



PERÚ

Ministerio
del Ambiente



SISMO DE MALA DEL 22 DE JUNIO 2021 (M6.0) Y NIVELES DE SACUDIMIENTO DEL SUELO

Informe Técnico N°0013-2021/IGP CIENCIAS DE LA TIERRA SÓLIDA



Lima – Perú
Junio, 2021

Instituto Geofísico del Perú

Presidente Ejecutivo: Hernando Tavera

Director Científico: Edmundo Norabuena

Informe Técnico

Sismo de Mala del 22 de junio 2021 (M6.0) y niveles de sacudimiento del suelo

Autores

Hernando Tavera

Isabel Bernal

Estela Centeno

Cristian Mamani

Ademir Cuya

Este informe ha sido producido por el Instituto Geofísico del Perú

Calle Badajoz 169 Mayorazgo

Teléfono: 51-1-3172300

**SISMO DE MALA DEL 22 DE JUNIO 2021 (M6.0)
Y NIVELES DE SACUDIMIENTO DEL SUELO**

Lima – Perú
Junio, 2021

RESUMEN

El 22 de junio 2021 (22horas 54m), ocurre un sismo de magnitud M6.0 con epicentro a 33 km al sur-oeste de la localidad de Mala, siendo el sacudimiento del suelo percibido en una radio de 150 km. El sismo tiene su origen en el proceso de convergencia de placas Nazca y Sudamericana produciendo, en base a la distribución de sus réplicas, un área de ruptura de 35x15 km.

El análisis de las aceleraciones registradas permitió conocer el comportamiento dinámico de los suelos entre las localidades de Chincha por el sur y Ancón por el norte. Los valores mayores fueron registrados en las áreas urbanas de Asia, Mala, Chilca, Punta Negra y en el distrito de Villa El Salvador: 165 a 230 cm/seg².

Los daños y efectos producidos por el sismo de Mala en la región Lima fueron muy variados y puntuales, siendo los principales la caída de piedras de áreas de pendiente alta, fisuras en suelos blandos, colapso de paredes y daños parciales en viviendas de adobe y en algunos edificios; además de caída de techos falsos en oficinas y caída de objetos en supermercados.

INDICE

1.- INTRODUCCIÓN

2.- EL SISMO DE MALA DEL 22 DE JUNIO, 2021

2.1.- Parámetros hipocentrales

2.2.- Intensidades

2.3.- Réplicas y orientación de la fuente sísmica

3.- NIVELES DE SACUDIMIENTO DEL SUELO

3.1.- Mapas de iso-aceleraciones

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFIA

1.- INTRODUCCIÓN

En el borde occidental de América de Sur se desarrolla el proceso de convergencia de la placa de Nazca bajo la Sudamericana y en el caso del Perú, se realiza a una velocidad promedio del orden de 7-8 cm/año (DeMets et al, 1980; Norabuena et al, 1999). Este proceso es responsable de la actual geodinámica y geomorfología presente sobre todo el territorio peruano y de la ocurrencia de sismos de diversas magnitudes y focos ubicados a variadas profundidades con origen en tres fuentes sismogénicas: la fricción de placas (oceánica y continental), deformación interna de la placa oceánica por debajo de la cordillera y deformación cortical a niveles superficiales.

En Perú, la ocurrencia de sismos es continua en el tiempo y debido a la mejor cobertura de la Red Sísmica Nacional (RSN) a cargo del Instituto Geofísico del Perú (IGP), cada año se registra y reporta un promedio de 800 sismos cuyos sacudimientos del suelo son percibidos en superficie por la población. En la actualidad, el análisis de la distribución espacial de la sismicidad en el Perú (Figura 1) ha permitido identificar la ubicación de las principales fuentes sismogénicas, todas descritas ampliamente por Tavera y Buforn (2001) y Bernal y Tavera (2002). En este sentido, los sismos con magnitudes mayores a M7.0, son menos frecuentes y cuando ocurren cerca de la superficie, debido a la fricción de placas, producen importantes niveles de sacudimiento del suelo en áreas relativamente grandes, tal como sucedió en la región Sur de Perú el 23 de Junio de 2001 (M8.2) y en Pisco, el 15 de Agosto de 2007 (M8.0).

Los sismos con origen en los procesos de deformación de la corteza a niveles superficiales son menos frecuentes, pero cuando ocurren, producen importantes niveles de sacudimiento del suelo en áreas relativamente pequeñas, por ejemplo los sismos del Alto Mayo (San Martín) del 30 de Mayo de 1990 y 5 de Abril de 1991, ambos con magnitudes de M6.0.

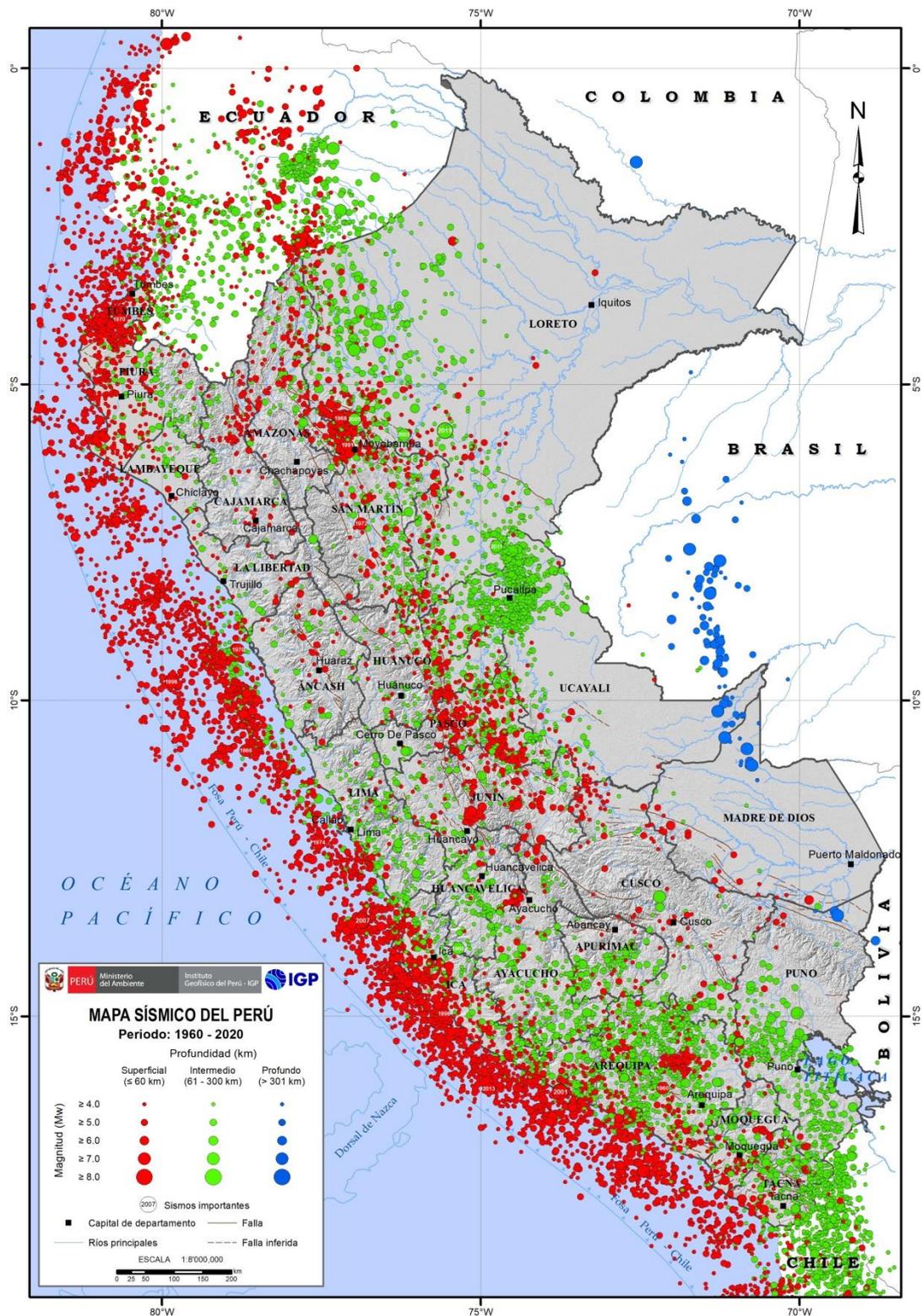


Figura 1.- Mapa Sísmico del Perú para el periodo 1960 y 2020. La magnitud de los sismos es diferenciado por el tamaño de los círculos y la profundidad de sus focos por el color de los mismos. Los círculos con número inscrito en su interior indican la ubicación y año de ocurrencia de los grandes sismos.

Los sismos con foco intermedio, también son poco frecuentes y cuando ocurren pueden generar altos niveles de sacudimiento del suelo, así como un gran radio de percepción y algunas veces daños leves en viviendas y procesos de licuación de suelos y/o deslizamientos de tierra y piedras inestables en zonas de gran pendiente. A niveles más profundos, los sacudimientos del suelo producidos por sismos pocas veces son percibidos en razón que la energía emitida se atenúa rápidamente antes de llegar a la superficie.

En el borde occidental de la región central del Perú, el día 22 de junio del 2021 ocurre un sismo de magnitud moderada (M6.0) y epicentro ubicado a 33 km SO de la localidad de Mala (región Lima). El sismo ocurrió a una profundidad de 45 km (foco superficial) y en general, el sacudimiento del suelo fue percibido por la población hasta distancias, desde el epicentro, del orden de 150 km, siendo mayor la intensidad de sacudimiento del suelo en las localidades de Chilca y Mala. En este informe se presenta los parámetros hipocentrales del sismo, intensidades evaluadas y los niveles de sacudimiento del suelo en el borde occidental de la región Lima

2.- EL SISMO DE MALA DEL 22 DE JUNIO, 2021

En el borde occidental de la región central del Perú, el día 22 de junio del 2021 ocurre un sismo de magnitud moderada (M6.0) que produjo importantes niveles de sacudimiento del suelo en las localidades de Chilca, Mala y también en Lima Metropolitana y Callao. El análisis de los parámetros hipocentrales del sismo y la evaluación de los niveles de sacudimiento del suelo permitirán comprender los niveles de riesgo de las áreas urbanas ante la posible ocurrencia de un sismo de mayor magnitud con epicentro frente a la costa central del Perú.

2.1.- Parámetros hipocentrales

Los parámetros hipocentrales del sismo del 22 de junio del 2021 fueron obtenidos utilizando información de las estaciones sísmicas que integran la Red Sísmica Nacional (RSN) y los valores obtenidos son (Figura 2):

Tiempo Origen: 02h 54 min del 23 de junio, 2021 (Hora Universal)
22h 54 min del día 22 de junio, 2021 (Hora Local)
Latitud Sur: -12.77°
Longitud Oeste: -76.91°
Profundidad: 45 km
Magnitud: M6.0
Epicentro: A 33 km al SO de la localidad de Mala - Lima
Intensidad Máxima: VI (MM) en Chilca y Mala

En la Figura 2 se presenta la ubicación del epicentro del sismo del 22 de junio 2021, junto a los epicentros correspondientes a los sismos ocurridos en la región central del Perú entre los años 1960 al 2021 (>M4.5). De acuerdo a la ubicación del epicentro, el sismo ocurrió en una

zona de continua ocurrencia de sismos asociados al proceso de convergencia entre las placas de Nazca y Sudamericana (círculos rojos).

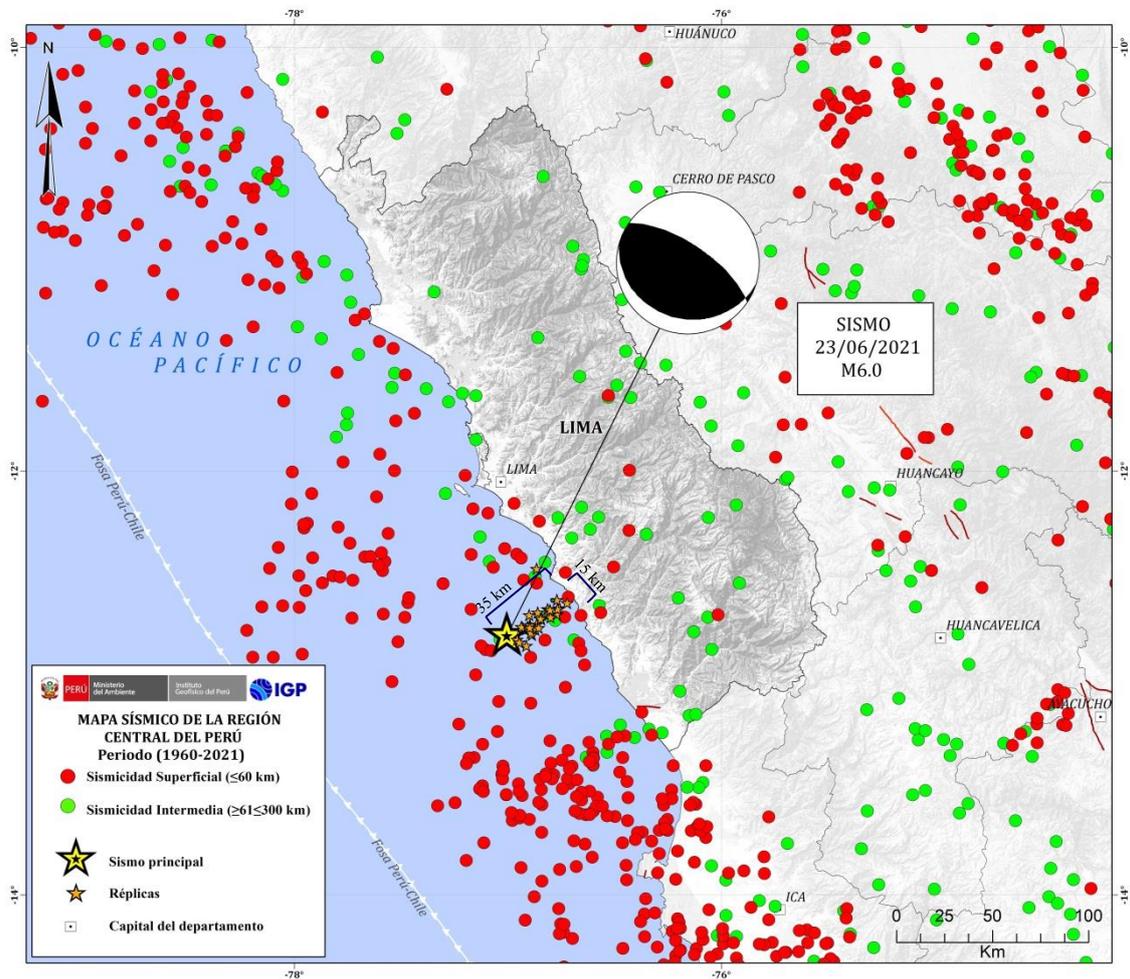


Figura 2.- Distribución espacial de la sismicidad en la región central del Perú. La profundidad de los sismos es indicado con el color de los símbolos. La estrella grande indica la ubicación del sismo de Mala del 22 de junio del 2021 y las estrellas pequeñas, las réplicas ocurridas en las primeras 96 horas después del sismo principal formando un área de ruptura de 35x15 km. La esfera corresponde al mecanismo focal propuesto por la USGS.

En profundidad, el foco del sismo de Lima sigue el patrón de sismicidad definido para esta región; es decir, los focos sísmicos se distribuyen sobre un plano inclinado con un ángulo del orden de 30° hasta una profundidad de 100 – 120 km, para luego continuar su distribución de manera casi horizontal hasta distancias de 700 km desde la fosa (Figura 3). En conjunto, la distribución en los sismos en profundidad, sugieren que los sismos que se inician en la fosa peruano-chilena configuran hasta los

primeros 60 km de profundidad la geometría de la superficie de fricción entre las placas de Nazca y Sudamérica y por debajo de dicha profundidad, los sismos ocurrirían debido a la deformación interna de la placa de Nazca que se introduce por debajo del continente.

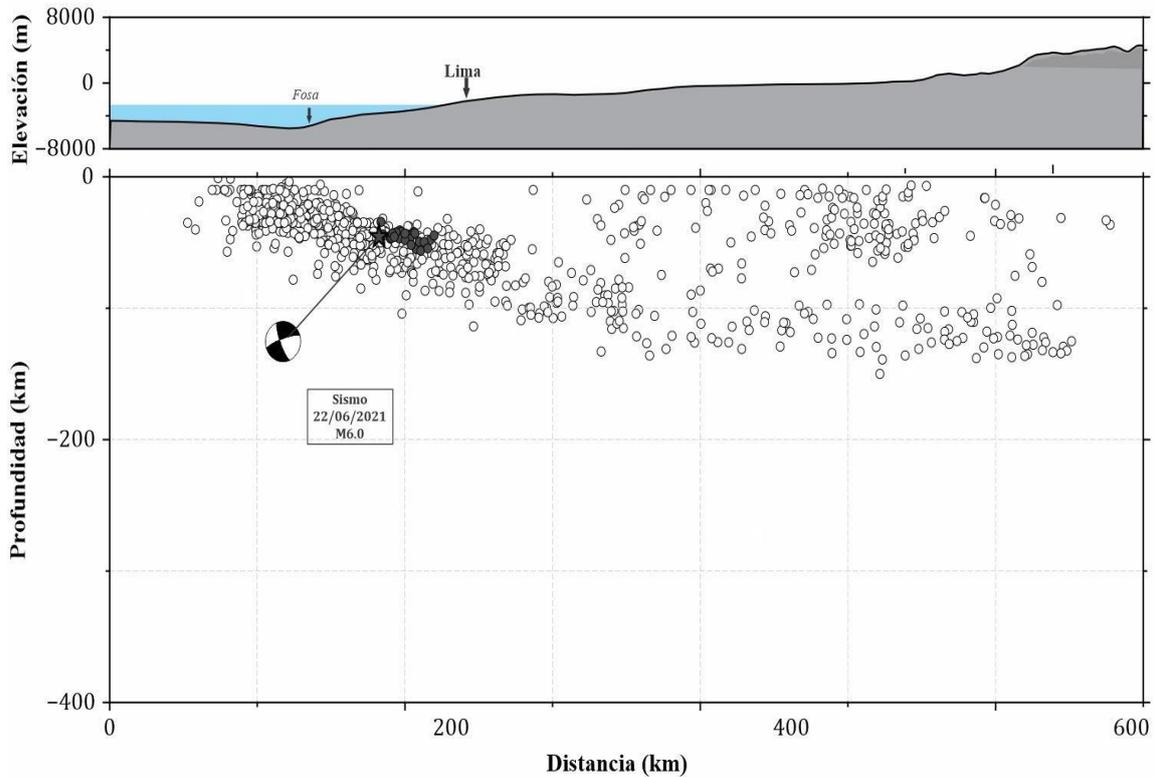


Figura 3. Sección vertical de la sismicidad en la región central del Perú y ubicación del sismo de Mala del 22 de junio, 2021. Los puntos de color negro indican la ubicación de las réplicas ocurridas durante 96 horas después del sismo principal. La esfera corresponde a la proyección en profundidad del mecanismo focal propuesto por la USGS.

En general, la distribución espacial de la sismicidad en profundidad ha permitido configurar la geometría de la placa de Nazca en el proceso de subducción y tal como se observa en la Figura 4, en las regiones centro y norte, la placa de Nazca se introduce por debajo del continente hasta una profundidad de 100-120 km para luego desplazarse de manera casi horizontal; mientras que, en la región sur, lo hace de manera continua hasta los 350 km de profundidad. Estas tendencias de sismicidad y geometrías de la subducción fueron ya descritas por Stauder (1975), Cahill y Isacks (1991), Tavera y Buforn (2001).

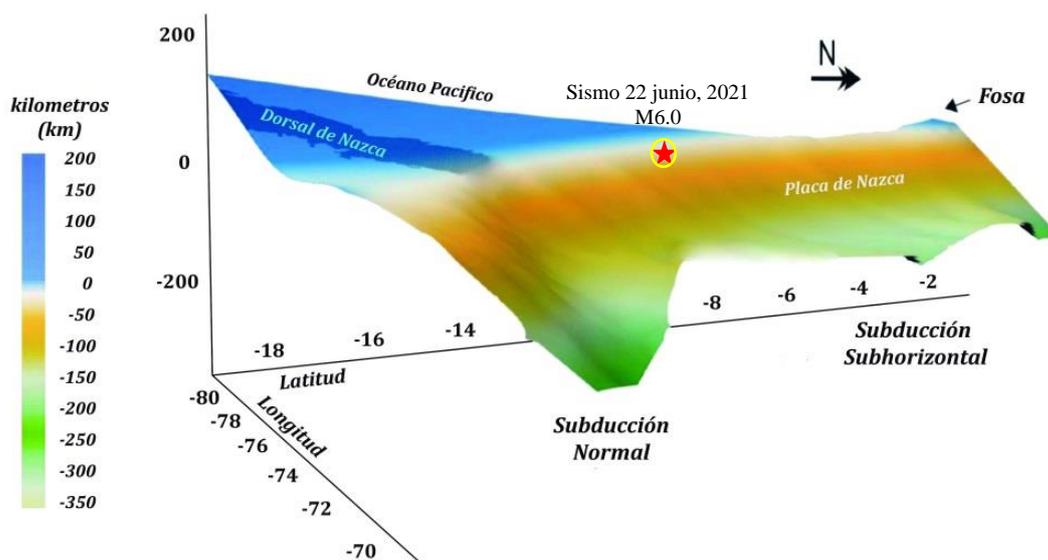


Figura 4. Geometría de la placa de Nazca en el proceso de subducción en el borde occidental del Perú. La estrella indica la ubicación aproximada del hipocentro del sismo de Mala del 22 de junio (M6.0), 2021

2.2.- Intensidades

Después de ocurrido el sismo de Mala, se realizó la evaluación del radio de percepción del sacudimiento del suelo y los posibles daños y efectos que el sismo podría haber producido en el entorno de su epicentro. Las evaluaciones fueron realizadas por el personal del Centro Sismológico Nacional (CENSIS) a cargo del Instituto Geofísico del Perú (IGP), mediante encuestas vía línea telefónica a dos o tres personas de cada área urbana y la información obtenida fue interpretada con la escala de Mercalli Modificada (Figura 5):

Mala y Chilca (Intensidad VI-MM): El sacudimiento del suelo fue intenso y causó pánico en toda la población que salieron a las calles. Se produjo fuerte vibración de ventanas y puertas, caída de objetos en viviendas y en supermercados. En carreteras se produjo el desprendimiento de piedras, al menos cinco viviendas afectadas y rotura de vidrios de ventanas.

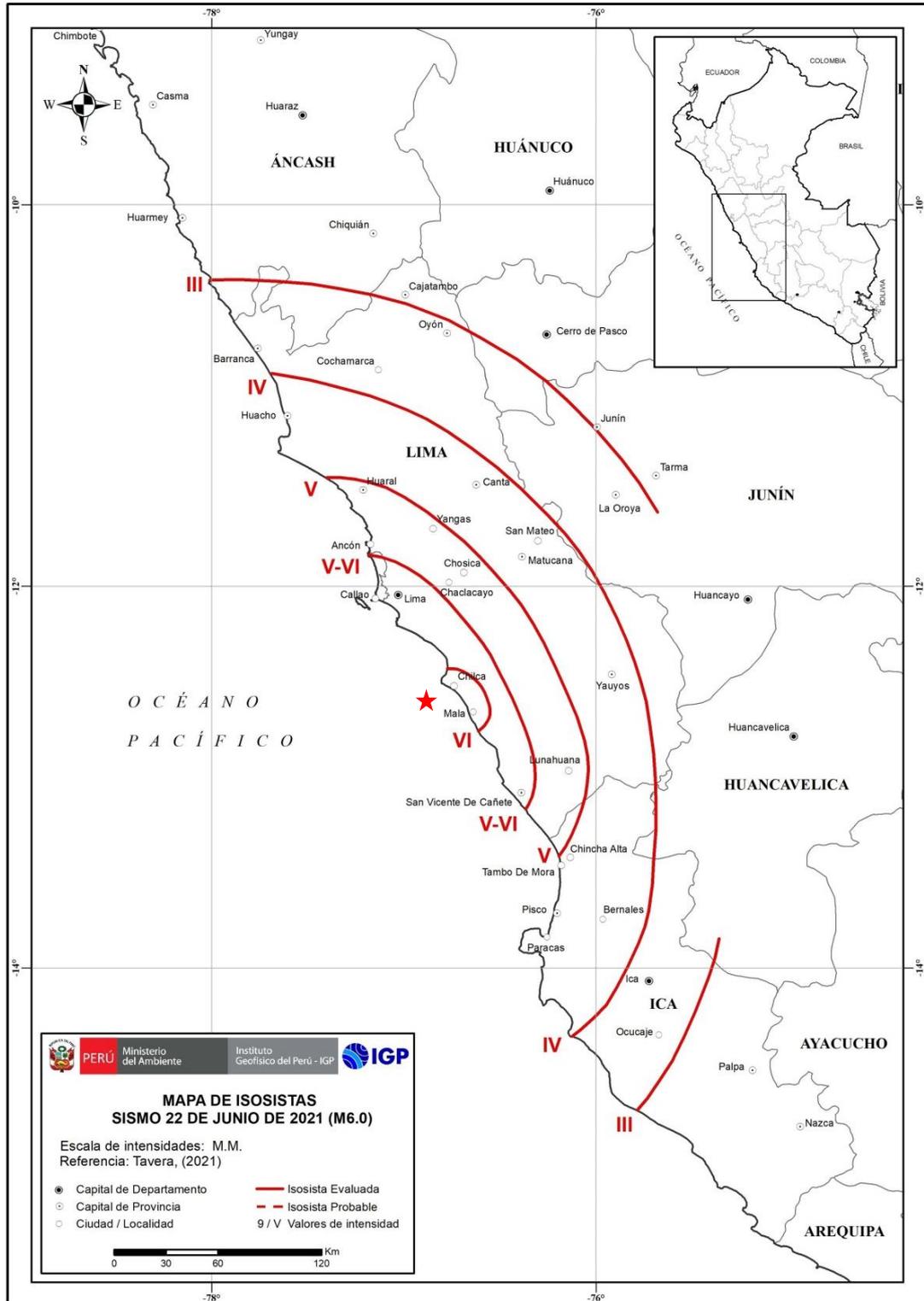


Figura 5.- Mapa de intensidades en la escala Mercalli Modificada para el sismo de Mala del 22 de junio del 2021 (M6.0)

Lima, Callao y Cañete (Intensidad V-VI - MM): El movimiento del suelo fue fuerte y percibido por toda la población que salieron a la calle. Se produjo fuerte vibración de ventanas, puertas y la percepción de ruido de fondo. Daños menores en viviendas y algunos edificios, además, de pequeñas fisuras en suelos inestables. Desplome de paredes de algunas viviendas, caída de bloques de techo falsos en oficinas.

Lunahuana, Chosica, Yangas, Ancón, Huacho (Intensidad V-MM): El movimiento intenso del suelo fue percibido por toda la población. Fuerte vibración de ventanas y puertas; además de fuerte ruido de fondo. La mayoría de población salió a las calles.

Ica, Pisco, Chincha, Matucana, Canta y Huaral (Intensidad IV-MM): El movimiento del suelo fue moderado y percibido por varias personas, vibración de ventanas y oscilación de objetos. Algunas personas salieron a la calle.

El sismo de Mala fue perceptible en un radio de 150 km desde el epicentro; es decir, desde la localidad de Huarney por el norte, Palpa por el sur y Tarma por el este, generando diferentes niveles de sacudimiento del suelo y reacciones de la población.

2.3-. Réplicas y orientación de la fuente sísmica

Según la Figura 2, el sismo de Mala fue seguido, en las primeras 96 horas, por un total de 19 réplicas, siendo la ocurrida el 23 de junio a horas 07h 02min (Hora Local), el de mayor magnitud (M4.8) y cuyo sacudimiento del suelo fue percibido en las localidades de Mala, Chilca y ciudad de Lima Metropolitana y Callao con intensidades de III (MM). En la Figura 6 se puede observar el sismograma de la estación sísmica de Guadalupe con el registro del sismo principal y de las réplicas ocurridas durante las primeras 10 horas.

En general, el tamaño de cada señal sugiere la variada magnitud de las réplicas.

Asimismo, en las Figuras 2 y 3 se observa que las réplicas se distribuyen espacialmente formando un área de ruptura de forma rectangular de 35 x 15 km, desde el epicentro del sismo hacia la línea de costa con orientación aproximada de este-oeste. Del mismo modo, según el mecanismo focal reportado por el USGS (2021), la ruptura se habría desarrollado debido a fuerzas compresivas (mecanismo focal inverso) debido al proceso de convergencia y fricción de las placas de Nazca y Sudamérica sobre un plano inclinado con un ángulo de 69° en dirección NE. Asimismo, según la USGS (2021) el momento sísmico es del orden de 7.547×10^{17} N-m, equivalente a una magnitud de M5.8.

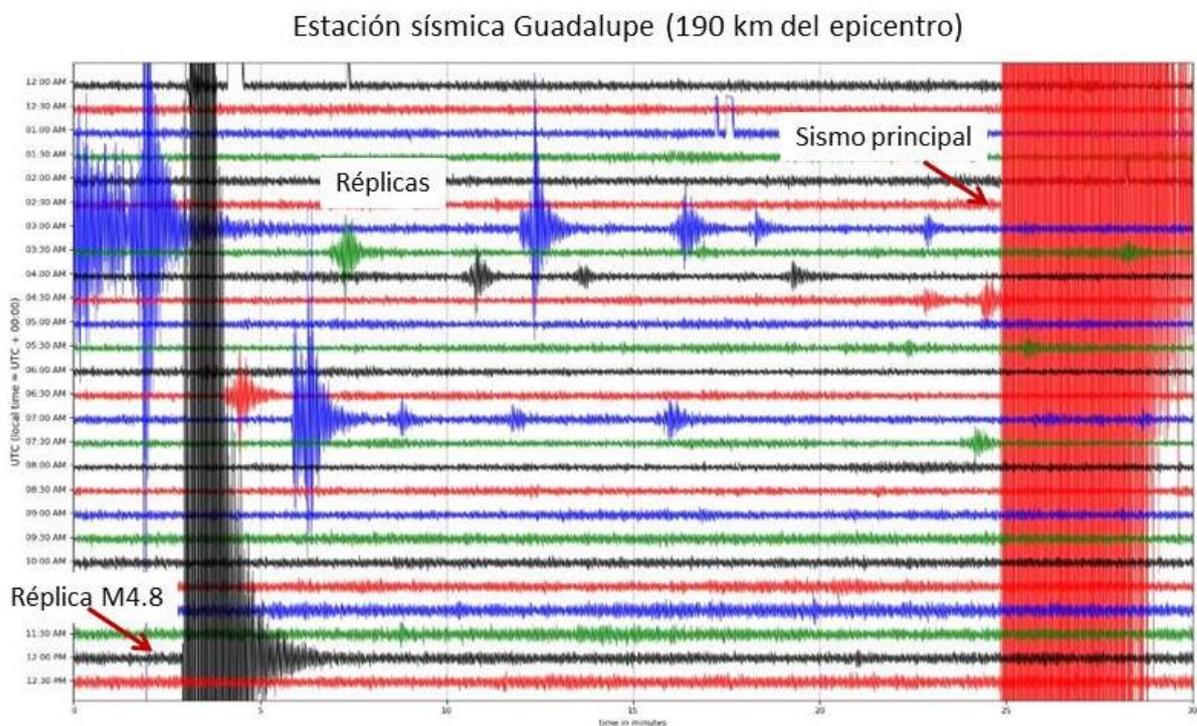


Figura 6.- Sismograma de la estación Guadalupe ubicada a una distancia de 190 km del epicentro del sismo de Mala. Se muestra el registro del sismo principal y de la serie de réplicas ocurridas en las primeras 10 horas después de ocurrido el evento principal.

3.- NIVELES DE SACUDIMIENTO DEL SUELO

El sismo de Mala del 22 de junio 2021 (M6.0), presento como característica que produjo diversos niveles de sacudimiento del suelo en las áreas urbanas ubicadas en el entorno del área epicentral, incluso en las ciudades de Lima y Callao, ubicadas a distancias medias de 80 a 90 km desde el epicentro del sismo. Antes de analizar los datos instrumentales, es necesario indicar que los niveles de sacudimiento del suelo, no solo dependen de las características del sismo (magnitud, dirección de programación de la ruptura, entre otros), sino también de la calidad de las construcciones y sobre todo, del comportamiento dinámico de los suelos al paso de las ondas sísmicas de acuerdo a su composición y propiedades físicas.

En la Figura 7, se presenta el mapa de distribución de suelos para la Lima y Callao elaborado por el Proyecto SIRAD (2011) y el CISMID (2005). Según esta información, los suelos del distrito de Villa el Salvador y parte de Chorrillos están compuestos por arenas eólicas con y sin agua, además de suelos de rellenos en donde, a la ocurrencia de un sismo, se esperaría que las ondas sísmicas se amplifiquen generando procesos de deslizamientos, asentamientos y licuación de suelos (áreas de color rojo y naranja). En similar situación estarían los suelos de la zona costera del distrito de Ventanilla y Callao. Las áreas de color amarillo consideran a los distritos cuyos suelos granulares finos y sueltos arcillosos sobre grava aluvial o coluvial, tendrían a la ocurrencia de un comportamiento dinámico moderado. Los suelos que responderían de manera adecuada se encuentran en las áreas de color verde y estarían compuestas por materiales compactos y en algunos lugares por roca.

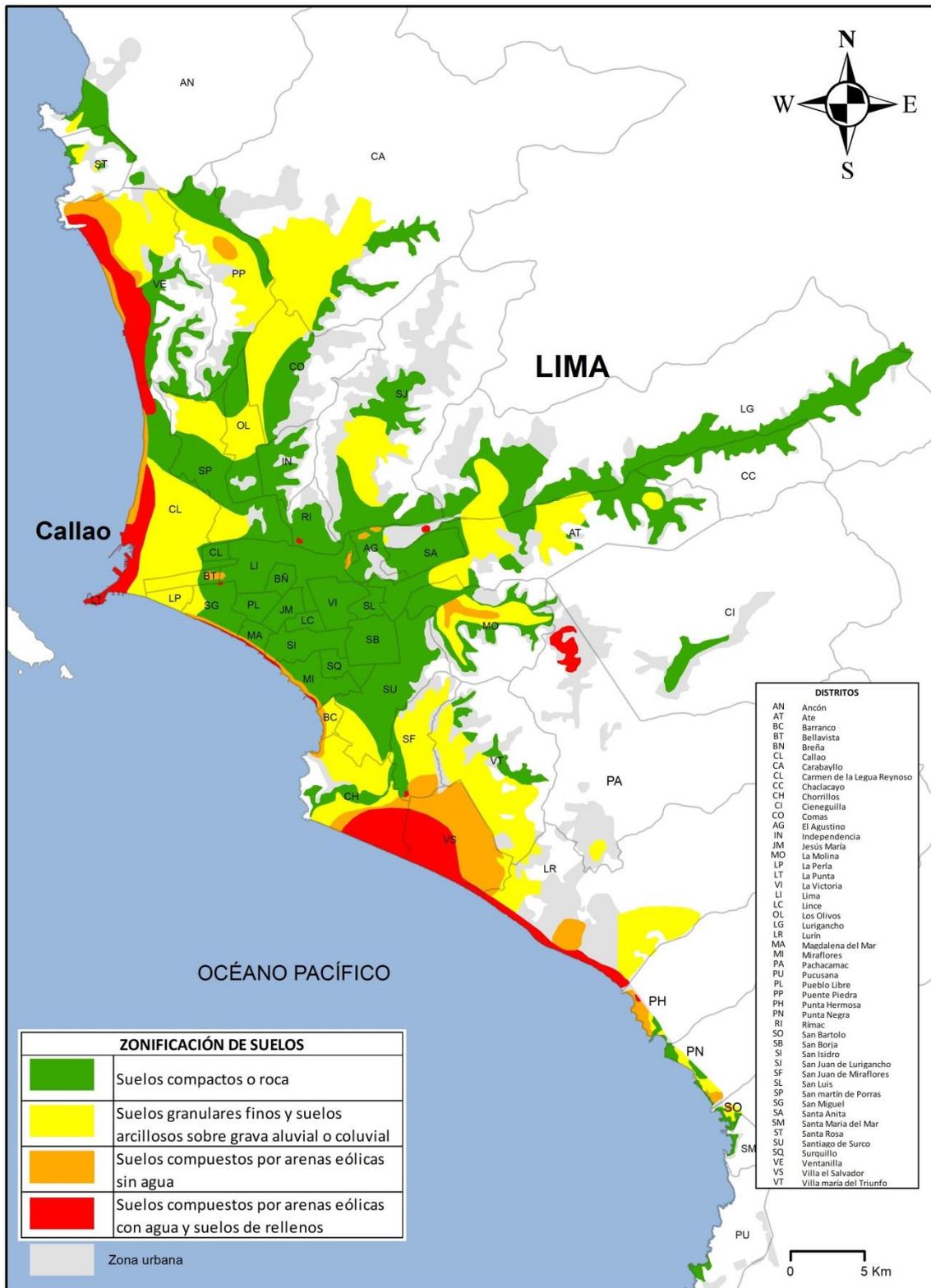


Figura7.- Mapa de zonificación geotécnica de suelos para Lima y Callao según el Proyecto SIRAD (2011) y CISMID (2005)

3.1.- Mapas de iso-aceleraciones

Durante la ocurrencia del sismo del 22 de junio 2021, el sacudimiento del suelo en la región Lima fue registrado por un número importante de estaciones acelerométricas y para elaborar el presente informe, se ha considerado datos de un total de 30 estaciones acelerométricas: 9 a cargo del Colegio de Ingenieros del Perú (CIP) y SENCICO; 13 a cargo de la UNICISMID y 18 de la Red Sísmica Nacional a cargo del IGP.

En las Figuras 8 y 9, se muestra los mapas de iso-aceleraciones correspondientes a las componentes horizontales registradas en cada estación acelerométrica; es decir, componente norte-sur (NS) y este-oeste (EO), siendo sus principales características las siguientes:

- **Componente Norte-Sur:** las mayores aceleraciones de registraron en la zona costera entre las localidades de Asia, Mala, Chilca, Punta Negra y el distrito de Villa El Salvador con valores entre 165 a 220 cm/seg^2 , siendo el mayor valor de aceleración registrado en las áreas urbanas de Maria del Mar, Punta Negra, Punta Hermosa. En Lima y el Callao, las aceleraciones registradas fueron entre 50 y 90 cm/seg^2 .
- **Componente Este-Oeste:** las mayores aceleraciones de registraron en la zona costera entre las localidades de Asia, Mala, Chilca, Punta Negra y el distrito de Villa El Salvador con valores entre 170 a 230 cm/seg^2 , siendo el mayor valor de aceleración registrado en las áreas urbanas de Villa El Salvador. En Lima y el Callao, las aceleraciones registradas fueron entre 40 y 70 cm/seg^2 .

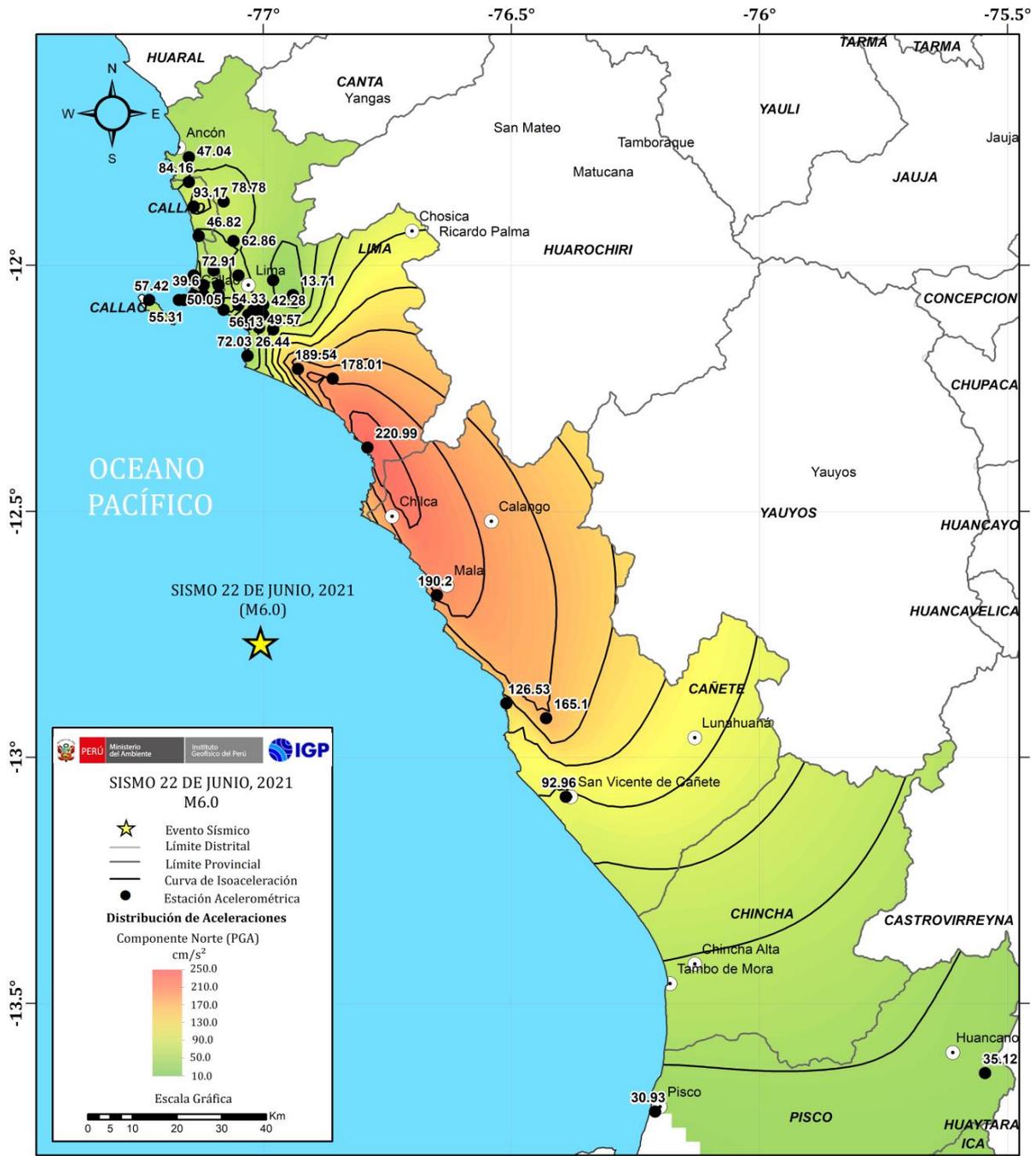


Figura 8.- Aceleraciones registradas en la componente norte-sur debido al sismo de Mala del 22 de abril 2021 (ver Figura 2)

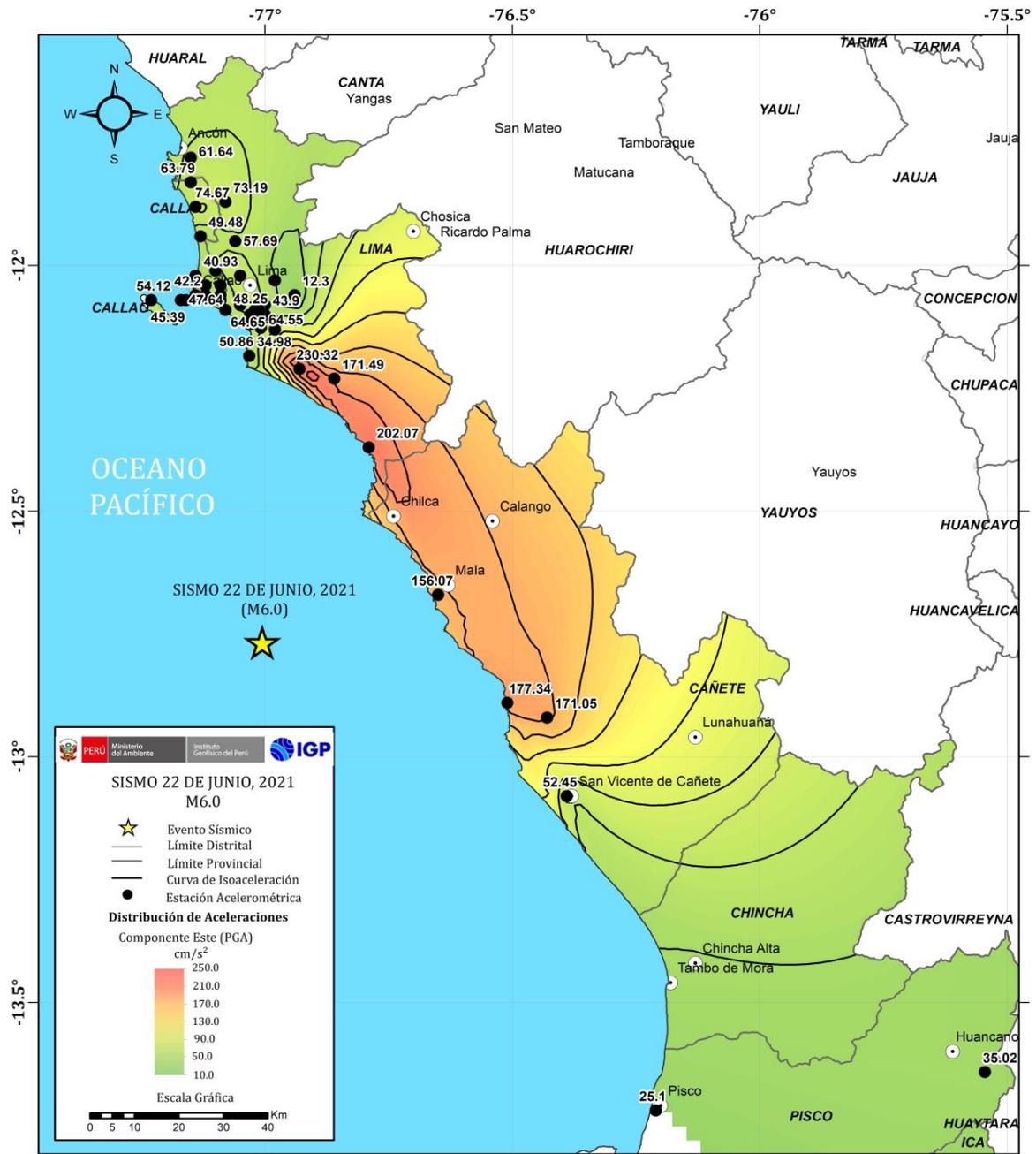


Figura 9.- Aceleraciones registradas en la componente este-oeste debido al sismo de Mala del 22 de junio 2021 (ver Figura 2)

En general, los niveles de sacudimiento del suelo producidos por el sismo de Mala del 22 de junio 2021 (M6.0) en la región Lima (desde Cañete hasta Ancón) fueron muy variados y ellos dependieron de la calidad de los suelos sobre los cuales se encuentran las áreas urbanas. Esta variada percepción del sacudimiento del suelo se refleja en los diferentes valores de aceleración registrados en las estaciones acelerométricas distribuidas en la región Lima, lo cual debe ser ampliamente aprovechado por la ingeniería para un mejor conocimiento del comportamiento dinámico de los suelos.

Por otro lado, según reportes de INDECI y diversos medios de comunicación, los daños y efectos producidos por el sacudimiento del suelo en Lima Metropolitana y El Callao debido al sismo de Mala, fueron muy puntuales y entre los principales se pueden mencionar la caída de piedras en carreteras, fisuras en suelos blandos, desplome de paredes y daños parciales en viviendas, así como la caída de techos falsos en oficinas y de objetos en supermercados (Figura 10). En la provincia de Cañete, se presentaron deslizamientos de piedras en carreteras y daños parciales en algunas viviendas de adobe.



Figura 10.- Algunos de los daños y efectos producidos en Lima Metropolitana debido al sacudimiento del suelo producido por el sismo de Mala del 22 de junio, 2021 (Fuente: publicaciones realizadas por diversos medios de comunicación)

CONCLUSIONES

- El 22 de junio ocurre un sismo de magnitud M6.0 con epicentro a 33 km al sur-oeste de la localidad de Mala. Este sismo sacudió los suelos de la región Lima en un radio de 150 km, llegando a generarse diversos daños y efectos menores en viviendas y suelos.
- El sismo de Mala fue seguido en sus primeras 96 horas, por un total de 19 réplicas y cuya distribución espacial sugieren un área de ruptura de forma rectangular perpendicular a la línea de costa con las siguientes dimensiones: 35x15 km.
- Entre las localidades de Cañete hasta Ancón, el sacudimiento del suelo producido por el sismo de Mala fue variado y ello se refleja en los diversos valores de aceleración registrados en una red de estaciones acelerométricas distribuidas en la región Lima (CIP-SENCICO, CISMID, IGP). Los valores de aceleración fueron mayores en las componentes horizontales registrados en las localidades de Asia, Mala, Chilca, Punta Negra y en el distrito de Villa El Salvador: 165 a 230 cm/seg².
- Los daños y efectos producidos por el sismo de Mala en la región Lima fueron muy variados y puntuales, siendo los principales la caída de piedras de áreas de pendiente alta, fisuras en suelos blandos, colapso de paredes y daños parciales en viviendas de adobe y en algunos edificios; además de caída de techos falsos en oficinas y caída de objetos en supermercados.

BIBLIOGRAFIA

- Bernal, I. y Tavera, H (2002). Geodinámica, Sismicidad y Energía Sísmica en Perú. Monografía, IGP, Lima-Perú, 63 pp.
- Cahill, T. and B. Isacks (1992). Seismicity and shape of the subducted Nazca plate. JGR, <https://doi.org/10.1029/92JB00493>
- CIP-SENCICO (2021). Sismo de Chilca, Cañete - Lima del 19 de abril del 2021. Informe preliminar, 138 pag.
- CISMID (2021) Acelerogramas del Sismo de Chilca, Cañete – Lima del 19 de abril del 2021. 32 pag.
- CISMID (2005). Estudio de vulnerabilidad y riesgo sísmico en 42 distritos de Lima y Callao, APESEG.
- De Mets, C., Gordon, R., Aarhus, A., y Stein, S. (1980). Current plate motions. Geophys. J. Int., 101, 425-478.
- INDECI (2021). Movimiento sísmico de magnitud 5.0 en el distrito de Chilca – Lima. Reporte Complementario N°2211-21/4/2021 COEN-INDECI
- Norabuena, E., Dixon, T., Stein S. y Harrison, C. (1999). Decelerating Nazca – South America and Nazca-Pacific plate motions. Geophys. Res. Lett. 26, 3405-3408.
- SIRAD (2011). Recursos de respuesta inmediata y recuperación temprana ante a ocurrencia de un sismo y/o tsunami en Lima Metropolitana y Callao. COOPI – IRD.
- Stauder, W. (1975). Subduction of the Nazca Plate under Peru as evidenced by focal mechanisms and by seismicity. JGR, <https://doi.org/10.1029/JB080i008p01053>
- Tavera, H. y Buforn, E. (2001). Source mechanism of earthquakes in Perú. Journal of Seismology, 5, 519-540.

