Universidad Industrial de Santander

Boletín de Geología
Vol. 37, N° 2, julio-diciembre de 2015

ISSN: 0120-0283
URL: boletindegeologia.uis.edu.co

VELOCIDADES DE LAS ESTACIONES SIRGAS2000 SOBRE LAS PLACAS DEL CARIBE Y SURAMERICANA APLICANDO LOS MODELOS DE LA UNAVCO Y VEMOS2009

Luis M. Liberal[1]

Forma de citar: Liberal, L. 2015. Velocidades de las estaciones SIRGAS2000 sobre las placas del Caribe y Suramericana aplicando los modelos de la UNAVCO y VEMOS2009. Boletín de Geología, 37 (2): 41-46.

RESUMEN

En este trabajo se determinan las velocidades de un conjunto de estaciones SIRGAS2000 que se encuentran en las placas Caribe y Suramericana, partiendo de las diversas soluciones ofrecidas por los cálculos y modelos VEMOS2009 y UNAVCO. Los vectores de velocidad obtenidos a partir de estos modelos permiten la transformación de coordenadas de las estaciones de las redes nacionales y continentales que servirán de apoyo a nuevas estaciones, luego de ajustar el conjunto de observaciones provenientes del Global Navigation Satellite System (GNSS) en el Marco Internacional de Referencia Terrestre (ITRF) en el que son finalmente expresadas. Las velocidades medias de las estaciones sobre la placa del Caribe SIRGAS2000 en MORVEL2010 son 19,08 + / - 1,09 mm / año con azimut promedio 87,93 y desviación + / - 8,15 grados en la placa del Caribe con movimiento rotacional sobre la placa de Suramericana en condición de fija. Los componentes resultantes son 18,89 + / - 1,12 mm / año en Este y 0,70 + / - 2,68 mm / año en Norte. En el lapso de diez (10) años estas variaciones significan unos 0,217 metros, que al no considerarse afectarían la densificación en redes de alto nivel. Los resultados obtenidos mediante la aplicación de los modelos implementados en UNAVCO y VEMOS2009 y particularmente sus diferencias respecto a MORVEL2010 son determinantes en la densificación de Estaciones-CON (activas) SIRGAS, principalmente en Venezuela y Colombia con redes materializadas sobre placas distintas. Los rangos de las desviaciones en las componentes de la velocidad y sus acimutes corresponden a efectos propios de la téctónica imperante en la zona, de allí que se justifica que estos países cuenten con un adecuado programa oficial de fortalecimiento de sus redes geodésicas.

Palabras clave: Placa del Caribe, Placa Suramericana, Modelos de placas, UNAVCO, VEMOS2009, MORVEL2010, ITRF, GNSS.

SIRGAS2000 STATION VELOCITIES ON THE CARIBBEAN AND SOUTH AMERICAN PLATES APPLYING UNAVCO AND VEMOS2009 MODELS

ABSTRACT

This work is aimed at determining velocities of a set of SIRGAS2000 stations located in the Caribbean and South American plates, based on the different solutions provided by UNAVCO and VEMOS2009 models and calculations. Velocity vectors obtained from these models are used to transform the coordinates of the national and continental network stations, which will support new stations, once the observations from the Global Navigation Satellite System (GNSS) are adjusted and transformed through the International Terrestrial Reference Framework (ITRF) in which they are ultimately expressed. Mean velocities of the SIRGAS2000 stations on the Caribbean plate in MORVEL2010 are 19.08 + / - 1.09 mm/year with an average azimuth of 87.93 and deviation + / - 8.15 degrees on the Caribbean plate, with rotational motion on the South American plate. The resulting components are 18.89 + / - 1.12 mm/year East and 0.70 + / - 2.68 mm year North. Over a ten-year period, these variations mean about 0.217 meters, which, unless considered, would impact large-scale cartographic production. Deviation ranges in velocity components and their azimuths may correspond to effects typical of the tectonics prevailing in the region; therefore, it is justified for these countries to have a suitable official program to strengthen their geodesy networks.

Keywords: Caribbean plate, South American plate, plate models, UNAVCO, VEMOS2009, MORVEL2010, ITRF, GNSS.

[1] Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil, liberal.luis1@gmail.com

INTRODUCCIÓN

Los cambios en las coordenadas con respecto al tiempo, utilizan modelos de aproximación, que simulan las deformaciones que se producen a consecuencia de los movimientos de secciones móviles de la corteza terrestre. La UNAVCO (University NAVSTAR Consortium) mantiene en línea sobre su sitio internet, un calculador de movimiento de placas para obtener las velocidades de estaciones o ubicaciones geográficas a partir de diferentes modelos de placas tectónicas, entre las cuales se seleccionaron cinco (5) para el presente estudio:

APKIM2005-DGFI. (Drewes. 2009).
APKIM2005-IGN. (Drewes. 2009).
ITRF2000 [D&A (2001)]. (Drewes and Angermann. 2001)
MORVEL2010. (DeMets *et al*. 2010).
NUVEL 1A. (DeMets *et al*. 1990, 1994).

Un sexto modelo fue incorporado al estudio por tratarse del modelo oficial del SIstema de Referencia Geodésico para las AmericaS (SIRGAS), denominado VEMOS2009 (Velocity Model for SIRGAS) referido al ITRF2005 (www.sirgas.org) Drewes and Heidbach (2009).

La IUGG (International Union for Geodesy and Geophysics), recomienda fijar una condición de no rotación neta del ITRFyy (Marco Internacional de Referencia Terrestre del año "yy") con respecto a la corteza terrestre, por lo cual se minimizan las diferencias con respecto a la placa del modelo geológico-NNR. (Altamimi *et al*. 2002). Uno de los modelos más extendido a nivel mundial ha sido el NUVEL1A (razón por la cual ha sido incluido en el presente estudio); sin embargo, las deficiencias del modelo han sido observadas y discutidas durante los últimos años (Weber *et al*. 2001), dando origen a otros modelos que se desarrollan en base a mediciones derivadas de la Geodesia Espacial y la mejora de los modelos geológicos o combinaciones de diversos tipos de datos, ejemplo: APKIM2005 (Drewes, 2009).

METODOLOGÍA DESARROLLADA EN EL ESTUDIO

La metodología desarrollada consistió en aplicar a las coordenadas de las estaciones pertenecientes a SIRGAS2000 (http://www.sirgas.org), un procesamiento mediante el empleo de modelos de movimiento de placas tectónicas, contenidos en diversas soluciones de cálculos ofrecidas por UNAVCO y el modelo VEMOS2009, con el propósito de determinar las velocidades y la orientación de sus desplazamientos en función del tiempo.

De esta manera, se procesaron los vértices de la red continental de SIRGAS2000, provenientes de la campaña 2000, 4 ajustados al ITRF 2000, empleando los modelos de Movimiento de Placas codificados para la identificación en las tablas como [1] APKIM2005-DGFI, [2] APKIM2005-IGN, [3] ITRF 2000-D&A(2001), [4] NUVEL 1A (1994), [5] VEMOS2009 y [6] MORVEL2010, luego se realizaron las diferencias entre las velocidades determinadas por cada modelo y las obtenidas por el más reciente de todos los escogidos para el análisis, el MORVEL2010.

Las diferentes estrategias de procesamiento entre el German Geodetic Research Institute (DGFI) y el Institut Géographique National, Paris, France (IGN) han generado dos modelos, identificados como APKIM2005-DGFI y APKIM2005-IGN, en los estudios CASA (Caribbean and South American plates), (Kellog and Dixon *et al*., 1990); de allí la importancia de incluirlos en el presente estudio, toda vez que aplican a las placas del Caribe y Suramericana, donde se encuentran las estaciones de la Red Geodésica de Venezuela (REGVEN), (MARN, 1999).

MORVEL es una abreviación de Mid-Ocean Ridge Velocity y se denomina así porque más de tres cuartas partes de los datos MORVEL provienen de las dorsales oceánicas. A pesar de su nombre, MORVEL describe los movimientos de las placas tectónicas, no las dorsales oceánicas que separan a muchos de las placas (DeMets *et al*., 2010). La mayoría de los modelos se calcularon aplicando el UNAVCO Plate Motion Calculator, en línea desde la Web, excepto el modelo VEMOS2009 que se obtuvo mediante la aplicación del programa desarrollado por (Drewes and Heidbach, 2009).

En el presente estudio se analizaron solo las estaciones SIRGAS2000 cuyas coordenadas fueron ubicadas en las placas del Caribe y Suramericana de acuerdo a los límites de contorno dados por la base de datos de MORVEL que actualmente cuenta con 56 placas tectónicas definidas por polígonos cerrados.

RESULTADOS

Se representan los vectores de velocidad determinados según MORVEL2010 (NNR) para estaciones ubicadas en las placas del Caribe y Suramericana (FIGURA

1), donde se aprecia una marcada diferencia entre las magnitudes y orientaciones entre las estaciones. En el caso particular de las estaciones SIRGAS, se encontraron quince (15) sobre la placa del Caribe y ciento siete (107) sobre la placa Suramericana. Los resultados de los vectores de velocidad determinados mediante el modelo MORVEL2010 se resumen en el cuadro de indicadores estadísticos mostrados en la TABLA 1. Se tratan por separado los estadísticos de las placas del Caribe y la Suramericana para luego evaluar y analizar cada uno de los modelos precedentes [1] al [5] versus el [6] MORVEL2010 y sus correlaciones.

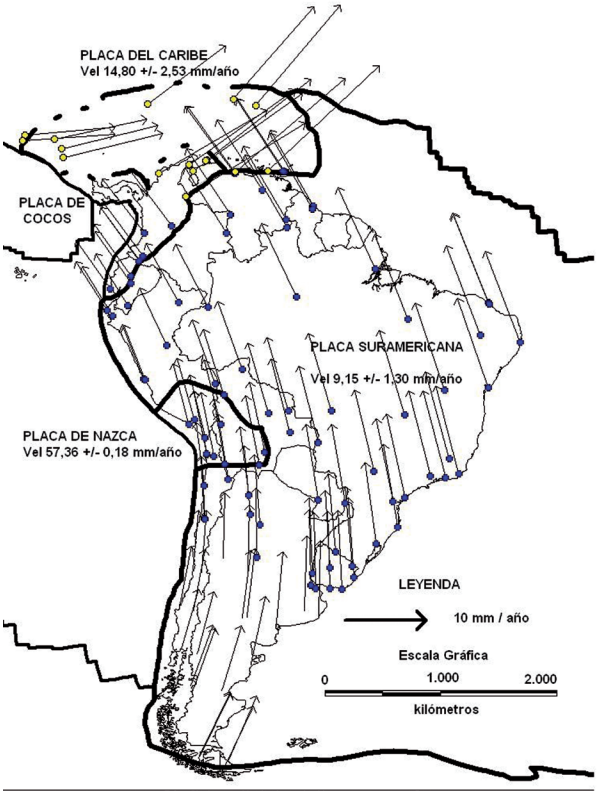

FIGURA 1. Placas tectónicas y vectores de velocidad de las estaciones SIRGAS. Cálculos UNAVCO (MORVEL2010), representación mediante MapInfo v7.5®

En la placa del Caribe, (TABLA 1), encontramos un promedio de velocidades de las estaciones por encima del 65% respecto al promedio de las velocidades de estaciones sobre la placa Suramericana y las orientaciones de tales vectores se encuentran en sentido NE, mientras que las velocidades de la placa Suramericana se orientan en sentido NO, estas importantes diferencias induce a observar con atención la región y la distribución de las redes nacionales que en ellas han sido materializadas. Se emplearon los datos del UNAVCO Plate Motion Calculator para el modelo MORVEL2010.

TABLA 1. Estadísticos del Modelo MORVEL2010.

PLACA CARIBE	Vector mm/año	Acimut Grados
Promedio	14,80	61,38
Desv. Estándar	2,53	15,24
Máximo	18,85	85,91
Mínimo	11,32	40,73
Asimetría	-0,08	0,43
Curtosis	-1,50	-1,19
PLACA SURAMERICANA	Vector mm/año	Acimut Grados
Promedio	8,95	273,76
Desv. Estándar	1,26	133,62
Máximo	11,76	359,25
Mínimo	7,04	1,31
Asimetría	0,48	-1,46
Curtosis	-0,78	0,18

El rango de velocidades en la placa del Caribe casi iguala el promedio de las velocidades de la placa Suramericana, a pesar de que la asimetría corresponde a una leve propensión negativa se puede inferir que en el modelo prevalece la simetría frente a la que se infiere de la placa Suramericana. El coeficiente de Curtosis por su parte ratifica que los momentos de cuarto orden se potencian en la placa del Caribe, llegando a corresponder casi al doble como en el caso de las velocidades.

Las velocidades de las placas tectónicas seleccionadas para el estudio, obtenidas de UNAVCO, se integran a los resultados provenientes de la aplicación del modelo VEMOS2009 propuesto por SIRGAS, con el propósito de análisis y determinación de los estadísticos entre estos modelos. La comparación entre los modelos se encuentra representada en la TABLA 2, APKIM2005-DGFI, APKIM2005-IGN, ITRF 2000-D & A (2001), NUVEL 1A (1994) y VEMOS2009 con relación al MORVEL2010, como el más reciente y de mayor amplitud de cobertura sobre la tierra, incluye un indicador de dispersión como lo es el Coeficiente de correlación de cada modelo respecto al MORVEL2010.

En la placa del Caribe apreciamos que las velocidades varían entre modelos en el orden de ±1,5 mm/año excepto el modelo NUVEL 1A que se distancia de los modelos recientes, obviamente los modelos han sido mejorados por las posteriores observaciones GNSS y las integraciones de las mediciones de la Geodesia Espacial contemporánea (www.ggos.

org). Distinto análisis encontramos en el caso de la placa Suramericana (TABLA 2), donde el modelo VEMOS2009 marca una importante diferencia en los indicadores estadísticos, con una desviación estándar de ±5,51 mm/año, mayor al 35%, lo cual manifiesta un posible efecto de fallas, depresiones, elevados y bloques que han sido estudiados cuidadosamente por SIRGAS, toda vez que el coeficiente de asimetría positiva 2,18 mm/año y un coeficiente de Curtosis con tendencia leptocúrtica diferencian al modelo VEMOS2009 como una solución particular para esta placa.

TABLA 2. Resultados estadísticos, Modelos [1] al [5].

Placa del Caribe	**Modelo**				
	Velocidad (mm/año)				
	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
Promedio	15,04	14,22	15,12	8,47	13,69
Desv. Estándar	1,16	2,14	2,57	2,73	3,30
Máximo	16,56	17,06	19,29	12,52	17,68
Mínimo	13,18	10,83	11,65	4,46	7,11
Asimetría	-0,47	-0,49	-0,05	-0,28	-1,05
Curtosis	-1,40	-1,39	-1,49	-1,53	0,24
Respecto al Modelo MORVEL2010					
Coef. Correlación	0,976	0,957	0,999	0,971	-0,443

Placa Sur Americana	**Modelo**				
	Velocidad (mm/año)				
	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
Promedio	10,22	11,41	11,50	10,80	14,55
Desv. Estándar	1,17	1,14	0,78	1,08	5,51
Máximo	12,66	13,64	12,80	12,93	39,19
Mínimo	7,98	9,04	10,07	9,14	6,89
Asimetría	0,21	0,04	0,12	0,37	2,18
Curtosis	-0,76	-0,73	-1,21	-1,07	4,71
Respecto al Modelo MORVEL2010					
Coef. Correlación	0,978	0,957	0,978	0,977	0,074

En la TABLA 3 se presentan los estadísticos de diferencias de velocidades de cada modelo con respecto al MORVEL2010. En la Placa del Caribe se observa que los modelos [1]; [2] y [3], arrojan mínima diferencia. En el caso [3], ITRF 2000-D&A, se aprecia un comportamiento cuasi-normal con baja asimetría negativa. El modelo [4] NUVEL 1A se aleja significativamente de los otros por lo cual se infiere que puede descartarse en el modelaje sobre la placa del Caribe y especialmente el modelo [5] VEMOS2009, presenta bajo promedio en diferencias con el modelo MORVEL2010 pero la más alta desviación estándar y como observamos en la TABLA 2, la más baja correlación.

Los modelos [1] APKIM2005-DGFI, [2] APKIM2005-IGN, [3] ITRF 2000-D&A y [4] NUVEL 1A aplicados a las estaciones sobre la placa Suramericana presentan diferencias de velocidades promedio versus MORVEL2010 entre 1,27 y 2,55 mm/año con desviaciones estándar entre ± 0,27 y ± 0,52 mm/año lo cual indica posiblemente una evolución estocástica de los modelos estudiados con pequeños ajustes cronológicos en el rango de 1,28 mm/año. En cuanto al modelo [5] VEMOS2009 encontramos una amplitud de diferencias entre VEMOS2009 y MORVEL2010 de 33,32 mm/año con promedios de diferencias de 5,60 mm/año ± 5,56 mm/año que inducen a un estudio más exhaustivo mediante la incorporación y densificación de estaciones CON (estaciones continuas) entre placas y en zonas de máximas diferencias.

TABLA 3. Resultados estadísticos de Diferencia entre Modelos seleccionados y MORVEL2010.

Placa del Caribe	**Diferencias**				
	Velocidad (mm/año)				
	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
Promedio	0,24	-0,58	0,33	-6,32	-1,11
Desv. Estándar	1,42	0,79	0,07	0,66	4,96
Máximo	2,32	1,35	0,44	-4,99	4,70
Mínimo	-2,29	-1,79	0,15	-6,94	-11,74
Asimetría	-0,12	0,84	-0,87	1,20	-0,82
Curtosis	-1,15	1,57	1,90	0,17	0,03

Placa Sur Americana	**Diferencias**				
	Velocidad (mm/año)				
	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
Promedio	1,27	2,46	2,55	1,85	5,60
Desv. Estándar	0,27	0,37	0,52	0,30	5,56
Máximo	1,67	2,98	3,23	2,33	30,18
Mínimo	0,81	1,81	1,00	1,17	-3,14
Asimetría	-0,32	-0,37	-0,95	-0,32	1,99
Curtosis	-1,28	-1,29	0,47	-0,62	4,20

Una nueva evaluación de los estadísticos del Modelo MORVEL2010 y sus diferencias respecto de los modelos [1] al [5] fue realizada para las estaciones ubicadas sobre las placas del Caribe, considerando como marco de referencia la placa Suramericana, para los modelos contenidos en el calculador UNAVCO en lugar de NNR según las indicaciones DeMets *et al*., 2010.

La TABLA 4 presenta resultados de velocidades promedio del modelo MORVEL2010 para las estaciones SIRGAS sobre la placa del Caribe de 19,1 ± 1,1 mm/año con orientación N 87,9 E ± 8,2 grados decimales y componentes en Este de 18,9 1 ± 1,1 mm/año y Norte de 0,7 1 ± 2,7 mm/año. Pérez *et al*., (2001) refieren que un conjunto de observaciones GPS realizadas por reocupación en 1994 y 1999 en varias estaciones del centro-norte, oriente y varias islas de Venezuela indicaban que en esas regiones la placa del Caribe se desplazaba en forma lateral dextral, a una tasa de 20,5 ± 2 mm/año en dirección N84° ± 2° E.

TABLA 4. Estadísticos del Modelo MORVEL2010, con marco de referencia en la placa Suramericana.

	Vector	Acimut	Ve	Vn
	mm/año	Grados	mm/año	
Promedio	19,08	87,93	18,89	0,70
Desv. Estándar	1,09	8,15	1,12	2,68
Máximo	20,74	100,26	20,66	4,24
Mínimo	17,04	77,32	16,92	-3,37
Asimetría	-0,64	0,35	-0,61	-0,38
Curtosis	-0,28	-1,38	-0,43	-1,40

Las quince estaciones SIRGAS2000 cuyas velocidades se determinaron respecto a la placa Suramericana empleando los modelos estudiados se representan en la FIGURA 2, donde se muestran las gráficas concéntricas entre los modelos UNAVCO y su divergencia respecto al modelo VEMOS2009 particularmente en cinco de las estaciones comparadas: GUA2; SANA; AURO; NPAC y JAMA.

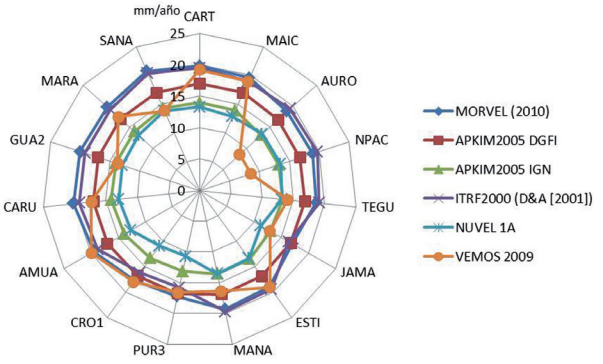

FIGURA 2. Velocidades de Estaciones SIRGAS2000 ubicadas sobre la placa del Caribe.

Los estadísticos de los promedios de las velocidades para los modelos [1] al [5] se exponen en la TABLA 5, siguiendo el enfoque propuesto por DeMets et al., (2010) en la que se constata la similitud del [3] ITRF 2000-D&A en velocidad, desviación estándar, máximo y mínimo tal como se observa de manera gráfica en la FIGURA 2.

TABLA 5. Estadísticos de estaciones SIRGAS2000 (Caribe), marco de referencia en la placa Suramericana.

Placa del Caribe	Modelo				
	Velocidad (mm/año)				
	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
Promedio	16,89	13,63	18,67	12,73	15,17
Desv. Estándar	0,09	0,41	1,40	0,99	3,62
Máximo	16,99	14,24	20,36	13,82	19,89
Mínimo	16,73	13,00	15,81	10,71	8,56
Asimetría	-0,48	0,03	-1,39	-1,35	-0,91
Curtosis	-1,34	-1,58	0,62	0,57	0,00
Respecto al Modelo MORVEL2010					
Coef. Correl.	0,948	0,911	0,851	0,793	0,169

CONCLUSIONES

Se muestran zonas interactivas entre bordes de placa (FIGURA 1); sin embargo, más allá de estos límites existen fallas, depresiones, elevados y bloques que conforman una compleja geodinámica, como en el caso de la placa del Caribe que en su particularidad e interrelación con la placa Suramericana y Norteamericana, y las provenientes del oeste nos infiere la necesidad de mantener constante la observación y medición de velocidades de las estaciones.

Los modelos representados en la TABLA 2, [1] APKIM-DGFI 2005, [2] APKIM-IGN 2005, [3] ITRF2000 (D&A [2001]) y [5] VEMOS2009 presentan velocidades promedio de 14,51 ± 2,14 mm/año en la placa Caribe. Mientras que en la placa Suramericana podemos observar un promedio de velocidades para los tres primeros de 11,03 ± 1,01 mm/año y de 14,55 ± 5,51 mm/año para el [5] VEMOS2009. En ambas placas se ha considerado la condición de No Net Rotation (NNR) para observar el rms en ambas e inferir posibles efectos propios de la téctónica imperante en la placa Suramericana. Por consiguiente, se justifica un adecuado programa oficial de fortalecimiento de las redes geodésicas activas SIRGAS-CON.

Se comparan las diferencias de cada uno de los modelos seleccionados respecto al MORVEL2010 (condicionados NNR) (TABLA 3), en especial el modelo oficial introducido por la comisión SIRGAS, [5] VEMOS2009 que resulta con diferencias promedio de -1,11 ± 4,96 mm/año, asimetría negativa y amplitud de 16,44 mm/año en quince (15) estaciones SIRGAS2000

ubicadas en la placa del Caribe. Las diferencias promedio del modelo [5] VEMOS2009 respecto al MORVEL2010 para ciento siete (107) estaciones SIRGAS2000 ubicadas en la placa Suramericana resultó de 5,60 ± 5,56 mm/año y amplitud de 33,32 mm/año en las diferencias encontradas. Esto infiere posiblemente tendencias dominantes que deben ser regionalizadas por los centros de procesamiento y de análisis de SIRGAS.

Los resultados permiten asegurar que las velocidades de las estaciones SIRGAS2000 ubicadas en la placa del Caribe determinadas por MORVEL2010, considerando como marco de referencia la placa Suramericana (CA/SA) en lugar de modelar respecto a NNR, amplia la cobertura de VEMOS2009 mas allá de la placa Suramericana (TABLA 4). SIRGAS actualmente se apoya en las soluciones semanales de vectores de velocidad que determinan las estaciones activas en casi todo el continente; sin embargo, aún persisten naciones y regiones sin densificación en las que MORVEL2010 puede emplearse.

Los resultados publicados por DeMets, C. *et al*. (2010) y Pérez *et al*. (2001) se corresponden apropiadamente con las velocidades promedio modeladas por MORVEL2010 según se puede corroborar en la TABLA 5, mejorado en cobertura y precisión (aproximadamente de + 7 a +10 mm/año) al [3] ITRF2000 (D&A [2001]) en las estaciones estudiadas sobre la placa Caribe.

Las observaciones GNSS contribuyen con alta precisión al estudio del comportamiento geodinámico, siempre y cuando se apliquen correctamente las correcciones entre las que se encuentra indiscutiblemente las componentes de la velocidad y dirección del movimiento de las placas. El no considerar estos efectos trae como consecuencia la desactualización de las redes geodésicas de orden A, B y C en el desarrollo de la cartografía básica y derivada en los países. Las estaciones de observación continua (SIRGAS-CON) forman parte de los objetivos de densificación del proyecto SIRGAS y se consideran actualmente como prioridad de la geodesia espacial.

REFERENCIAS

Altamimi, Z., Sillard, P., and Boucher, C. 2002. ITRF2000: A new release of the International Terrestrial for earth science applications, Journal of Geophysical Research, 107(B10): 2214.

DeMets, C., Gordon, R.G., Argus, D.F., and Stein, S. 1990. Current plate motions. Geophysical Journal International, 101(2), pp. 425-478, doi: 10.1111/j.1365-246X.1990.tb06579.x.

DeMets, C., Gordon, R., Argus, D.F., and Stein, S. 1994. Effect of recent revisions to the geomagnetic reversal time scale on estimates of current plate motions. Geophysical Research Letters, 21: 2191-2194.

DeMets, C., Gordon, R., and Argus, D. 2010. Geologically current plate motions. Geophysical Journal International, 181 (1): 1-80.

Drewes, H., and Angermann, D. 2001. The Actual Plate Kinematic and Crustal Deformation Model 2000 (APKIM2000) as a Geodetic Reference System, IAG 2001 Scientific Assembly, Budapest. Reference Frame.

Drewes, H. 2009. The Actual Plate Kinematic and Crustal Deformation Model APKIM2005 as basis for a non-rotating ITRF, Geodetic Reference Frames, H. Drewes (Ed.), IAG Symposia, 134: 95-99.

Drewes, H., and Heidbach, O. 2009. The 2009 horizontal velocity model for South America and the Caribbean. IAG Scientific Assembly "Geodesy for Planet Earth". Buenos Aires, IAG Symposia. VEMOS2009.

Kellogg, J.N., and Dixon, T.H. 1990. Central and South America GPS geodesy-CASA Uno. Geophysical Research Letters, 17(3): 195–198, doi:10.1029/GL017i003p00195.

MARN. 1999. Datum Oficial SIRGAS-REGVEN. Resolución No. 10. Gaceta Oficial N° 36.653 del 3 de marzo de 1999.

Pérez, O.J., Bilham, R., Bendick, R., Hernández, N., Hoyer, M., Velandia, J., Moncayo, C., and Kozuch, M. 2001. Velocidad relativa entre las placas del Caribe y Suramericana a partir de observaciones dentro del Sistema de Posicionamiento Global (GPS) en el Norte de Venezuela. Interciencia, 26 (2): 69-74.

Weber, J.C., Dixon, T.H., DeMets, C., Ambeh, W.B., Jansma, P., Mattioli, G., Saleh, J., Sella, G., Bilham, R., and Pérez, O. 2001. GPS estimate of relative motion between the Caribbean and South American plates, and geologic implications for Trinidad and Venezuela, Geology, 29: 75-78.

Trabajo recibido: mayo 18 de 2012
Trabajo aceptado: agosto 15 de 2014