

**RESULTADOS EN LA MEDICIÓN DE UNA CAMPAÑA
GNSS ENTRE LA ISLA DEL COCO Y EL LITORAL
PACÍFICO DE COSTA RICA COMO INSUMOS PARA
LA ESTIMACIÓN DE DESPLAZAMIENTOS**

**RESULTS OF A GNSS CAMPAIGN BETWEEN ISLA DEL
COCO AND PACIFIC SEACOAST OF COSTA RICA AS
INPUT FOR ESTIMATING DISPLACEMENT**

Jorge Moya Zamora¹

Álvaro Álvarez Calderón²

Karla Benavides Galindo³

Gabriela Cordero Gamboa⁴

Mauricio Varela Sánchez⁵

Universidad Nacional, Costa Rica

-
- 1 Escuela de Topografía, Catastro y Geodesia. Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica. Correo electrónico: jorge.moya.zamora@una.cr
 - 2 Escuela de Topografía, Catastro y Geodesia. Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica y Instituto Geográfico Nacional. Ministerio de Obras Públicas y Transportes. San José, Costa Rica. Correo electrónico: aalvarez.igncr@gmail.com
 - 3 Escuela de Topografía, Catastro y Geodesia. Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica y Programa de Regularización de Catastro y Registro. Componente 2. San José, Costa Rica. Correo electrónico: kbenavides@uecatastro.org
 - 4 Escuela de Topografía, Catastro y Geodesia. Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica. Correo electrónico: gcorderog@gmail.com
 - 5 Escuela de Topografía, Catastro y Geodesia. Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica. Correo electrónico: msvtop@gmail.com

Fecha de recepción: 15 de mayo de 2013

Fecha de aceptación: 26 de julio de 2013

Jorge Moya Zamora, Álvaro Álvarez Calderón, Karla Benavides Galindo, Gabriela Cordero Gamboa, Mauricio Varela Sánchez. Resultados en la medición de una campaña GNSS entre la Isla del Coco y el litoral pacífico de Costa Rica como insumos para la estimación de desplazamientos

RESUMEN

En este artículo se exponen los resultados de la cuantificación del desplazamiento del litoral pacífico de Costa Rica, materializado por siete puntos de la red geodésica nacional de primer orden y con base en las mediciones GNSS realizadas en conjunto por la Escuela de Topografía, Catastro y Geodesia (ETCG) de la Universidad Nacional, el Instituto Geográfico Nacional (IGN) y la Unidad Ejecutora de la Programa de Regularización de Catastro y Registro (UE). Las mediciones desde Costa Rica se vincularon con dos puntos a unos 550 km de distancia de la parte continental costarricense, ubicados propiamente en la Isla del Coco. El procesamiento de las mediciones y el posterior ajuste se realizó por medio de la combinación de la técnica de procesamiento en línea Precise Point Positioning y la utilización de un software comercial Topcon Tools. Se expone adicionalmente algunos detalles técnicos de la segunda estación SIRGAS de Costa Rica, la estación ISCO ubicada en la Isla del Coco.

Palabras claves: Estación ISCO, medición GNSS en la Isla del Coco, desplazamiento litoral pacífico de Costa Rica.

ABSTRACT

This article presents the results of the quantification of the displacement of the Pacific coast of Costa Rica, materialized by seven points in the national geodetic network of first order and based on GNSS measurements carried out jointly by the Escuela de Topografía, Catastro y Geodesia (ETCG) de la Universidad Nacional, el Instituto Geográfico Nacional (IGN) y la Unidad Ejecutora de la Programa de Regularización de Catastro y Registro (UE). Measurements from Costa Rica were linked with two points about 550 km away from mainland Costa Rica, located properly in Cocos Island.

The processing of the measurements and the subsequent adjustment was made by combining the online processing technique Precise Point Positioning and the use of commercial software Topcon Tools. Additionally exposed some technical details of the second season of Costa Rica SIRGAS, ISCO station located at Cocos Island.

Keywords: ISCO station, GNSS measurement in Cocos Island, Costa Rica's Pacific coast displacement.

Introducción

Costa Rica se ubica en su parte continental sobre la parte sur occidental de la placa tectónica Caribe, sin embargo el territorio insular costarricense correspondiente a la Isla del Coco está ubicado sobre la placa de Cocos. La constante interacción de estas dos placas, (por medio del fenómeno de la subducción, a lo largo de la Fosa Mesoamericana), ha generado una serie de investigaciones tendientes no solo a la explicación del fenómeno como tal, sino a la cuantificación de las velocidades en la zona, con valores que van desde los 70 mm por año frente a las costas de Guatemala, hasta los 90 mm por año en la Península de Osa (Protti, 1998).

El territorio continental de Costa Rica comprende aproximadamente 3° por 3° y se ubica entre los 8° y 11° latitud norte y los 82° 45' y 85° 45'

longitud oeste. Adicionalmente, al territorio costarricense se suma la Isla del Coco, una porción de tierra a unos 550 km de Costa Rica, que abarca unos 3' por 4' y se ubica entre 5° 30' y 5° 33' latitud norte y los 87° 01' y 87° 05' longitud oeste.

La Placa Caribe está ubicada entre las placas Norteamericana y Suramericana al norte y sur respectivamente y limita al este con la Placa Cocos. La Tectónica de Centroamérica está controlada principalmente por el choque de las placas Cocos y Caribe. En su extremo suroeste, las condiciones locales de esfuerzos tectónicos han creado fracturas y otras microplacas como el Bloque de Panamá, cuyos límites no se tienen muy claros.

El límite norte de este bloque con la placa Caribe es un margen convergente conocido como Cinturón de Deformación Norte de Panamá (CDNP) (Protti, 1998). Esta zona se extiende de manera arqueada desde el Golfo de Uruba, al norte de la frontera entre Panamá y Colombia; bordea la parte marina hasta llegar cerca de Puerto Limón en Costa Rica. El origen de esta se debe a la convergencia entre la placa Caribe y el Bloque de Panamá (Montero et al. 1994).

La parte sur de Centroamérica conforma el límite suroeste de la placa Caribe y está caracterizada por bloques de fallas con movimientos relativos entre sí. Costa Rica y Panamá forman parte del llamado Bloque Chorotega (Escalante y Astorga, 1994), cuya parte este de Costa Rica y el norte de Panamá corresponde con el Cinturón Deformado de Panamá. Este bloque presenta una de las actividades tectónicas más complejas de toda la región Caribe, producto de la interacción de cuatro placas tectónicas y está separado por la Placa de Coco y la de Nazca al oeste por la fosa Mesoamericana, la cual constituye el mayor elemento tectónico de América Central (Escalante y Astorga, 1994).

Antecedentes

A inicio de la década de 1990 se ejecutó el proyecto CoRBaS (acrónimo de Costa Rica y Baja Sajonia), el cual consistió en la medición de una red GPS en conjunto entre la Escuela de Topografía, Catastro y Geodesia (ETCG) de la Universidad Nacional y el Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica (OVSICORI), junto con las Universidades de Hannover y Braunschweig de Alemania (Niemeier et al. 1993).

Jorge Moya Zamora, Álvaro Álvarez Calderón, Karla Benavides Galindo, Gabriela Cordero Gamboa, Mauricio Varela Sánchez. Resultados en la medición de una campaña GNSS entre la Isla del Coco y el litoral pacífico de Costa Rica como insumos para la estimación de desplazamientos

Este proyecto conjunto tuvo tres objetivos principales: establecer una nueva red geodésica para Costa Rica, determinar los promedios para los movimientos de las placas, y estimar las deformaciones regionales asociadas con terremotos. Los resultados de estas campañas llevados a cabo en 1990 y 1991 fueron procesadas con el programa GEONAP de la Universidad de Hannover (Niemeier et al. 1993).

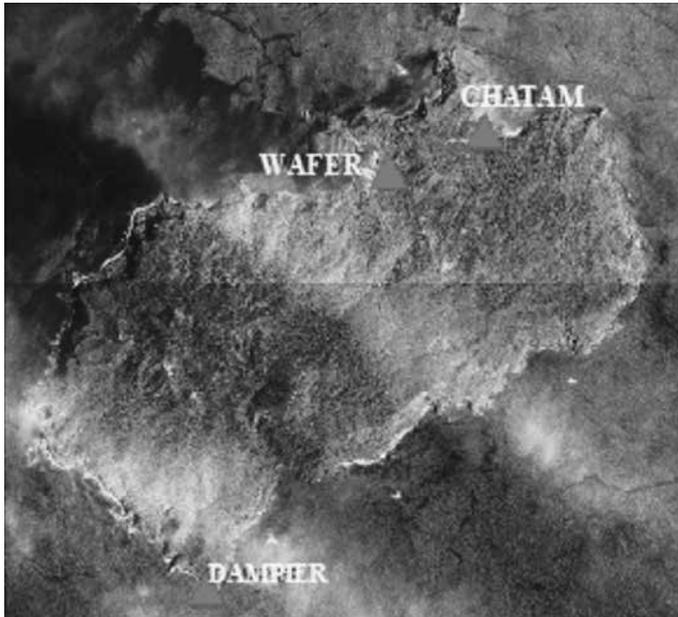
Materiales y métodos

Actualmente la información que brindan los Sistemas Satelitales de Posicionamiento Global (Global Navigation Satellite Systems GNSS) constituyen los insumos principales relacionados con la geodinámica terrestre. Las mediciones GNSS ofrecen la posibilidad de obtener un posicionamiento terrestre de alta exactitud, el cual es suficiente para poder modelar los distintos movimientos que sufre la corteza. La campaña de medición GNSS desarrollada en este proyecto contempló un diseño que vinculó dos puntos nuevos en la Isla de Coco y ocho puntos en la parte continental (prácticamente todo el litoral pacífico) pertenecientes a la red geodésica de primer orden.

Puntos utilizados en la Isla del Coco

En la Isla del Coco se amojonó el vértice CHATAM cerca de la Bahía Chatam, en la parte noreste de la Isla; mientras que el punto WAFER se ubicó en las cercanías de la Bahía Wafer, en la parte norte de la isla (**ver figura 1**).

Figura 1. Ubicación aproximada de los puntos WAFER y CHATAM en la Isla del Coco



Fuente: Programa de Regularización de Catastro y Registro

Puntos de la Red de Primer Orden

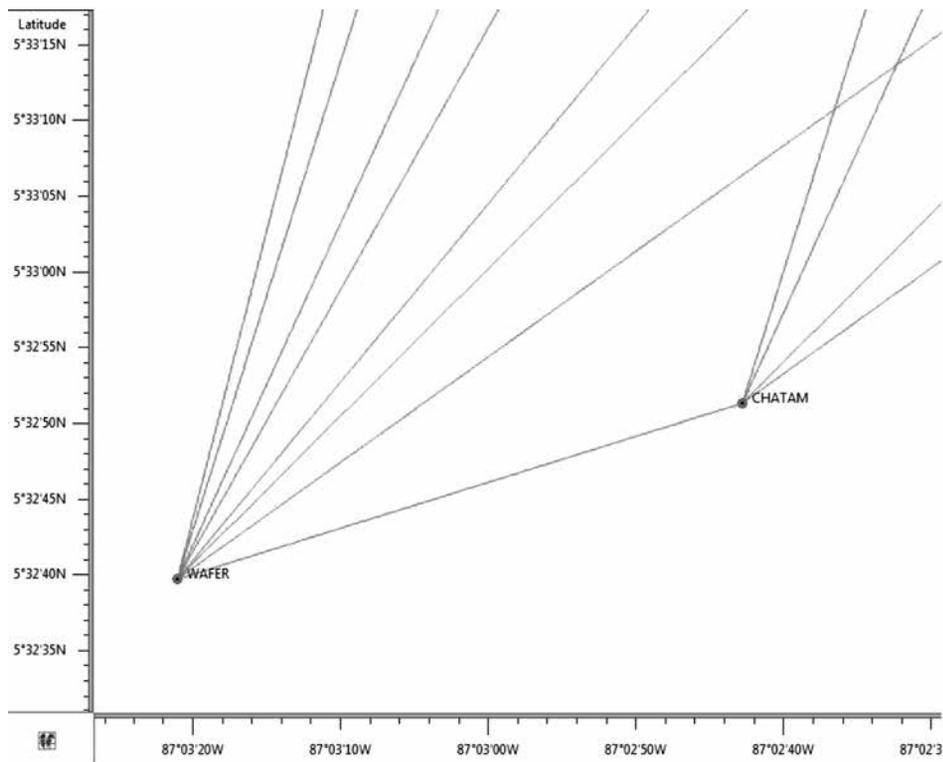
En la parte continental, se escogieron los siguientes puntos, pertenecientes a la red geodésica de primer orden por su ubicación sobre el litoral pacífico: TAMARINDO 2 (TAM2), GARZA, BLANCA, COLES, DOMINICAL 2 (DOM2), MAÍZ y LAUREL.

Además de los siete anteriores se usó un octavo punto, BUVIS en la parte centro sur del país, específicamente en el Cerro de la Muerte. Y el noveno punto ETCG en la parte central del país. Este punto es una estación de medición GNSS continua y único punto SIRGAS del país (Moya, 2010). En la **figura 2** se muestran todos los vértices de la red nacional de primer orden, representada en color rojo la ubicación de los puntos continentales.

entre todos los puntos que permitiera posteriormente hacer un ajuste de la red considerando observaciones independientes. El diseño consideró fundamentalmente las largas sesiones que se midieron sobre los puntos CHATAM y WAFER, y efectuando los traslados en los puntos litorales.

En la **figura 3** se muestran los vectores de vínculo entre los dos puntos de la Isla de Coco y los ocho puntos de la red geodésica de primer orden. En la parte suroeste, se nota la superposición en los nombres de los puntos en la Isla del Coco.

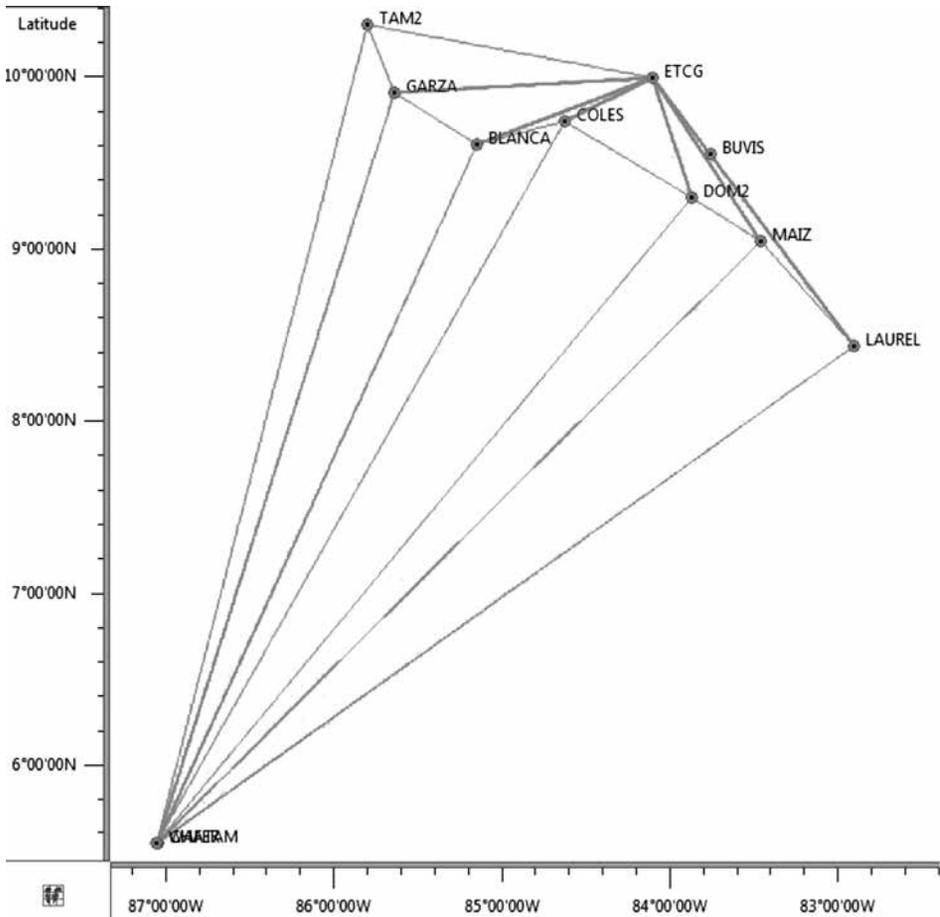
Figura 3. Diseño de la red de vínculo entre la Isla del Coco y la parte continental de Costa Rica



Fuente: Topcon Tools

Un detalle de esta parte se presenta en la **figura 4**, en la que se presentan los puntos WAFER y CHATAM y las líneas base de vínculo con los puntos de la red geodésica de primer orden.

Figura 4. Detalle de la figura 3, se muestran los puntos WAFER y CHATAM en la Isla del Coco y las líneas base a los puntos de la red geodésica de primer orden



Fuente: Topcon Tools

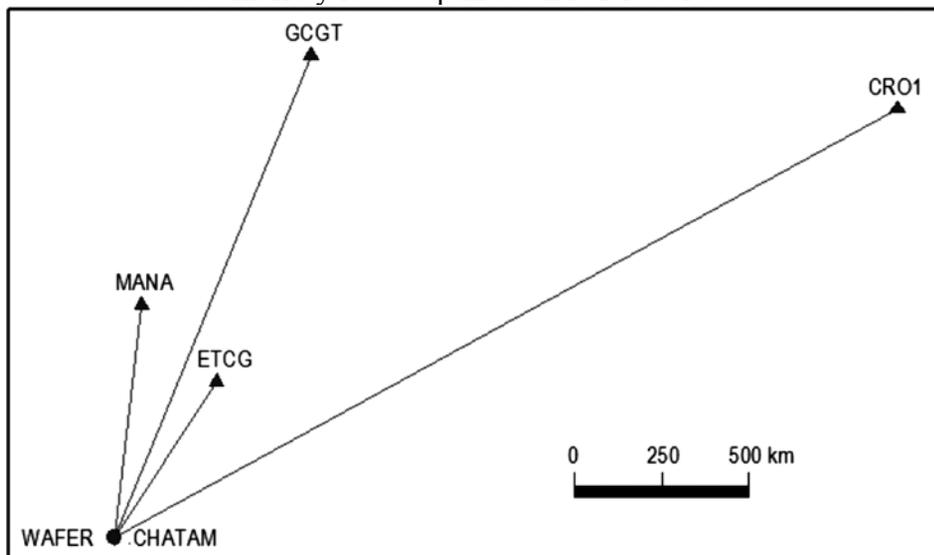
Elaboración de las mediciones

Los resultados obtenidos corresponden básicamente a una emulación de la estrategia de vínculo usada en la determinación del datum CR05 (Dörries et al. 2005). Se generó un proyecto en el programa de cálculo Topcon Tools y se determinaron las coordenadas ajustadas de los puntos CHATAM y WAFER con base en un vínculo a tres estaciones de medición

continua: MANA, CRO1, GCGT, usadas en la determinación original del CR05, contemplando además la estación costarricense ETCG. En este cálculo se trabajó con calibraciones absolutas de antenas y archivos de efemérides precisas para la determinación de los vectores independientes entre las estaciones continuas y los dos puntos nuevos.

De esta manera se obtuvieron las coordenadas ajustadas de los puntos CHATAM y WAFER dentro del datum CR05; posiciones que son realmente una aproximación, pues la determinación original del sistema CR05 y la falta de parámetros de velocidad de los puntos, impiden que se haga una actualización de la forma estricta. Este resultado permitió dar coordenadas ajustadas a los siete puntos litorales considerando como amarre a la ETCG, BUVIS, CHATAM y WAFER, como se puede ver en la figura 5.

Figura 5. Vectores entre las estaciones internacionales de amarre y los dos puntos en la Isla del Coco



Fuente: Fuente: Elaboración propia

Resultados

Los resultados fueron depurados con las pocas herramientas que presenta el programa. Sin embargo se logró obtener una solución aceptable de acuerdo con las distancias entre los puntos y la configuración establecida.

Las coordenadas ajustadas resultantes del ajuste de vínculo al CRTM05, fueron usadas posteriormente como coordenadas de amarre para los puntos del litoral. En el **cuadro 1** se presentan las coordenadas geodésicas de los puntos y sus exactitudes.

Cuadro 1. Coordenadas ajustadas y errores de los puntos de la Isla del Coco y los ubicados en el litoral pacífico

Punto	Latitud norte	Longitud oeste	Altura [m]	s _{LAT} [m]	s _{LON} [m]	s _{ALT} [m]
TAM2	10°18'17.15350"	85°48'14.24676"	36,516	0,027	0,033	0,076
GARZA	9°54'39.12626"	85°38'35.41534"	14,098	0,021	0,025	0,055
LAUREL	8°26'20.28936"	82°54'17.53033"	31,192	0,022	0,031	0,059
MAIZ	9°02'59.36980"	83°27'27.57802"	327,761	0,018	0,023	0,050
BLANCA	9°36'29.40998"	85°08'44.00808"	13,681	0,018	0,021	0,049
COLES	9°44'44.92967"	84°37'35.35698"	139,271	0,017	0,022	0,043
DOM2	9°17'58.11778"	83°52'02.02219"	352,227	0,019	0,022	0,047
CHATAM	5°32'51.35988"	87°02'42.80861"	143,021	0,000	0,000	0,000
WAFER	5°32'39.71960"	87°03'21.00973"	9,004	0,000	0,000	0,000
BUVIS	9°33'14.61364"	83°45'23.69558"	3509,109	0,000	0,000	0,000
ETCG	9°59'58.13592"	84°06'21.22980"	1193,691	0,000	0,000	0,000

Fuente: Elaboración propia

Cuantificación de desplazamientos

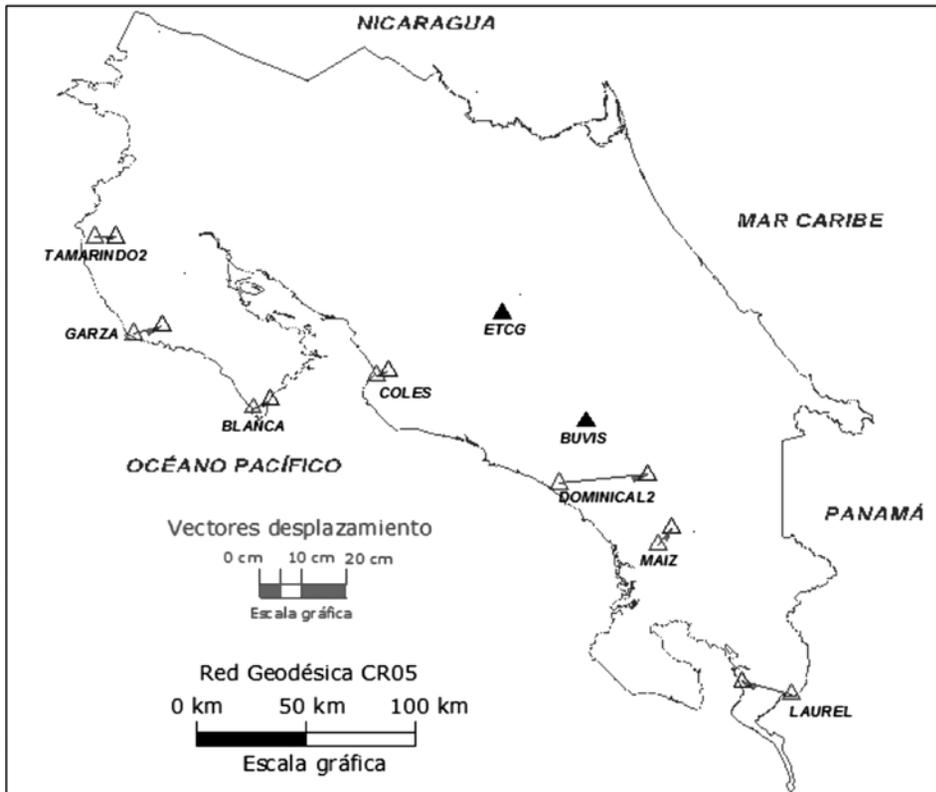
La cuantificación de los desplazamientos consideró simplemente la diferencia de las coordenadas entre las dos épocas. Para dar una idea más concreta de las diferencias las coordenadas geodésicas se proyectaron a sus correspondientes coordenadas cartográficas en CRTM05. En el cuadro 2 se presenta un resumen de los desplazamientos calculados, donde las columnas dN, dE, d y t representan respectivamente desplazamiento en la coordenada norte, desplazamiento en la coordenada este, el desplazamiento total y el azimut del desplazamiento, mientras que en la **figura 6** se presentan los vectores desplazamiento respectivos.

Cuadro 2. Desplazamiento resultante de los puntos del litoral Pacífico

Punto	dN [mm]	dE [mm]	d [mm]	t [°]
TAM2	0,4	90,7	90,7	89,4
GARZA	36,2	130,0	135,0	74,4
LAUREL	-56,9	-225,0	232,1	255,8
MAIZ	70,1	57,6	90,8	39,4
BLANCA	40,6	86,1	95,2	64,7
COLES	19,3	55,5	58,7	70,9
DOM2	39,5	403,1	405,0	84,4

Fuente: Elaboración propia

Figura 6. Vectores desplazamiento de los siete puntos litorales producto del vínculo entre los dos puntos ubicados en la Isla de Coco y los dos puntos centrales en la proyección CRTM05



Fuente: Elaboración propia

Un antecedente sobre el desplazamiento que han sufrido algunos de estos puntos fue el realizado por Moya en (2009), cuando en la determinación de parámetros de transformación entre el datum oficial CR05 vinculado al ITRF2005, época 2005,83 y una determinación realizada en el ITRF2008, época 2009,26, se pudo estimar como un producto adicional valores de vectores desplazamiento en 13 puntos (Moya, 2012). De ellos solamente cuatro son comunes con este estudio y los valores de desplazamiento obtenidos en 2009,26 se presentan en el cuadro 3.

Cuadro 3. Vectores desplazamiento en 2009, 26

Punto	dE [mm]	dN [mm]	d [mm]	t
GARZA	11,6	13,6	17,9	40,5
LAUREL	-16,8	10,0	16,8	273,3
COLES	9,5	8,8	13,0	47,3
DOM2	7,6	12,7	14,8	31,0

Fuente: Elaboración propia

Si se comparan los cuadros 2 y 3 se puede hacer la determinación entre los dos vectores para cada uno de los 4 puntos comunes. La diferencia promedio entre los vectores desplazamiento es de aproximadamente 19 cm, sin embargo, es de especial interés la dirección de los movimientos, la cual es muy similar en todos los puntos, presentando un movimiento en dirección fundamentalmente noreste con excepción del punto LAUREL cuya dirección de movimiento en las dos determinaciones ha sido al noroeste.

La estación ISCO

Como parte del proyecto COCONet, el cual es una red de estaciones GNSS que se extiende desde Norteamérica hasta El Caribe, pasando por Centroamérica, se instaló a finales de mayo de 2011 en la Isla del Coco, una estación de operación continua denominada como ISCO. La ubicación de la estación ISCO se presenta en la **figura 7**.

Figura 7. Fotografía aérea con la ubicación de la estación ISCO en la bahía WAFER



Fuente: Protti et al. (2012)

El punto presenta una buena cementación y está cuenta con un receptor NetRS y una antena Choke Ring de Trimble además de de una serie de instrumentos meteorológicos (**ver figura 8**).

Figura 8. Equipo GNSS situado en la estación ISCO



Fuente: Protti et al. (2012)

Jorge Moya Zamora, Álvaro Álvarez Calderón, Karla Benavides Galindo, Gabriela Cordero Gamboa, Mauricio Varela Sánchez. Resultados en la medición de una campaña GNSS entre la Isla del Coco y el litoral pacífico de Costa Rica como insumos para la estimación de desplazamientos

Tanto los datos provenientes de las mediciones GNSS como los datos meteorológicos están disponibles para su descarga gratuita en el sitio web de UNAVCO en la dirección: <ftp://data-out.unavco.org>. Y algunas de sus principales características técnicas son (UNAVCO, 2012):

Nombre:	ISCO
Latitud:	5,54435 N
Longitud:	87,05556 W
Altura:	10.884 m
Receptor:	NETRS
Antena:	Zephyr GNSS Geodetic Model II

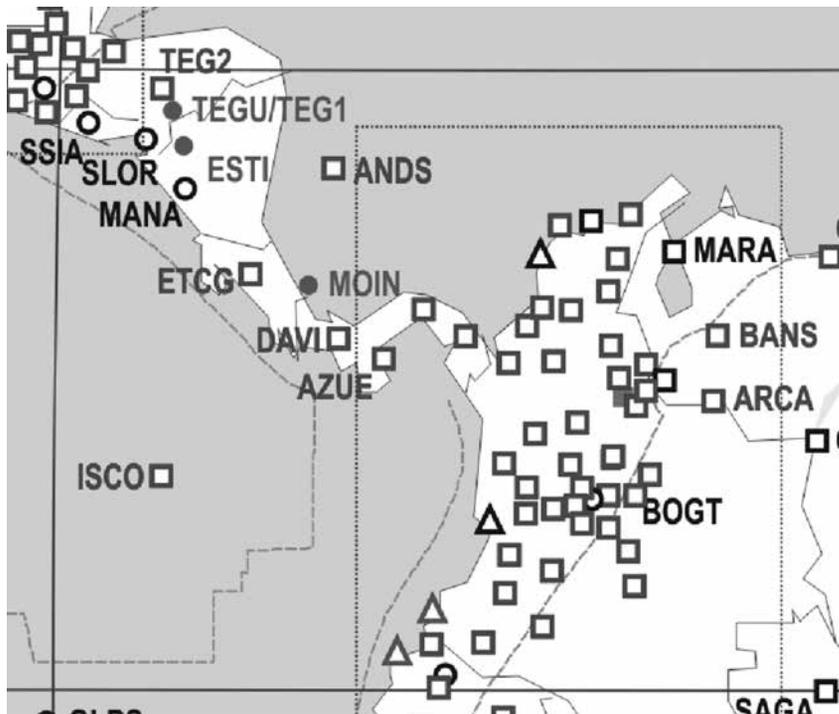
Los datos de 10 meses suministrados por la estación ISCO han sido usados para estimar un movimiento de unos +91 mm/a de la Placa Cocos en dirección noreste (Protti et al, 2012).

Segunda estación SIRGAS de Costa Rica

La primera estación costarricense oficialmente integrada al Sistema Geocéntrico para las Américas (SIRGAS) es la estación GPS de la Escuela de Topografía, Catastro y Geodesia denominada como ETCG. Los datos diarios de la ETCG se han procesado desde el año 2003 con un envío manual de la información y desde el año 2008 los archivos se descargan de manera automática para su procesamiento desde el sitio web del Servicio de Datos GNSS (Moya, 2010).

En la semana GPS 1658 (tercera semana de octubre de 2011), los archivos de datos de ISCO son calculados semanalmente por los Centros de Procesamiento DGFI en Alemania, LUZ en Venezuela e IGAC en Colombia. En la **figura 9** se tiene un recorte del mapa de la red SIRGAS-CON en el que se muestra la ubicación de las estaciones ETCG e ISCO.

Figura 9. Recorte del mapa de la red SIRGAS-CON con la ubicación de las estaciones ETCG e ISCO



Fuente: <http://www.sirgas.org>

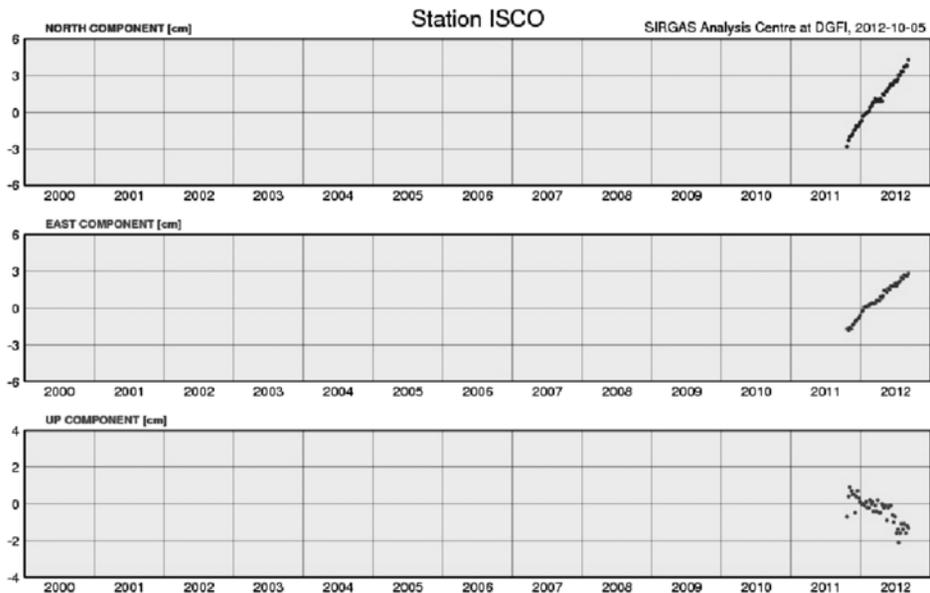
Series temporales

Las observaciones GNSS que se toman diariamente en las redes de estaciones de operación continua, son el insumo fundamental para el estudio de la cinemática terrestre. Estos gráficos se construyen, dependiendo de la finalidad del estudio, con base en las variaciones en las coordenadas de la estaciones con respecto al tiempo. En el caso de la red de estaciones del Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas (SIRGAS), las series de tiempo brindan la variación en las coordenadas tridimensionales XYZ de las estaciones producto del procesamiento científico semanal con el software Bernese.

Estos gráficos construidos a partir de esas variaciones en las coordenadas son transformados a un sistema topocéntrico en coordenadas $[n, e, u]^T$, las cuales muestran por ejemplo la tendencia de la estación respecto al

tiempo, permitiendo cuantificar además, saltos producto de eventos naturales como sismos, carga de precipitación y efectos estaciones, así como mostrar la tendencia de la velocidad de la estación asumiendo un modelo lineal. En la **figura 10** se muestra la serie temporal de la estación ISCO calculada por SIRGAS, en la cual se tienen los resultados desde el momento en que la estación fue oficialmente integrada a SIRGAS en el último cuarto del año 2011. En la figura 10 se puede ver la tendencia de movimiento de la estación ISCO después de un año de procesamiento semanal. Se tienen en la dirección norte un desplazamiento de prácticamente 6 cm, de unos 5 cm en dirección este y unos -3 cm en altura. Si se considera la parte horizontal solamente se tiene una dirección de movimiento predominantemente al noreste. Se de recordar que ISCO se localiza prácticamente en la única porción de tierra emergida de la Placa Cocos y que esta dirección de movimiento concuerda con todos los modelos cinemáticos. En la parte vertical, ISCO se está hundiendo, confirmando adicionalmente el fenómeno de subducción entre las Placas Coco y Caribe.

Figura 10. Serie temporal de la estación ISCO



Fuente: <http://www.sirgas.org>

Conclusiones

La campaña de medición GNSS entre la Isla del Coco y los puntos de la red nacional de primer orden de Costa Rica, permitieron obtener coordenadas ajustadas de los puntos CHAFER y WAFER con una buena exactitud similar a la obtenida en promedio en la determinación del sistema CR05.

La metodología combinó de una manera favorable el procesamiento PPP en línea con un procesamiento relativo realizado con el software comercial Topcon Tools, el cual no permite una mayor depuración de los resultados.

La estrategia de ajuste consistió en dar coordenadas a los puntos del litoral pacífico considerando observaciones desde puntos ubicados en dos placas diferentes, la Cocos y la Caribe. Los resultados de este ajuste reflejan la influencia de los puntos de vínculo (CHATAM y WAFER) sobre los restante puntos continentales (**ver cuadro 2**).

Este método permitió cuantificar de una manera aproximada el desplazamiento de los puntos nuevos. Esto último debe interpretarse asumiendo que, aunque las dos determinaciones (datum CR05 y este proyecto) no son estrictamente similares, la última refleja con un cierto grado de exactitud valores que son potencialmente cercanos a otras posibles determinaciones con otra serie de mediciones y forma de procesamiento como se puede apreciar en los resultados ofrecidos por SIRGAS. Los resultados demostraron que en comparación con las coordenadas oficiales de los puntos litorales, éstos han sufrido un movimiento predominantemente en dirección noreste de entre 58 mm y 135 mm. Se excluye de este análisis el punto DOM2 ya que su monumentación desde un inicio, no fue la mejor y es notorio la inestabilidad del mojón que lo materializa, lo que llevó a trabajarlo como un punto totalmente nuevo en la etapa de elaboración y ajuste. Este punto debe ser reconstruido o en su defecto tratado como un punto nuevo en una nueva campaña de medición. Por su parte el punto LAUREL, tiene un movimiento en dirección noroeste de unos 232 mm.

Al comparar con los valores reportados por Moya (2010), se tiene una total concordancia en cuanto a la dirección de movimiento en los puntos comunes, sin embargo la cuantificación de los desplazamientos es mayor en el enlace desde la Isla del Coco (**ver cuadro 3**).

A pesar de que los resultados de este proyecto son confiables desde el punto de vista de los ajustes efectuados y los parámetros de exactitud obtenidos, se recomienda ampliamente, utilizar los datos suministrados

por la estación de operación continua ISCO. Esta estación representa una fuente de información muy grande la cual debe ser aprovechada en un procesamiento científico tal como se está haciendo actualmente por SIRGAS.

Los datos GNSS para estudios de cuantificación de desplazamientos de la corteza terrestre deben ser procesados necesariamente por medio de rutinas estrictas de cálculo integradas en un software científico tal y como lo hacen los diferentes centros de procesamiento SIRGAS en América. Sin embargo, los resultados obtenidos en este proyecto demostraron en primer lugar, la consistencia con la dirección del desplazamiento de la Placa Caribe representado por los puntos estudiados. En segundo lugar, se obtuvo una serie de valores importantes en cuanto a los desplazamientos del litoral pacífico nacional, los cuales a pueden estar altamente correlacionados con las diferentes influencias que se tienen debido al proceso de subducción entre las placas. Con base en los anterior y considerando los datos del cuadro 2 se puede ver que se obtuvo un desplazamiento promedio de 90 mm y 135 mm en el sector noroeste del país representado por los puntos TAM2, BLANCA y GARZA. Un desplazamiento de unos 58 mm en el sector de Pacífico Central representado por el punto COLES y 90 mm en el sector del pacífico sur dado por el punto MAIZ y finalmente unos 232 mm en dirección noroeste en el sector más al sur del litoral dado por el punto LAUREL.

Referencias

- Dörries, E., Moya, J., Roldán, J. y Araya, J. (2005). Resultados del ajuste global de la Red de Primer Orden. Informe Técnico (11). Programa de Regularización de Catastro y Registro. San José, Costa Rica, p.109.
- Escalante, G. y Astorga, A. (1994). Geología del este de Costa Rica y el norte de Panamá. *Revista de Geología de América Central*. Volumen especial Terremoto de Limón. Universidad de Costa Rica, pp.1-14.
- Montero, W., Camacho, E., Espinosa, A., Boschini, I. (1994). Sismicidad y marco neotectónico de Costa Rica y Panamá. *Revista de Geología de América Central*. Volumen especial Terremoto de Limón. Universidad de Costa Rica. pp. 73-82.
- Moya, J. (2010). Implementación del Servicio de Datos GPS de la Escuela de Topografía, Catastro y Geodesia. *Revista UNICIENCIA*, 24, ISSN1011-0275. pp. 53-63.

- Moya, J. (2012). Estimación de los parámetros de transformación del sistema de referencia geodésico de Costa Rica CR05-ITRF2000 al ITRF2005. A publicar.
- Niemeier, W., Roldan, J., Aguilar, L., Pelzer, H., Bagge, A., Augath, W., Seifert, W. (1993). The Project CorBas - Determination of Recent Crustal Movements in Costa Rica. Recent Geodetic and Gravimetric Research in Latin America. IAG -Symposium 11, Springer Verlag.
- Protti, M. (1998). Alerta temprana a San José por Debajo de la Península de Nicoya. Reunión Hemisférica Internacional para la reducción de desastres. San José, Costa Rica.
- Protti, M., González, V. Freymuller, j., Doelger, s. (2012). Isla del Coco, on Cocos Plate, converges with Isla de San Andrés, on the Caribbean Plate, at 78mm/yr. *Revista Biología. Tropical*. ISSN-0034-7744, 60 (Supl. 3)