

CINEMÁTICA DE LAS PLACAS NAZCA Y SUDAMERICANA Y ZONAS DE ACOPLAMIENTO EN LA INTERFAZ DE SUBDUCCION DEL PERU A PARTIR DE DATOS GPS (Red LISN)

Juan Carlos Villegas¹, Hernando Tavera¹, Jean-Mathieu Nocquet² y Mohamed Chlieh²

¹Dirección Sismología-IGP; ²Geoazur CNRS-IRD Francia. Email. juancarlos.villegas@jgp.gob.pe

INTRODUCCIÓN

La continua y rápida subducción de la placa de Nazca bajo la Sudamericana ha producido a lo largo de la historia grandes terremotos en el borde occidental peruano, muchos de ellos con características (magnitud, área de ruptura, etc.) repetitivas en el espacio y tiempo. Diversos autores proponen que para el sur de Perú y norte de Chile la ocurrencia de sismos de características similares se da en forma cíclica con periodos de recurrencia de entre 100 y 150 años (Dorbath et al., 1990; Tavera y Bernal, 2005). Por otro lado, desde la década de los 90, diferentes proyectos de investigación vienen utilizando técnicas de geodesia espacial para estudiar la deformación intersísmica en el sur peruano. Es a partir de estos estudios que se ha mostrado que parte de la interfaz de subducción entre ambas placas presenta un acoplamiento significativo que origina deformación en el borde costero y a la vez un lento crecimiento de los Andes (Norabuena, et al., 1998, Kendrick, et al., 2002). No obstante, el panorama general de Perú aún muestra carencia de información para las regiones norte y centro, áreas en donde al menos en los dos últimos siglos no se ha producido un terremoto de gran magnitud ($mag > 8$), lo que sugiere por un lado, que esta porción podría estar deslizándose libremente en forma asísmica, o bien por otro lado, que estas regiones, al tener características similares a las de los segmentos adyacentes (tasa de convergencia, edad del piso oceánico, sedimentos en la trinchera), podrían estar, durante las últimas centurias, acumulando energía en forma lenta para producir un terremoto de gran magnitud en el futuro próximo.

En el presente estudio se lleva a cabo el procesamiento de los datos registrados por las redes permanentes GPS de los proyectos LISN (Low Latitude Sensor Network), IGS (International GPS Service) y ADN (Andes du Nord) con los siguientes propósitos: a) evaluar el potencial de la red LISN para fines tectónicos, (ya que esta ha sido diseñada para estudiar fenómenos ionosféricos), y una vez evidenciado éste, b) obtener velocidades de los sitios geodésicos para evaluar el nivel de deformación de la fase íntersísmica en las regiones norte y centro de Perú, zonas en donde hasta el momento no se han efectuado este tipo de estudios. Finalmente, en base a las velocidades observadas se lleva a cabo una inversión y se propone un modelo preliminar que permite identificar zonas de alto nivel de acoplamiento en la interfaz de subducción del territorio peruano.

DATOS

Se seleccionaron un total de 52 sitios GPS permanentes de los proyectos LISN, ADN e IGS, distribuidos a lo largo de Sudamérica y sobre algunas islas ubicadas en la placa de Nazca (Galápagos e Isla de Pascua). El periodo de datos comprende 810 días para la mayoría de sitios (desde el día 71 de 2007 hasta el 150 de 2009), aunque para los de la red ADN, por ser un proyecto que se inicio a mediados del 2008, la data comprende un año. Para el caso de la red LISN, dado que esta ha sido diseñada para fines ionosféricos y no tectónicos, el tipo de antena y la calidad de la monumentación podrían constituir un inconveniente en las soluciones geodésicas; sin embargo, se ha buscado contar con la información más óptima. De otro lado, debido a que las soluciones geodésicas para fines tectónicos requieren una precisión milimétrica, es necesario corregir los errores asociados al tiempo, efemérides y el retardo que sufre la señal al viajar del satélite al receptor; para tal fin se utilizan las tablas de corrección, efemérides, y orbitas que proporciona el IGS y SOPAC.

PROCESAMIENTO Y RESULTADOS

Para el procesamiento de datos se ha utilizado el software GAMIT/GLOBK desarrollado en el Instituto de Tecnología de Massachusetts (King y Bock, 1998; Herring, 1999). GAMIT basado en el criterio de

que las desviaciones estándar promedio son del orden de 1 mm; por otro lado, resulta importante destacar que el 15 de Agosto de 2007 los sitios JICA y AREQ presentan un cambio en la tendencia de 15 mm y 5 mm, respectivamente (componente E), lo cual se debe a la deformación co-sísmica provocada por el sismo de Pisco del 2007 (Mw 7.9). Considerando que AREQ se encuentra a más de 500 km de distancia, la deformación de 5 mm originada por este sismo resulta importante ya que alcanza distancias regionales.

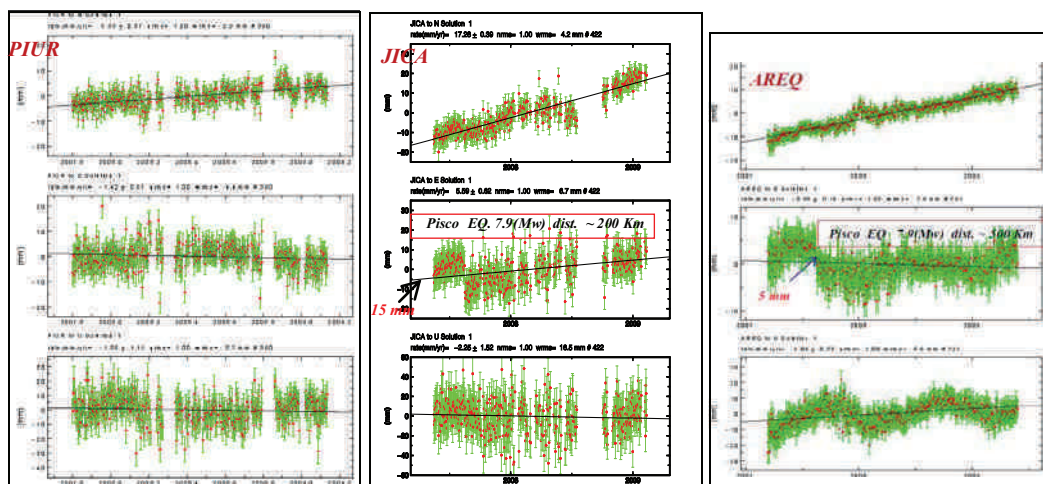


Figura 2. Series de tiempo para los sitios PIUR, JICA y AREQ. En la componente Este de JICA y AREQ se observa el efecto de la deformación co-sísmica (ver flecha) del sismo del 15/08/07 (7.9 Mw).

CINEMÁTICA DE LA PLACA DE NAZCA Y SUDAMERICANA

Dado que el campo de velocidad obtenido está expresado en un marco de referencia global (ITRF 2005), la solución a primer orden muestra los movimientos de las placas tectónicas. Esta información es de poco interés para estudios de geodinámica y tectónica, lo importante es conocer el movimiento de la placa de Nazca respecto a Sudamérica y evaluar su efecto en los sitios ubicados cerca de la interfaz de subducción. Para ello es necesario definir un marco de referencia estable sobre el cual definir una interpretación, así, en base a la teoría de tectónica de placas, se asume que un área determinada de Sudamérica es rígida; por tanto, se puede utilizar un subconjunto de sitios ubicados sobre esta área para definir un vector de la tasa de rotación. Para el presente estudio, utilizando un algoritmo iterativo que aplica test estadísticos (T-student, chi-cuadrado y F-ratio (Nocquet, et al., 2001), se ha obtenido un set de 8 sitios que presentan un valor RMS residual de 0.61 mm/yr. Estos sitios, distribuidos sobre el cratón brasileño, muestran velocidades residuales menores a 1 mm/yr, lo que representa un movimiento casi nulo con relación al resto de sitios. En base a esta solución y utilizando los 2 únicos sitios GPS disponibles de la red IGS ubicados sobre la placa de Nazca (GLPS e ISPA), se ha estimado el siguiente polo de Euler: -101.49°E , 55.72°N a una tasa de rotación de $0.61^{\circ}/\text{Myr}$. Estos resultados permiten estimar velocidades para la placa de Nazca que se incrementan de norte a sur a lo largo del borde oeste de la placa Sudamericana desde 52.6 mm/yr (lat. 6°N) hasta 64.3 mm/yr (lat. -45°S). En general, estos resultados son similares a los propuestos por Kendrick, et al., (2003) y Norabuena, et al., (1998), aunque se han observado diferencias de 5 y 10%, respectivamente, probablemente debido a la ventana de tiempo y marco de referencia utilizado. En cuanto a las velocidades de los sitios GPS en la costa norte (sitio PIUR) y centro de Perú (sitio JICA) se han observado valores de 2.5 mm/yr y 13.1 mm/yr, respectivamente, ambas con dirección preferencial NE ejercida por efecto de la subducción de la placa de Nazca.

DEFORMACIÓN INTERSÍSMICA EN LA INTERFAZ DE SUBDUCCIÓN DE PERÚ

A fin de representar la acumulación de esfuerzos que se producen en la interfaz de subducción se hace uso del modelo de dislocación 2D introducido por Savage, (1983), el cual permite modelar la fase intersísmica asumiendo que la placa sobreyacente tiene un comportamiento elástico y que el acoplamiento en la interfaz de subducción produce acortamiento en su parte superior. Para el norte de Perú (Figura 3), haciendo uso de la velocidad observada en PIUR, se ha calculado que la deformación en superficie corresponde a un

acoplamiento en la interfaz de subducción de 40 km de longitud en dirección perpendicular a la fosa. Asimismo, para el centro de Perú, haciendo uso de la velocidad observada en JICA, se ha calculado que la deformación en superficie corresponde a un acoplamiento en la interfaz de subducción de 125 km. Estos resultados sugieren que para el norte de Perú (Piura) la acumulación de esfuerzos se estaría dando en forma lenta sin comprometer un área importante, debido probablemente a diferentes factores que intervienen en la forma de la subducción y que definirían un deslizamiento de tipo asísmico; por lo que, es necesario continuar con el monitoreo en esta región. Para el centro de Perú (Lima) el área acoplada, por ser de gran extensión, sugiere mayor acumulación de esfuerzos en la interfaz de subducción; por lo que, la probabilidad de ocurrencia de un sismo de gran magnitud en los próximos años es alta (Villegas, 2009). Posteriormente, a fin de evaluar en términos de acoplamiento, en que medida la energía elástica viene acumulándose en la interfaz de subducción, se ha realizado una inversión preliminar con todas las velocidades observadas en los sitios GPS (Figura 3). Así, asumiendo para una zona completamente acoplada un valor de 1 y para una zona no acoplada un valor de 0, se ha observado que para el norte de Perú, frente al Piura, el acoplamiento es relativamente bajo (0.4); mientras que, para la región centro, entre los departamentos de Ancash y Lima el acoplamiento es relativamente alto (0.9). Asimismo, entre la frontera sur del departamento Ica y norte de Arequipa, existe una zona con alto nivel de acoplamiento (1.0), mientras que al frente de Arequipa, el nivel de acoplamiento es casi nulo, esto debido a que el sismo del 23/06/2001, ya liberó la energía acumulada. Por último, entre los departamentos de Moquegua y Tacna el nivel de acoplamiento es alto (1.0). Correlacionando estos resultados con los que provee la sismicidad histórica e instrumental, se tiene que en las áreas con alto nivel de acoplamiento han ocurrido terremotos de gran magnitud, en 1966 (7.9 Mw) y 1970 (8.1 Mw) en la región central; 1913 (Mw 7.9) en el norte de Arequipa y 1868 (Mw 9.0) frente de Moquegua y Tacna en el sur de Perú. Finalmente, las zonas definidas con alto nivel de acoplamiento liberarán la energía acumulada en un futuro próximo lo que incrementa el riesgo en las ciudades cercanas a estas áreas

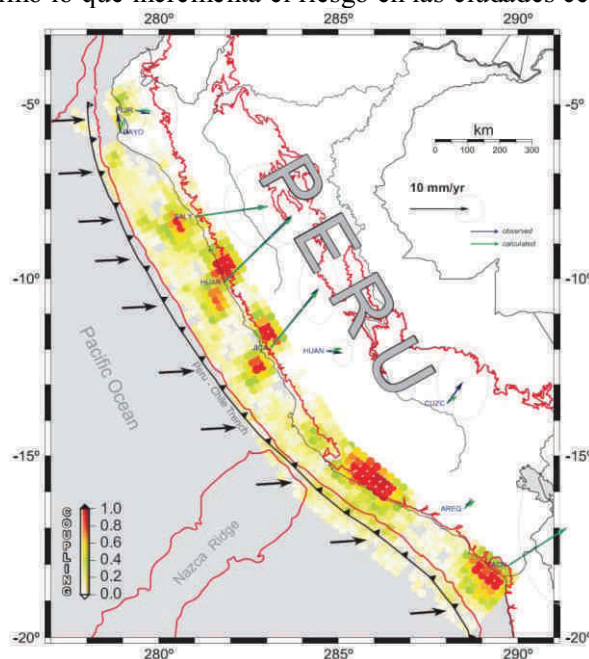


Figura 3. Inversión preliminar del nivel de acoplamiento en la interface de subducción de Perú.

CONCLUSIONES

El procesamiento de datos efectuado con GAMIT/GLOBK, ha permitido evaluar en términos de repetibilidad, la calidad de los sitios GPS, siendo óptimos para PIUR, JICA, CUZC, TACN, entre otros. Por tanto los datos de la red LISN son óptimos para realizar estudios tectónicos. En base a un modelo sustentado en la teoría de dislocación, se ha encontrado que la interfaz de subducción en la región norte de Perú está parcialmente acoplada; mientras que, en la región centro (entre Lima y Ancash) y sur (al norte de Arequipa y frente a Moquegua y Tacna) existen zonas con alto nivel de acoplamiento, los cuales podrían generar sismos de gran magnitud en el futuro próximo.

REFERENCIAS

- Dorbath, L., Cisternas, A. and Dorbath C. 1990. Assessment of the size of large and great historical earthquakes of Peru. BSSA V. 80(3).
- Kendrick, E., M. Bevis, R. Smalley Jr., B. Brooks, R. B. Vargas, E. Lauria, L. P. Souto Fortes. 2003. The Nazca-South America Euler vector and its rate of change. JSAES, Vol. 16.
- King, R.W. and Bock, Y. 1998 Documentation for the MIT, GPS analysis software: GAMIT. MIT, Cambridge.
- Nocquet, J.-M., Calais, E., Altamimi, Z., Sillard, P., Boucher, C. 2001. Intraplate deformation in western Europe deduced from an analysis of the ITRF97 velocity field. JGR, Vol. 106, No. B6, p. 11,239.
- Norabuena, E., Leffer-Griffin, L., Mao, A., Dixon, T.H., Stein, S., Sacks, I.S., Ocola, L., and Ellis, M. 1998. Space geodetic observations of Nazca-South America convergence across the central Andes. Science, v. 279.
- Okada Y. 1985. Surface deformation due to shear and tensile faults in a half-space BSSA.1985; 75: 1135-1154
- Savage, J. C. A dislocation model of strain accumulation and release at a subduction zone. JGR., 88, 1983.
- Tavera, H. and Bernal, I. Distribución espacial de áreas de ruptura y lagunas sísmicas en el borde oeste del Perú. Vol. Esp. SGP Nr 6 Alberto Giesecke Matto. p. 89-102 2005.
- Villegas, JC. 2009. Processing and analysis of the LISN permanent GPS network. Master thesis France. 32 p.