

# Sismotectónica del sismo de Arequipa del 16 de diciembre de 2020 (M5.5)

Informe Técnico N.º 006-2020/IGP



**Instituto Geofísico del Perú**

Presidente Ejecutivo: Hernando Tavera

Director Científico: Danny Scipión

**Informe Técnico**

Sismotectónica del sismo de Arequipa del 16 de diciembre, 2020 (M5.5)

**Autor**

Hernando Tavera

Este informe ha sido producido por el Instituto Geofísico del Perú  
Calle Badajoz 169 Mayorazgo  
Teléfono: 51-1-3172300

**SISMOTECTÓNICA DEL SISMO DE AREQUIPA  
DEL 16 DE DICIEMBRE, 2020 (M5.5)**

## **INDICE**

### **1.- INTRODUCCIÓN**

### **2.- EL SISMO DE AREQUIPA DEL 16 DE DICIEMBRE, 2020**

#### **2.1.- Parámetros hipocentrales**

#### **2.2.- Intensidades**

### **3.- INTERPRETACIÓN SISMOTECTÓNICA**

### **CONCLUSIONES**

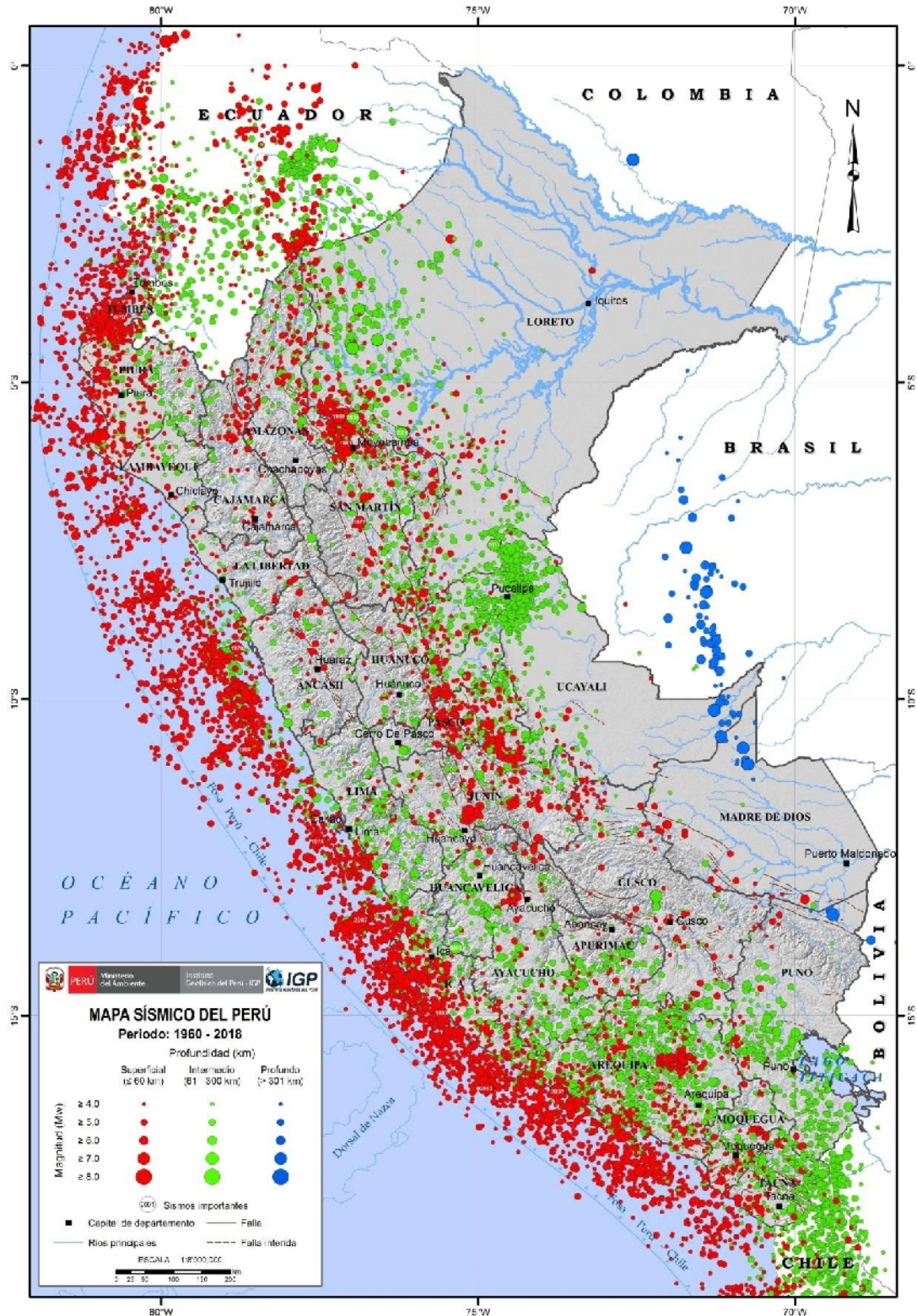
### **Bibliografía**

## **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 con 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 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 magnitud mayor a M7.0, son menos frecuentes y cuando ocurren cerca de la superficie, debido a la fricción de placas, producen importantes daños 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). A niveles más profundos, estos sismos pocas veces producen daños en razón que la energía emitida se atenúa rápidamente antes de llegar a la superficie.

Los sismos con origen en los procesos de deformación de la corteza a niveles superficiales son menos frecuentes, pero cuando ocurren, producen daños de consideración en áreas relativamente pequeñas, por ejemplo los sismos del Alto Mayo (San Martín) del 30 de Mayo de 1990 y 5 de Abril de



**Figura 1.-** Mapa Sísmico del Perú para el periodo 1960 y 2018. 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.

1991, ambos con magnitudes de M6.0. 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.

En la región sur del Perú, el día 16 de diciembre del 2020 ocurre un sismo de magnitud moderada (M5.5) y epicentro ubicado a 44 km SO de la ciudad de Arequipa (región Arequipa). El sismo ocurrió a una profundidad de 93 km (foco intermedio) y en general, presentó un área de percepción con radio desde el epicentro, del orden de 250 km, siendo mayor su intensidad en la ciudad de Arequipa y alrededores. En este informe se presenta los parámetros hipocentrales del sismo, intensidades evaluadas, réplicas, orientación de la fuente y su respectiva interpretación sismotectónica.

## 2.- EL SISMO DE AREQUIPA DEL 16 DE DICIEMBRE, 2020

En la región sur del Perú, el día 16 de diciembre del 2020 ocurre un sismo de magnitud moderada (M5.5) que produjo importantes niveles de sacudimiento del suelo en la ciudad de Arequipa y alrededores, escenario que genero mayor preocupación en la población por la inusual relación que pudiera existir entre la magnitud del sismo y el sacudimiento del suelo. El análisis de los parámetros hipocentrales del sismo y su interpretación sismotectónica permitirán comprender la génesis y desarrollo de este evento sísmico, considerado por la población como el sismo de mayor intensidad ocurrido durante el año 2020 en la región sur del Perú.

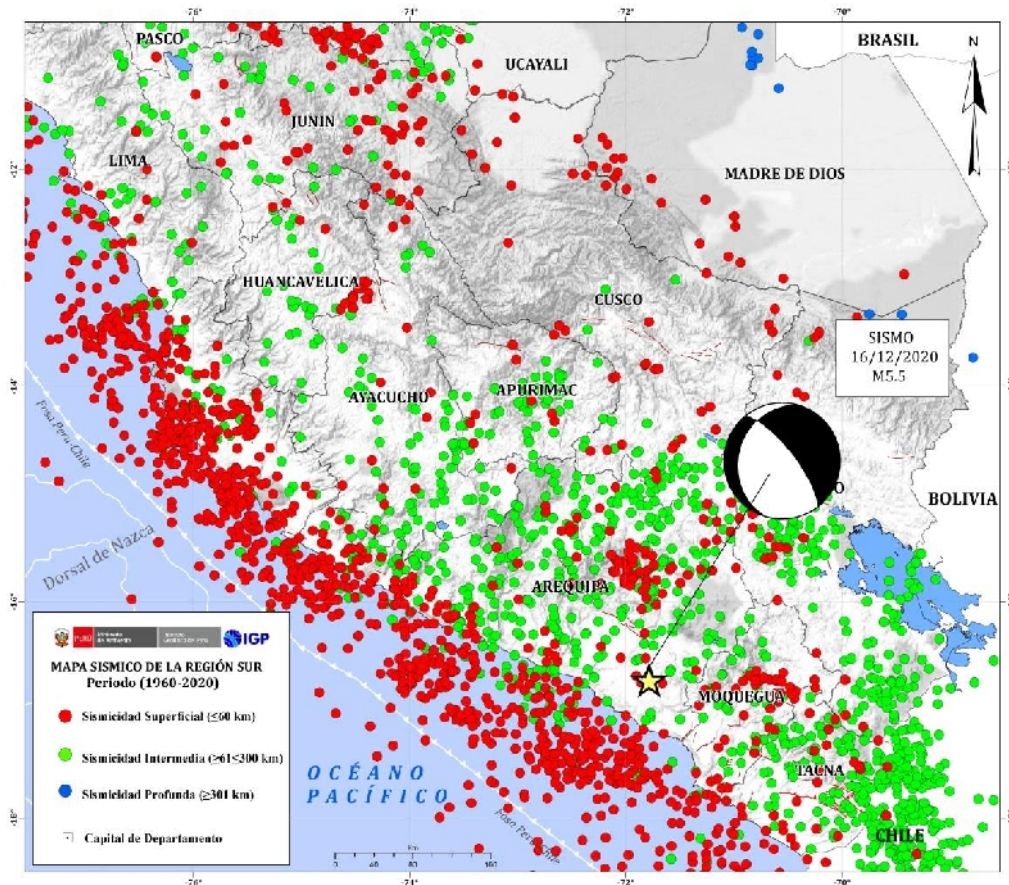
### 2.1.- Parámetros hipocentrales

Los parámetros hipocentrales del sismo del 16 de diciembre del 2020 fueron obtenidos utilizando información de las estaciones sísmicas que integran la Red Sísmica Nacional (RSN) y los valores obtenidos son (Figura 2):

Tiempo Origen:	17h 48 min del 16 de diciembre, 2020 (Hora Universal) 12h 48 min del día 16 de diciembre, 2020 (Hora Local)
Latitud Sur:	-16.722°
Longitud Oeste:	-71.783°
Profundidad:	93 km
Magnitud:	M5.5
Epicentro:	A 44 km al SO de la ciudad de Arequipa
Intensidad Máxima:	VI (MM) en Arequipa, Vitor y La Joya
Momento Sísmico:	3.3 E+25 dina-cm (CMT-Harvard)

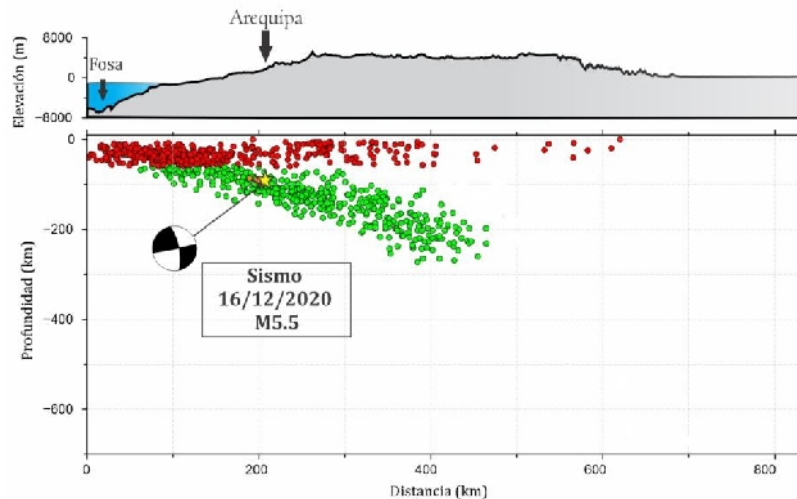
En la Figura 2 se presenta la ubicación del epicentro del sismo de Arequipa junto a los epicentros correspondientes a los sismos ocurridos en la región sur del Perú entre los años 1960 al 2020 (>M4.5). De acuerdo a

la ubicación del epicentro, el sismo ocurrió en una zona de continua ocurrencia de sismos de profundidad intermedia (círculos verdes). En profundidad, el foco del sismo de Arequipa sigue el patrón de sismicidad definido para esta región; es decir, la sismicidad sigue una tendencia en profundidad con un ángulo del orden de  $30^\circ$  hasta una profundidad de 300 km, tal como se muestra en la Figura 3.



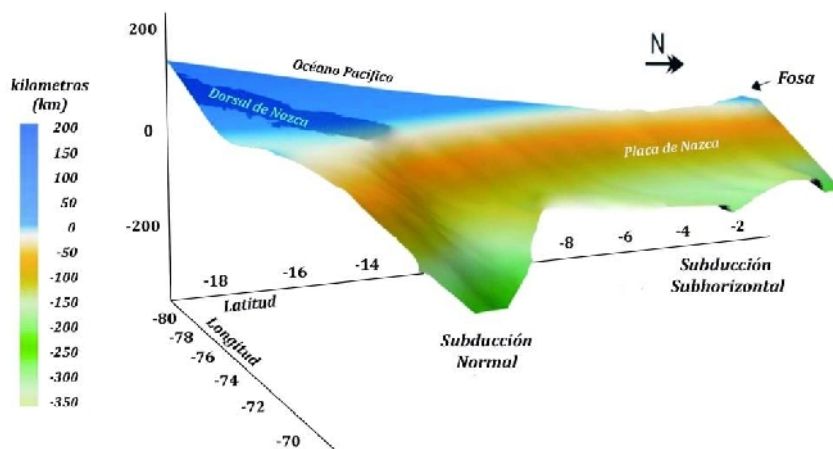
**Figura 2.-** Distribución espacial de la sismicidad en la región sur del Perú. La profundidad de los sismos es indicado con el color de los símbolos. La estrella indica la ubicación del sismo de Arequipa del 16 de diciembre del 2020. La esfera indica el mecanismo focal que define el proceso de ruptura en la fuente y en esta caso corresponde a un proceso de deformación por extensión en dirección E-O aproximadamente

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 ocurren 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 sur del Perú y ubicación del sismo de Arequipa del 16 de diciembre, 2020. La esfera indica el mecanismo focal e indica el desarrollo de un proceso de deformación por extensión.

En general, la distribución espacial de la sismicidad ha permitido configurar la geometría de la placa de Nazca en el proceso de la 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 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. Debido a la subducción normal, en la región sur se tiene la presencia de cadenas volcánicas.

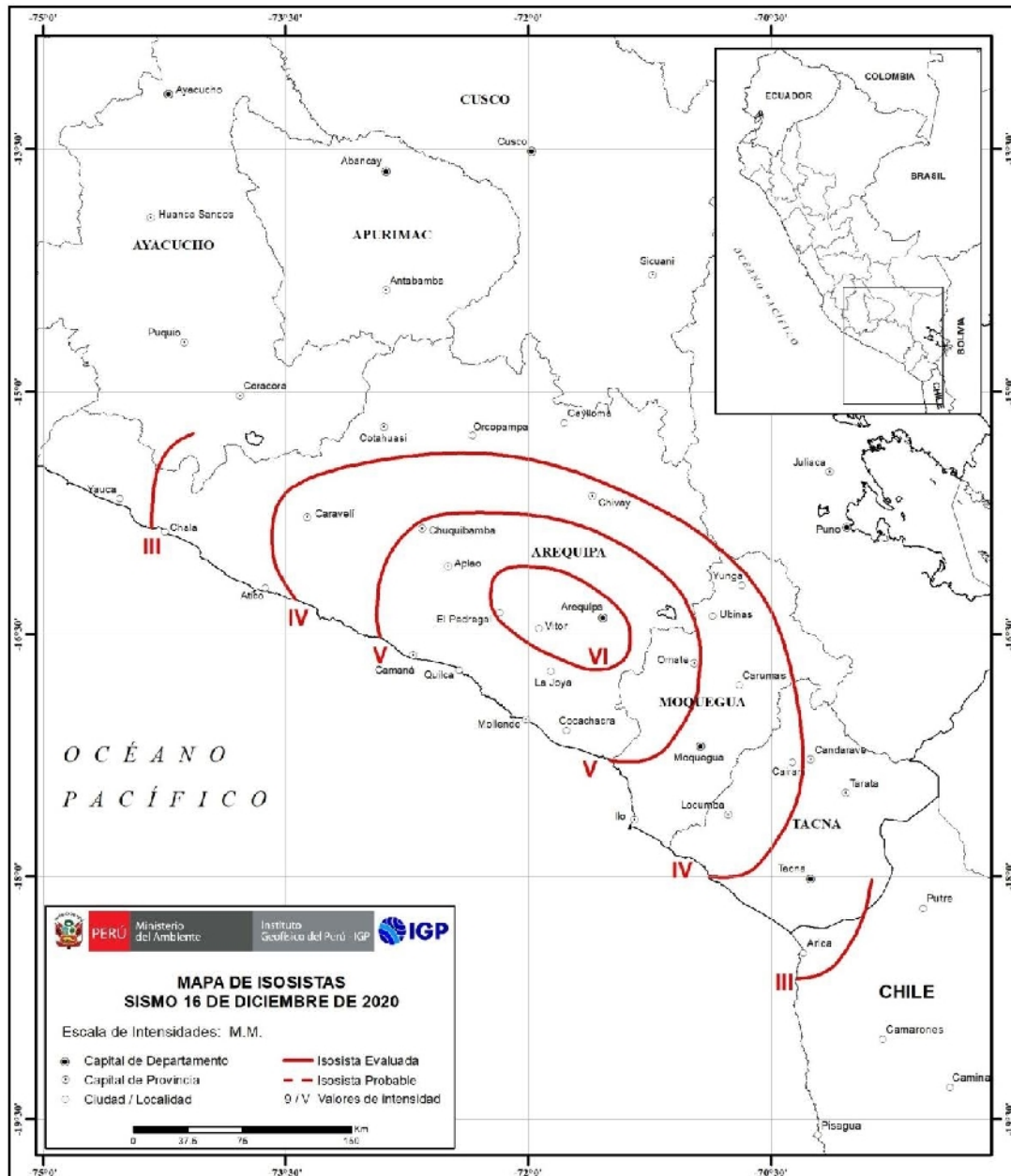
## 2.2.- Intensidades

Después de ocurrido el sismo de Arequipa, se realizó la evaluación de los efectos, daños y radio de percepción en todo el territorio peruano. Las evaluaciones fueron realizadas por el personal del Centro Nacional de Sismología (CENSIS) 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):

*Arequipa, Vitor y Siguas (Intensidad VI-MM):* El sacudimiento del suelo fue rápido e intenso, siendo percibido y causando pánico en toda la población. En la ciudad de Arequipa se produjo en diversos edificios el colapso de elementos no estructurales como cielos rasos, armarios empotrados en instalaciones interiores, desprendimiento de la capa de tarrajeo, y en menor medida rajaduras en el estuque y juntas de separación. Muchos pobladores reportan colapso de maceteros, objetos de estantería, y piezas de ornamento doméstico. Se produjo deslizamientos de piedras y tierra en los cerros presentes en los alrededores de la ciudad. En Vitor y Siguas, se produjeron derrumbes en la Panamericana Sur, en varias quebradas del valle de Vitor y otros distritos de la ciudad de Arequipa.

*Camaná, Aplao, Omate, Mollendo, Punta de Bombón Ilo (Intensidad V-MM):* El movimiento del suelo fue fuerte y percibido por casi todas las personas, muchos salieron a las calles con temor, fuerte vibración de ventanas y puertas con la caída de objetos inestables. Deslizamientos en varias vías de carretera que une a las localidades evaluadas.

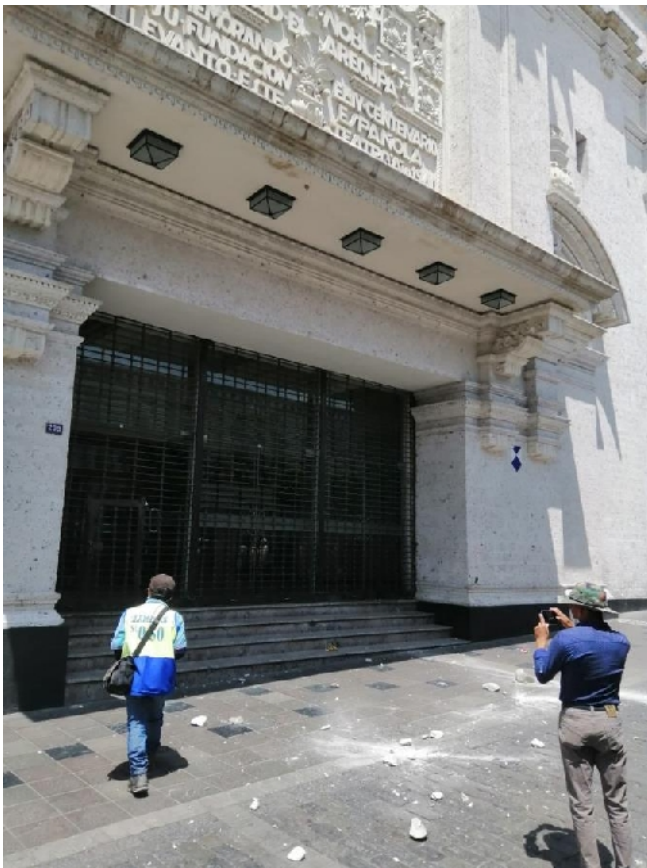
*Ocoña, Caraveli, Pampacolca, Moquegua, Ilabaya, Locumba (Intensidad IV-MM):* El movimiento de los suelos es percibido por la población con moderada intensidad. Se produjeron oscilaciones en los árboles, postes y caída de algunos objetos inestables dentro de las viviendas.



**Figura 5.-** Mapa de intensidades en la escala Mercalli Modificada para el sismo de Arequipa del 16 de diciembre del 2020

El sismo de Arequipa fue perceptible hasta distancias, desde el epicentro, del orden de 250 km, tal como ocurrió en las ciudades de Tacna por el sur y Chala por el norte. Según informes de INDECI y de medios de comunicación, los mayores daños se produjeron en edificios/viviendas con el desprendimiento de techos en cielo raso, caída de estuques y desplazamientos en juntas de separación en paredes (Figura 6). Asimismo, el reporte de un gran número de deslizamientos de piedras y

tierra en el entorno de la ciudad de Arequipa y distrito de Vitor, no produjeron daños importantes a la población (Figura 7).



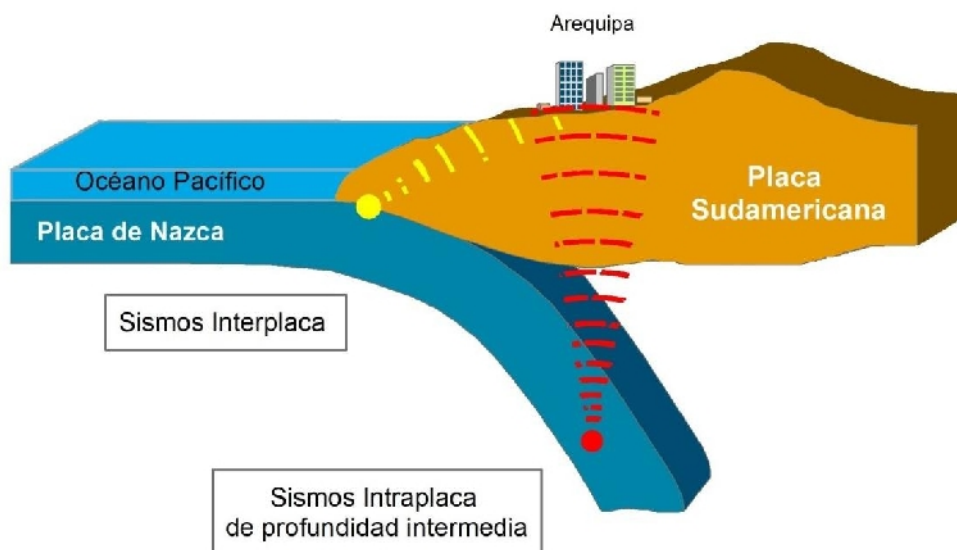
**Figura 6.-** Efectos del sismo de Arequipa del 16 de diciembre, 2020: caída de techos de tipo cielo raso, desprendimientos de estuques y desplazamientos en juntas de paredes (Fuente: redes sociales).



**Figura 7.-** Imágenes de deslizamientos producidos en las faldas del volcán Misti, distritos de Arequipa y en vías de carretera (Fuente: redes sociales)

### 3.- INTERPRETACIÓN SISMOTECTÓNICA

El sismo de Arequipa del 16 de diciembre de 2020, presentó dos características importantes: la ubicación de su epicentro a una distancia de 44 km al SO de la ciudad de Arequipa y el haber ocurrido a una profundidad de 93 km; es decir, casi por debajo de la ciudad de Arequipa. Según la Figura 8, los sismos con origen en la superficie de fricción de las placas de Nazca y Sudamericana (sismos interplaca), presentan sus epicentros en el mar, ocurren hasta una profundidad promedio de 60 km y son producto de esfuerzo de compresión que movilizan ambas placas en sentido contrario. Contrariamente, los sismos que ocurren a mayor profundidad, tiene como origen la deformación interna de la placa de Nazca por debajo del continente como producto de los esfuerzos tensionales que arrastran a la placa hacia el interior de la tierra (sismos intraplaca)



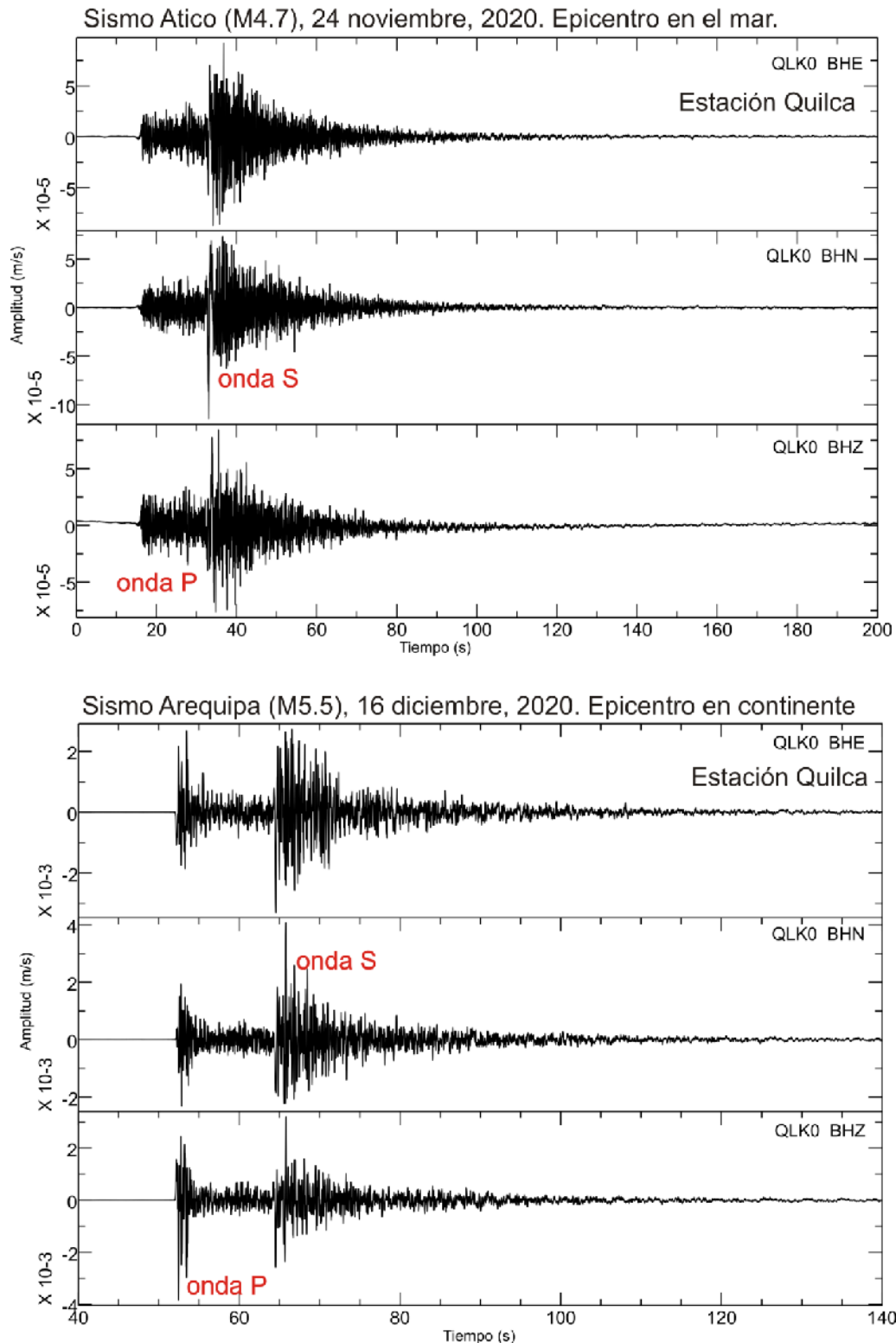
**Figura 8.-** Esquema que muestra el proceso de convergencia de placas y la fuente de origen de los sismos interplaca e intraplaca. El sismo de Arequipa del 16 de diciembre de 2020 es del tipo intraplaca.

El sismo de Arequipa del 16 de diciembre, es un evento de tipo intraplaca y la energía en forma de ondas sísmicas liberada por el sismo golpearon de manera casi vertical a los suelos de la ciudad de Arequipa generando altos niveles de sacudimiento que suelen dar la impresión de

tratarse de un sismo de gran magnitud. Lo indicado puede ser fácilmente comprensible al analizar los registros sísmicos en una misma estación correspondientes a un sismo de origen interplaca (epicentro en el mar) con el sismo de Arequipa (sismo intraplaca) con epicentro en continente. En la Figura 9 se observa dos registros sísmicos de la estación Quilca (QLK), el primero corresponde al sismo de Atico del 24 de noviembre del 2020, magnitud  $M4.7$ , profundidad de 28 km y epicentro ubicado a 13 al SO de la localidad de Atico y el segundo, al sismo de Arequipa del 16 de diciembre de 2020.

En ambos registros de la Figura 9, se observa claramente los grupos de las ondas P y S; pero para el sismo de Atico el grupo de la onda P es emergente y solo el tren de ondas S es la presenta mayores amplitudes y probablemente a su llegada al área urbana de Atico, generó el sacudimiento del suelo. En el caso del registro del sismo de Arequipa, véase que el tren de ondas P presenta las mayores amplitudes y son las causantes de los altos niveles de sacudimiento del suelo en la ciudad de Arequipa y alrededores. Este modo particular del registro de las ondas sísmicas es típico de sismos que ocurren a profundidades intermedias y que además, son las causantes que el sacudimiento del suelo sea percibido a distancias muy grandes.

Asimismo, es importante indicar que sismos con origen en la deformación interna de la placa de Nazca a profundidades de 93, lejos de la superficie e contacto o fricción de placas, no contribuyen a liberar la energía acumulada en la zona de acoplamiento máximo ubicada frente a las costas de las regiones de Moquegua y Tacna (Tavera, 2020; Villegas et al, 2016). En esta zona, se espera ocurra un sismo con magnitudes del orden de  $M8.0$  que afectaría a toda la región sur del Perú y norte de Chile.



**Figura 9.-** Registros de los sismos de Atico (M4.7) y Arequipa (M5.5) ocurridos el presente año. Para el sismo de Atico observar que las amplitudes del grupo de la onda P es emergente; mientras, que para el sismo de Arequipa son muy impulsivas y producen en supervise altos niveles de sacudimiento del suelo. (BHZ, componente vertical; BHN, componente N-S; BHE, componente E-O).

## **CONCLUSIONES**

El sismo de Arequipa del 16 de diciembre, 2020 (M5.5), presentó su epicentro a 44 km al SO de la ciudad de Arequipa y ocurrió a una profundidad de 93 km; por lo tanto, es un típico evento sísmico intraplaca.

Debido a la profundidad de su foco sísmico, en superficie se registraron altos niveles de sacudimiento del suelo que produjeron daños parciales en estructuras como la caída de revestimientos y desplazamientos en juntas de paredes. Asimismo, en los alrededores de la ciudad de Arequipa y distrito de Vitor se produjeron un gran número de deslizamientos de tierra y piedras en áreas de pendiente alta.

El sismo de Arequipa presentó un radio de percepción del sacudimiento del suelo del orden de 250 km, sin causar daños y efectos en la población.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al personal del Centro Sismológico Nacional (CENSIS), Ings. Ernesto Febres, Gianfranco Taco. A los ingenieros del grupo de sismología por recolectar información sobre los daños producidos por el sismo de Arequipa en la región sur del Perú. A los Ings. Estela Centeno y Ruben Castro por su apoyo en la elaboración de figuras consideradas en este informe.

## 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>
- De Mets, C., Gordon, R., Aarhus, A., y Stein, S. (1980). Current plate motions. Geophys. J. Int., 101, 425-478.
- 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.
- 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. (2020). Análisis y evaluación de los patrones de sismicidad y escenarios sísmicos en el borde occidental del Perú, Instituto Geofísico del Perú, Informe técnico N°004-2020/IGP.
- Tavera, H. y Buforn, E. (2001). Source mechanism of earthquakes in Perú. Journal of Seismology, 5, 519-540.
- Villegas-Lanza, J.C., Chlieh, M., Cavalie, O., Tavera, H., Baby, P., Chire-Chira, J. and J-M. Nocquet (2016). Active tectonic of Peru: Heterogeneous interseismic coupling along the Nazca megathrust, rigid motion of the Peruvian Sliver, and Subndean shortening accommodation. J. Geophys. Res. Solid Earth, 121, doi:10.1002/2016JB013080.