

RESULTADOS DEL USO DE GEODESIA SATELITAL PARA ESTUDIOS GEODINAMICOS EN COLOMBIA

Héctor Mora-Páez¹, Robert Trenkamp², James Kellogg², Jeff Freymueller³, Milton Ordóñez-Villota¹

Resumen

El uso de la tecnología GPS provee mediciones directas de los desplazamientos debido al movimiento de las placas y deformación intraplaca, información básica para el entendimiento de la cinemática de los movimientos. Empleando técnicas de geodesia satelital, tasas de deformación de corteza terrestre en el límite amplio de placas al suroeste del Caribe, Sureste de América Central y Noroeste de Suramérica han sido derivadas de las campañas de GPS efectuadas en 1988, 1990, 1991, 1994, 1996 y 1998 como parte del proyecto de GPS denominado CASA. (Central And South America). La zona de estudio comprende el área de compleja interacción de las placas Caribe, Nazca y Suramérica. Las mismas estaciones GPS han sido ocupadas con el propósito de hacer comparaciones en la posición de cada sitio, analizando distancias de separación (líneas base) y obteniendo vectores de desplazamientos (magnitud y orientación). Se muestran algunos resultados obtenidos usando el software GIPSY-OASIS II, que es un paquete de precisión para el análisis de datos GPS, desarrollado por JPL-NASA. INGEOMINAS ha establecido en Colombia una red de estaciones GPS denominada GEORED para efectuar ocupaciones sucesivas a fin de obtener información de deformación intraplaca, bajo el proyecto institucional denominado Levantamiento, Compilación y Generación de Información de Información Geodinámica.

Palabras claves: GPS, Geodinámica, Deformación, Placas tectónicas.

Abstract

The use of GPS technology provides direct measurements of displacements due to plate motions and intraplate deformation, basic information for understanding kinematic of the movements. Using satelital geodesy techniques, crustal deformation rates in the southwestern Caribbean, southeastern of Central America and northwestern of South America wide plate boundary have been derived from GPS campaigns in 1988, 1990, 1991, 1994, 1996 and 1998 as part of the CASA (Central And South America) GPS Project. The zone of study includes the area of complex interaction between the Caribbean, Nazca and South America plates. The same GPS stations have been occupied with the purpose of making comparisons on the position of each site, analyzing distances of separation (baselines) and obtaining displacement vectors (magnitude and orientation). Some results are showed using the GIPSY-OASIS II software, that is a precision package for the analysis of GPS data developed by JPL-NASA. INGEOMINAS has built a GPS network called GEORED to be occupied successively in order to get information about intraplate deformation, under the institutional project named Survey, Compilation and Generation of Geodynamics Information.

Key words: GPS, Geodynamics, Deformation, Tectonic Plates

INTRODUCCION

Colombia, a través del INGEOMINAS, inició las aplicaciones de geodesia satelital mediante el empleo de técnicas de posicionamiento global por satélite en 1988, cuando se inició el proyecto internacional CASA (Central And South America) GPS Project, patrocinado por National Science Foundation de Estados Unidos y con la participación de científicos y entidades de cinco países: Costa Rica, Panamá, Venezuela, Colombia y Ecuador. Este proyecto, con patrocinio de NSF y NASA y la cooperación de

¹ INGEOMINAS, Observatorio Vulcanológico y Sismológico, Manizales E- mail: hmora@um.umanizales.edu.co

² University of South Carolina, Department of Geological Sciences, Columbia SC 29208

³ University of Alaska at Fairbanks

instituciones de cada país tuvo como concepción inicial, con propósitos científicos los siguientes aspectos, información que ha sido obtenida en las diferentes campañas realizadas, así:

- Obtener mediciones de líneas base entre algunas islas en el Océano Pacífico localizadas sobre las placas de Nazca y Cocos, y sitios en Colombia y Centro América, que comparadas en el tiempo, permitan determinar las tasas de subducción;
- Establecer una red a través del Cinturón Deformado del Sur del Caribe que pueda demostrar si la corteza Caribe está subduciendo asísmicamente debajo de los Andes Norte;
- Obtener mediciones de líneas base a lo largo de los Sistemas de fallas de Romeral, Santa Marta, Boconó y Borde Oriental Llanero, que eventualmente puedan determinar la distribución de esfuerzos a lo largo de la margen continental de los Andes Norte;
- Obtener mediciones de elevación que puedan establecer si los Andes Norte están ascendiendo, como es sugerido por algunas terrazas levantadas del Plioceno-Cuaternario;
- Localizar estaciones Doppler y GPS para mejorar la transformación entre los sistemas de referencia WGS72 y WGS84 en esta región.

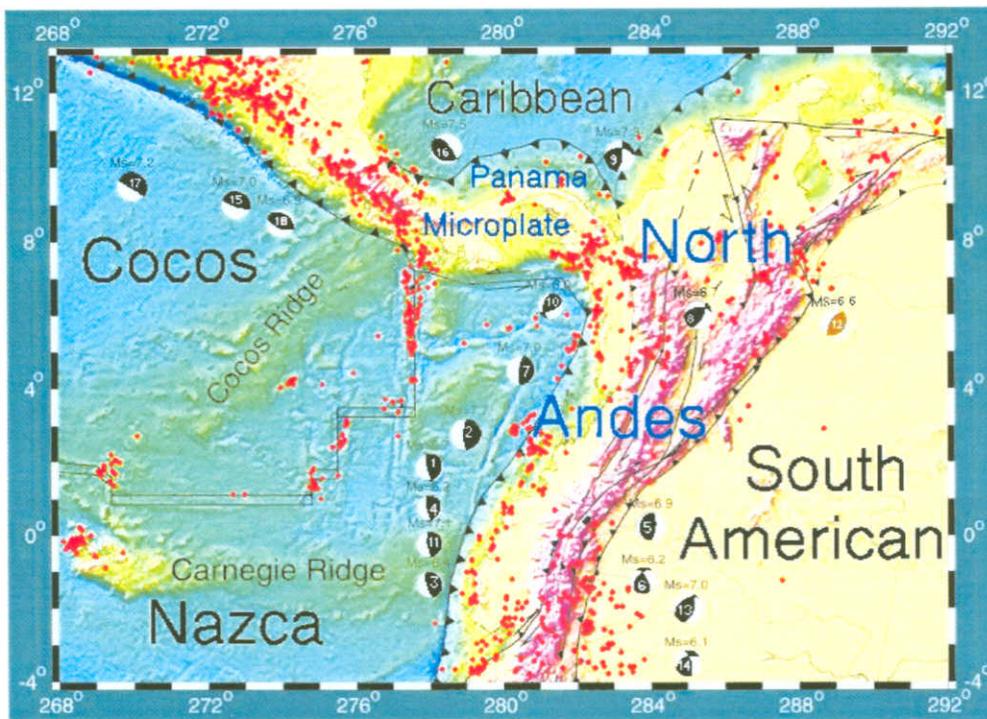


Figura 1. Marco tectónico de la zona del proyecto CASA.

Sin embargo, los resultados del procesamiento de datos entre 1991 y 1998 ha permitido enfocar el análisis a los siguientes aspectos:

- Subducción oblicua en la trinchera ecuatoriana y “escape” del Bloque Norte de los Andes
- Acumulación de esfuerzos asociados a sismos en la trinchera ecuatoriana
- Colisión de arco de islas – continente entre Panamá y Colombia
- Subducción de la placa Caribe

Uno de los principales aspectos considerados dentro del proyecto fueron los resultados obtenidos por Nishenko (1989), quien al estudiar las zonas sísmicas en el Cinturón de Fuego del Pacífico estimó un 60%-90% de probabilidad dependiente del tiempo para la recurrencia de un sismo de magnitud mayor a 7 en la zona de subducción de la frontera colombo-ecuatoriana, Figura 2., para el período 1989-1999.

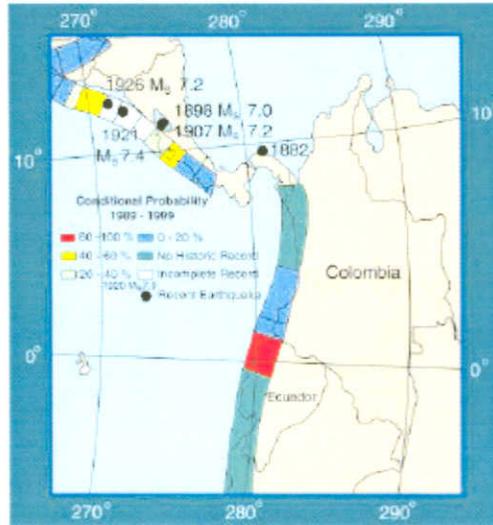


Figura 2. Riesgo sísmico potencial, Nishenko, 1989.

Nishenko analizó los sismos ocurridos en esta zona en 1906, 1942, 1958 y 1979, para establecer el riesgo potencial sísmico. Es importante considerar que la longitud de ruptura del sismo de ruptura es equivalente a la sumatoria de las longitudes de ruptura de los otros tres sismos posteriores, Figura 3. Papadimitriou (1993), al estudiar solamente los segmentos a lo largo de ña costa oeste de Centro y Suramérica, empleando un modelo de predicción en el tiempo, establece un 68% de probabilidad dependiente del tiempo para un sismo mayor a 7,5 en la misma zona para un período de 10 años finalizando en el 2002.

De hecho, varios sismos, afectando a varios países dentro de la zona de estudio se han presentado, algunos de ellos con profundas repercusiones económicas y sociales, con gran cantidad de pérdidas humanas y heridos, destrucción de viviendas. La Figura 1 muestra la localización epicentral de los sismos principales que se han presentado en la zona indicada. Los sismos numerados del 1 al 11 corresponden a sismos localizados en el Bloque Norte de los Andes; los sismos numerados del 12 al 14, corresponden a sismos asociados a la Falla Frontal Oriental; y los sismos 15 al 18 corresponden a sismos en Costa Rica. No está localizado el sismo del Quindío del 25 de Enero de 1999, de profundas repercusiones en Colombia.

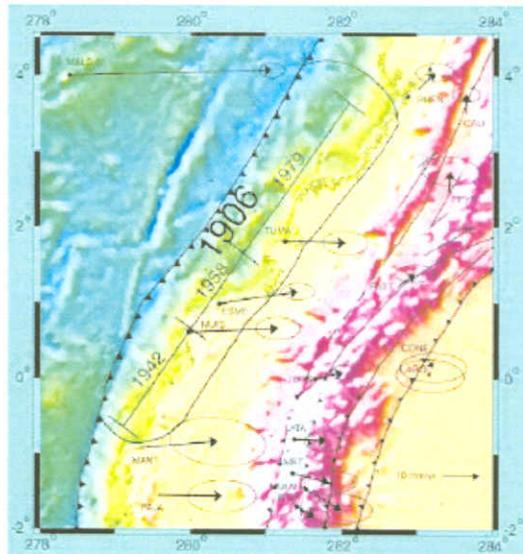


Figura 3. Sismos en la zona de subducción de la frontera colombo-ecuatoriana

METODOLOGIA

El estudio geodésico de sismos surgió cuando Reid empleó el desplazamiento de los puntos geodésicos al este y oeste de la Falla de San Andrés para proponer su teoría del rebote elástico en 1910. Los primeros trabajos se basaron en técnicas de triangulación y trilateración, y posteriormente de trilateración. Con el advenimiento de la era satelital, la geodesia satelital se ha convertido en disciplina básica para el análisis y estudio de deformación interplaca e intraplaca. La geodesia ayuda en el estudio individual de sismos desde que la evidencia geodésica en desplazamiento cosísmico fue notada en el sismo de Sumatra en 1892. Adicionalmente, la geodesia juega un importante papel para entender el ciclo sísmico. Bajo este orde de ideas, la geodesia tectónica implica la ocupación sucesiva en el tiempo de las mismas estaciones para observar las variaciones de las coordenadas de dichas estaciones expresadas en un marco de referencia determinado, en virtud de los desplazamientos como respuesta a las fuerzas que interactúan. El uso de la geodesia en aplicaciones tectónicas debe ser por tanto dividido en métodos de campo cercano y campo lejano, clasificación que está relacionada con los métodos a ser aplicados, tanto tradicionales como satelitales, o dicho de otra forma, métodos terrestres y métodos satelitales. De hecho, la geodesia brinda excelente resultados en diversos procesos relacionados con la actividad sísmica, como movimiento presísmico, cosísmico e incluso postsísmico; también proporciona información incluso en movimientos asísmicos. La geodesia de campo cercano usualmente se refiere a mediciones de grandes distancias, mientras que la geodesia de campo cercano se refiere a las mediciones en la vecindad o sobre el fenómenos objeto de medición. La Figura 4 muestra el alcance de las mediciones geodésicas al observar y cuantificar los desplazamientos relativos en dos puntos, mediante el establecimiento de una red de cuatro puntos, ubicados a lado y lado de una falla de rumbo.

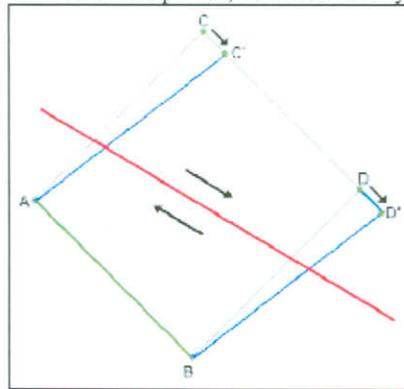


Figura 4. Ejemplo de aplicación geodésica para la determinación de movimientos relativos.

Bajo esta premisa, desde 1988 se han venido realizando ocupaciones de campo con propósitos geodinámicos, cuyas estaciones (puntos rojos) y años de ocupación pueden ser observadas en los mapas de la Figura No. 5.

La campaña CASA 1994 permitió la ocupación de la mayoría de las estaciones ocupadas en las campañas de 1998, 1990 y 1991, así como iniciar un proceso de densificación en Colombia, al igual como se estaba haciendo de manera simultánea en Ecuador y Panamá. Mora (1995), y Mora y Kellogg (1996) muestran resultados de las mediciones de campo de 1991 y 1994 y las comparan con los obtenidos entre 1998 y 1991 por Freymueller, Kellogg y Vega (1993), correspondientes a los valores de subducción de la placa de Nazca por debajo de la Placa Suramericana, colisión de la microplaca Panamá-Costa Rica con el Bloque Norte de los Andes, y desplazamiento del Bloque Norte de los Andes con relación a la estable Suramérica.

En la campaña de 1996 se recuperaron en Colombia la totalidad de las estaciones principales del proyecto CASA, y la mayoría de las estaciones de densificación materializadas y ocupadas por primera vez en 1994. En la campaña de 1998, el INGEOMINAS y la Universidad de Carolina del Sur dedicaron sus esfuerzos a la parte norte del sector colombiano, con el propósito de obtener resultados entre el sector occidental de Colombia y frontera con Panamá, y el sector oriental en la frontera con Venezuela, así como el área comprendida entre estas dos áreas. En 1999, el INGEOMINAS realizó algunas ocupaciones, en las inmediaciones de la zona epicentral del sismo del 25 de Enero de 1999. En la