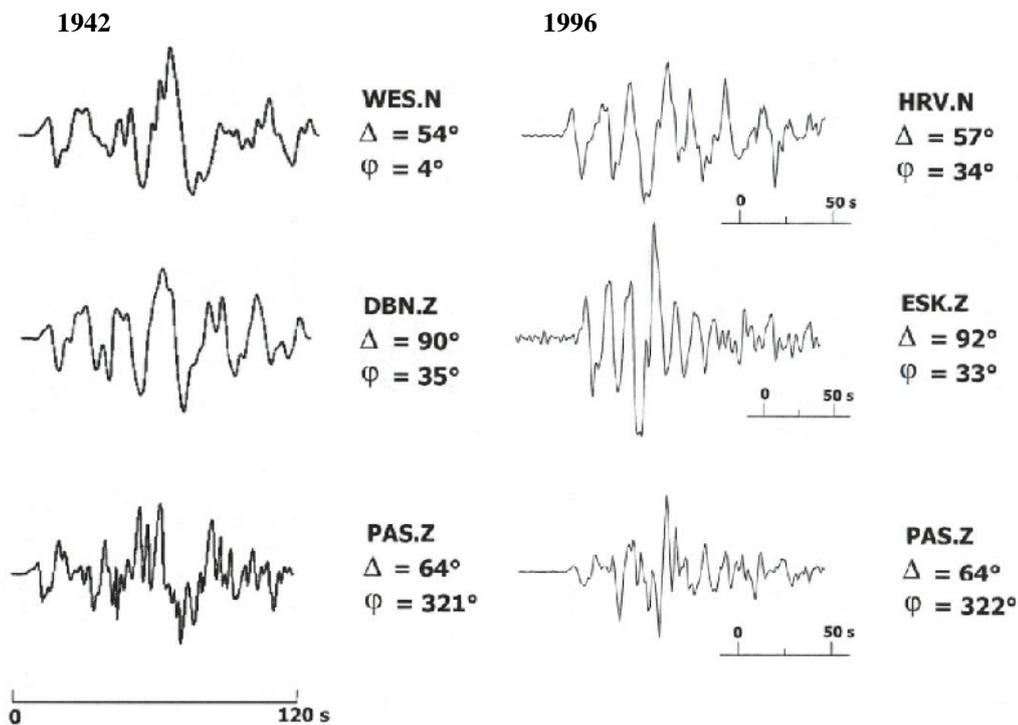


Figura 3: Señales sísmicas correspondientes a los sismos de Nazca ocurridos en los años 1942 y 1996. Debajo de los códigos de estaciones se indica la distancia epicentral y el azimut en grados (Tavera et al, 1998)

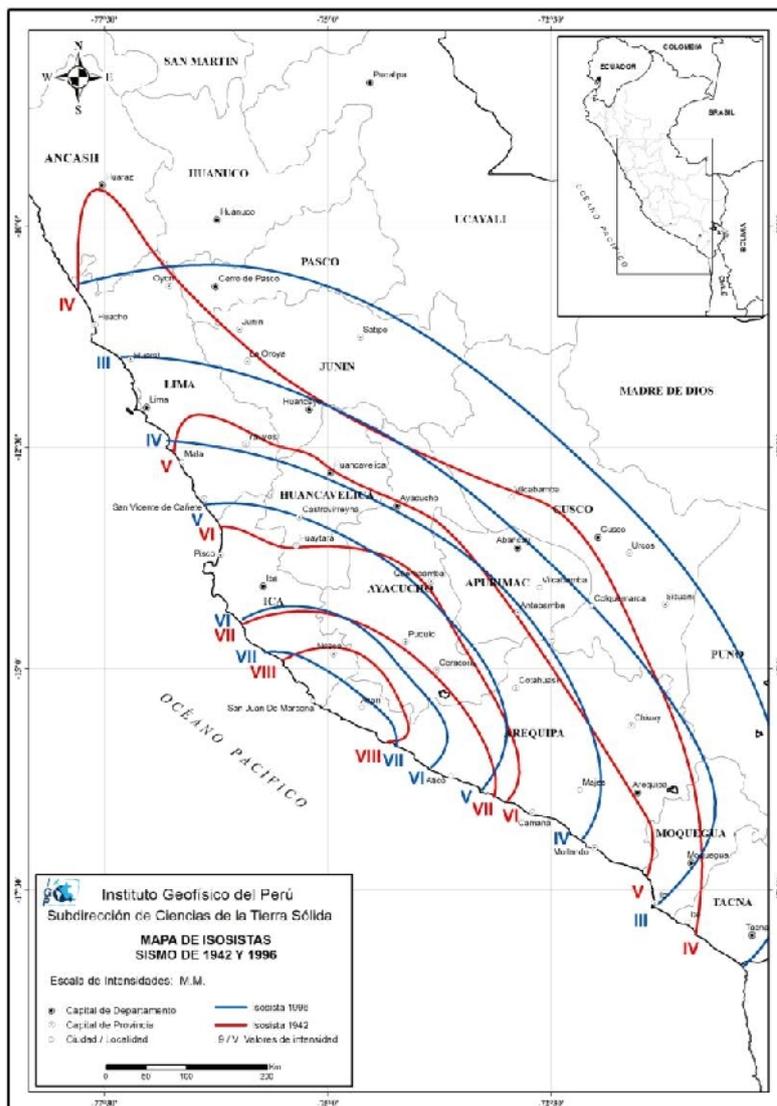


Figura 4: Mapas de isosistas de los sismos de 1942 y 1996 sobrepuestos a fin de analizar la distribución de las curvas de intensidad correspondientes a cada evento sísmico.

4. - RIESGO POR EXPOSICIÓN

Después de ocurridos los sismos de 1991 (San Martín), 1996 (Nazca), 2001 (Arequipa), 2007 (Pisco) y 2016 (Cañón del Colca, Arequipa), se llega a la conclusión que los daños observados en viviendas y población, se han producido en gran porcentaje hasta niveles de intensidad VII, según la escala de Mercalli Modificada (MM) para sismos con origen en los procesos de subducción y de V (MM) para sismos corticales, entonces estos valores pueden considerarse como referenciales para estimar los daños en distritos, viviendas y población (DVP). En este escenario, para una determina región se puede utilizar el mapa de isosistas del último sismo de gran magnitud ocurrido como una proyección del escenario a presentarse en el futuro, lo cual permitía disponer de información referencial válida para la estimación del riesgo a presentarse.

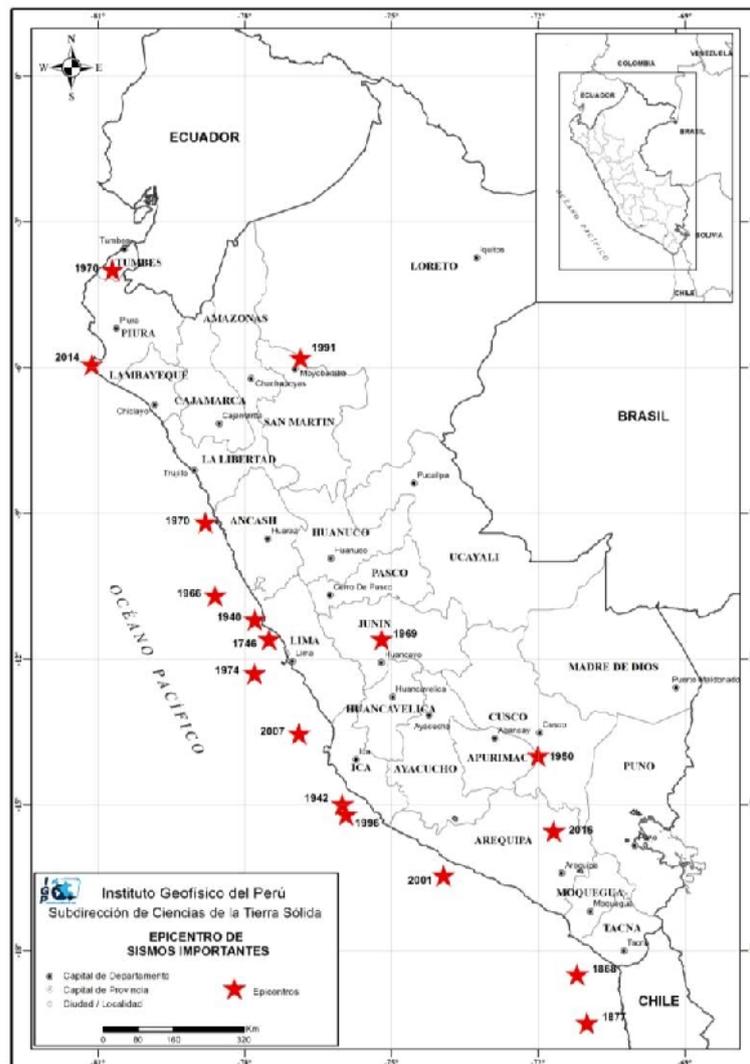


Figura 5: Distribución espacial de los sismos utilizados en este estudio para el análisis de daños en DVP.

Según lo indicado, se ha realizado el análisis de los mapas de isosistas de los sismos más recientes ocurridos en el Perú (Figura 5), a fin de estimar el número de distritos, viviendas y población que podrían ser afectados de repetirse los escenarios y para ello, se ha utilizado información del CENSO realizado por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) en el año 2007. A continuación se detalla los resultados obtenidos.

4.1.- Región norte

Se ha considerado los sismos ocurridos en los años 1970 (Silgado 1978) y 2014 (Tavera et al, 2014), el primero con epicentro en Tumbes y el segundo, frente a la zona costera de Piura. La correlación entre las líneas de intensidad VII (MM) (Figura 6) y la base de datos del INEI (Censo 2007), permite tener como resultados el número de distritos, viviendas y población afectada si estos sismos se volvieran a repetir con las mismas características (Tabla 2). Los daños mayores estarían asociados al sismo de Tumbes con daños en 39 distritos, 50,766 viviendas y más de 1 millón de personas.

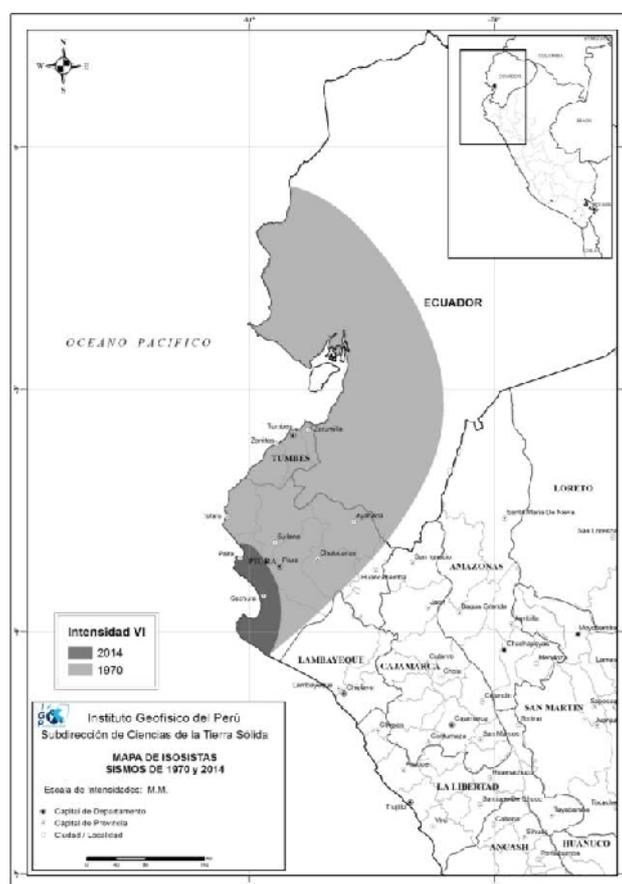


Figura 6: Mapas de isosistas para los sismos de 1970 y 2014. Las áreas en gris corresponden a la intensidad VII (MM)

Tabla 2: Número de distritos, viviendas y población que podrían ser afectados por un sismo similar al de 1970 y 2014

Intensidad mayor a VII (MM)		
	1970	2014
Distritos	69	10
Vivienda	431,966	50,766
Población	1,756,311	208,639

4.2.- Región centro-norte

Se considera el sismo ocurrido en mayo de 1970 (Silgado 1978) con epicentro frente a la ciudad de Chimbote (Ancash). La correlación entre las líneas de intensidad VII (MM) (Figura 7) y la información del INEI permite considerar, de repetirse este mismo evento, daños en 123 distritos, 307 mil viviendas y a más de 1 millón de personas (Tabla 3).

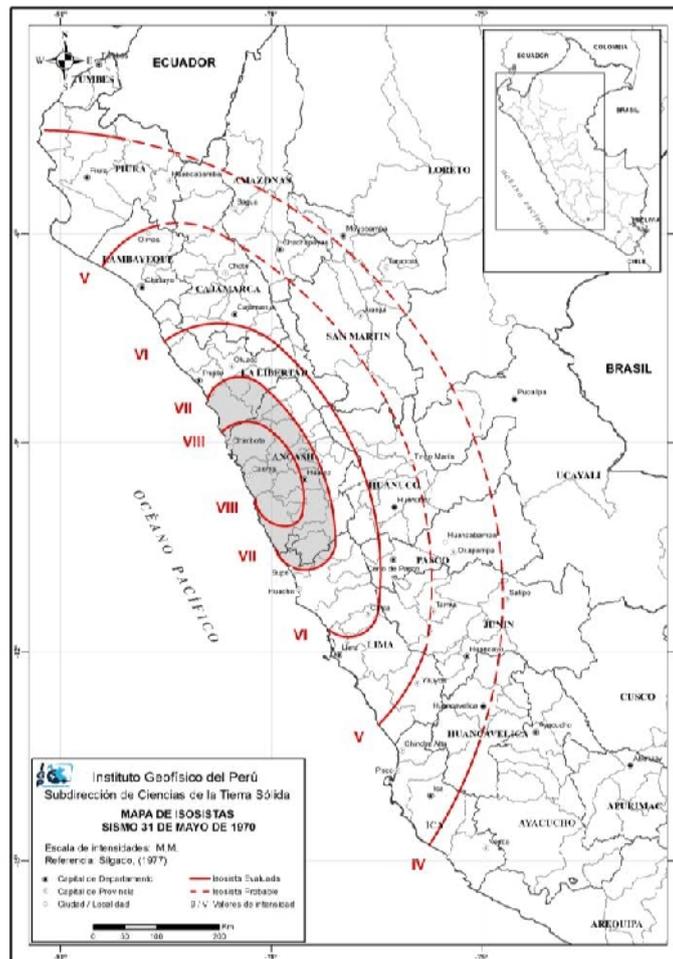


Figura 6: Mapa de isosistas del sismo de 1970. El área en gris corresponde a la intensidad VII (MM)

Tabla 3: Número de distritos, viviendas y población que podrían ser afectados por un sismo similar al de 1970

Silgado (1977)		
	VIII (MM)	VIII - VII (MM)
Distritos	45	123
Vivienda	149,085	307,980
Población	558,013	1,071,228

4.3. - Región central

Se considera al sismo histórico ocurrido en el año 1746 y los recientes en los años 1940, 1966 y 1974. El sismo de 1746 presentó su epicentro en el mar frente al borde occidental de la región central del Perú. Según Dorbath et al (1990), habría presentado una magnitud del orden de 8.8 Mw. Silgado (1978) considera a este sismo como el más grande en magnitud y daños evidenciados desde la llegada de los españoles (Figura 7).

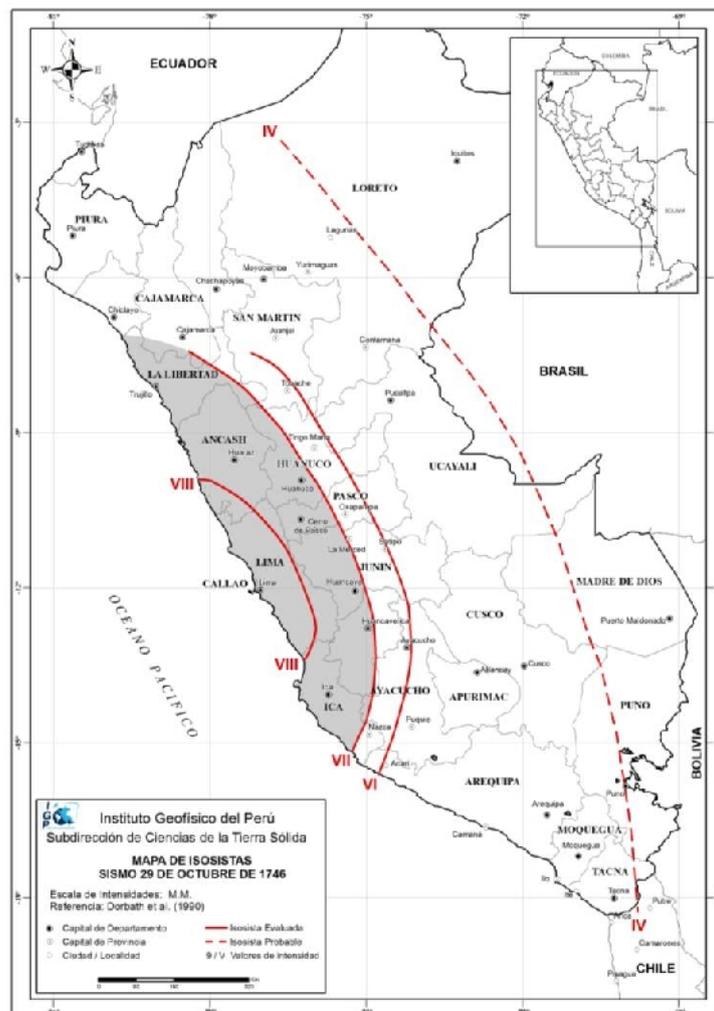


Figura 7: Mapa de isosistas del sismo de 1746 según Dorbath et al (1990). El área gris corresponde a la intensidad VII (MM)

Tabla 4: Número de distritos, viviendas y población que podrían ser afectados por un sismo similar al de 1746

Intensidades del sismo de 1746 (Dorbath et al. (1990))		
	VIII (MM)	VII - VIII (MM)
Distritos	161	701
Vivienda	2'330,829	3'770,671
Población	9'307,699	14'368,247

La correlación entre el mapa de isosistas del sismo de 1746 (Figura 7) y la base de datos de INIE, permite estimar el número de distritos, viviendas y población que podrían ser afectados de repetirse este evento sísmico. Según la Tabla 4, al considerar el área de isosistas hasta la intensidad VII (MM), podrían verse afectados 701 distritos, ~ 4 millones de viviendas y ~ 14 millones de personas.

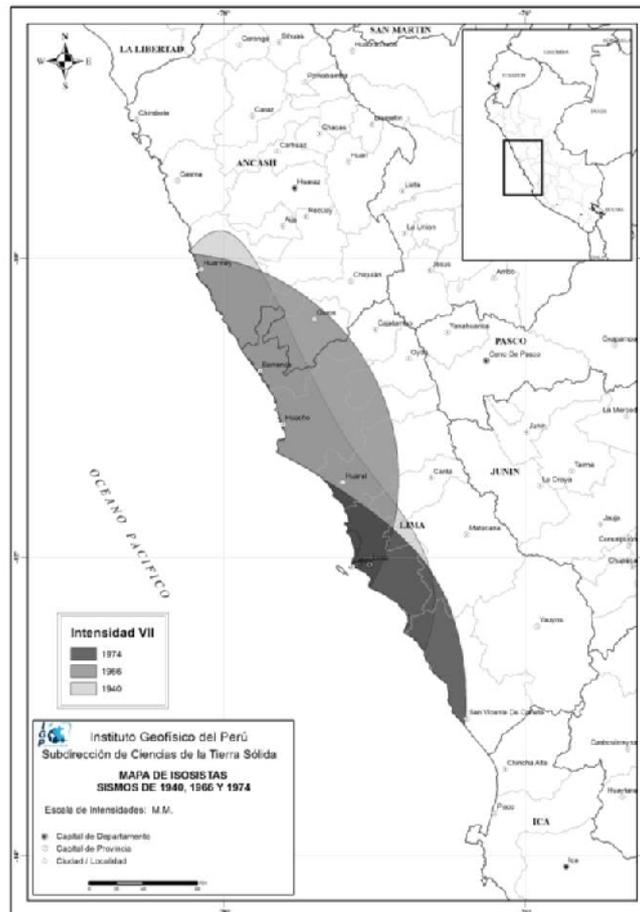


Figura 8: Mapa de isosistas de los sismos de 1940, 1966 y 1974. Las áreas en gris corresponden a la curva de intensidad VII (MM).

Los sismos de 1940, 1966 y 1974, presentaron magnitudes menores a 8.0 Mw; sin embargo, produjeron daños importantes en la ciudad de Lima Metropolitana. Estos sismos generaron curvas de intensidad VII (MM) que abarcaron áreas pequeñas (Figura 8), pero hoy en día debido a la gran concentración de viviendas y población, los daños podrían superar los valores indicados para cada sismo en la Tabla 5.

Tabla 5: Número de distritos, viviendas y población que podrían ser afectados por un sismo de magnitud similar al de 1940, 1966 o 1974

Intensidad mayor a VII (MM)			
	1940	1966	1974
Distritos	61	60	54
Vivienda	2,203,040	1,711,191	1,967,190
Población	8,974,443	6,872,057	8,004,094

4.4.- Región centro-sur

Se ha considerado a los sismos ocurridos en los años 2007 (8.0 Mw), 1996 (7.7 Mw) y 1942 (8.2 Mw), el primero conocido como sismo de Pisco y los otros dos, como sismos de Nazca. La correlación entre las curvas de intensidad VII (MM) (Figura 9) y los datos del INEI, muestran que de repetirse estos eventos podrían causar daños mayores en el extremo norte del departamento de Ica por estar más poblada que su extremo sur (Tabla 6).

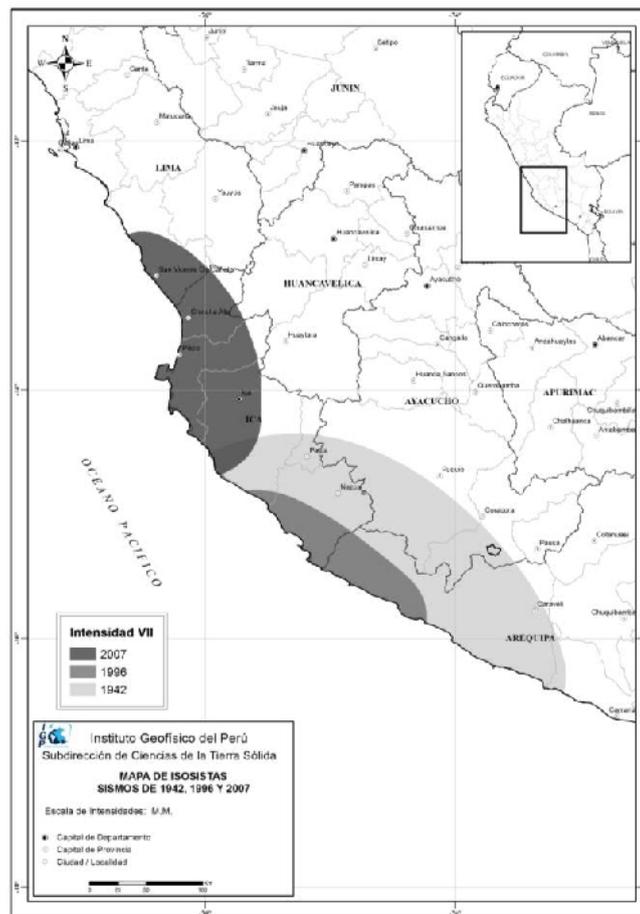


Figura 9: Mapa de isosistas de los sismos de 1942, 1996 y 2007. Las áreas en gris corresponden a la curva de intensidad VII (MM).

Tabla 6: Número de distritos, viviendas y población que podrían ser afectados por un sismo de magnitud similar al de 1942, 1996 y 2007

Intensidad mayor a VII (MM)			
	1942	1996	2007
Distritos	30	8	37
Vivienda	45,516	11,027	216,545
Población	127,611	29,394	781,046

4.5.- Región sur

Se ha considerado los sismos ocurridos en los años 1868 (8.8 Mw) y el 2001 (8.0 Mw), La correlación entre las curvas de intensidad VII (MM) (Figura 10) y los datos del INEI, muestran que de repetirse estos eventos podrían causar daños mayores en la zona costera entre los departamentos de Arequipa, Moquegua y Tacna. Según los valores de la Tabla 7, el peor escenario es para el sismo de 1868 en razón que abarca mayor área y los daños serían en 176 distritos, 539 mil viviendas y 1'704,842 personas.

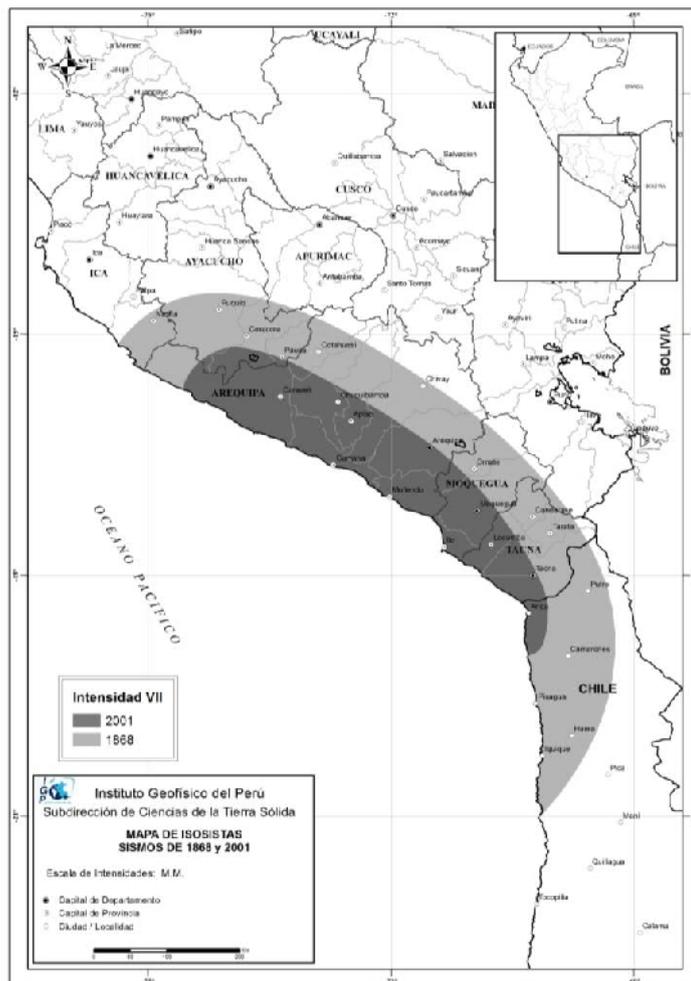


Figura 10: Mapa de isosistas para los sismos de 1868 y 2001. El área en gris corresponde al área encerrada por la intensidad VII (MM).

Tabla 7: Número de distritos, viviendas y población que podrían ser afectados por un sismo de magnitud similar al de 1868 y 2001

Intensidad mayor a VII (MM)		
	1868	2001
Distritos	176	79
Vivienda	539,040	442,412
Población	1,704,842	1,464,011

4.6.- Sismos corticales

Una segunda fuente generadora de sismos, es la deformación cortical que se produce en el interior del continente debido a la formación y/o reactivación de las fallas tectónicas ya identificadas. Para el caso de este estudio, se considera a los sismos ocurridos en Quiches en el año 1946 (7.5 Mw), Cusco en 1950 (7.0 Mw), Huancayo en 1969 (5.6 Mw), Moyobamba en 1991 (6.5 Mw) e Ichupampa en el 2016 (5.4 Mw). A diferencia de los sismos debidos al proceso de subducción, los corticales pueden presentar altos niveles de intensidad en áreas muy reducidas, pero los efectos en superficie son bastante similares en ambos casos.

La correlación entre las curvas de intensidad V (MM) a más y los datos del INEI, muestran que de repetirse estos eventos, el mayor daño se presentaría con el sismo que pudiera ocurrir en la región de Moyobamba (Tabla 8): daños en 89 distritos, aproximadamente en 132 mil viviendas y en 500 mil personas. Los mapas de isosistas de estos sismos son presentados en la Figura 11.

Tabla 8: Número de distritos, viviendas y población que podrían ser afectados por un sismo de magnitud similar al de 1946, 1950, 1969, 1991 y 2016

Ancash 1946				Cusco 1950			
Silgado (1961)				Ericksen et al. (1954)			
	IX (MM)	X - VIII (MM)	X - VIII (MM)		VIII (MM)	VIII - VI (MM)	VIII - V (MM)
Distritos	1	6	15	Distritos	3	4	12
Vivienda	800	15,136	13,911	Vivienda	63,825	82,336	99,190
Población	2,713	17,696	47,578	Población	255,215	324,378	378,881
Huancayo 1969							
Silgado (1983)							
	X (MM)	X - IX (MM)	X - VIII (MM)	X - VII (MM)	X - VI (MM)	X - V (MM)	
Distritos	0	0	0	0	1	11	
Vivienda	2	17	46	976	3,842	53,576	
Población	0	13	52	2,658	10,661	202,800	
Moyobamba 1991				Colca 2016			
Huaco-P et al. (1991)				Tavera et al. (2016)			
	VII (MM)	VII - VI (MM)	VII - V (MM)		VI (MM)	VI - V (MM)	
Distritos	16	32	89	Distritos	6	8	
Vivienda	54,259	75,121	132,892	Vivienda	2,413	5,107	
Población	207,027	282,790	479,770	Población	6,550	14,392	

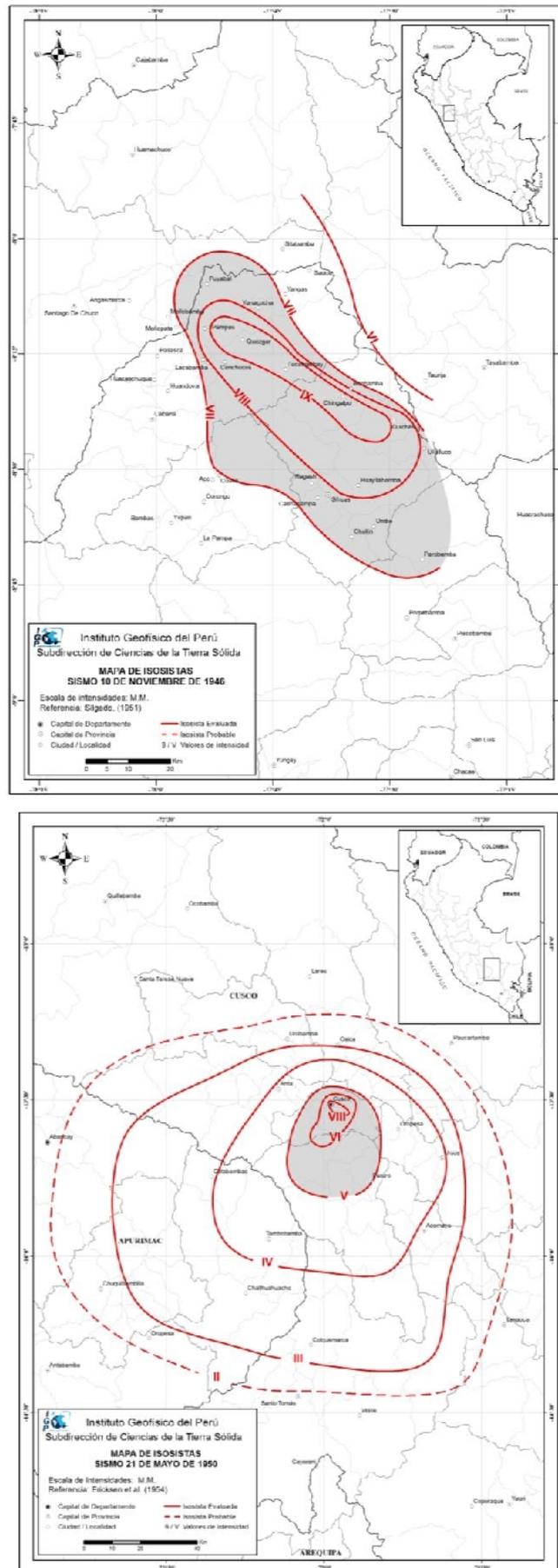


Figura 10: Mapas de isosistas de los sismos de 1946, 1950, 1969, 1991 y 2016. Las áreas en gris corresponden a la curva de intensidades VII y V (MM) dependiendo de la región y características del sismo.

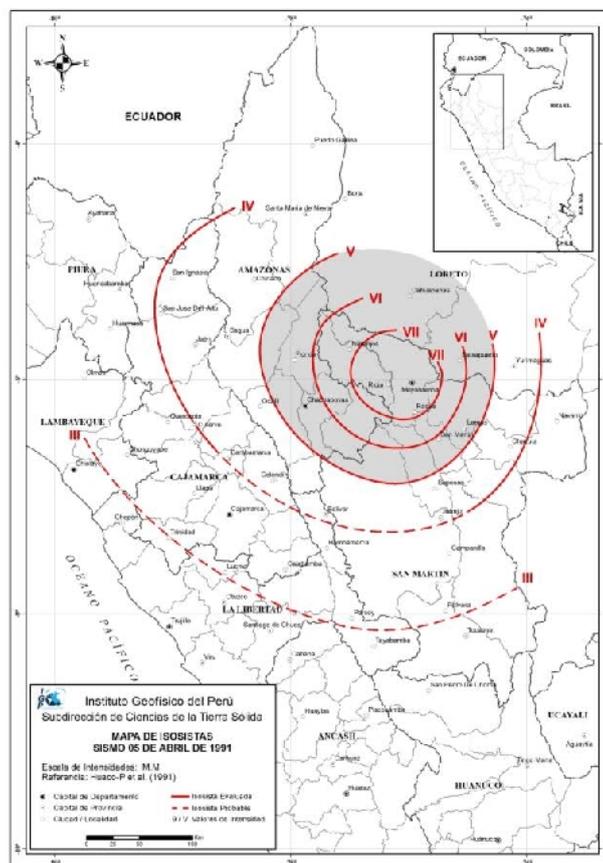
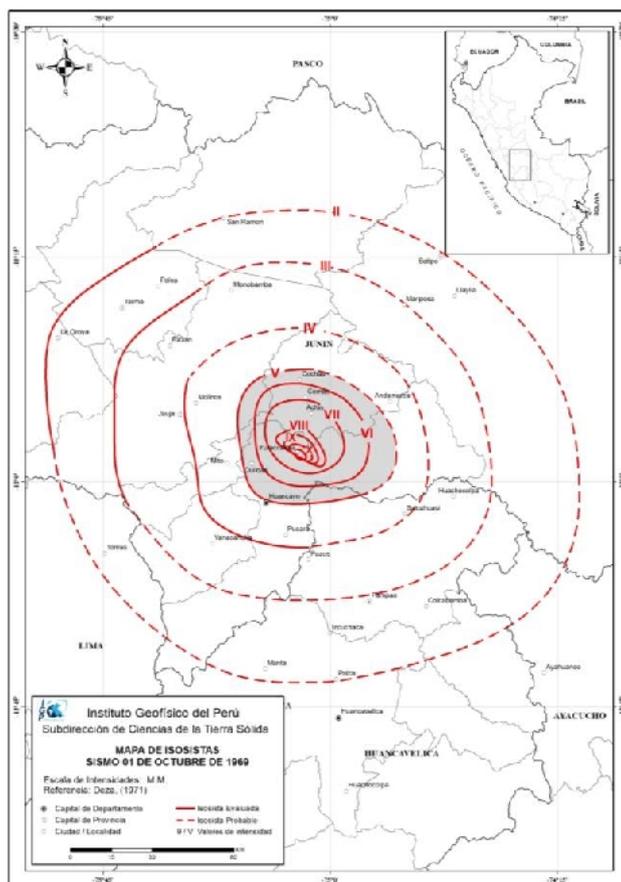


Figura 10: ...// Continuación. Mapas de isosistas de los sismos de 1946, 1950, 1969, 1991 y 2016. Las áreas en gris corresponden a la curva de intensidades VII y V (MM) dependiendo de la región y características del sismo.

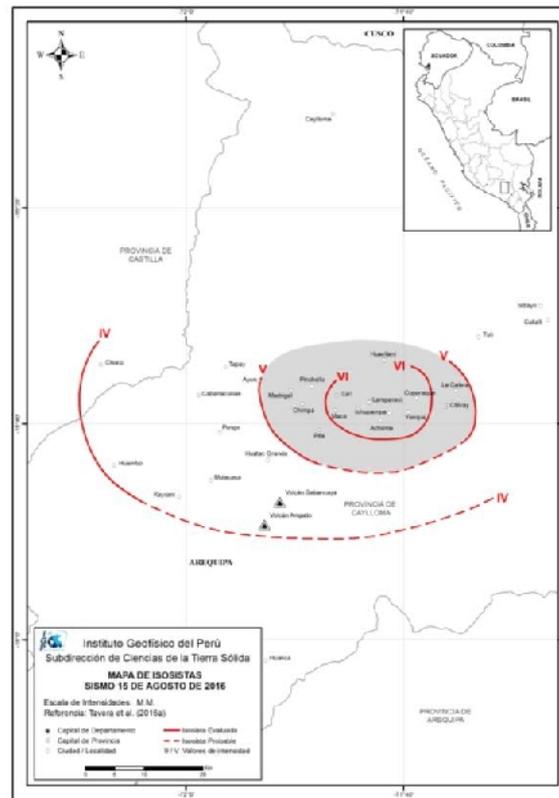


Figura 10:// Continuación. Mapas de isosistas de los sismos de 1946, 1950, 1969, 1991 y 2016. Las áreas en gris corresponden a la curva de intensidades VII y V (MM) dependiendo de la región y características del sismo.

CONCLUSIONES

Históricamente, el Perú ha sido afectado de manera reiterativa por eventos sísmicos que han causado diversos niveles de daño en las principales ciudades y núcleos urbanos ubicados en torno a las áreas epicentrales. Es por ello que surge la inquietud de conocer la probabilidad de ocurrencia de un evento sísmico de gran magnitud y de las posibles áreas a ser afectadas a fin de ejecutar proyectos y/o realizar actividades orientadas a la *Gestión del Riesgo de Desastres*.

En este estudio, se estimó el riesgo de daños en distritos, viviendas y población por exposición ante la ocurrencia de un sismo de gran magnitud. Para cumplir con este objetivo se consideró como base que los sismos son cíclicos y que el próximo evento a ocurrir debe presentar, por lo menos, la misma magnitud y producir similares niveles de sacudimiento del suelo. El posible incremento en los daños dependerá del crecimiento de las áreas urbanas, del número de viviendas y población expuesta.

Considerando la base de datos del CENSO 2007 y los mapas de isosistas de 12 sismos con origen en el proceso de subducción y de 5 con origen en los procesos de deformación cortical, se ha estimado el número de distritos, viviendas y personas que podrían ser afectados de repetirse cada uno de estos sismos. Es importante indicar que en esta información no se detalla el tipo de daño que podría presentarse, pero como información "referencial" es válida para el tema de gestión del riesgo y debe ser considerada como tal.

BIBLIOGRAFÍA

- Chlieh et al. (2011). Interseismic coupling and seismic potential along the central Andes subduction zone; *J. G. R.* vol. 116, doi:10.1029/2010JB008166, 2011
- Condori y Tavera (2012), Áreas probables de ruptura sísmica en el borde occidental del Perú, a partir de la variación del parámetro b. *Bol. Soc. Geol. Perú*, 106, 23-36.
- Dorbath, L., Cisternas, A. y Dorbath, C. (1990). Assessment of the size of large and great historical earthquakes in Peru. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 80, 551-576.
- Flores y Tavera (2012). Aplicación del algoritmo M8 en el borde occidental del Perú: Incrementos de probabilidad para la ocurrencia de grandes Terremotos. *Bol. Soc. Geol. Perú*, 106, 11-21
- Guardia y Tavera (2012). Inferencias de la superficie de acoplamiento sísmico interplaca en el borde occidental del Perú. *Bol. Soc. Geol. Peru*, 106, 36-48.
- Kagan, Y. y Jackson, D. (1991) Seismic gap hypothesis: Ten years after. *JGR*, 96, 21419-21431
- Martinez, J. y Tavera, H. (2014). Dinámica y modelado numérico de tsunamis en el terminal portuario del Callao y río Rímac. Dirección de Sismología, Instituto Geofísico del Perú, 50 pag.
- Nishenko, S. (1999). Circum-Pacific seismic potential 1989-1999., *PAGEOPH*, 135, 169-259.
- Norabuena, E., Leffler-Griffin, L., Mao, A. Dixon, T. (1998). Space geodetic observations of Nazca-South America Convergence. *Science*, 279, 358-362.
- Pulido, N., Tavera, H., Aguilar, Z., Calderón, D. (2012). Mega-earthquakes ruptures scenarios and strong motion simulations for Lima, Perú. *International Symposium CISMID, TS-6-2*. Lima, Perú.
- Pulido, N., Aguilar, Z., Tavera, H., Chlieh, M., Calderón, D., Sekiguchi, T., Nakai, S., Yamazaki, F. (2015). Scenario Source Models and Strong Ground Motion for Future Megaequakes: Application to Lima, Central Peru. *BSSA*, Vol. 105, doi: 10.1785/0120140098
- Pulido et al. (2011). Estimation of slip scenarios for megathrust earthquakes: a case study of Peru. 4th IASPEI International Symposium.

- Pulido, N., Tavera, H., Aguilar, Z., Calderón, D. (2012). Mega-earthquake rupture scenarios and strong motion simulations for Lima, Peru. The International Symposium for CISMID 25th Anniversary. Lima, Perú.
- Silgado, E. (1978). Historia de los sismos más notables ocurridos en Perú, 1513-1974. Inst. Geol. Minero de Perú, 131 pag.
- Tavera y Bernal (2005). Distribución espacial de área de ruptura y lagunas sísmicas en el Borde Occidental de Perú. Volumen Especial N° 6 Alberto Giesecke Matto, Soc. Geolog. Peru, pág. 89-102.
- Tavera, H. (2014). Escenario de Sismo y Tsunami en el borde occidental de la región central del Perú, SCTS - IGP, 30 pag.
- Tavera, H. (2014) Evaluación del peligro asociado a los sismos y efectos secundarios en Perú, SCTS - IGP, 48 pag.
- Tavera, H. (2016). Mapa Sísmico del Perú periodo 1960 a 2016. SCTS- IGP.
- Tavera, H., Agüero, C., Fernández, E. (2016). Catálogo general de mapas de isosistas para sismos peruanos. SCTS - IGP, 200 pag.
- Villegas-Lanza, J.C., Chlieh, M., Cavalié, O., Tavera, H., Baby, P., Chire-Chira, J., Nocquet, J-M. (2016). Active tectonics of Peru: Heterogeneous interseismic coupling along the Nazca megathrust, rigid motion of the Peruvian Sliver, and Subandean shortening accommodation. *JGR*, 10.1002/2016JB013080