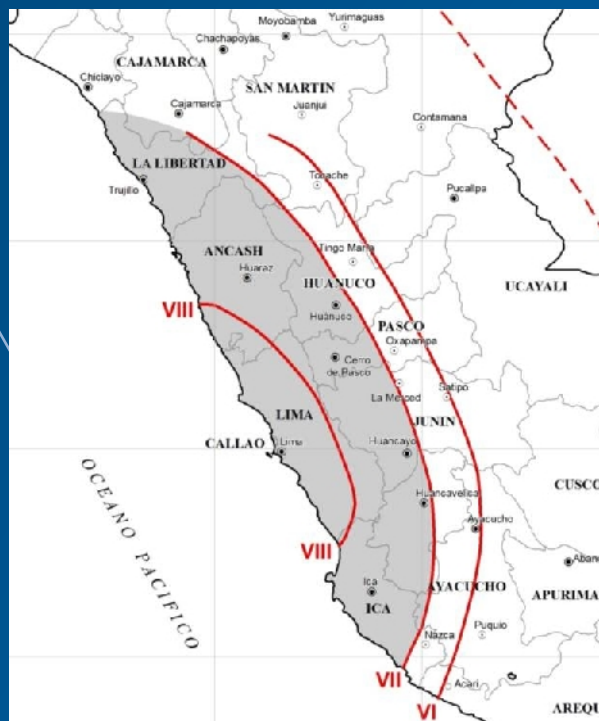




PERÚ

Ministerio  
del Ambiente

Instituto  
Geofísico del Perú - IGP



## ESTIMACIÓN DEL RIESGO POR EXPOSICIÓN A PARTIR DE MAPAS DE ISOSISTAS EN PERÚ (Actualización CENSO 2017)

Hernando Tavera  
Ademir Cuya

Lima - Perú  
Enero - 2019



*Hernando Tavera  
Investigador Científico  
Instituto Geofísico del Perú*

*htavera@igp.gob.pe*

## RESÚMEN

El presente informe actualizado tiene por objetivo realizar la estimación del riesgo por exposición de distritos, viviendas, instituciones educativas, centros de salud y población ante la posible ocurrencia de sismos de gran magnitud en el Perú. Para este objetivo se hace uso de la base de datos del INEI correspondiente al CENSO 2017. 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 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).

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 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.
- 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 a escasos niveles de profundidad, producen daños y destrucción similar a los grandes sismos con origen en primera

fuente sismogénica.

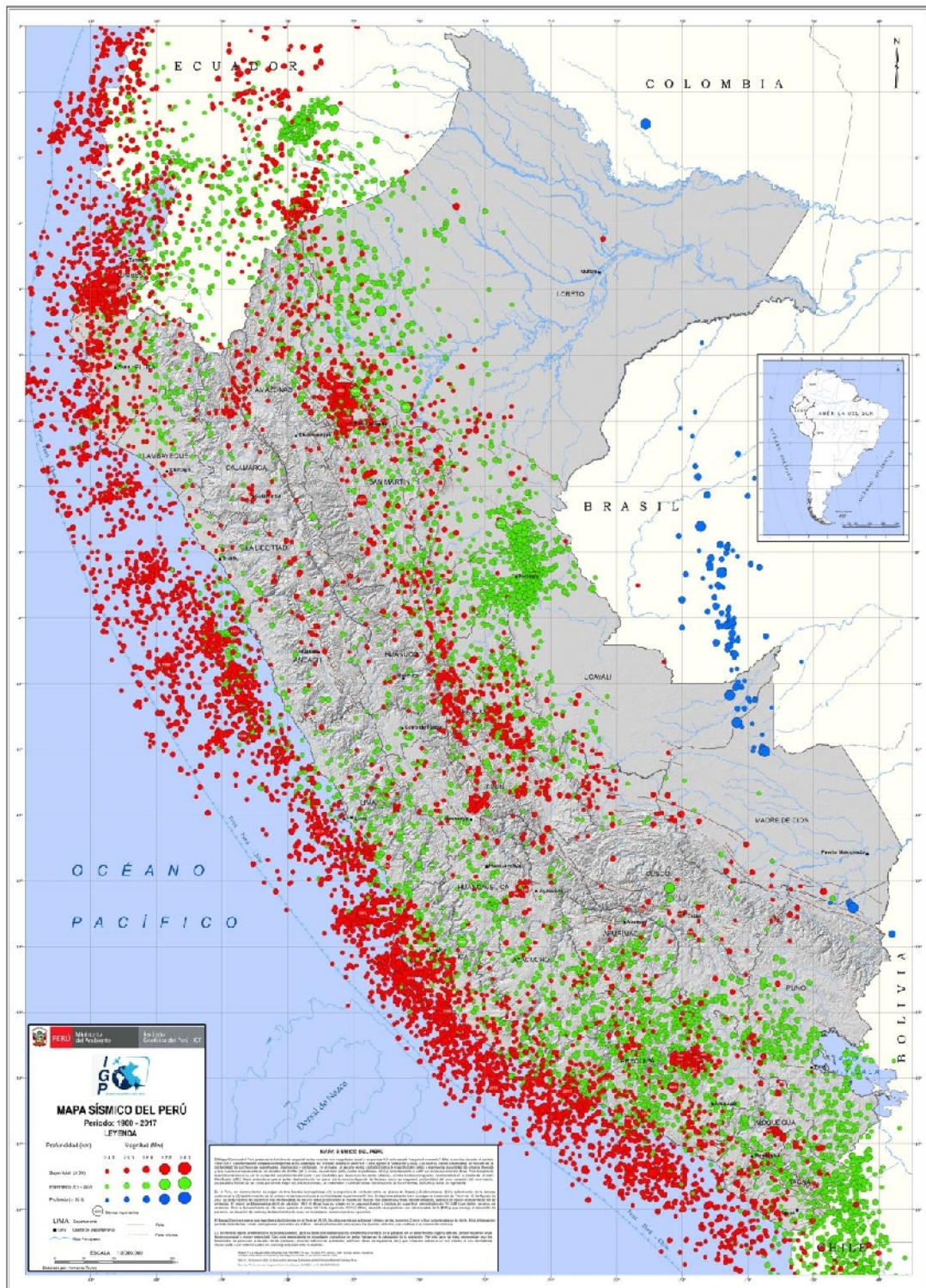
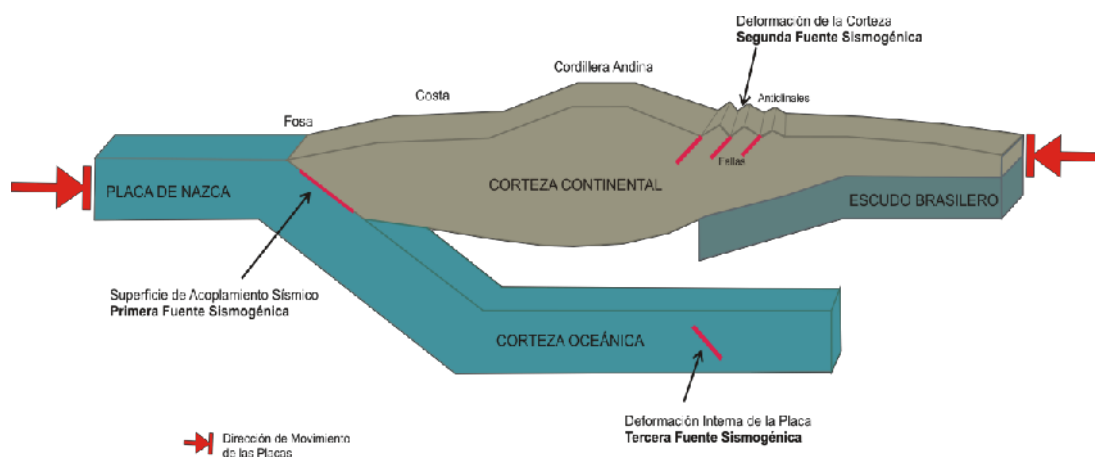


Figura 1: Mapa Sísmico del Perú para el periodo 1960 - 2017. La magnitud de los sismos es diferenciado por el tamaño de los círculos y la profundidad de sus focos por el color de los mismos. Los círculos con número inscrito en su interior indican la ubicación y año de ocurrencia de los sismos de mayor magnitud e intensidad.



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

- 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 ( $M < 7.0 M_w$ ).

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.

-----  
 Mw= Magnitud momento



## 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 (Gasparini, 2001). Del mismo modo, la intensidad sísmica ha sido usada para estimar los valores espectrales de la aceleración para sismos históricos (Boatwrigth 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 de 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 construcción; 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 tsunami. 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 tsunami 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 tsunami 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).

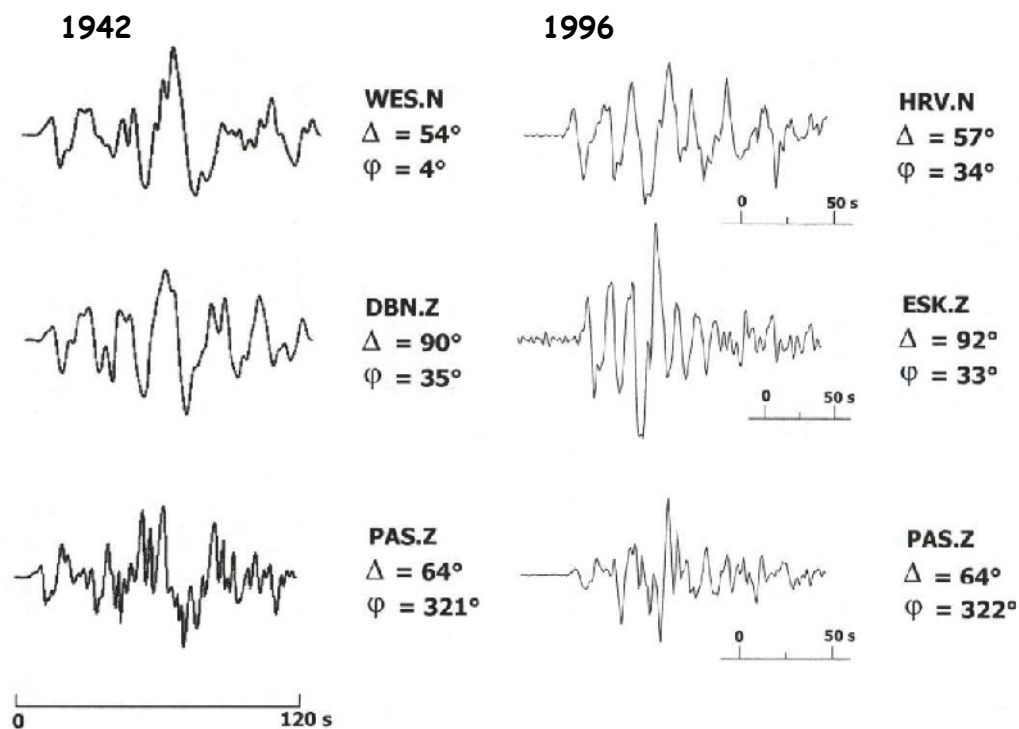


Figura 3: Señales sísmicas correspondientes a los sismos de Nazca ocurridos en los años 1942 y 1996. Debajo de los códigos de estaciones se indica la distancia epicentral y el azimut en grados (Tavera et al, 1998)

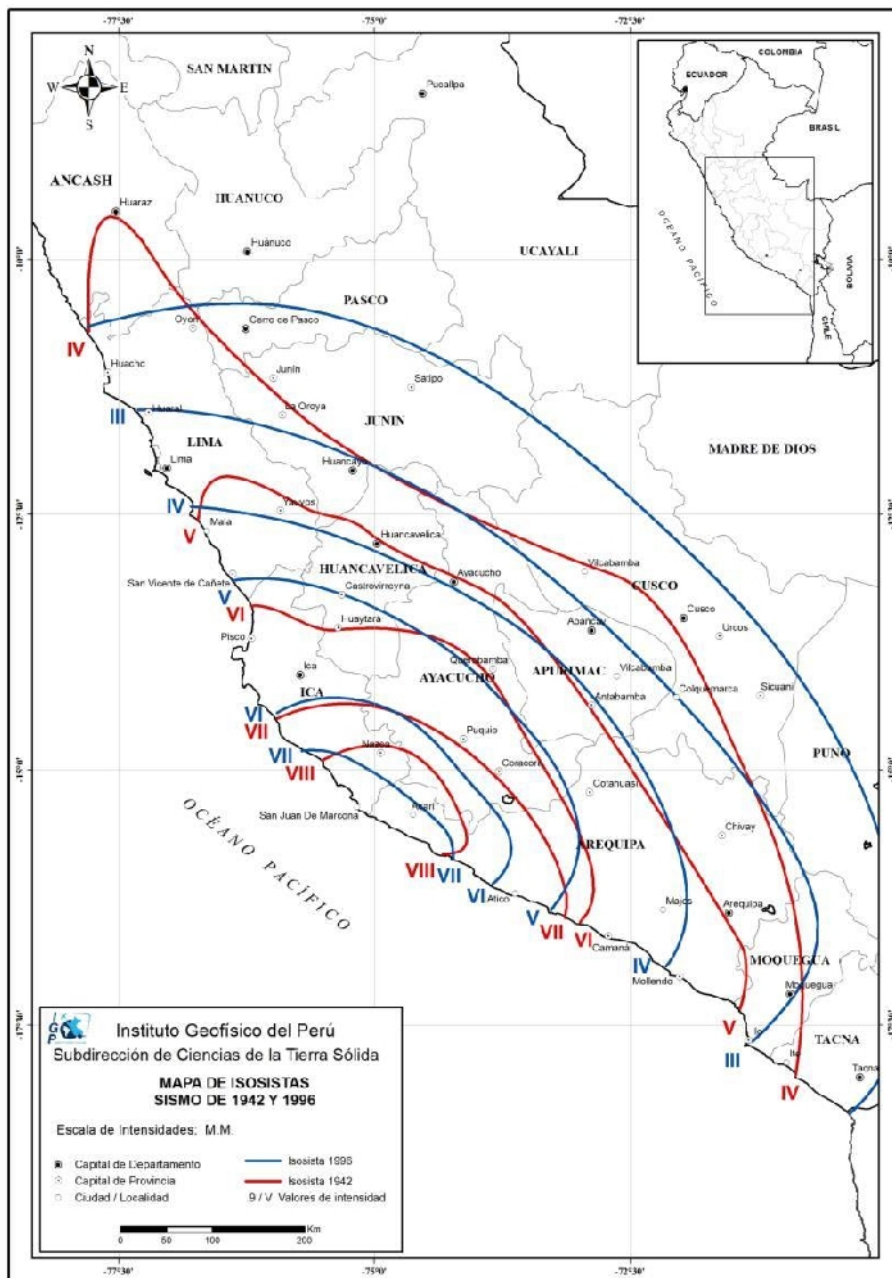


Figura 4: Mapas de isosistas de los sismos de 1942 y 1996 sobrepuestos a fin de analizar la distribución de las curvas de intensidad correspondientes a cada evento sísmico.

#### 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, instituciones educativas, centros de salud y población. En este escenario, para una determinada 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 permitiría disponer de información referencial válida para la estimación del riesgo a presentarse.

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 2017. 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 VI (MM) (Figura 6) y la base de datos del INEI (Censo 2017), 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 69 distritos; 500,464 viviendas, 4021 instituciones educativas, 603 Centros de salud y cerca de 2 millón de personas.



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



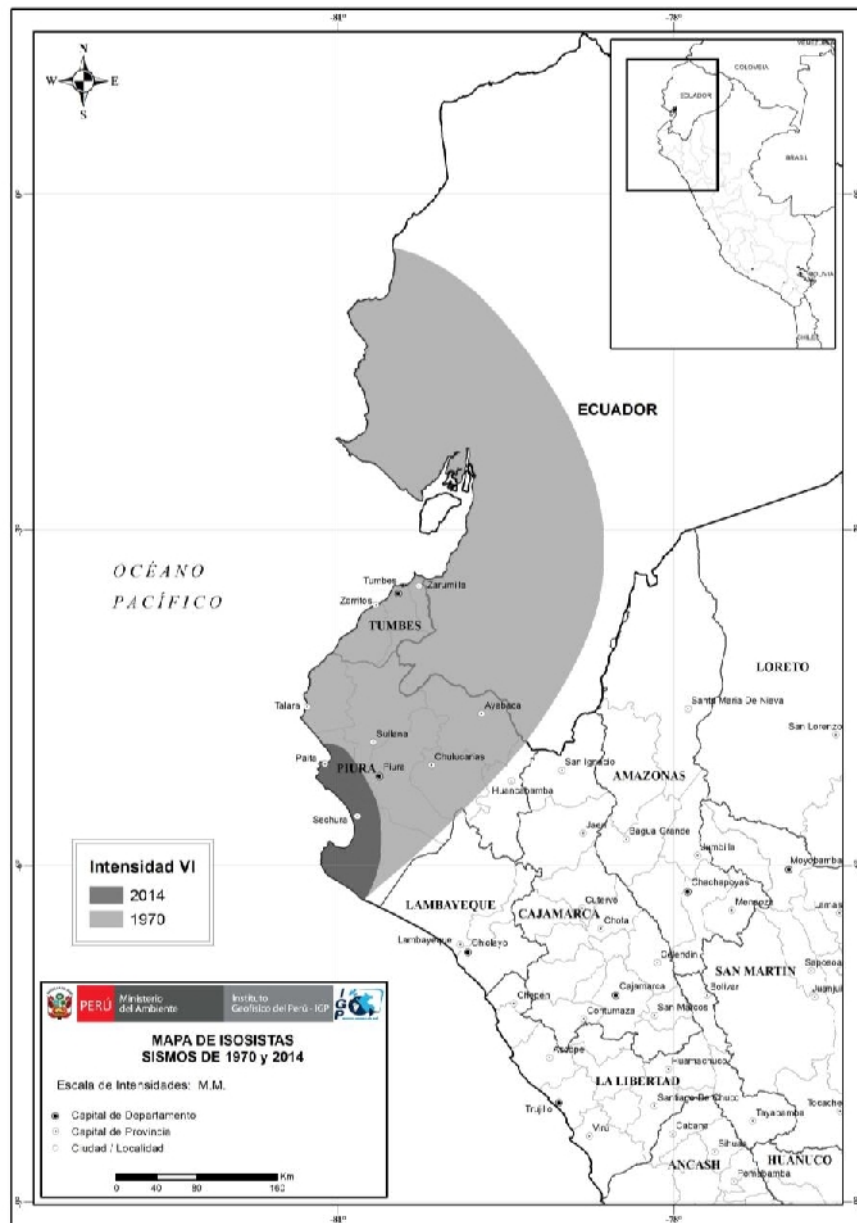


Figura 6: Mapas de isosistas para los sismos de 1970 y 2014. Las áreas en gris corresponden a la intensidad VI (MM)

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

<b>Intensidad mayor a VI (MM)</b>		
	<b>1970</b>	<b>2014</b>
<b>Distritos</b>	69	10
<b>Vivienda</b>	500,463	63,566
<b>Población</b>	1,975,050	252,676
<b>Instituciones educativas</b>	4,027	403
<b>Centros de salud</b>	603	46

#### 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, 2633 instituciones educativas, 440 centros de salud y a más de 1 millón de personas (Tabla 3).

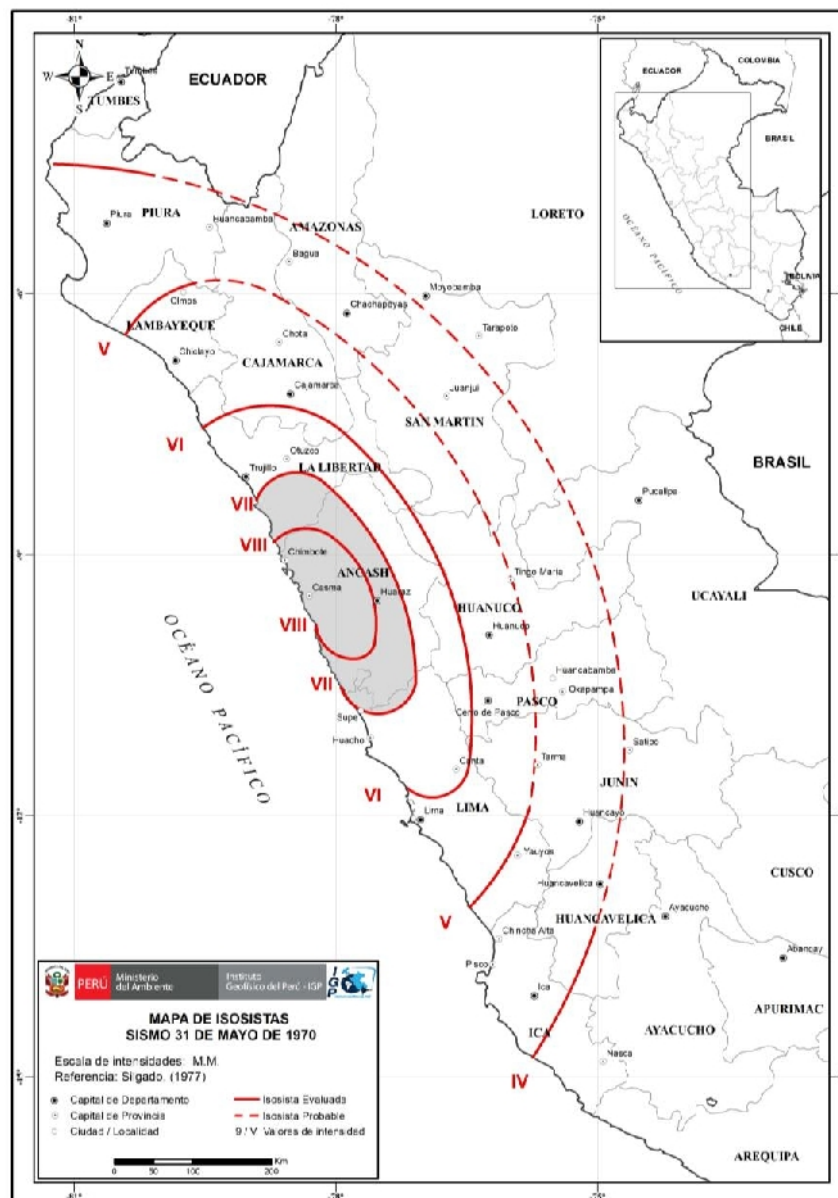


Figura 6: Mapa de isosistas del sismo de 1970. El área en gris corresponde a la intensidad VII (MM)

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	164,108	307,014
Población	603,668	1,138,094
Instituciones educativas	1,243	2,633
Centros de salud	170	440

### 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).

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, 24786 instituciones educativas, 3880 centros de salud y más de 15 millones de personas.

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

Intensidades del sismo de 1746 por Dorbath et al. (1990)		
	VIII (MM)	VIII - VII (MM)
Distritos	161	701
Vivienda	2,660,172	4,033,268
Población	10,462,688	15,746,231
Instituciones educativas	11,170	24,786
Centros de salud	1,753	3,880

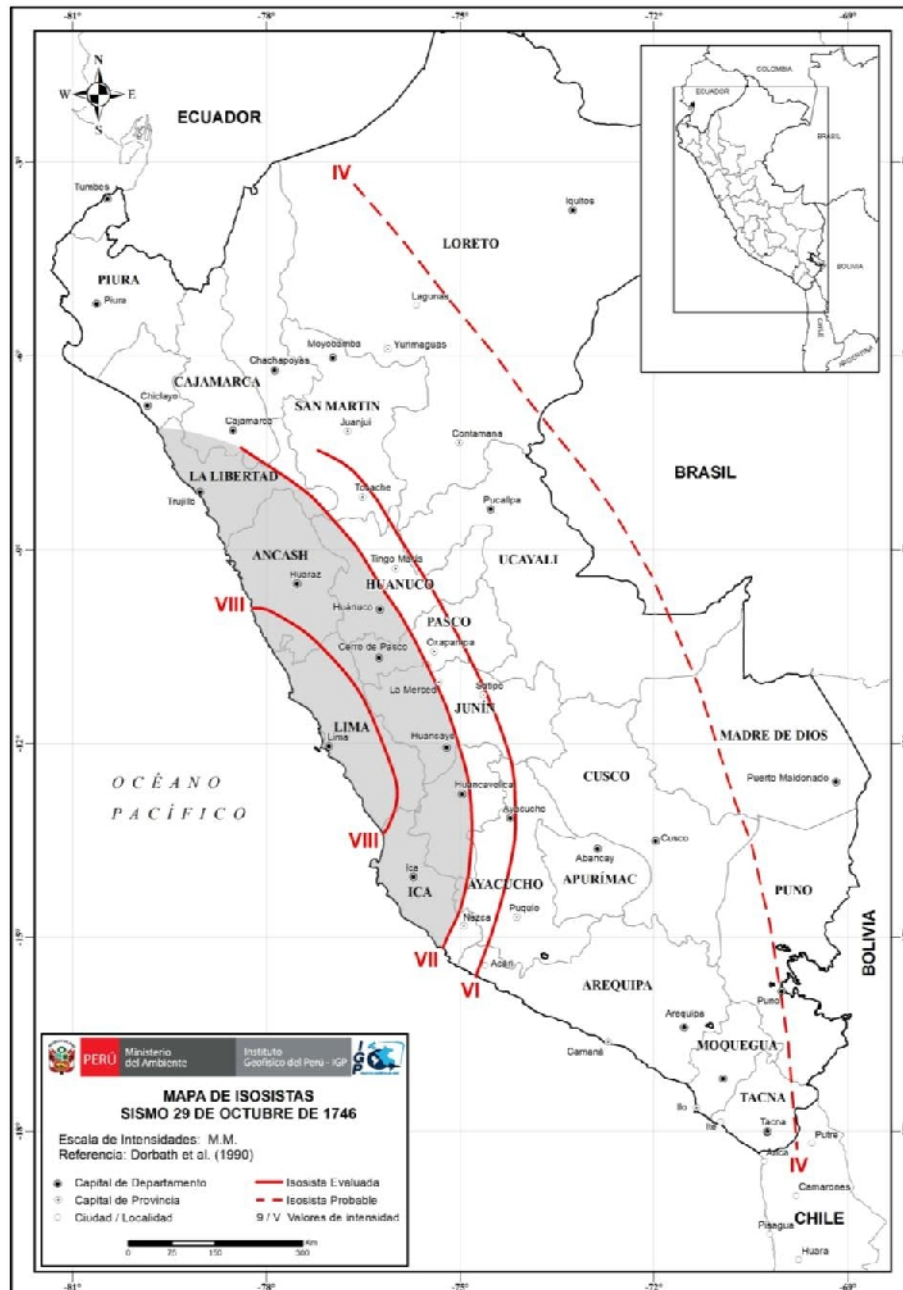


Figura 7: Mapa de isosistas del sismo de 1746 según Dorbath et al (1990). El área gris corresponde a la intensidad VII (MM)

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

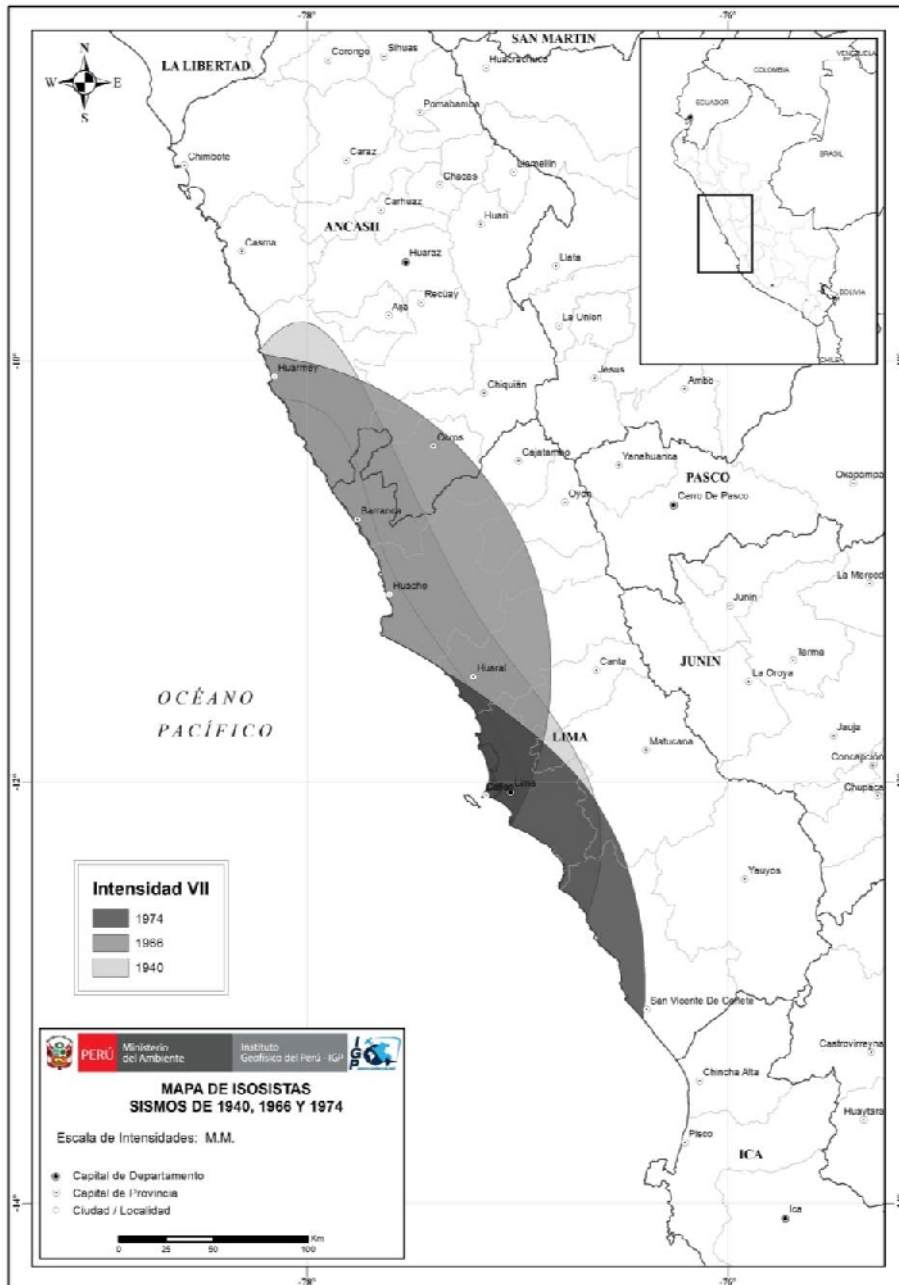


Figura 8: Mapa de isosistas de los sismos de 1940, 1966 y 1974. Las áreas en gris corresponden a la curva de intensidad VII (MM).

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

<b>Intensidad mayor a VII (MM)</b>			
	<b>1940</b>	<b>1966</b>	<b>1974</b>
Distritos	61	60	54
Vivienda	2,554,131	1,983,971	2,385,750
Población	10,081,877	7,694,095	9,440,504
Instituciones educativas	10,286	7,675	9,597
Centros de salud	1,529	1,155	1,408



#### 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).

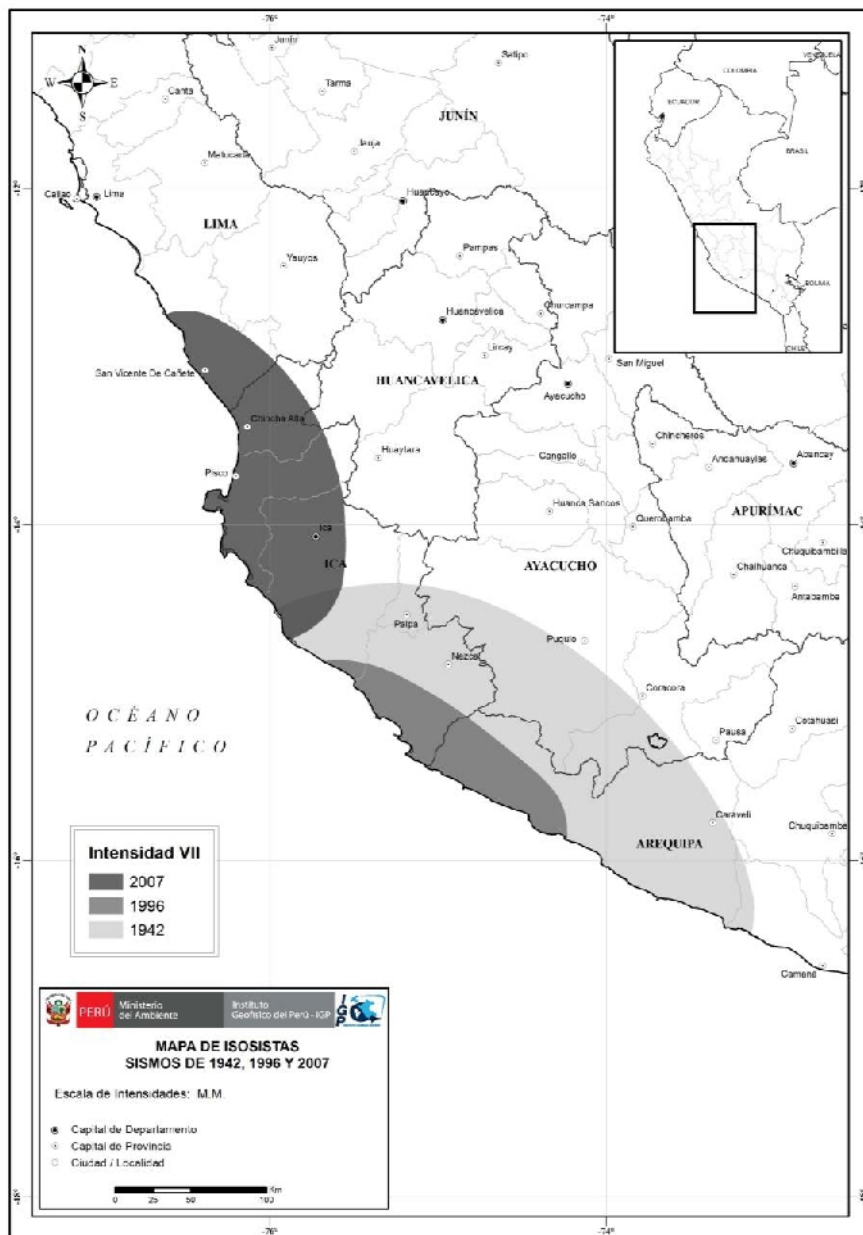


Figura 9: Mapa de isosistas de los sismos de 1942, 1996 y 2007. Las áreas en gris corresponden a la curva de intensidad VII (MM).

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

<b>Intensidad mayor a VII (MM)</b>			
	<b>1942</b>	<b>1996</b>	<b>2007</b>
Distritos	30	8	37
Vivienda	42,686	10,831	241,217
Población	144,923	37,476	934,178
Instituciones educativas	486	62	1,297
Centros de salud	89	16	171

#### 4.5. - Región sur

Se ha considerado los sismos ocurridos en los años 1868 (8.8 Mw) y el 2001 (8.0Mw), 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, 560 mil viviendas, 4282 instituciones educativas, 657 centros de salud y cerca de 2 millones de personas.

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

<b>Intensidad mayor a VII (MM)</b>		
	<b>1868</b>	<b>2001</b>
Distritos	176	148
Vivienda	560,530	528,494
Población	1,975,349	1,867,396
Instituciones educativas	4,282	3,816
Centros de salud	657	582



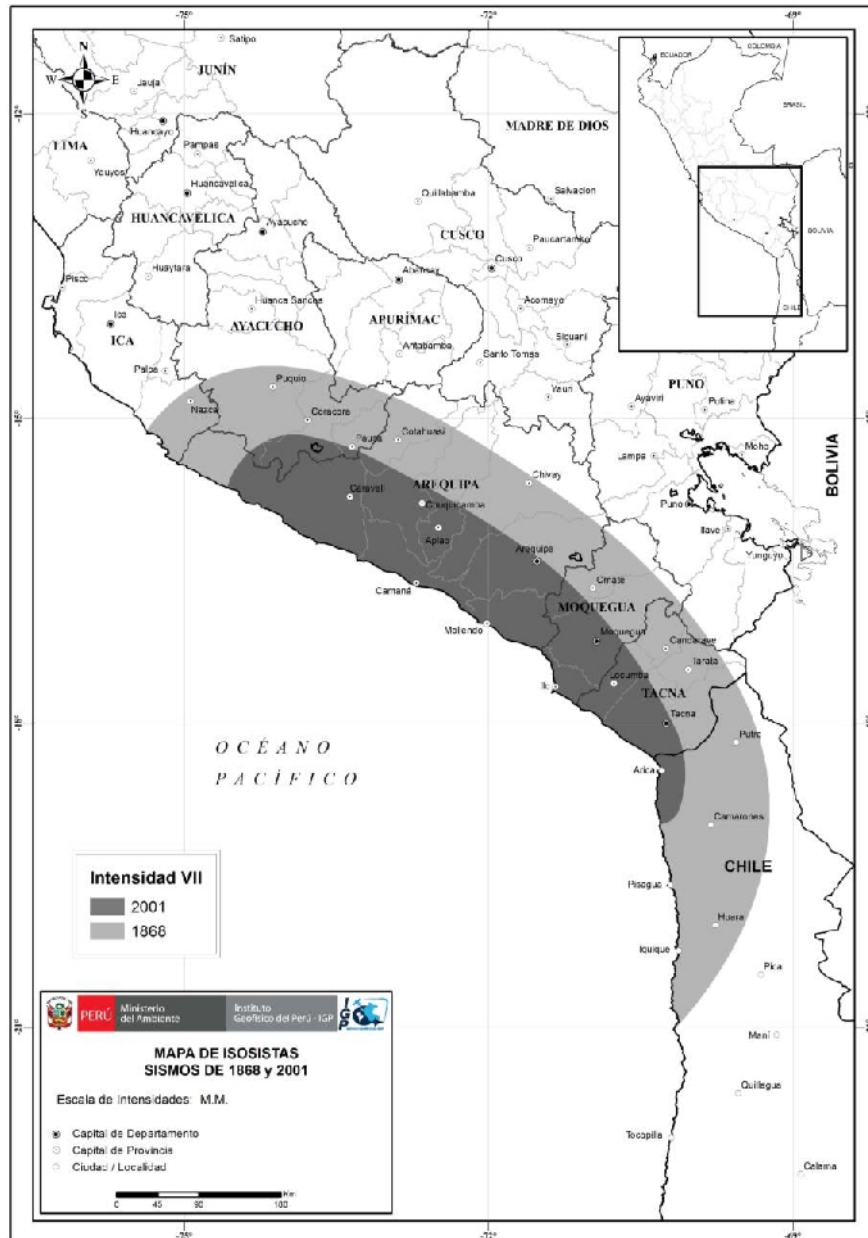


Figura 10: Mapa de isosistas para los sismos de 1868 y 2001. El área en gris corresponde al área encerrada por la intensidad VII (MM).

#### 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 135 mil viviendas, 1964 instituciones educativas, 460 centros de salud y más de 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)	IX - VIII (MM)	IX - VIII (MM)	VIII (MM)	VIII - VI (MM)	VIII - V (MM)
Distritos	4	7	15	3	4	12
Vivienda	622	3,891	11,289	67,967	91,640	109,457
Población	2,160	13,811	39,686	280,511	379,031	456,619
Instituciones educativas	19	92	265	327	457	590
Centros de salud	2	11	34	71	87	100

Huancayo 1969						
Silgado (1983)						
	X (MM)	X - IX (MM)	X - VIII (MM)	X - VII (MM)	X - VI (MM)	X - V (MM)
Distritos	1	1	1	4	7	11
Vivienda	5	6	12	443	1,825	54,891
Población	9	10	16	1,409	5,871	226,321
Instituciones educativas	0	0	0	17	60	467
Centros de salud	0	0	0	2	12	65

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	6	8	
Vivienda	61,237	80,616	135,208	1,805	3,913	
Población	233,951	306,511	513,947	5,237	12,249	
Instituciones educativas	600	977	1,964	18	43	
Centros de salud	123	185	460	6	11	

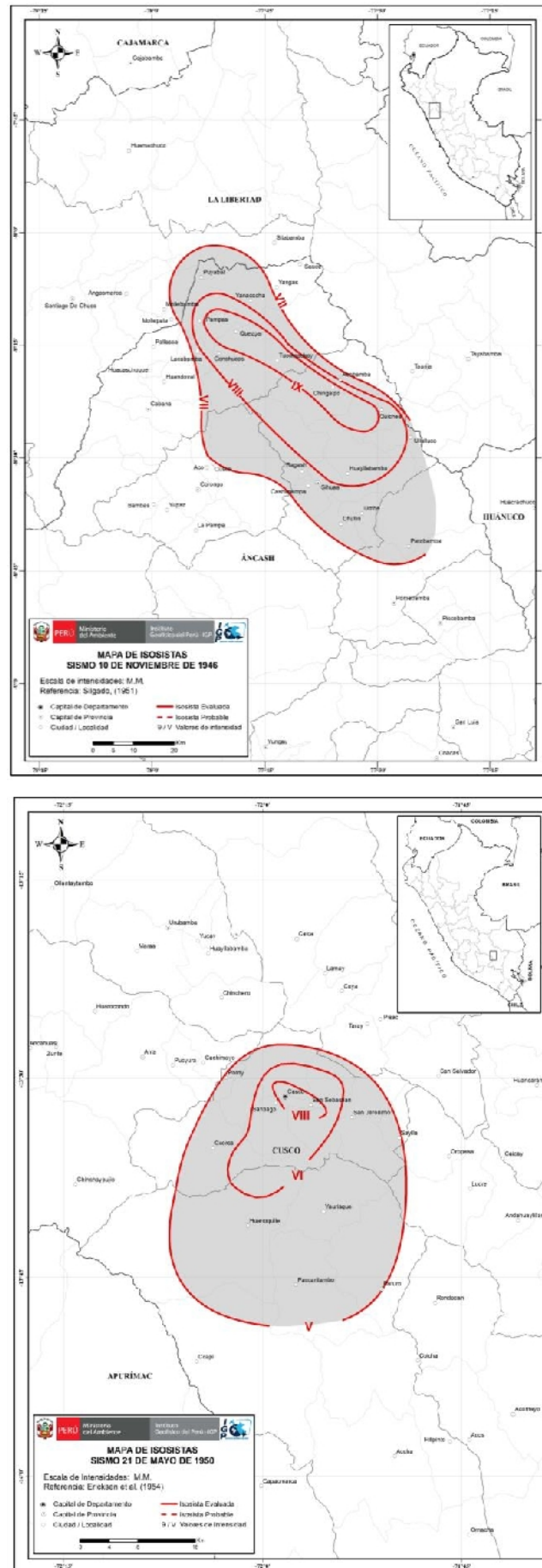


Figura 11: Mapas de isosistas de los sismos de 1946, 1950, 1969, 1991 y 2016. Las áreas en gris corresponden a la curva de intensidades VII y V (MM) dependiendo de la región y características del sismo.

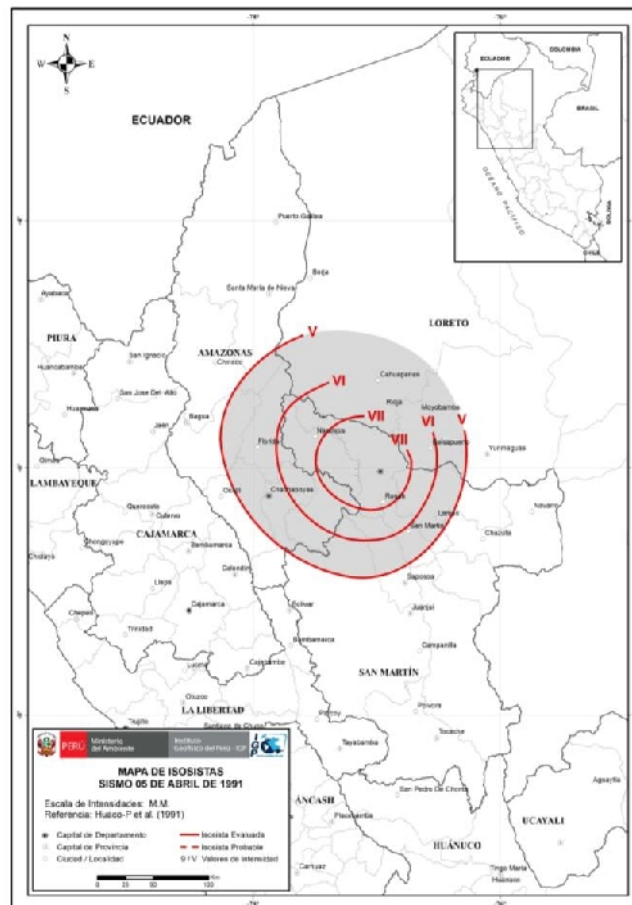
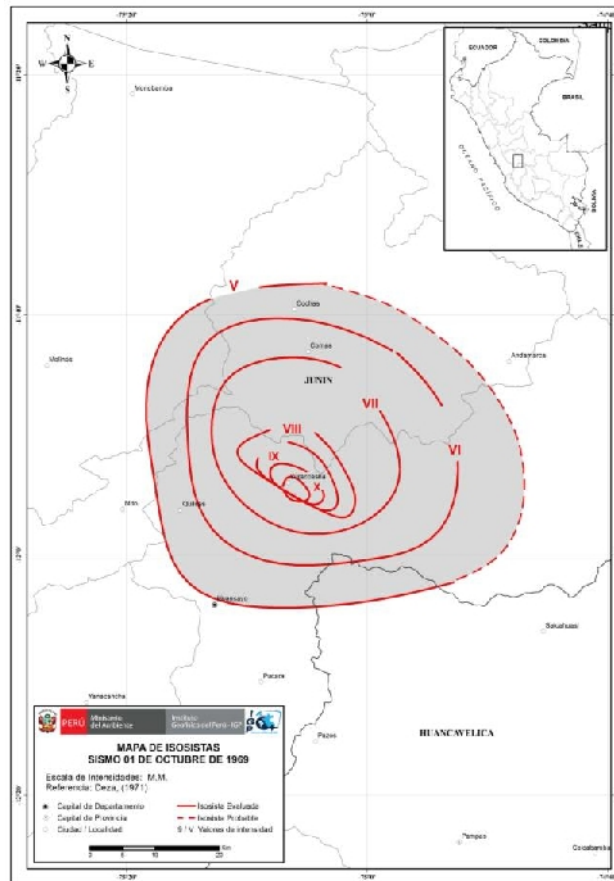


Figura 11: ...// Continuación. Mapas de isosistas de los sismos de 1946, 1950, 1969, 1991 y 2016. Las áreas en gris corresponden a la curva de intensidades VII y V (MM) dependiendo de la región y características del sismo.



## 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 2017 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, instituciones educativas, centros de salud 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 tsunami 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 Megaeathquakes: 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. 4<sup>th</sup> 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 25<sup>th</sup> 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