



XVIII Congreso Peruano de Geología

COMPENSACIÓN ISOSTÁTICA EN PERÚ A PARTIR DE LOS RESIDUALES DE LA FASE P A DISTANCIAS TELESÍSMICAS

Martha Añazco¹, Hernando Tavera²

¹Instituto Geofísico del Perú (IGP), Calle Badajoz #169 - Mayorazgo IV Etapa - Ate Vitarte, Lima, Perú (manazco@igp.gob.pe)

²Instituto Geofísico del Perú (IGP), Calle Badajoz #169 - Mayorazgo IV Etapa - Ate Vitarte, Lima, Perú (hernando.tavera@igp.gob.pe)

RESUMEN

En el presente estudio se ha calculado y analizado las residuales absolutas y relativas de las ondas P obtenidas a distancias telesísmicas. Los resultados muestran que las estaciones ubicadas en zonas andinas del Perú presentan valores de residuales absolutos mayores en comparación con las ubicadas en la Costa y la zona Subandina, estas diferencias indicarían que existe relación entre la altura

de las estaciones y sus residuales. Las residuales relativas sugieren que las estructuras por debajo de la zona Costera y Subandina son geológicamente muy heterogéneas. En la zona Andina, los residuales sugieren la presencia de un alto gradiente térmico propio de estructuras con origen volcánico. Los resultados han permitido proponer que la Cordillera de los Andes se encuentra en equilibrio isostático

1. Introducción

¿Qué es un Residual?

El Residual es portador de información básica sobre las propiedades físicas del interior de la tierra, si los errores de cálculo y lectura de los tiempos de arribo de las ondas sísmicas se minimizan. Estas residuales representan una primera estimación de las anomalías de estación, donde el Residual Absoluto, nos proporciona información sobre las propiedades físicas de la estructura por debajo de las estaciones; mientras que, la Residual Relativa proporciona información, sobre la mayor o menor velocidad de propagación de las ondas sísmicas al recorrer las estructuras por debajo de las estaciones.

Numerosos estudios a nivel mundial y regional se han realizado tomando en consideración el análisis de residuales, tales como los de Poupinet (1977) que utilizó datos de la red de las estaciones mundiales; Fairhead y Reeves (1977), Lenartowicz y Albert (1980); Dorbath y Dorbath (1984) para el África; Tavera (1987) estudia las anomalías de estación para la región central del Perú utilizando información de una red sísmica local y registros de eventos sísmicos ocurridos a distancias telesísmicas. El autor demostró que en la región central existe compensación isostática; es decir, existe equilibrio entre la zona Andina y Subandina.

Este estudio sigue la metodología establecida por estos autores para analizar los residuales de ondas P en las estaciones sísmicas pertenecientes a la Red Sísmica Nacional (RSN) a cargo del Instituto Geofísico del Perú y con ello demostrar que la Cordillera de los Andes se encuentra en equilibrio isostático.

2. Metodología

La metodología utilizada en el presente estudio corresponde a la misma usada por Tavera (1987) y Añazco (2015) donde para definir un residual se debe aceptar que las lecturas de los tiempos de arribo de ondas sísmicas registradas en los sismogramas han sido hechas en forma correcta. Entonces un residual R_{ij} es la suma de una anomalía alrededor del foco (F_j), de una anomalía dentro del manto (r_k) y de una anomalía alrededor de la estación (S_i), es decir:

$$R_{ij} = F_j + r_k + S_i \quad (1)$$

Para eliminar los efectos de la fuente y del recorrido de la onda por el manto, se realiza el cálculo de los residuales con el siguiente procedimiento: Sea j un evento sísmico y i una determinada estación, el residual absoluto es definido como:

$$R_{ij} = (t_{.ij} - t_{.oj}) - T_{ij} \quad (2)$$

donde: t_{ij} = tiempo observado o leído en el sismograma, t_{oj} = tiempo origen para el evento j y T_{ij} = tiempo-recorrido calculado para el evento. Este tiempo calculado corresponde a un modelo dado para la distribución de la velocidad de las ondas sísmicas en una Tierra radial y simétrica.

Como R_{ij} es afectado por varios errores de cálculo (localización del hipocentro, modelo usado, etc.), se procede a obtener la residual relativa para tener solamente la información existente por debajo de las estaciones:

$$rij = R_{ij} - R_j \quad (3)$$

donde: la residual media R_j por evento j , es la media aritmética de R_{ij} :

$$R_j = \left[\sum_{i=1} R_{ij} \right] / n_i$$

donde: n_i , es el número de estaciones que reportaron el evento j

la anomalía de estación r_i es calculada para cada i con la siguiente relación:

$$r_i = \left[\sum_{j=1} rij \right] / n_i \quad (4)$$

En R_j están incluidos los errores de recorrido tiempo y de longitud de onda en las zonas con áreas o focos no homogéneos, incluyendo el manto; lo demás es asumido

solamente como efectos de la estructura por debajo de cada estación.

Para el presente estudio se ha considerado las medias aritméticas de los valores de residuo para obtener las Residuales Absolutas y las Residuales Relativas, con el objetivo de eliminar las influencias del foco y del trayecto de la onda, que son las mismas para todas las estaciones. Para realizar de manera ordenada el análisis de los resultados obtenidos en este estudio, se divide al Perú en regiones Norte, Centro y Sur.

3. Selección y Análisis de datos

La base de datos utilizada comprende un total 124 registros correspondientes a 23 eventos telescismicos que fueron registrados en 23 estaciones de la Red Sísmica Nacional del Perú (RSN) durante el periodo de 2011 - 2013 (Figura 1). Los tiempos de llegada de la fase P fueron leídos en dos etapas logrando un error promedio de orden de 0.025 segundos. En este estudio se utiliza la información de eventos a distancias telescismicas ($30^\circ < \Delta < 90^\circ$) con respecto a cada estación sísmica de la RSN. Para la selección de los eventos telescismicos se considera todos aquellos con magnitudes ≥ 5.8 mb reportados por la National Earthquake Information Center (NEIC) a nivel global.

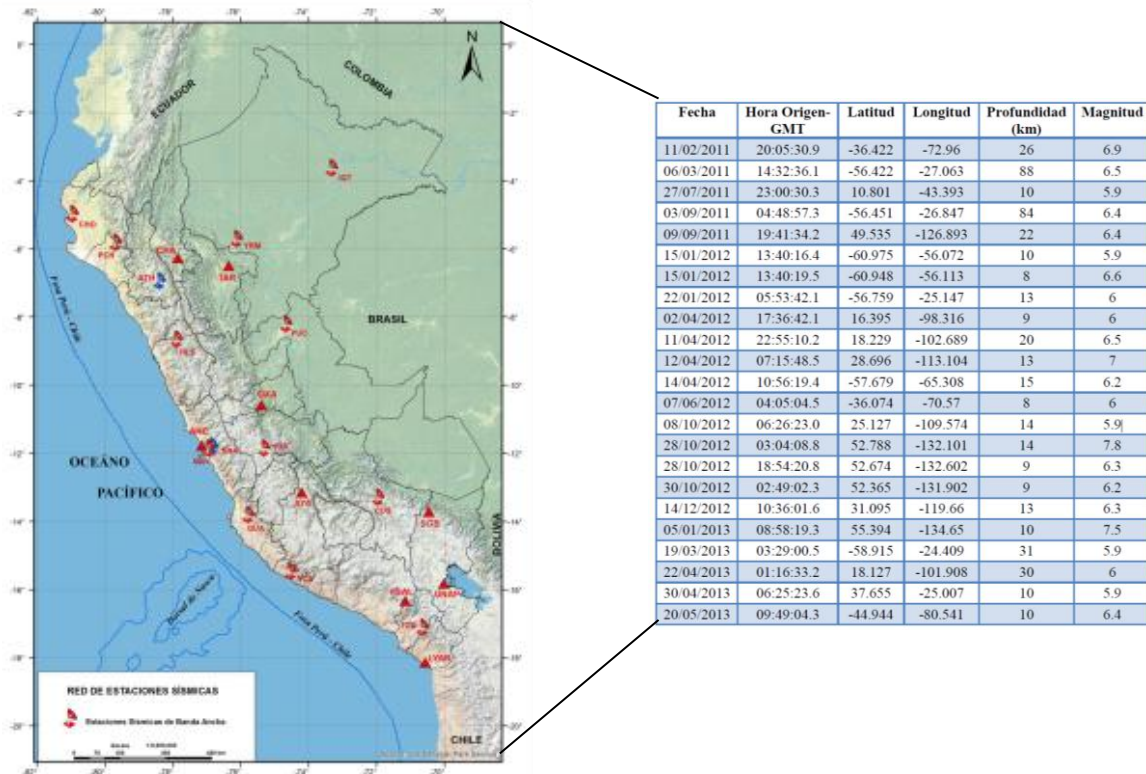


Figura 1. Red Sísmica Nacional del Perú y parámetros hipocentrales de los eventos telescismicos utilizados en este estudio.

De acuerdo a los parámetros del telesismo, los tiempos teóricos y tiempos de propagación "foco-estación" fueron calculados utilizando el Software IASPEI-TAU que hace uso de las tablas de tiempo-recorrido desarrolladas por Kennett y Engdahl (1991) que introducen el modelo de velocidad "iasp91". Este modelo es un producto de la Asociación Internacional de Sismología y Física del

Interior de la Tierra (IASPEI). Con esta información se procede a estimar los residuales absolutos y relativos.

4. Resultados

1. La Tabla 1 y Figura 2 muestra los valores obtenidos para los residuales absolutos R_{ij} (sin corrección de altura) para las regiones norte, centro y sur,

observándose que los valores varían de una zona a otra con rangos entre -1.14 y 1.41seg, lo cual sugiere que existe un efecto de altura, coherente con la morfología de la zona.

Estación	Código	Elevación (msnm)	Rij	rij	n
Atahualpa	ATH	3060	0.78	0.45	4
Chachapoyas	CHA	3041	0.89	0.34	5
Chocán	CHO	228	-0.03	0.02	11
Iquitos	IQT	112	0.01	-0.07	5
Portachuelo	PCH	656	-0.23	0.02	7
Tarapoto	TAR	322	1.01	0.07	5
Yurimaguas	YRM	155	0.06	-0.02	6
Ancón	ANC	46	-1.14	-0.08	6
Huancayo	HYO	3330	0.69	0.38	4
Huaylas	HLS	3230	0.90	0.35	4
Mayorazgo	MAY	315	-0.15	0.01	7
Ñaña	NNA	575	-0.10	0.07	10
Oxapampa	OXA	1840	1.41	0.25	5
Pucallpa	PUC	130	-0.11	-0.05	5
Ayacucho	AYA	2771	0.51	0.24	4
Guadalupe	GUA	554	0.47	0.09	7
La Yarada	LYAR	363	0.26	-0.02	6
San Gabán	SGB	2047	0.51	0.14	4
Cusco	CUS	3858	0.95	0.59	4
Toquepala	TOQ	2586	0.45	0.31	4
Universidad del Altiplano	UNAP	3838	1.14	0.43	4
Yauca	YCA	77	-0.04	-0.04	3
Huito Salinas	HSAL	2074	1.15	0.23	4

Tabla 1. Valores de Residuales para la zona de estudio Rij = Residual Absoluto en segundos, rij = Residual Relativa en segundos, n = Número de eventos.

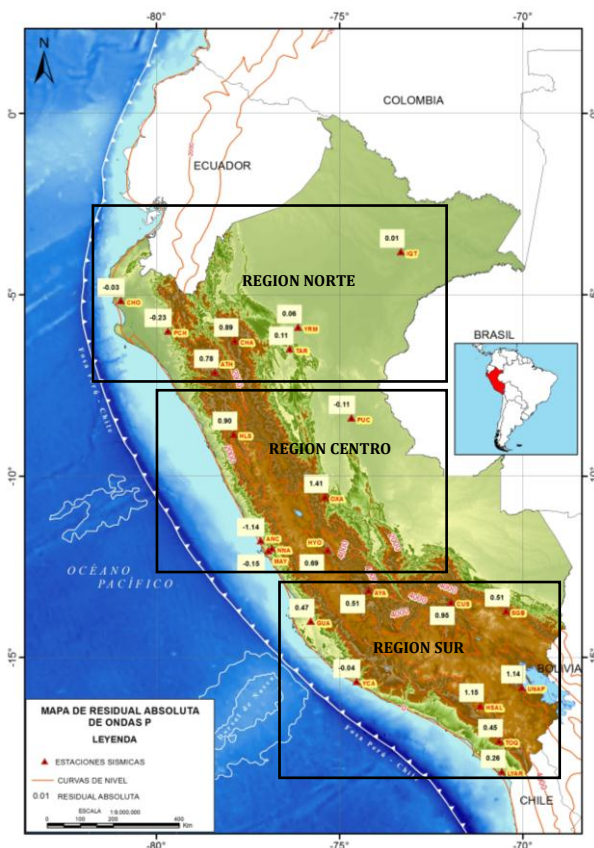


Figura 2. Ubicación del área de Estudio y de las estaciones sísmicas con sus respectivas Residuales Absolutos (Rij)

- Los valores de residuales relativos (Tabla 1) y (Figura 3), indicarían que las estaciones ubicadas en zonas costera (ANC, MAY, NNA) y subandina (PUC), para los mismos azimuts, sugieren la existencia de estructuras por debajo de cada estación sísmica, físicamente son muy heterogéneas y para estaciones ubicadas en zona andina (OXA, HYO, HLS) los residuales positivos sugieren que las estructuras presentes por debajo de la Cordillera Andina son responsables de la disminución en la velocidad de propagación de las ondas sísmicas, lo cual podría estar asociado al alto gradiente térmico propio de estructuras de origen volcánico, tal como lo sugiere Schmucker et al. (1966).
- A partir de la media aritmética de los rij (Residual Relativa) entre el número de eventos que ha registrado una determinada estación, se calcula las anomalías de estación, estos valores sugieren que existe relación entre las Anomalías y la altitud de las estaciones sísmicas utilizadas, permitiendo proponer que la Cordillera de los Andes se encuentra en equilibrio isostático.

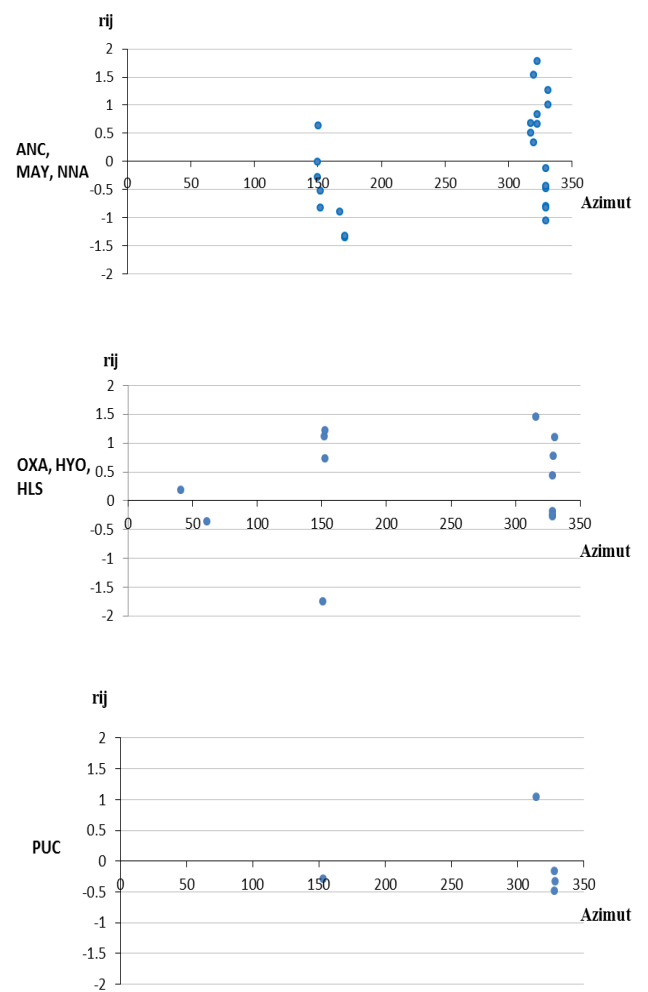


Figura 3. Distribución de los residuales relativos rij en función del azimut en la región centro.

Conclusiones

Los Residuales Absolutos presentan valores mayores en todas las estaciones ubicadas en zonas Andinas en comparación con las ubicadas en la costa y la zona Subandina. Estas diferencias establecen una primera aproximación de una relación entre la altura de las estaciones y sus residuales.

Las Residuales Relativas sugieren que las estructuras por debajo de la zona Costera y Subandina son geológicamente muy heterogéneas, mientras que en la zona Andina la baja velocidad se debería considerar la presencia de un alto gradiente térmico (Schmucker et al., 1966), propio de estructuras con origen volcánico.

Las anomalías de estación han permitido proponer que la Cordillera de los Andes se encuentra en equilibrio isostático.

Referencias

- Añazco, M. (2015). Análisis de Residuales de Ondas P y Propuesta de Modelo de Equilibrio Isostático para la Cordillera Andina del Perú. Tesis Univ.Nac.Sn Agustín de Arequipa, Arequipa-Peru, p. 29-34.
- Dorbath, C., Dorbath, L. (1984). Approche sismologique de la structure de la lithosphere en Afrique de l' Ouest. These Univ. Pierre et Marie Curie, Paris VI, p. 60-98,117-118.
- Fairhead, J. y Reeves, E. (1977). Teleseismic delay times Bouguer Anomalies and inferred thickness of the African Lithosphere. Earth Planet. Sci. Let., 36, p. 63-76.
- Kennett, B. L. N., Engdahl E. R. (1991). Traveltimes for global earthquake location and phase identification. Geophysical Journal International 122, 429-465.
- Lenartowicz, E. y Albert, R. (1980). P-wave travel time residuals and the crust and upper mantle lateral inhomogeneities in Africa. Tectonophysics, 67, p 123-137.
- Ocola, L. y Meyer, R. (1973). Crustal Structure from the Pacific Basin to the Brazilian Shield between 12° and 30° South Latitude. Geological Society of America Bulletin, v. 84, P. 3387-3404.
- Poupinet, G. (1977). Heterogeneities du manteau terrestre deduites de la propagation des ondes de volume. Implication Geodynamique. These Univ. Sci. et Med. Grenoble, Francia, 77, p. 5-50.
- Schmucker, U., Forbush, S., Hartman, D., Giesecke, A., Casaverde, M., Castillo, J., Salqueiro, R., del Pozo, S., (1966). Electrical conductivity anomaly under the Andes. Carnegie Inst. Wash. Book, 65, p, 11-28.
- Tavera, H. (1987). Heterogeneidad de la Corteza y Manto Superior Terrestre Deducido de la Propagación de Ondas P Y PKIKP (Región Andina- Subandina del Perú Central) (Región de la Cordillera Blanca). Tesis Univ. San Agustín de Arequipa, p. 40-72.