



Análisis del SRTM DEM en Santiago del Estero y Corrientes.

Lucrecia Galván⁽¹⁾, Claudia Infante⁽²⁾, Iber Goitea, Javier Duro, Jorge Orieta, Julieta Gonzalez Heffner y Melina Llanos.

(1) UNSE-FCEYT, Mg Ing Agrimensor, Belgrano (s) 1912, Tel. 4509560, E-mail: lgalvan@unse.edu.ar, galvanlucrecia@gmail.com.

(2) UNSE-FCEYT, Mg Ing Agrimensor, Belgrano (s) 1912, Tel. 4509560, E-mail: cinfante@unse.edu.ar.

RESUMEN

En el presente trabajo se analiza el comportamiento del modelo de elevaciones SRTM¹ DEM² de la NASA³ en las provincias de Santiago del Estero y Corrientes. La evaluación se realizó sobre la base de dos conjuntos de puntos de control terrestre (PCT), la red de nivelación de alta precisión y la red POSGAR⁴ 07 del IGN⁵ en las provincias mencionadas (Rodríguez et al., 2005; Reuter et al., 2007; Maune et al., 2007; Hirt et al., 2010). Se analizaron y compatibilizaron los sistemas y superficies de referencia del DEM y de los PCT. Se analizó el comportamiento del modelo gravitacional EGM⁶ 96 (Lemoine et al., 1998) para la región de estudio. Se efectuaron las valoraciones correspondientes. Los resultados obtenidos, fueron, para el SRTM, valores de un sigma de 2 m en los puntos de nivelación y un sigma de 1.7 m en los puntos POSGAR 07 para Santiago del Estero. Además el DEM presenta, un sigma de 1.3 m en los puntos de nivelación y un sigma de 2.3 m en los puntos POSGAR 07 para Corrientes. Se presentan y analizan las estadísticas y los mapas de errores. Se establecen las conclusiones generales y las tareas a desarrollar en el futuro.

PALABRAS CLAVE: ALTURAS; DEM; EGM.

INTRODUCCIÓN

Un DEM proporciona información de alturas de la superficie de la Tierra y las características sobre ella (Hirt et al., 2010). Estas alturas se refieren a un Datum y la estructura de los datos es una matriz regular de elevaciones; los DEM se derivan de imágenes de satélite (El-Sheimy et al., 2005). La interferometría de radar de apertura sintética (SAR, 1990) colocó al alcance de las naciones con desarrollo espacial la posibilidad de crear un DEM global de manera eficiente y asequible. La Misión SRTM (Misión Topográfica de Radar del Transbordador) de la NASA (Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio) es un muestra de esta técnica (Farr et al, 2007; Massonnet, D. et al, 2008). Los modelos digitales de elevación son una importante fuente de datos para diversas aplicaciones en las ciencias de la Tierra y del medio ambiente. Los datos de un DEM mejoran considerablemente el conocimiento de la superficie de la Tierra, en particular en regiones en desarrollo con insuficiente infraestructura de datos geospaciales como las provincias del Norte de

¹ Shuttle Radar Topography Mission.

² Digital Elevation Model.

³ National Aeronautics and Space Administration.

⁴ Posiciones Geodésicas Argentinas.

⁵ Instituto Geográfico Nacional.

⁶ Earth Gravitational Model.



Argentina.

Las aplicaciones son diversas, el modelado del campo de gravedad, estudios hidrológicos, la cartografía topográfica, la ortorrectificación de imágenes aéreas, la simulación de inundaciones y muchos más, de modo que, es importante evaluar la calidad de los mismos. El presente trabajo aborda el estudio del modelo SRTM 90 m ver. 4.1 para las provincias de Santiago del Estero y Corrientes debido a los avances significativos, en términos de resolución espacial y cobertura alcanzados por el mismo.

MATERIALES Y MÉTODOS

ZONA DE ESTUDIO

La provincia de Santiago del Estero se caracteriza por ser una zona de llanura, con una leve pendiente general en su topografía en dirección Noroeste a Sureste. Está comprendida, entre los extremos latitudinales de 25º S y 30º S y longitudinales de 60.5º O y 65.5º O aproximadamente.

La provincia de Corrientes se caracteriza por ser una extensa zona llana. Está comprendida, aproximadamente, entre los extremos latitudinales de 27º S y 31º S y longitudinales de 56º O y 60º O.

El SRTM 90m DEM ver 4.1 y la misión satelital

El SRTM DEM mapeo la superficie terrestre entre los 60º de latitud Norte y los 56º de latitud Sur (2000). El sensor usó la banda C utilizando la técnica de interferometría de radar de apertura sintética (InSAR). Las posiciones horizontales SRTM están referidas al sistema WGS84 y la posición vertical está referida al modelo gravitacional (Heiskanen et al., 1967) EGM96 (Lemoine et al. 1998). La versión 4.1 del SRTM de 3" de resolución espacial se distribuye en mosaicos de 5º x 5º que contienen 6001 x 6001 celdas con valores de alturas. La calidad de las elevaciones SRTM han sido analizadas por Reuter et al., 2007; Hirt et al., 2010; Bolten et al., 2010 en términos de promedios y desviación estándar (DESV EST). El CGIAR informa que los errores verticales de los datos SRTM 90m DEM son menores a 16 m. (<http://www.cgiar-csi.org/data/elevation/item/45-srtm-90m-digital-elevation-database-v41>). El SRTM utilizó dos radares de apertura sintética, en las bandas C y X. El éxito de los radares SRTM radicó en que fueron diseñados para operar como interferómetros de una sola pasada, utilizando las capacidades de las bandas C y X. Para las operaciones de la interferometría de un solo paso, cada uno de los dos radares SRTM estaba equipado con una antena adicional de sólo recepción, además de las principales antenas de transmisión/recepción situadas en la carga del transbordador. Las antenas adicionales fueron colocadas en el extremo de un mástil retráctil de 60 m (Farr et al., 2007). (Fig. 1).

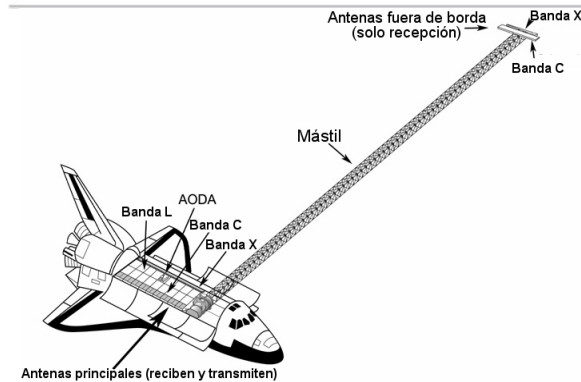


Figura 1.- Componentes principales del SRTM.

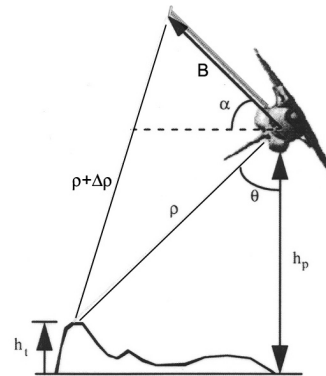


Figura 2.- Geometría del interferómetro SRTM (no está en escala).

Los radares son instrumentos que básicamente miden una sola dimensión, la distancia del radar a un objetivo de interés. Un instrumento de radar montado en una plataforma en movimiento puede adquirir mediciones de dos dimensiones de una ubicación, explotando el cambio de frecuencia Doppler de un objetivo, así como su alcance. Esta técnica de radar de apertura sintética (SAR) produce imágenes en dos dimensiones. (Farr et al, 2007).

Para acceder a la tercera dimensión, es necesaria la diferencia de distancia entre las dos imágenes de radar, y esto se realiza con mayor precisión y eficacia mediante los principios de la interferometría, ver Figura 2. Si se asume que, la posición de las dos antenas (la "base interferométrica"), es conocida, las dimensiones del triángulo de interferometría pueden determinarse con precisión, y así también la altura de un punto dado (Fig. 2), Ecuación 1, (Farr et al., 2007).

$$h_t = h_p - \rho \cos \left[\sin^{-1} \left(\frac{\lambda \phi}{2 \pi B} \right) + \alpha \right] \quad (1)$$

En la Ecuación 1 h_t es la altura del punto; h_p es la altura de la plataforma (altura de la antena con respecto al elipsoide de referencia WGS84); ρ es la distancia al punto; λ es la longitud de onda; ϕ es la fase interferométrica medida; α es el ángulo de la base o ángulo de referencia y B es la base interferométrica. La Tabla 1 muestra los observables SRTM. La orientación y determinación de la órbita aviónica (AODA) proporcionó los observables especificados en la segunda fila de la Tabla 1.

TABLA 1.- Observables misión SRTM.

Medidos por:	Parámetros
Radar	ρ y ϕ
AODA	α, B, h_p

Red de Nivelación de Alta Precisión IGN.

La posición de los puntos altimétricos de la red altimétrica de alta precisión nacional está

referida al sistema WGS84. La altura de los puntos está referida al nivel medio del mar, mareógrafo de Mar del Plata (Datum Vertical Local). Se considera consistente para el análisis del presente trabajo. La provincia de Santiago del Estero tiene 655 puntos fijos altimétricos distribuidos en 22 líneas de nivelación. (www.ign.gov.ar) (Ver Figura 3, el fondo de la figura es el SRTM DEM). La red altimétrica de alta precisión de la provincia de Corrientes tiene 838 puntos en 18 líneas de nivelación. También tiene un número importante de puntos de la red de nivelación con posición POSGAR07. Ver Fig. 4. En este trabajo se analiza el SRTM DEM en los puntos de nivelación con posición POSGAR07.

Red POSGAR 07 IGN

La red POSGAR 2007 es el Marco de Referencia Geodésico Nacional Argentino. La red está referida al ITRF 05 Época 2006.632. El sistema de referencia de las posiciones horizontales de los puntos se considera consistente para el análisis. Las alturas elipsoidales de la red POSGAR 07 se transforman a alturas físicas usando el modelo EGM96 (Lemoine et al., 1998) para hacerlas compatibles con las alturas del SRTM 90m DEM ver.4.1 que utiliza como superficie de referencia para las alturas dicho modelo gravitacional (Hirt, C et al., 2010). Se estima que EGM96 ajusta a las alturas físicas en puntos de nivelación GPS con una desviación estándar de ± 0.61 m para la República Argentina (Tocho et al., 2009). Santiago del Estero tiene 82 puntos fijos espacialmente distribuidos de manera adecuada y con una precisión de ± 0.005 m (<http://ign.gov.ar/posgar2007/redposgar>) (Ver Figura 3). La provincia de Corrientes tiene 614 puntos pertenecientes a la red POSGAR07. Ver Figura 4.

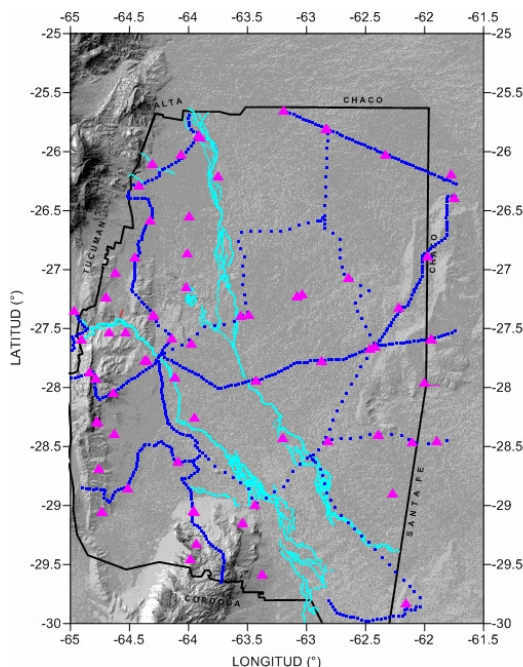


Figura 3.- Red POSGAR 07 (▲) y Red de Nivelación IGN (●). Santiago del Estero.

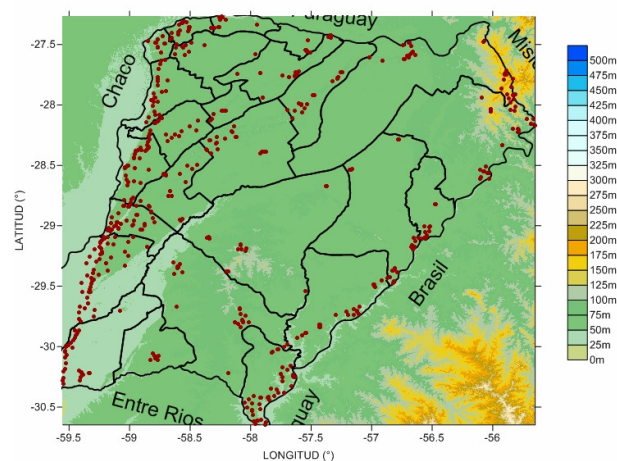


Figura 4.- ● Red POSGAR 07 y Red de Nivelación IGN. Corrientes.

METODOLOGIA

La calidad de los datos de elevación se expresan comúnmente en términos de precisión vertical. Entre los métodos de evaluación de los DEM, se aplica en el presente trabajo, la comparación con datos terrestres para la determinación de la precisión vertical. La evaluación se realiza sobre la base de dos conjuntos de puntos de control terrestre (PCT), la red de nivelación de alta precisión y la red POSGAR 07 para las provincias de Santiago del Estero y Corrientes (Hirt, C et al, 2010). Estos puntos descriptos en los apartados 2.3 y 2.4 deben tener su posición en el mismo sistema de referencia que el DEM y garantizar la exactitud en su posición (Felicísimo, 1999). De igual modo, la componente de altura debe estar referida a la misma superficie.

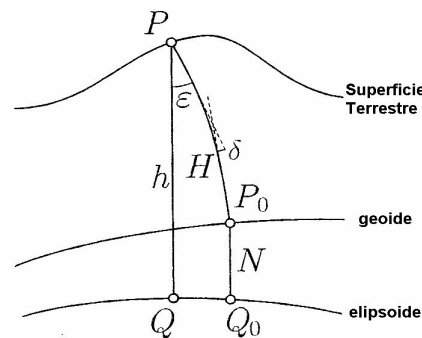


Figura 5.- La proyección de Helmert y de Pizzeti. (Hofman-Wellenhof & Moritz, 2006).

Con la finalidad de realizar un análisis de las alturas involucradas en los datos, se presentan en la Fig. 5 las proyecciones de Pizzeti (PP_0Q_0) y la proyección de Helmert (PQ). La ecuación 2 es una aproximación en la que se desprecia el efecto de la desviación de la vertical y relaciona la altura elipsoidal h con la altura ortométrica H , a través de la altura geoidal N . Ver Figura 5 (Hofman-Wellenhof & Moritz, 2006).

$$h = H + N \quad (2)$$

h : altura elipsoidal. Es la altura sobre el elipsoide a lo largo de la normal al elipsoide.

H : altura ortométrica. La altura ortométrica es la distancia entre el punto P sobre la superficie terrestre y su proyección P_0 sobre el geoide, medida a lo largo de la línea de la plomada.

N : altura geoidal. Es la altura del geoide sobre el elipsoide.

La evaluación del DEM se realizó mediante el cálculo de los errores usando la ecuación 3, (Felicísimo, 1999):

$$H^{\text{ERROR}} = H^{\text{DEM}} - H^{\text{DAT}} \quad (3)$$

H^{ERROR} es el error o diferencia de alturas.

H^{DEM} es la altura del DEM.

H^{DAT} es la altura de los puntos terrestres.

RESULTADOS

La estadística descriptiva de los errores calculados con la ecuación 3 para los 655 puntos de la red de nivelación IGN y los 76 puntos POSGAR para Santiago del Estero, se presenta en la Tabla 2. Asimismo se muestran los resultados para los puntos de la red de nivelación (79) y los 614 puntos POSGAR07 para la provincia de Corrientes.

TABLA 2.- Estadísticos de la calibración. Unidades en metros.

ZONA DE ESTUDIO	SANTIAGO DEL ESTERO	CORRIENTES
PUNTOS	DESV EST (m)	DESV EST (m)
RED POSGAR 07	1.7	2.3
RED NIVELACION	2.0	1.3

El buen resultado obtenido con la red POSGAR07, para Santiago del Estero, se muestra en la Figura 6 mediante una clasificación de los errores. Resulta claro que los errores son predominantemente pequeños para la provincia. Los errores más elevados se presentan en zonas de topografía elevada.

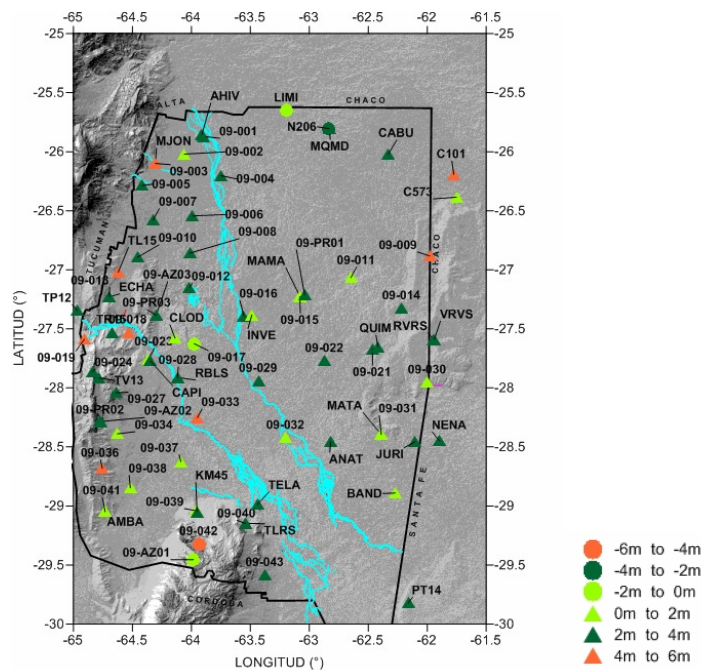


Figura 6.- Clasificación de errores entre los puntos POSGAR 07 y el SRTM 90m DEM. Santiago del Estero.

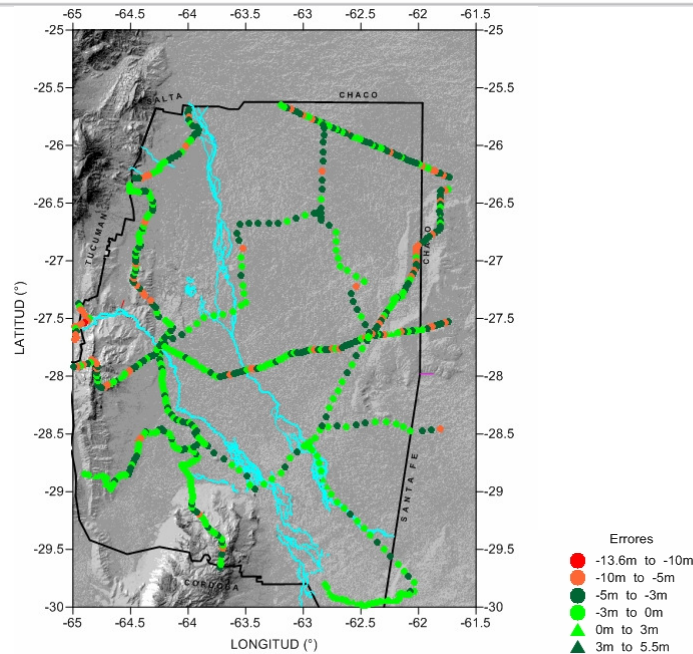


Figura 7.- Clasificación de errores entre los puntos de nivelación y el SRTM 90m DEM. Santiago del Estero.

En la Figura 7 se muestran los errores en los puntos de nivelación de la red de alta precisión. Se observa en general un buen ajuste para la provincia, con supremacía de mayores errores en las zonas elevadas del terreno.

La Tabla 4 muestra, en detalle, la cantidad de puntos y las magnitudes de los errores que se muestran espacialmente en la Figura 6.

TABLA 4. Estadísticos de la comparación con los 46 puntos POSGAR 07. Unidades en metros.

MIN (m)	MAX (m)	%	CANT	SIMBOLO
-6.0	-4.0	2.5	2	●
-4.0	-2.0	1.3	1	●
-2.0	0.0	3.8	3	●
0.0	2.0	25.0	20	▲
2.0	4.0	55.0	44	▲
4.0	6.0	12.5	10	▲

En la Fig. 8 se muestran espacialmente los errores entre las alturas SRTM y las alturas POSGAR07 para la provincia de Corrientes.

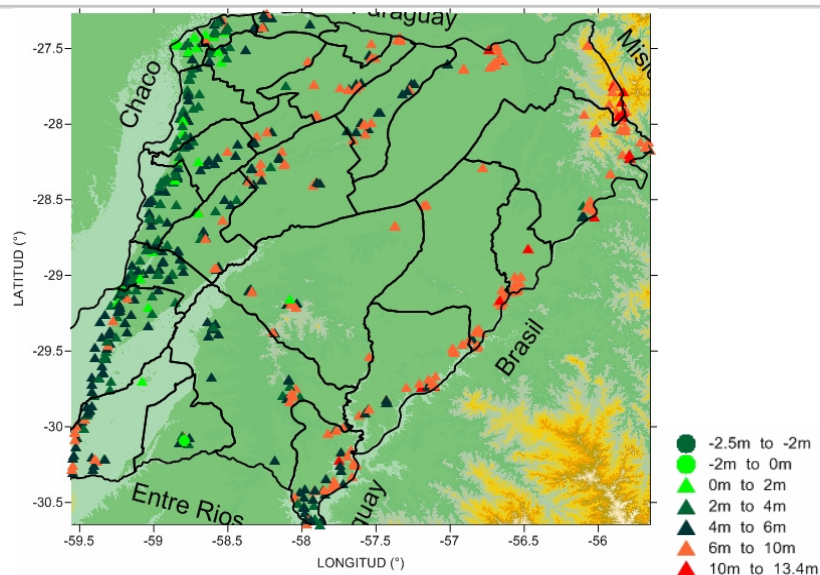


Figura 8.- Clasificación de errores en puntos POSGAR07. Corrientes.

La Fig. 9 expone el comportamiento espacial de los errores entre el DEM y las alturas niveladas de la red de nivelación de alta precisión en Corrientes.

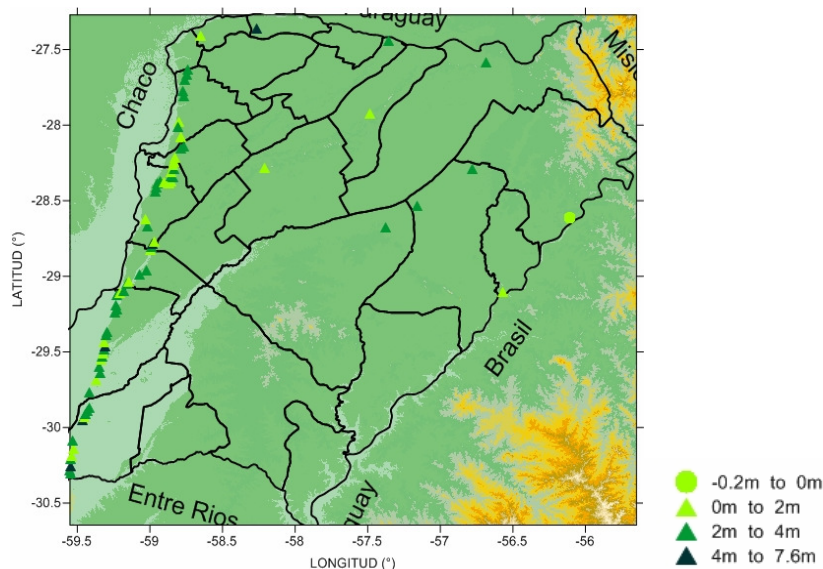


Figura 9.- Clasificación de errores del SRTM DEM con la red de nivelación de alta precisión. Corrientes.

CONCLUSIONES

La DESV EST del SRTM 90 m DEM es mejor en 30 cm. en los puntos POSGAR 07 (1.7 m) que en los puntos de nivelación (2.0 m) para la provincia de Santiago del Estero. Esto se explicaría por la inexactitud en las posiciones horizontales de los puntos de nivelación que



alcanzan valores entre 15 m a 500 m. Esto impone la necesidad de continuar con la georreferenciación precisa de los mismos.

Si se profundiza el análisis del DEM con la red POSGAR 07 que asegura la exactitud de las posiciones se puede concluir que en zonas llanas el modelo ajusta casi dos veces mejor que en zonas abruptas. (Galván et al. 2013; Candellero 2013; Quiroga 2014)

Los errores verticales esperados para el SRTM 90 m DEM son de 16 m en módulo. Los errores verticales se encuentran por debajo de los esperados en más de 11 veces en la zona llana y en más de 6 veces en la zona abrupta para los puntos POSGAR 07 analizados. El modelo SRTM 90 m, presenta un muy buen ajuste en la provincia de Santiago del Estero. Los errores del DEM en Corrientes contrastado con los puntos POSGAR07 crecen desde el noroeste hacia el sudeste en dirección a las mayores alturas de la zona. El SRTM90 DEM presenta un buen ajuste en la provincia de Corrientes.

Asimismo cuando el DEM es calibrado con puntos de la red de nivelación de alta precisión de Corrientes pero con posición POSGAR07 la mejora es de 1 m, lo que conduce a concluir que, el SRTM90 presenta un muy buen comportamiento en la provincia.

Las actividades futuras estarán orientadas a establecer criterios de filtrado de datos terrestres y la posterior obtención de un DEM corregido y el cálculo de un modelo mejorado en base al conjunto de datos correspondientes a la red POSGAR 07 para Santiago del Estero y con la red POSGAR07 y la red de nivelación de alta precisión (posición POSGAR07) para la provincia de Corrientes, de acuerdo a los resultados obtenidos en el presente trabajo.

El SRTM 90 m DEM mejorado representará un importante avance, no sólo en la precisión que se obtendrán con el mismo, sino también, en la disposición de datos de altura para una zona que necesita mayor infraestructura geoespacial.

Agradecimiento. *El presente trabajo se ha desarrollado en el marco del Proyecto de Investigación "Análisis y Aplicación de los Modelos Digitales de Elevación (DEM) y Modelos Geopotenciales Globales (MGG) para la Provincia de Santiago del Estero", financiado por el Consejo de Investigación de Ciencia y Técnica (CICYT) de la Universidad Nacional de Santiago del Estero (UNSE).*

LISTA DE SÍMBOLOS

- H: Altura ortométrica.
h: Altura elipsoidal.
N: Altura del geoide sobre el elipsoide.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- El-Shaimy, N. Valeo, C. Habib, A. (2005). "Digital Terrain Modeling. Acquisition, Manipulation, And Application". Artech House, Inc. 69-157.
- Hirt, C. Filmer, M.S. Featherstone, W.E. (2009). "Comparisons and validation of the recent freely-available ASTER-GDEM ver1, SRTM ver4.1 and GEODATA DEM-9S ver3 digital elevation models over Australia".
- Maune, David F.; Kopp, Stephen M.; Crawford, Clayton A. and Zervas; Chris E. (2007). "Digital Elevation Model Technologies and Applications: The DEM Users Manual". The American Society for Photogrammetric and Remote Sensing, Bethesda, Maryland. 2nd Edition.



- Bolten, A. Waldhoff, G. (2010). "Error estimation of ASTER GDEM for regional applications-comparisons to ASTER DEM and ALS elevation models".
- Farr, T.G. Rosen, P.A. Caro, E. Crippen, R. Duren, R. Hensley, S. Kobrick, M. Paller, M. Rodriguez, E. Roth, L. Seal, D. Shaffer, S. Shimada, J. Umland, J. Werner, M. Oskin, M. Burbank, D. and Alsdorf, D. (2007). "The Shuttle Radar Topography Mission". Received 13 September 2005; revised 27 September 2006; accepted 14 November 2006; published 19 May 2007. Farr, Tom G. & et al.
- Reuter, H.I. Nelson, A. Harvis, A. (2007). "An evaluation of void filling interpolation methods for SRTM data".
- Felicísimo Angel M. (1994). "Modelos Digitales del Terreno".
- Felicísimo Angel M. (1999). "Modelos Digitales del Terreno".
<http://www.etsimo.uniovi.es/feli>.
- Zakatov, P.S. (1997). "Curso de Geodesia Superior", Rubiños -1860 S.A. Madrid.
- Torge, W. (1983). "Geodesia". Walter de Gruyter, Berlin, New York.
- Torge, W. (2001). "Geodesy". Walter de Gruyter, Berlin, New York.
- Del Cogliano, D. (2006). "Modelado del Geoide con GPS y Gravimetría. Caracterización de la estructura Geológica de Tandil". Tesis Doctoral, UNR.
- Becek, K. (2008). "Investigation of elevation bias of the SRTM C and X band digital elevation models". Beijing.
- Heiskanen, W.A., Moritz, H. (1967). "Physical Geodesy". W.H.Freeman, San Francisco.
- Galván, L. Infante, C. Goitea, I., (2007). "Georreferenciación de puntos altimétricos IGM para la provincia de Santiago del Estero". GEOACTA. AAGG. Vol. 32. pp 217- 222.
- Galván, L. Infante, C. Goitea, I. Lauría E., Ramos, R. (2008). "Evaluación del modelo SRTM 90 en alturas IGM para el área del río Dulce de la provincia de Santiago del Estero". pp III-1 a III-6.
- Galván, L. Infante, C. Goitea, I. Laitán, H. Duro, J. Pirola, M. Luna, J.P. & Lauría, E. Ramos, R. (2009). "Evaluación del modelo SRTM 90m en alturas IGM para la provincia de Santiago del Estero".
- <http://www.ign.gob.ar/posgar2007/redposgar>
- <http://earth-nfo.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm96/intpt.html>
- <http://srtm.csi.cgiar.org/>
- <http://www.cgiar-csi.org/data/elevation/item/45-srtm-90m-digital-elevation-database-v41>
- <http://www.gdem.aster.ersdac.or.jp/search.jsp>
- <http://isdc.gfz-potsdam.de/index.php?module=pagesetter&func=viewpub&tid=1&pid=34>
- Reuter HI, Nelson A, Harvis A. (2007). "An evaluation of void filling interpolation methods for SRTM data".
- Lucrecia Galván, Daniel Del Cogliano y Claudia Tocho. (2015). "Integración de información altimétrica local y modelos geopotenciales en SRTM DEM. Aplicación provincia de Buenos Aires". Simposio SIRGAS (Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas). Santo Domingo. República Dominicana.