

# LA SUBDUCCION DE LA DORSAL DE NAZCA Y SUS RELACIONES CON EL ARCO DE FITZCARRALD: CARACTERIZACION GEOFISICA

Edwing Rolindo Tejada<sup>1</sup>, Patrice Baby<sup>2</sup>, Nicolas Spurt<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Schlumberger del Peru [Etejada@iquitos.oilfield.slb.com](mailto:Etejada@iquitos.oilfield.slb.com)

<sup>2</sup> LMTG, Univ. de Toulouse, CNRS, IRD, OMP, Toulouse, Francia [patrice.baby@idr.fr](mailto:patrice.baby@idr.fr)

<sup>3</sup> Laboratoire des Mécanismes et Transferts en Géologie (LMTG) Toulouse, Francia [espurt@lmtg.obs-mip.fr](mailto:espurt@lmtg.obs-mip.fr)

## RESUMEN

El Arco de Fitzcarrald es una “Mega Estructura de la Cuenca de ante-país amazónica”, orientada en forma perpendicular a los Andes Peruanos con una area que abarca mas de 360 000 km<sup>2</sup>; alcanzando una altura de hasta 570m sobre el nivel del mar.

El Modelo Digital de Elevación (DEM) muestra una coincidencia en la alineación de la Dorsal de Nazca y del Arco de Fitzcarrald que forman dos grandes estructuras: una Oceánica y la otra Continental. Al analizar los hipocentros de sismos de los últimos 30 años, estos están ausentes en la continuación de la Dorsal de Nazca por debajo de los Andes.

La gravimetría de la zona, muestra una anomalía negativa en el área del Arco de Fitzcarrald, anomalías que presentan frecuencias espaciales medianas, controladas por estructuras basales.

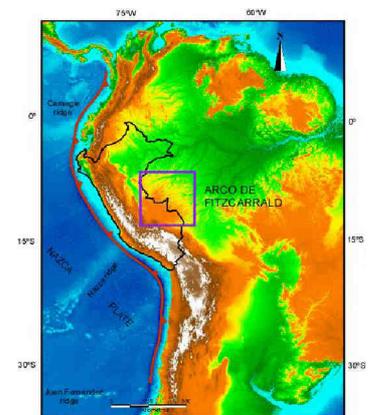
La sísmica de superficie muestra que el Mega Arco de Fitzcarrald engloba a dos estructural basales: el Arco de Manu hacia el Sur-Este y el Alto Paititi hacia el Nor-Oeste.

## INTRODUCCIÓN

El presente, es un estudio Geofísico - Geológicos del Arco de Fitzcarrald, basado en la integración de información de sismos, información gravimétrica, imágenes satelitales, modelos de elevación de terreno (DEM), informes geológicos, información de pozos e información de perfiles sísmicos.

El arco de Fitzcarrald está ubicado en la parte sur de la Cuenca de ante-país amazónica (Fig. 1). La influencia de este alto topográfico se extiende hasta dentro del vecino país de Brasil. El arco de Fitzcarrald abarca aproximadamente 359,600 Km<sup>2</sup>.

Fig. 1: Imagen DEM (Digital Elevation Model, datos tomados de SRTM – Gtopo 30 - NASA) mostrando la ubicación y la magnitud de ARCO DE



## DORSAL DE NAZCA Y SU COLISIÓN EN LAS COSTAS PERUANAS

La dorsal de Nazca es un alto batimétrico que tiene 200 Km. de ancho, aproximadamente con mas de 1100 Km. de largo y con elevaciones de hasta 1500 m con respecto al fondo oceánico circundante. La Dorsal de Nazca tiene una orientación de N 42° E, y entra en subducción a partir del Mioceno (Hampel et al., 2002) (Fig. 2).

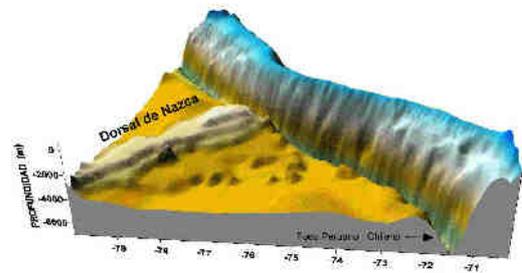
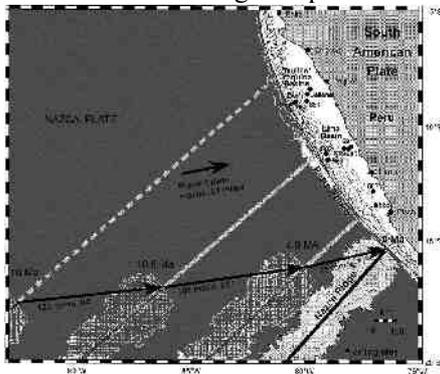


Fig. 2: Batimetría de la Dorsal de Nazca

La reconstrucción de la migración de la Dorsal de Nazca esta basada en el modelo de NUVEL 1A (Modelo Global de Desplazamiento de Placas) para los últimos 3 millones de años, y para periodos mas largos de tiempo en la reconstrucción del paleo plato a partir de anomalías magnéticas de la corteza oceánica.

Hampel da una nueva reconstrucción de la historia de migración de la Dorsal de Nazca a lo largo de la costas Peruana. Sugiere que el movimiento lateral de la dorsal disminuyo la velocidad de subducción a

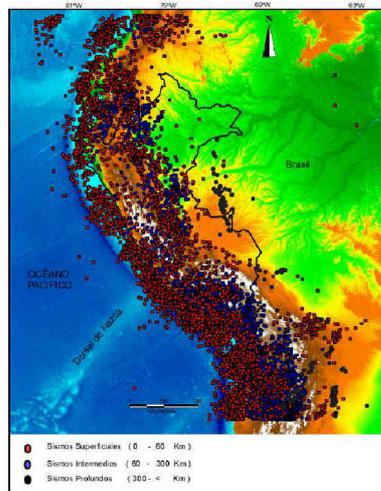


través del tiempo. Según Hampel, el extremo Nor-Oriental de la dorsal entró en la trinchera peruana hace 11.2 millones de años a 11° S; la dorsal no tuvo ningún impacto en los 10° S, como lo muestra el pozo Pierina 112 de ODP (Ocean Driller Program). En la cuenca Lima, hay evidencia del paso de la dorsal con levantamientos de terrazas, y sedimentos. Otra evidencia de la actual influencia de la dorsal es el truncamiento de la cadena volcánica cuaternaria. La subducción de la dorsal representa una aspereza en la placa y el ángulo de esta, disminuyó la velocidad de zambullida de esta y así termina la actividad magmática en el placa atropellada (Hampel et al., 2002).

Fig. 3: Esquema de variación de la velocidad y posición de la Dorsal de Nazca en los últimos 16 Ma. (Tomado de Hampel et al., 2002).

### SISMICIDAD EN EL PERÚ

El borde occidental de América del Sur se caracteriza por ser una de las regiones sísmicas más activas en el mundo. El Perú forma parte de esta región y la actividad sísmica más importante está asociada al



proceso de subducción de la Placa de Nazca bajo la Placa Sudamericana, generando frecuentemente sismos de magnitud elevada. Un segundo tipo de sismicidad es producida por las deformaciones corticales, presentes a lo largo de la Cordillera Andina, con terremotos menos profundos. La distribución y origen de los terremotos en el Perú han sido tema de diversos estudios, utilizando datos telesísmicos y regionales a fin de estudiar la geometría de la subducción de la Placa de Nazca bajo la Sudamericana (Stauder, 1975; Tavera, 1995; Tavera y Buforn, 1998a ; Tavera y Buforn, 1998b.) o bien para delinear las zonas de mayor deformación superficial en el interior del continente (Tavera y Buforn 1998a, Tavera y Buforn 1998b).

Esta parte del estudio está basada en un catalogo sísmico integrado por información facilitada en el instituto geofísico del Perú (IGP), y la información que se puede obtener de National Earthquake Information Center (NEIC).

Fig. 4: Modelo Digital de Elevación (DEM - SRTM - Gtopo30 - NASA) en la cual están proyectados los epicentros de sismos superficiales, intermedios y profundos, los cuales están diferenciados por los colores arriba mencionados (IGP - NEIC).

El catalogo sísmico consta de 12153 sismos registrados entre 1973 y agosto del 2005. Este catalogo no contiene ningún tipo de depuración, es decir que se ha trabajado con la data en bruto, no se ha discriminado los sismos predecesores de las replicas, ya que se considera que ese tipo de tratamiento es para estudios en donde se tome en cuenta el periodo de retorno de sismos.

## PERFILES DE SISMICIDAD

La distribución de la sismicidad se analizó mediante la elaboración de perfiles sísmicos paralelos y perpendiculares a la línea de fosa Peruano – Chilena (contacto de placas). Mediante este análisis, se pudo definir un plano aproximado de contacto entre las placas (Nazca y Sudamericana) y configurar la geometría de subducción para la región comprendida entre 4° de latitud Norte y 24° de latitud Sur.

Fig. 5a: Modelo Digital de Elevación (DEM - SRTM – Gtopo30 – NASA) en el que se proyectan los epicentros de los sismos con que se trabajó. En líneas discontinuas negras, se delimita el área que abarca cada uno de los perfiles paralelos a la fosa Peruana.

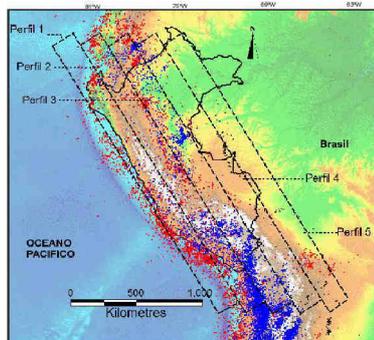
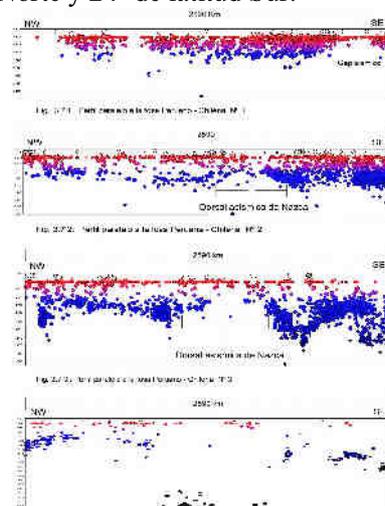


Fig. 5b perfiles sísmicos paralelos a los andes.



Se elaboraron, de Oeste a Este, cinco perfiles de sismicidad paralelos a la línea de fosa (Fig. 5), con una orientación NN-Oeste (de izquierda a derecha). En la figura 5b se pueden apreciar los resultados de estos perfiles sísmicos paralelos que nos delimitan la zona de contacto y/o la zona de acumulación de tensiones entre las dos cortezas (Zona de Mayor densidad de Hipocentros).

Esta zona de contacto muestra un silencio, un GAP sísmico, una ausencia particular de hipocentros, que se aprecia claramente en la parte Sur en los perfiles 2-3 de la figura 5b. Esta zona concuerda con la prolongación de la Dorsal asimétrica de Nazca.

Los perfiles sísmicos perpendiculares a la fosa Perú – Chile que se elaboraron son dieciséis, de Sur a Norte con una longitud variada, y un ancho promedio de 220 Km. En cada uno de los perfiles sísmicos se le adjunto su topografía (Fig. 6). En las figuras 6.1; 6.2; ... 6.5 se pueden apreciar los resultados de estos perfiles, que delimitan una zona de contacto (Mayor Densidad de Hipocentros), la cual muestra muy claramente el proceso de subducción de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana.

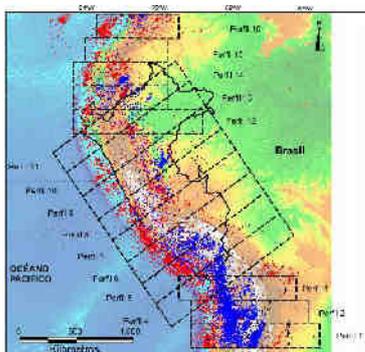


Fig. 6: Modelo Digital de Elevación (DEM - SRTM – Gtopo30 – NASA) con proyecciones de epicentros de los sismos. En líneas discontinuas se delimitan las áreas que abarca cada perfil perpendicular a la Fosa Peruana y a los Andes (datos sismológicos, fuente: catálogos de IGP y NEIC).

Los perfiles perpendiculares 6 - 7 - 8, delimitan la subducción influenciada por la zambullida de la Dorsal de Nazca.

Los resultados que arrojan los perfiles antes mencionados es el ángulo con el que la placa de Nazca se subduce cambiando notoriamente a partir de los perfiles 6 – 7 – 8 que corresponden a los perfiles influenciados por la Dorsal de Nazca. De Sur a Norte, se aprecia un cambio hacia la horizontal en el ángulo de subducción de 30° en los perfiles septentrionales y de 10° en los perfiles 6 – 7 – 8 – 9 – 10. A partir del perfil 11, se ve un nuevo cambio en el ángulo de subducción.

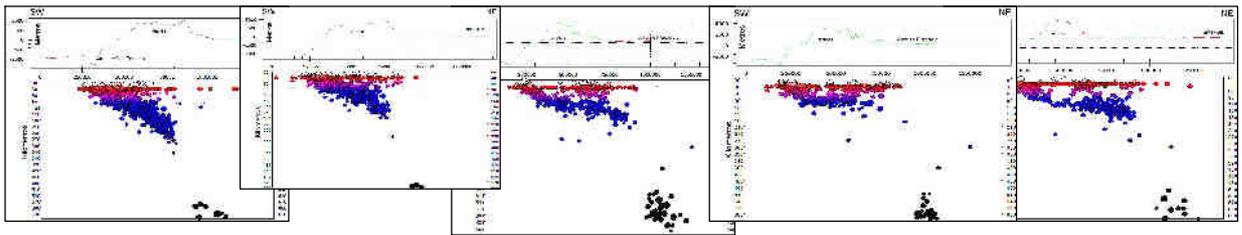


Fig. 6.1 Perfil 6

Fig. 6.2 Perfil 7

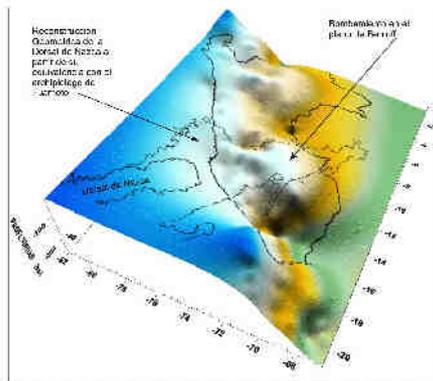
Fig. 6.3 Perfil 8

Fig. 6.4 Perfil 9

Fig. 6.5 Perfil 10

## INFLUENCIA DE LA DORSAL DE NAZCA EN EL PLANO DE BENIOFF

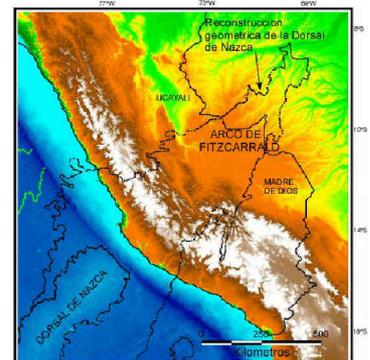
El Plano de fricción entre las dos placas que convergen se llama plano de Benioff (Rodrigues et al., 1991), y es en él donde se concentran la mayor cantidad de focos o hipocentros de los terremotos. La inclinación del plano de Benioff varía de unas zonas a otras, pero suele ser mayor de  $45^\circ$  (es decir, más cercana a la horizontal).



A partir del resultado de los perfiles paralelos y perpendiculares a la fosa y a los Andes, se interpolaron las líneas de mayor densidad de sismos de cada perfil para obtener así una superficie que en este caso es el plano de Benioff (Fig. 7). La reconstrucción geométrica de la Dorsal de Nazca hecha por Hampel a partir de su equivalencia con el archipiélago de Tuamotu, se sobrepone a un alto, o una anomalía positiva en el plano de Benioff.

Fig. 7: Imagen 3D del plano de Benioff generada a partir de interpolaciones de zonas de mayor densidad de sismos; en líneas negras suaves aparece la reconstrucción geométrica de la Dorsal de Nazca (Hampel et al., 2002).

Fig. 8: Modelo Digital de Elevación (DEM – SRTM – Gtopo30 – NASA) con la proyección de la reconstrucción geométrica de la Dorsal de Nazca (puntos negros) sobre el Arco de Fitzcarrald



## DORSAL DE NAZCA Y SU RELACIÓN CON EL ARCO DE FITZCARRALD

Las imágenes DEM (Digital Elevation Model) muestran en su totalidad el Arco de Fitzcarrald (Fig. 8). Según la reconstitución geométrica de Hampel, el Arco de Fitzcarrald se sobrepone con el alto en el plano de Benioff, y este a su vez se relaciona a la Dorsal de Nazca. La relación directa la subducción de la Dorsal de Nazca con el Arco de Fitzcarrald está resumida y esquematizada en las figuras 9.

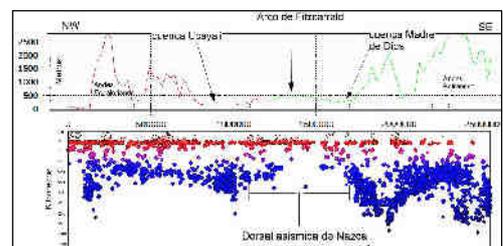


Fig. 9: Relación entre la topografía y la sismicidad (Ver Perfil 3, Fig. 6); se observa la influencia de la Dorsal de Nazca en el levantamiento del Arco de Fitzcarrald.

## ANÁLISIS DE LA GRAVEDAD SOBRE EL ARCO DE FITZCARRALD

El presente análisis se efectuó a partir de mapas de gravedad de Bouguer, Aire Libre y perfiles paralelos a los Andes. El mapa de anomalías de Bouguer (Fig. 10), muestra bajas frecuencias espaciales y de amplitud mediana. Esto revela que las anomalías están controladas por estructuras básicas. Ubicándose máximos de 12 miligales alineados en una franja entre la frontera Perú brasileña con orientación NW, y mínimos con valores de hasta -140 miligales en la parte central de la imagen de color azul. Estos valores se pueden interpretar como sobre espesores de rocas menos densas (sedimentos). En la figura 11 se muestra una serie de perfiles con una ubicación paralela a los andes y sobre el arco de Fitzcarrald, el perfil 3 isocrona del basamento, que muestra altos, llamados arco de Manu y de Paititi. La interpretación de la perfiles sísmicos muestran un espesor delgado de sedimentos de aproximadamente 900 milisegundos de profundidad.

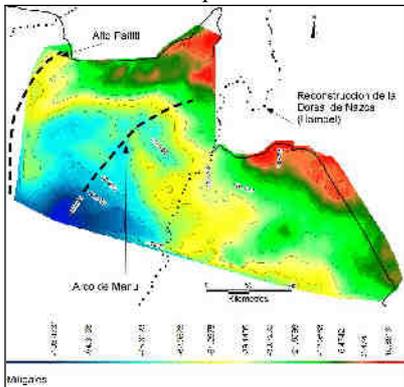


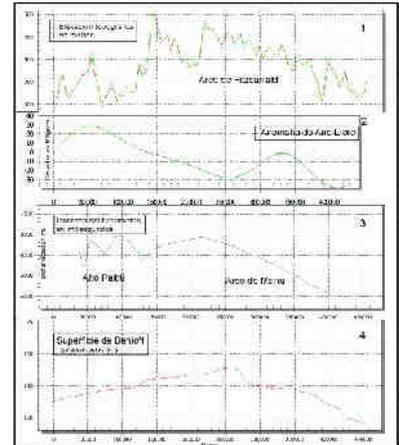
Fig. 10: Imagen generada a partir de datos reprocesados por Carson Service (D. R. Oxley, 1996). Mapa de anomalías de Bouguer sobre el Arco de Fitzcarrald (Densidad 2.67gr/cm<sup>2</sup>). En puntos consecutivos la reconstrucción geométrica de la Dorsal de Nazca (Hampel et al., 2002), en líneas discontinuas se proyectan los paleoaltos del basamento. Información proporcionada por Perupetro S.A

El análisis del arco de Fitzcarrald bajo varias disciplinas (Figura 11) puede ayudarnos a comprender la gran anomalía gravimétrica que encontramos en la zona. La figura 11 muestra 4 perfiles 1: Topográfico; 2: Gravedad de Aire Libre; 3: Isocrona del Basamento; 4: Plano de Benioff. Estos perfiles nos permiten analizar la gran anomalía que encontramos en el arco de Fitzcarrald (Fig. 10).

Se puede apreciar que el alto topográfico que es el Arco de Fitzcarrald (1) engloba a estructuras del basamento en este caso estructuras ya existentes - paleozoicas como es el Arco de Manu y el Alto Paititi (3), a su vez se puede apreciar muy claramente que el levantamiento del Arco de Fitzcarrald concuerda con el abombamiento en el plano de Benioff (4). Este abombamiento en el plano de Benioff demuestra la presencia de la Dorsal de Nazca justo por debajo del Arco de Fitzcarrald.

En el perfil (2) de la figura 11, que corresponde a gravedad de Aire Libre, se puede apreciar también la influencia de la Dorsal de Nazca que es acusada por una anomalía negativa.

Fig. 11: Perfiles sobre el Arco de Fitzcarrald



## CONCLUSIONES

La ausencia de hipocentros en la continuación de la subducción de la dorsal de Nazca, y el abombamiento en el plano de Benioff demostraría la presencia de la dorsal de Nazca bajo el arco de Fitzcarrald.

La anomalía gravimétrica en el arco de Fitzcarrald se muestran como una falta de masa, un sobre espesor de la corteza, un comportamiento de montaña y raíz. El Mecanismo de Isostasia podría explicar el por que del levantamiento del Arco de Fitzcarrald y el por que de las anomalías negativas de gravedad que presenta esta zona. Así, en el arco de Fitzcarrald, las anomalías negativas se pueden interpretar como raíces. Dicho mecanismo explicaría el comportamiento gravimétrico y la surrección del Arco, para esto la corteza continental y la Dorsal de Nazca tendría que comportarse como parte de una sola célula que busca su equilibrio Isostático (como una cadena de montañas).

Entonces el Arco de Fitzcarrald es causa directa de la subducción horizontal de la Dorsal de Nazca, y el levantamiento de esta importante estructura de la cuenca de ante-país amazónica la podemos atribuir a la búsqueda del equilibrio isostático.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo de investigación ha sido realizado en el marco del convenio IRD-PERUPETRO-PLUSPETROL.

## BIBLIOGRAFÍA

- Bernal I., 2002. Características de la sismicidad en la región sur de Perú. Revista de trabajos de investigación centro nacional de datos sísmicos, p. 69 – 80.
- Dorbath L., Dorbath C., Jimenez E., Rivera I., 1991. Sismicity and tectonic deformation in the eastern cordillera and the sub-andean zone of central Peru. *Journal of South American Earth Sciences*, vol. 4, NO. ½, p. 13 – 24.
- Espurt N., Baby P., Brusset S., Hermoza W., Antoine P., Salas R., Roddaz M., Regard V., Bolaños R., 2006. Geomorphic and sedimentologic analyses on the Fitzcarrald Arch: evidence of a recent tectonic uplift. XIII Congreso Peruano de Geología (inpresos).
- Gil W., 1995. Tectónica de inversión Cretácica y Terciaria en el antepaís andino: ejemplo la cuenca Marañón, p. 93.
- Gil W., 2001. Evolución lateral de la deformación de un frente orogénico: ejemplo de las cuencas subandinas entre 0° y 16° S. Thèse de l'université Paul Sabatier de Toulouse III, p. 146.
- Gutscher M., Olivet J., Aslanian D., Eissen J., Maury R., 1999. The "lost inca plateau": cause of flat subduction beneath Peru? *Earth and Planetary Science Letters* 171. p. 335 – 341.
- Gutscher M., Spakman W., Bijwaard H., Engdahl E., 2000. Geodynamics of flat subduction: Seismicity and tomographic constraints from the Andean margin. *TECTONICS*, vol. 19, NO. 5, p. 814 – 833.
- Gutscher M., 2001. Andean subduction styles and their effect on thermal structure and interplate coupling. *Journal of South American Earth Sciences* 15, p. 3 – 10.
- Hampel A., 2002. The migration history of the Nazca ridge along the Peruvian active margin: a re-evaluation. *Earth and Planetary Science Letters* 203, p. 665 – 679.
- Hampel A., 2003. Subduction of the Nazca ridge at the Peruvian margin: insights from geophysical data, analogue and numerical modelling, p. 107.
- Menard H., 1996. El fondo oceánico. En: deriva continental y tectónica de placas. *Selecciones de Scientific American*.
- Oxley D., Mobil E&P tech center Carson Services Inc. 1996. Airborne gravity and magnetic survey Madre de Dios basin Peru block 77.
- Quispe R., Tavera H., Bernal I., 2003. Geometría de la placa de Nazca en el borde occidental de Sudamérica a partir de las tendencias medidas de sismicidad. *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú*, V95, p. 93 – 110.
- Rodríguez L., Tavera H., 1991. Determinación con alta resolución de la geometría de la zona Wadatti –Benioff en el Perú central. *Revista Brasileira de Geofísica* vol. 9, p.141 – 150.
- Roddaz M., Baby P., Brusset S., Hermoza W., 2004. Foreland basin dynamics in western Amazonia inferred from forebulge evolution: the case study of the arch of (Peru).
- Roddaz M., Baby P., Brusset S., Hermoza W., Darrozes M., 2004. Forebulge dynamics and environmental control in western Amazonia : the case study of the arch of Iquitos (Peru). *TECTONOPHYSICS* 399, p. 87
- Stark P., Frohlich C., 1985. The depths of the deepest deep earthquake. *Journal of Geophysical Research*, 90 NO. B2, p. 1859 – 1869.
- Talavera C., 1998. Reinterpretación gravimétrica e intercomparación sísmica del área Portachuelos Lancones, p. 60.
- Tavera H., Buforn E., 1998. Sismicidad y sismotectónica de Perú. En: física de la tierra sismicidad y sismotectónica de centro y Sudamérica. (editores). Buforn E., Udías A., p. 187 – 219.