

ESTIMACIÓN DE LA ESTRUCTURA DE LA CORTEZA EN LA REGIÓN NORTE DEL PERÚ A PARTIR DEL ANÁLISIS DE FUNCIONES RECEPTORAS

Cristobal Condori^{1,2}, George S. França², Hernando Tavera¹ y Diogo Farrapo²

¹Subdirección de Ciencias de la Tierra Sólida-SCTS, Instituto Geofísico del Perú-IGP. Email: cristobal.condori@igp.gob.pe; hernando.tavera@igp.gob.pe

²Observatório Sismológico-OBSIS, Universidade de Brasília-UnB, Instituto de Geociências-IG. Email: georgesand@unb.br; diogofarrapo@gmail.com

RESUMEN

En este estudio se aplica el método de Función Receptora con el objetivo de estudiar la estructura de la corteza en la región norte del Perú. Para el análisis se empleó 981 telesísmos ($30^\circ < \Delta < 95^\circ$) registrados durante los periodos 2008-2015 por 28 estaciones sísmicas de banda ancha de la Red Sísmica Nacional del Instituto Geofísico del Perú. Los resultados muestran que el espesor de la corteza varía entre ~20 y ~55 km, siendo coherente con la topografía y con variaciones locales en los dominios tectónicos y geomorfológicos. La variación de la relación V_p/V_s (1.63 y 1.87), sugiere que la corteza inferior tiene composición félsica a máfica. Los resultados obtenidos en esta investigación son coherentes con obtenidas con otros métodos.

INTRODUCCIÓN

La región norte del Perú se encuentra ubicada en uno de los márgenes convergentes de placas (Nazca-Sudamericana) más activas del mundo, además de presentar características tectónicas especiales como la actividad volcánica, subducción sub-horizontal y la ausencia de grandes terremotos. En tal sentido, es de importancia estudiar los procesos geofísicos y geológicos de una determinada región para poder entender su mecanismo y evolución tectónica, y principalmente para determinar, en profundidad, la geometría de las principales estructuras presentes en la litosfera.

Uno de los métodos ampliamente utilizado para el estudio de la estructura de la corteza, es el de Función Receptora (FR) (Langston, 1979), el cual consiste en utilizar los registros de telesísmos en razón que ellas proporcionan información sobre la fuente, del medio y la estructura local debajo de una estación sismológica. Al aplicar la deconvolución entre la componente horizontal y la vertical es posible obtener la función de transferencia de la estructura del medio, y a partir de los tiempos de las fases convertidas de las ondas P a S, estimar el espesor de las discontinuidades de Mohorovičić y Conrad; además la razón V_p/V_s . La discontinuidad de Mohorovičić (Moho) es el interfaz límite entre la Corteza Terrestre y el Manto Superior, y representa el mayor contraste en las propiedades químicas y reológicas de ambos medios, lo que implica también fuertes contrastes en las velocidades de las ondas sísmicas (Pacca y McReath, 2000), siendo la región donde ocurren los mayores procesos geológicos dinámicos tales como: terremotos vulcanismo y orogénesis.

Estudios sobre la estimación de la estructura de la corteza a escala regional, con métodos de gravimetría (Fukao et al., 1989) y sísmica (FR y Dispersión de Ondas Superficiales) fueron ampliamente aplicados en el Perú, principalmente en las regiones Centro y Sur. En general, el espesor de la corteza es variable con valores entre ~65 y ~70 km en la región sur (James, 1971; Phillips et al., 2012; Bishop et al., 2014; Phillips y Clayton, 2014), y entre ~60 y ~65 km en la región central (James, 1971; Tavera, 1990; Bishop et al., 2014) Mientras que, en la región norte, de acuerdo a las estimaciones de Fukao et al., (1989), con datos gravimétricos, la corteza presenta valores máximos de ~45 km. Sin embargo, en la región norte, no existen estudios detallados de la estructura de la corteza, especialmente a escala local con métodos sísmicos como la FR. A la fecha, las estimaciones conocidas con datos sísmicos son por diversos estudios a escala regional (Assumpção et al., 2013) y global (modelos CRUST).

El presente trabajo tiene como objetivo estimar la profundidad de la discontinuidad del Moho, y la razón de velocidades V_p/V_s debajo de las estaciones sísmicas instaladas en la región norte del Perú utilizando el método de FR (Figura 1).

DATOS

Los datos utilizados para la aplicación del método de FR, considera eventos telosísmicos (30° y 95°) y con magnitudes mayores a $5.5M_w$ (Figura 2) registradas por 28 estaciones sísmicas de banda ancha de la Red Sísmica Nacional del Instituto Geofísico, red local del proyecto SisNort y la estación ATH (convenio CTBTO). El período de datos es para los años 2008 al 2015.

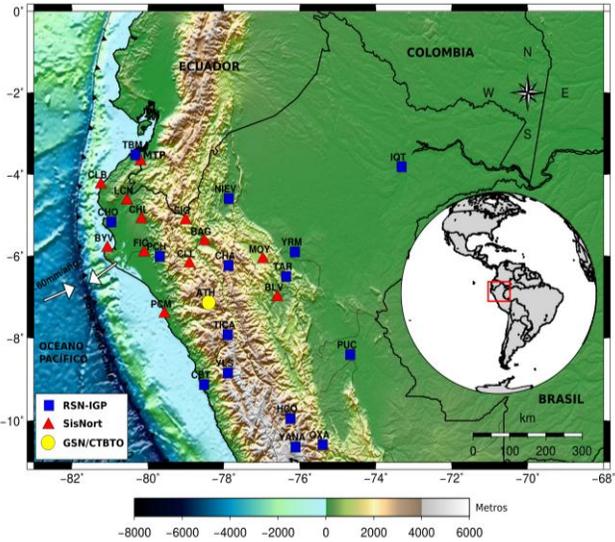


Figura 1. Mapa topográfico mostrando el área de estudio y la distribución de las estaciones sísmicas utilizadas.

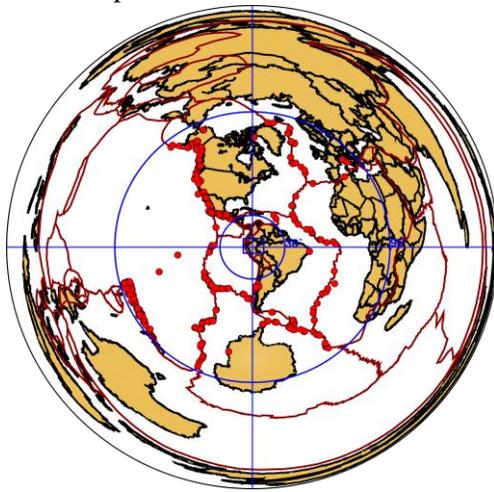


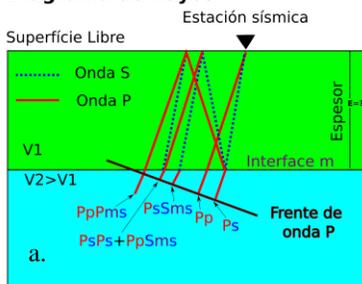
Figura 2. Distribución de los epicentros de sismos utilizados para el cálculo de FR.

MÉTODO Y ANÁLISIS DE DATOS

La FR es un método geofísico indirecto de uso muy frecuente en la sismología para inferir, por medio de registros telosísmicos, la estructura de la Tierra debajo de una estación sísmica (receptor). Matemáticamente, es la deconvolución entre la componente radial por la vertical representada por una serie de tiempos que corresponde a la respuesta relativa de la estructura del medio debajo de una estación (Figura 3) (Langston, 1979; Owens et al., 1984). Con el fin de analizar las ondas P, SV y SH, las tres componentes del registro (N, O, Z) fueron rotadas. Para calcular los FRs, se empleó el método de deconvolución iterativa en el dominio de tiempo (Ligorria y Ammon, 1999), con un mínimo de 500 interacciones y filtros gaussianos entre 1.0, 1.5 y 2.5 respectivamente. El procedimiento para la preparación de los datos y cálculo de los FRs fueron realizados a través de un script utilizando los programas TauP, Interdecon y SAC (Seismic Analysis Code).

de 500 interacciones y filtros gaussianos entre 1.0, 1.5 y 2.5 respectivamente. El procedimiento para la preparación de los datos y cálculo de los FRs fueron realizados a través de un script utilizando los programas TauP, Interdecon y SAC (Seismic Analysis Code).

Diagrama de Rayos



Función de Receptor

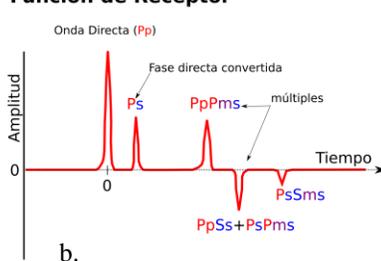


Figura 3. a) Diagrama de rayos simplificado mostrando las principales conversiones de la onda P en onda S en un semi-espacio. b) Registro de FR radial donde muestra los diferentes tiempos de llegada de las fases directas y convertidas.

Para la estimación de la profundidad (H) de la corteza y la razón de velocidades (V_p/V_s) por debajo de cada estación sísmica, se utilizó el algoritmo H-k stacking de Zhu y Kanamori (2000), en razón que este algoritmo apila las amplitudes de las FRs para cada uno de los tiempos estimados en la conversión del Moho (P_s), y los múltiples de la corteza (P_pP_s y $P_pS_s+P_pP_s$). Una vez que las fases son apiladas

correctamente, la amplitud alcanza el máximo en la combinación de H y V_p/V_s más probables, que son estimados usando las ecuaciones 1 y 2. La Figura 4, muestra un ejemplo del cálculo de FR para la estación de ATH.

$$H = \frac{V_P(t_{P_s} - t_P)}{(\sqrt{\frac{V_P^2}{V_s^2} - p^2 V_P^2} - \sqrt{1 - p^2 V_P^2})} \quad (1)$$

$$k = \frac{V_P}{V_s} = \{(1 - p^2 V_P^2)[2(\frac{t_{P_s} - t_P}{t_{P_s} - t_P} + 1)] + p V_P^2\}^{1/2} \quad (2)$$

RESULTADOS

El cálculo y análisis de FR permite obtener la información de la estructura y relación V_p/V_s de la corteza para la región norte del Perú.

Los valores del espesor de la corteza calculados en este estudio fueron interpolados empleando la base de datos compilados por Assumpção et al., (2013), con la finalidad de reducir los errores de interpolación en las regiones adyacentes del área de estudio. Los valores muestran relación y coherencia con los diferentes dominios tectónicos y geomorfológicos.

De acuerdo a los resultados (Figura 5a), el espesor de la corteza en la región norte varía de ~20 a ~35 km en la Zona Costera, ~55 a ~60 km en los Andes, para luego disminuir en espesor en la Zona Subandina entre ~50 a ~45 km, y finalmente, valores constantes entre ~35 y ~40 km en la Llanura Amazónica. Por otro lado, el mapa de razón V_p/V_s (Figura 5b), presenta valores entre 1.63 y 1.87 (promedio de 1.75), y de acuerdo a Musacchio et al., (1997), los valores bajos indican una composición félsica y los altos una composición máfica y podrían estar asociadas a zonas con anisotropía debido a la compleja e intensa deformación tectónica presente de la región.

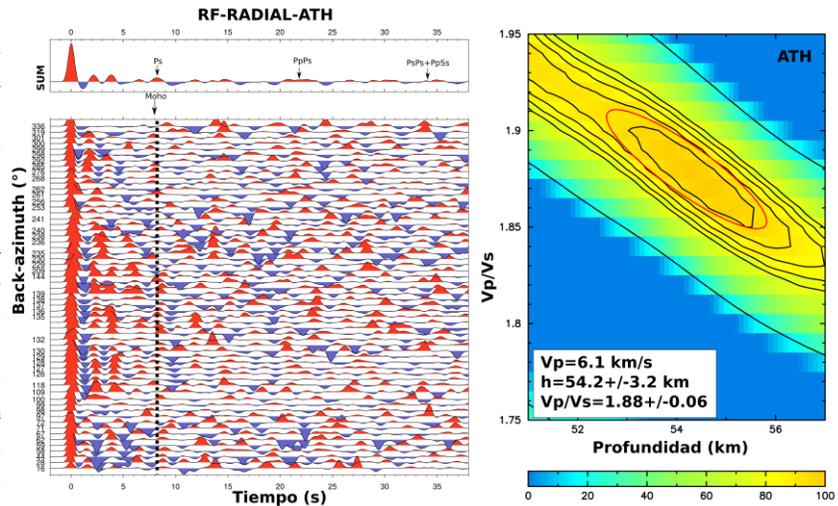


Figura 4. Función de receptores y HK-stacking para la estación sísmica de ATH.

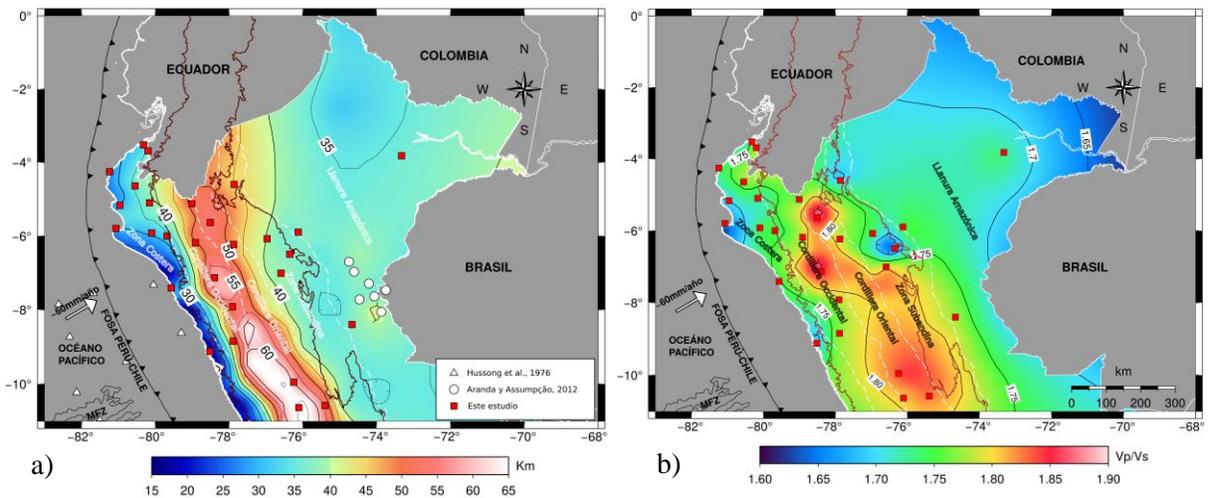


Figura 5. a) Mapa de espesor de la corteza interpolados con datos compilados por Assumpção et al., (2013). b) Mapa de razón V_p/V_s .

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en el presente estudio permiten llegar a las siguientes conclusiones:

-El espesor de la corteza en la región norte del Perú varía de ~20 a ~55 km y muestra relación con la topografía, en contraste con los diferentes dominios tectónicos y geomorfológicos, aproximándose a un estado de equilibrio isostático tipo Airy.

-Las fuertes conversiones de fases negativas de FR en la Cordillera de las Andes, podrían estar relacionado a estructuras de baja velocidad en la corteza media entre ~20 y ~30 km.

-La distribución de los valores altos de V_p/V_s en la Cordillera de los Andes sugiere una corteza con composición máfica mientras que, en los extremos una corteza de composición más félsica.

BIBLIOGRAFÍA

- Assumpção, M., Feng, M., Tassara, A., Julià, J., 2013. Models of crustal thickness for South America from seismic refraction, receiver functions and surface wave tomography. *Tectonophysics* 609, 82-96.
- Bishop, B., Beck, S., Zandt, G., Scire, A., Wagner, L., Long, M., Tavera, H., 2014. Trench to andean Thrust Front: Evidence for Coupling of the Peruvian Flat Slab to the Over-riding South American Plate. *American Geophysical Union, Fall Meeting 2014*, abstract #T23A-4629 2014AGUFM.
- Fukao, Y., Yamamoto, A., Kono, M., 1989. Gravity anomaly across the Peruvian Andes. *Journal of Geophysical Research* 94, 3867.
- James, D.E., 1971. Andean crustal and upper mantle structure. *Journal of Geophysical Research* 76, 3246-3271.
- Langston, C.A., 1979. Structure under Mount Rainier, Washington, inferred from teleseismic body waves. *Journal of Geophysical Research* 84, 4749.
- Ligorria, J.P., Ammon, C.J., 1999. Iterative Deconvolution and Receiver-Function Estimation. *Bull. seism. Soc. Am.* 89.
- Musacchio, G., Mooney, W.D., Luetgert, J.H., Christensen, N.I., 1997. Composition of the crust in the Grenville and Appalachian Provinces of North America inferred from V_p/V_s ratios. *Journal of Geophysical Research* 102, 15225.
- Owens, T.J., Zandt, G., Taylor, S.R., 1984. Seismic evidence for an ancient rift beneath the Cumberland Plateau, Tennessee: A detailed analysis of broadband teleseismic P waveforms. *Journal of Geophysical Research* 89, 7783.
- Pacca, I.G., McReath, I.A., 2000. A Composição e o Calor da Terra. In: Teixeira, W.; Toledo, M.C.M.; Fairchild, T.R.; Taioli, F. (Org.). *Decifrando a Terra*. São Paulo: Oficina de Textos 83-96.
- Phillips, K., Clayton, R.W., 2014. Structure of the subduction transition region from seismic array data in southern Peru. *Geophysical Journal International* 196, 1889-1905.
- Phillips, K., Clayton, R.W., Davis, P., Tavera, H., Guy, R., Skinner, S., Stubbins, I., Audin, L., Aguilar, V., 2012. Structure of the subduction system in southern Peru from seismic array data. *Journal of Geophysical Research* 117, B11306.
- Tavera, H., 1990. Interpretación de las Anomalías de Estación a partir de fases P y PKIKP para la región del Perú Central. *Boletín Sociedad Geológica del Perú* 81, 47-54.
- Zhu, L., Kanamori, H., 2000. Moho depth variation in southern California from teleseismic receiver functions. *J. Geophys. Res.* 105, 2969-2980.