

Sismicidad y tectónica de la región central del Perú: Nido de Pucallpa

Seismicity and Tectonics of central Peru: The Pucallpa Nest

Estela Juana Centeno Moncada ^{1,b}, Hernando Jhonny Tavera Huarache ^{1,a}

Recibido: 20/06/2023 - Aprobado: 29/09/2023 – Publicado: 15/12/2023

RESUMEN

Se analiza la distribución espacial de la actividad sísmica y tectónica de la zona centro del territorio peruano usando una base de datos sísmicos del Instituto Geofísico del Perú (IGP), periodo 2015-2022 ($M \geq 4.5$), para proponer un esquema tridimensional para la placa de Nazca dentro del proceso de subducción. Los resultados muestran que, en el área central del territorio peruano, la placa de Nazca subduce con un ángulo aproximado de 28° - 30° hasta alcanzar una profundidad de 120 km. Posteriormente, continúa con una subducción de manera subhorizontal comprendiendo una distancia de 700 km. Sin embargo, bajo la ciudad de Pucallpa, la placa de Nazca desarrolla un proceso de resubducción con una pendiente aproximada de 28° hasta profundidades de 200 km. La distribución de los ejes de esfuerzo P y T muestran el proceso de convergencia de placas frente a la zona costera y la deformación interna de la placa de Nazca por debajo del continente. A la altura de la ciudad de Pucallpa, el incremento de sismicidad de foco intermedio y a profundidades entre 120 y 200 km, define un área conocida como Nido de Pucallpa.

Palabras claves: Esfuerzos, placa de Nazca, sismicidad, subducción, tectónica.

ABSTRACT

The spatial distribution of seismic and tectonic activity in the central area of the Peruvian territory is analyzed using a seismic database of the Geophysical Institute of Peru (IGP), period 2015-2022 ($M \geq 4.5$), to propose a three-dimensional scheme for the Nazca plate within the subduction process. The results show that, in central area of Peruvian territory, the Nazca plate subducts with an approximate angle of 28° - 30° until reaching a depth of 120 km. Subsequently, it continues with a subhorizontal subduction for a distance of 700 km. However, under the city of Pucallpa, the Nazca plate develops a resubduction process with an approximate slope of 28° to depths of 200 km. The distribution of the stress axes P and T show the process of plate convergence in front of the coastal zone and the internal deformation of the Nazca plate below the continent. At the height of the city of Pucallpa, the increase of seismicity of intermediate focus and at depths between 120 and 200 km, defines an area known as Pucallpa Nest.

Keywords: Stresses, Nazca Plate, Seismicity, Subduction, Tectonics.

1. Instituto Geofísico del Perú. Lima, Perú.

a. Autor para correspondencia: estela.centeno@unmsm.edu.pe - ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0364-2899>

b. E-mail: htavera@igp.gob.pe - ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0893-3222>

I. INTRODUCCIÓN

Perú se destaca por tener una de las tasas más elevadas de actividad sísmica en Sudamérica. Una de sus principales fuentes generadoras es el proceso de subducción, donde la placa de Nazca (litosfera oceánica) se sumerge bajo la placa Sudamericana (litosfera continental) con una velocidad promedio de 6-7 cm por año (Norabuena et al., 1998; Villegas et al., 2016). La colisión entre ambas placas permitió la formación de la cordillera en el Perú y su tectónica activa ha dado origen a grandes unidades estructurales como la zona Costera, la cordillera Occidental, cordillera Oriental, y la zona Subandina, estas estructuras generan un alto índice de sismicidad (Jordan et al., 1983; Dalmayrac et al., 1987, Tavera y Buforn, 1998). Otra fuente importante que genera la sismicidad en el territorio peruano proviene de la deformación superficial de la corteza continental dando origen a diversos sistemas de fallas tectónicas presentes a lo largo de la cordillera andina, registrando eventos sísmicos que suelen ser menores en magnitud y ocurren con una frecuencia significativa. Por último, se tiene la fuente sísmica que se origina por la deformación interna de la placa de oceánica por bajo la corteza continental (Stauder, 1975; Barazangi y Isacks, 1976, Rodríguez y Tavera, 1991; Tavera y Buforn, 1998).

En el área central del territorio peruano, la actividad sísmica se caracteriza por tener variadas magnitudes y profundidades. Es objeto de múltiples investigaciones usando registros telesísmicos y regionales. Estos estudios han sido realizados por diversos investigadores como Stauder (1975); Barazangi y Isacks (1979); Hasegawa y Sacks (1981); Schneider y Sacks (1987), Rodríguez y Tavera (1991); Cahill y Isacks (1992); Tavera y Buforn (2001) y Vila (2014). Según estos estudios, la zona central del Perú, la placa de Nazca subduciría con una pendiente de 30° alcanzando profundidades de 120 km. Posteriormente, la placa oceánica continua de manera casi horizontal alcanzando distancias de 750 km a partir de la fosa Perú – Chile.

El objetivo de esta investigación es proponer un esquema tridimensional (3D) para la geometría de la placa de Nazca en la zona centro del territorio peruano, a través del análisis detallado de la distribución espacial de la sismicidad y tectónica de la zona centro del Perú, usando una base de datos sísmicos del Instituto Geofísico del Perú y la base de datos de mecanismos focales del proyecto Global Centroid Moment Tensor (CMT) de la Universidad de Harvard.

II. MÉTODOS

Se utilizó un diseño de investigación cualitativa; tipo no experimental, transeccional correlacional.

2.1 Metodología

Para analizar la distribución espacial de la actividad sísmica de la zona centro del territorio peruano se ha seguido la siguiente secuencia:

Se hace uso de la base de datos sísmicos del Instituto Geofísico del Perú (IGP), que comprende los años 2015 al

2022 ($\geq M 4.5$). Esta base de datos considera los sismos asociados al proceso de subducción de la placa de Nazca bajo el continente y está compuesta por: sismos de profundidad superficial ($h \leq 60$ km) e intermedia ($61 < h \leq 300$ km). No se hace uso de datos asociados a fallas activas presentes en el interior del continente.

Se elaboran perfiles sísmicos perpendiculares a la fosa Perú – Chile (Figura 1) a fin de analizar la distribución espacial de la actividad sísmica y luego ajustar su tendencia media usando ajuste un polinomial de grado 4.

Se plantea un esquema tridimensional para la geometría de la placa de Nazca en la región centro del territorio peruano dentro del proceso de la subducción.

Se emplean los datos de los mecanismos focales del Catálogo Global Centroid Moment Tensor (CMT) de la Universidad de Harvard (periodo 2015-2022) para analizar la distribución de los esfuerzos en la zona central del territorio peruano, asociados al proceso de convergencia de la placa oceánica (Nazca) bajo la placa continental (Sudamericana).

III. RESULTADOS

3.1 Distribución de la sismicidad en profundidad

De acuerdo con la Figura 1, en la región central del Perú ocurren sismos con foco superficial distribuidos desde la línea de costa hasta la fosa, todos tienen como fuente generadora el contacto de las placas de Nazca y Sudamericana; mientras que, los sismos de foco intermedio, se extienden sobre todo al área de estudio casi de manera homogénea y tendrían su origen en la deformación interna que ocurre en la placa de Nazca mientras se traslada debajo del continente. Alrededor de la localidad de Pucallpa se distingue una agrupación de eventos sísmicos de foco intermedio, que da origen al denominado Nido de Pucallpa. Aquí los sismos alcanzan profundidades de hasta 200 km.

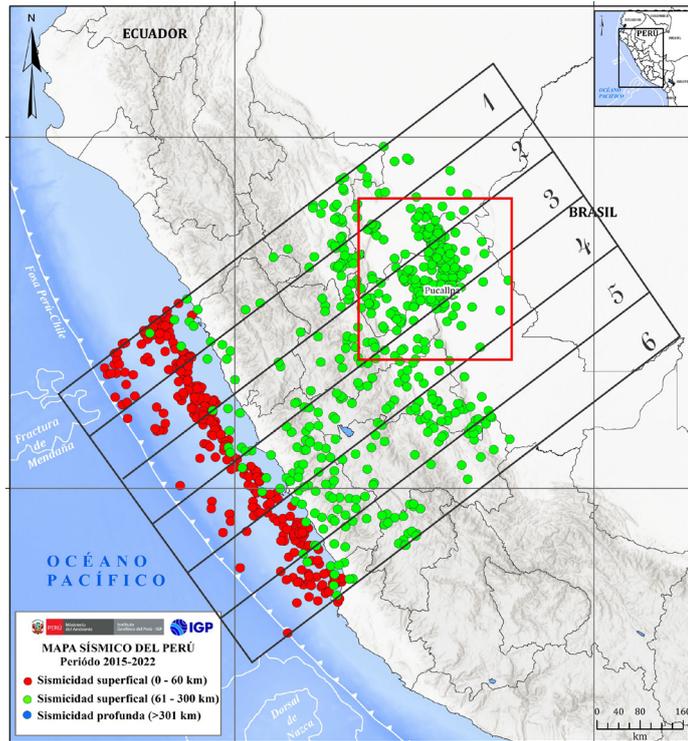
A fin de analizar la distribución de los sismos en profundidad, se han construido seis perfiles perpendiculares a la fosa Perú – Chile (Figura 2) y sus características son descritas a continuación:

Perfil sísmico 1: los sismos desde la fosa siguen una alineación en dirección NE con un ángulo de inclinación de 28° - 30°, hasta alcanzar la profundidad de 120 km, para luego continuar su distribución, a la misma profundidad, hasta distancias de 850 km.

Perfiles sísmicos 2,3,4: los sismos siguen la misma tendencia indicada anteriormente, pero a la distancia de 750 km, a partir de la fosa peruano-chilena; los sismos incrementan su profundidad y distribución sobre una aparente alineación con un ángulo de 28° hasta 200 km. Esta característica permite definir el Nido de Pucallpa.

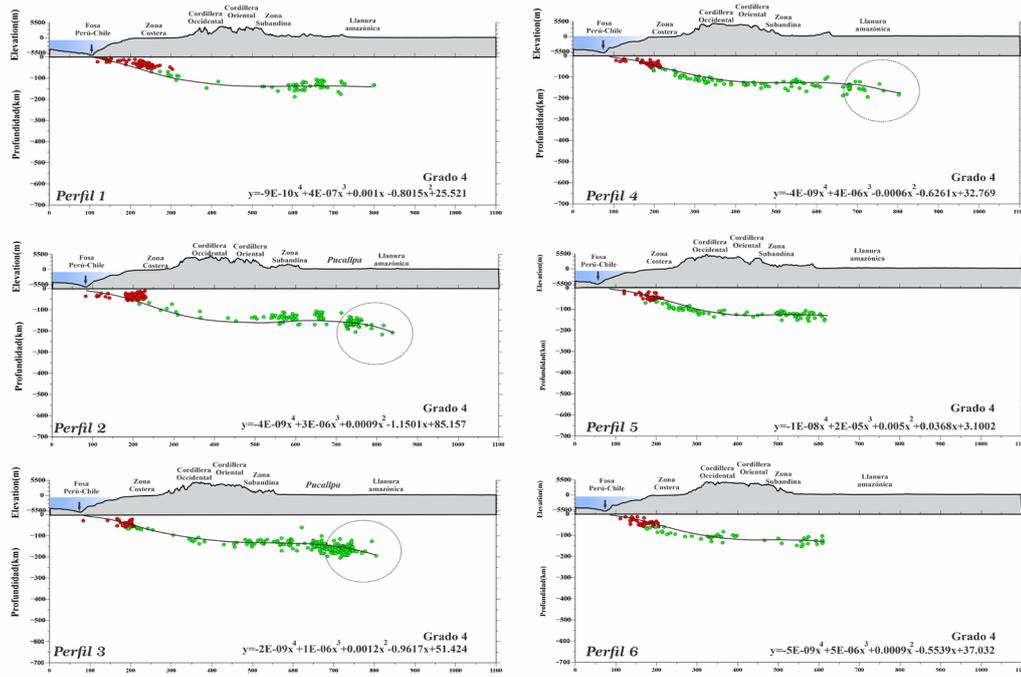
Perfiles sísmicos 5, 6: los sismos se alinean formando un ángulo aproximado de 28° hasta 120 km de profundidad, posteriormente siguen una tendencia subhorizontal, hasta alcanzar la distancia de 630 - 650 km.

Figura 1
 Mapa sísmico para la región central del Perú, periodo 2015-2022 ($M \geq 4.5$).



Nota: Los círculos rojos indican sismos superficiales ($h \leq 60\text{km}$) y los verdes intermedios ($61 < h \leq 300\text{km}$). Las secciones corresponden a las secciones sísmicas elaborados perpendiculares a la fosa Perú – Chile. El cuadrilátero rojo señala la posición geográfica del Nido de Pucallpa

Figura 2
 Perfiles sísmicos respecto a su profundidad.



Nota: Los círculos rojos indican los sismos superficiales y los verdes sismos intermedios. Las líneas de color negro indican el ajuste polinomial calculado de grado 4. El círculo negro muestra la sismicidad asociada al Nido de Pucallpa

3.2 Esquema sismotectónico 3D

Para definir la geometría de la placa de Nazca en la región central del territorio peruano, dentro del proceso de subducción, se ajusta la distribución de los sismos en profundidad a una tendencia media de sismicidad que sigue un ajuste polinomial grado 4. Luego usando las ecuaciones de tendencia en sus tres componentes (x, y, z), se construye un esquema 3D que define la geometría de la placa de Nazca. Según este esquema, en la región centro la placa de oceánica iniciaría el proceso de subducción con un ángulo de 28° hasta profundidades de 120 km y luego se contorsiona para seguir a la misma profundidad, de manera subhorizontal hasta distancias de 800 km en dirección NE. A la altura de la localidad de Pucallpa, la placa de Nazca soportaría una contorsión en dirección NE con una pendiente de 28° , alcanzando la profundidad de 200 km, siendo esta la causa de la importante actividad sísmica que se registra en esta zona y que es conocida como el Nido de Pucallpa (Centeno, 2015; Lara et.al, 2019).

3.3 Distribución de esfuerzos

Para conocer la orientación y los tipos de esfuerzos que controlan la dinámica y alteración en la forma de la placa de Nazca en torno al proceso de subducción, se procedió a analizar la distribución de los esfuerzos P y T extraídos de los mecanismos focales reportados por el CMT, (Figura 3).

De acuerdo con la Figura 3, los ejes de presión (P) se muestran en dos agrupaciones: la primera se concentra de norte a sur entre la fosa Perú – Chile y la línea de la costa, orientándose en dirección ENE-OSO. Estos esfuerzos estarían asociados al acoplamiento sísmico entre la placa de Nazca y la Sudamericana al inicio del proceso de la subducción. El segundo grupo se encuentra bajo la ciudad de Pucallpa con una orientación de ENE-OSO a ONO-

ESE, posiblemente asociada a un proceso de resubducción de la oceánica (Schneider y Sacks, 1987, Centeno 2015).

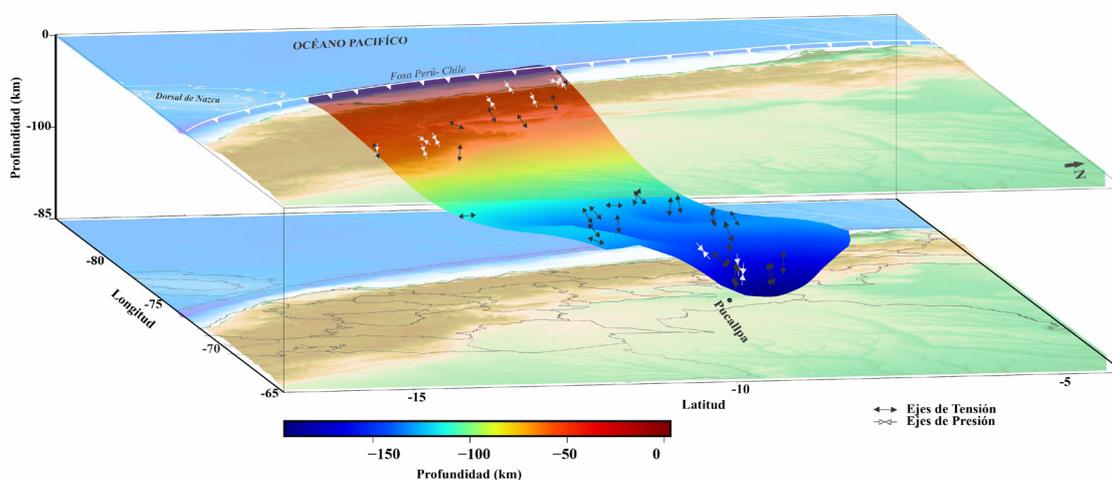
En el caso de los ejes de tensión (T), se distinguen tres agrupaciones: la primera bajo la línea de la costa con orientaciones EO y el segundo, bajo la zona subandina con orientaciones en dirección de la convergencia de la placa oceánica. Por último, el tercer grupo está asociado al Nido de Pucallpa, la orientación de los ejes de tensión es en dirección ENE-OSE a ONO-ESE; es decir, casi vertical y sugiere el hundimiento de la placa oceánica gracias a la acción de las fuerzas de gravedad que tiran la placa de Nazca dentro del manto. De romperse este trozo de placa, flotaría en la litosfera antes de ser absorbida completamente, dando origen a sismos que ocurren a mayores profundidades, tal como ocurre a la profundidad de 500 km en la frontera de Perú con Brasil.

IV. DISCUSIÓN

En este estudio se analizó la actividad sísmica que se distribuye el área central del Perú a fin de construir un esquema sismotectónico tridimensional para la geometría de la placa de Nazca. Los resultados muestran que en dicha placa al inicio de la subducción sigue una inclinación de $28^\circ - 30^\circ$ hasta llegar a una profundidad de 120 km, posteriormente la placa oceánica se contorsiona y sigue una tendencia horizontal hasta distancias del orden de 800 km bajo la ciudad de Pucallpa. En esta área, la deformación de la placa define un proceso de resubducción con una pendiente de 28° hasta profundidades de 200 km, sugiriendo que la placa estaría siendo absorbida por el manto, tal como sugieren Tavera y Buforn (2001), Vila (2014) y Centeno (2017). De continuar el proceso, se esperaría que la placa de Nazca se rompa y quede flotando en la litosfera hasta desintegrarse completamente. Este trozo de placa sería la fuente generadora de sismos a mayor profundidad.

Figura 3

Esquema sismotectónico tridimensional (3D) de la geometría de la placa de Nazca en la zona centro del territorio peruano



Nota: Las flechas negras señalan los ejes de deformación por tensión (T) y las flechas blancas por presión (P)

V. CONCLUSIONES

Los resultados del estudio de la actividad sísmica y tectónica del área central del territorio peruano, entorno al Nido de Pucallpa, han llegado a las siguientes conclusiones:

La distribución espacial de la actividad sísmica en la zona centro del territorio peruano ha posibilitado configurar la geometría de la placa de Nazca en profundidad.

Los sismos superficiales presentes entre la fosa y la línea de la costa, están asociados al contacto de las placas oceánica y continental; y los sismos intermedios deberían su origen a la deformación interna de la placa oceánica por debajo del continente.

La distribución espacial de la sismicidad muestra que, bajo área de Pucallpa, se registra un notable aumento en cantidad de sismos entre las profundidades de 120 y 200 km, dando origen al denominado Nido de Pucallpa.

El esquema sismotectónico tridimensional de la geometría de la corteza oceánica para la región centro del territorio peruano muestra que la subducción se inicia con una pendiente de 28° hasta los 120km, luego se hace subhorizontal, y a la altura de localidad de Pucallpa, la placa soportaría una contorsión en dirección NE con una pendiente de 28°, alcanzando profundidades de 200 km, dando origen a la mayor actividad sísmica conocida como el Nido de Pucallpa.

La distribución de los ejes P (presión) que se extienden desde la fosa hasta la costa, refleja la convergencia de las placas en dirección N 75°; mientras que, la extensión a la profundidad de 120 km sigue en dirección promedio de N 70°- N 75°. En el Nido de Pucallpa, los ejes de tensión (T) presentan una orientación NE con ángulo casi vertical, sugiriendo que la deformación podría provocar la fractura y rompimiento de la placa oceánica. El fragmento de la placa que se desprenda flotaría en el manto y sería fuente de origen de sismos a mayor profundidad.

VI. REFERENCIAS

- Barazangi, M. y Isacks, E. (1976). Spatial distribution of earthquakes and subduction of the Nazca plate beneath Peru. *Journal of Geology Society*. 4, 682- 692
- Barazangi, M. y B. Isacks. (1979). Subduction of the Nazca plate beneath Peru: evidences from spatial distribution of earthquakes. *Geophysical Journal Royal Astronomical Society*. 537-555.
- Cahill, y Isacks, B.L. (1992). Seismicity and shape of subducted Nazca Plate. *Journal of Geophysical Research*. 97, 17503-17529
- Centeno, E. J. (2017). Geometría y distribución de esfuerzos en el borde oriental de la región central del Perú-Nido de Pucallpa [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa].

<https://repositorio.igp.gob.pe/handle/20.500.12816/3189>

Dalmayrac, E., Laijbacher, O. y Marocco, R. (1987). Caracteres generaux de l'volution geologique des Andes peruvienes. *Trav. Doc. ORSTOM*. 122, 501.

Hasewaga, A. y Sacks, S. (1981). Subduction of the Nazca plate beneath Peru as determined from seismic observation. *Journal of Geophysical Research*. 86, 4971-4980.

Jordan, T., Isacks, B., Allmendiger, R., Brewer, J., Ramos A. and Ando, J. (1983). Andean Tectonics related to geometry of subducted Nazca Plate. 3. 341-361. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1983\)94<341:ATRTGO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1983)94<341:ATRTGO>2.0.CO;2)

Lara S. Wagner, Emile A. Okal (2019). The Pucallpa Nest and its constraints on the geometry of the Peruvian Flat Slab. *Tectonophysics*. 762, 97-108. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2019.04.021>.

Norabuena, E.O. et al., (1998). Space geodetic observations of Nazca-South America convergence across the Central Andes. *Science*. 279(5349). 358-362. doi:10.1126/science.279.5349.358.

Rodriguez, L. y Tavera, H. (1991). Determinación con alta resolución de la geometría de la zona Wadati-Benioff en el Perú Cential. *Revista Brasileira de Ceo/hlca*. 9, 141-159.

Stauder, W. (1975). Subduction of the Nazca under Peru as evidenced by focal mechanisms and by seismicity. *J. Geophys. Res.* 80, 1.053-1.064.

Schneider y Sacks. (1987). Strees in the Contorned Nazca Plate, beneath Souther Peru form local earthquakes. *Journal of Geophysical Research*. 92, 13887- 13902.

Tavera, H. y Buforn. (1998). Sismicidad y sismotectónica de Perú. *Universidad Complutense de Madrid. Física de la tierra*. 10, 187-2019.

Vila, K. V. (2014). Determinación 3D de la geometría de la placa de Nazca en el Perú y análisis del estado de esfuerzos [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. <https://repositorio.igp.gob.pe/handle/20.500.12816/1319>

Villegas-Lanza, J. C., Chlieh, M., Cavalié, O., Tavera, H., Baby, P., Chire-Chira, J. y 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. *Journal of Geophysical Research*. 121(10). <https://doi.org/10.1002/2016JB013080>

Contribución de autoría

Conceptualización: Estela Centeno Moncada, Hernando Tavera; Curación de datos: Estela Centeno Moncada, Hernando Tavera; Análisis formal: Estela Centeno Moncada, Hernando Tavera; Investigación: Estela Centeno Moncada, Hernando Tavera; Metodología: Estela Centeno Moncada, Hernando Tavera; Administración del proyecto: Estela Centeno Moncada, Hernando Tavera. Recursos: Estela Centeno Moncada, Hernando Tavera; Redacción: Estela Centeno Moncada, Hernando Tavera.

Conflictos de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de intereses