

Comparación de un DEM generado a partir de curvas de nivel con el DEM-SRTM para estimar la altura de plantaciones forestales.

Presutti Miriam Elisabet ¹

¹Laboratorio de Investigación de Sistemas Ecológicos y Ambientales-LISEA
Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales
Universidad Nacional de La Plata.
Diag.113 esq 61 N° 469 Piso 2 (1900) La Plata, Buenos Aires, Argentina
presutti@agro.unlp.edu.ar

Abstract. In this work the differences in heights between two DEMs were examined, DEM-IGM derived from 1:100.000 topographic maps interpolated to 30m resolution vs DEM-SRTM with 90m resolution, collected during the 2000 Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). The main objective was to compare both models in open areas and forested areas. An analysis was conducted to determine the feasibility to obtain estimates of vegetation canopy height from SRTM data by subtraction of the terrain height calculated from the model derived from contour lines. The quality of DEM-IGM was evaluated by calculation of the RMSE (Root Mean Squared Error) and it was within the recommended limits. The study area is located in Entre Ríos province, Argentina, where the main economic activity is the forestry, being the Eucalyptus the predominant specie. The results shown that in open areas the height values from both models are similar; indicating that the accuracy of DEM-SRTM is good enough for many applications. Although part of the user community views vegetation as a major source of noise and nuisance, it is shown that for the purposes of vegetation height estimation, the SRTM dataset is an invaluable resource of near-global scope. The location of the forestry plantations were identified by visual interpretation of a Landsat image acquired in November 2000, few months later than the SRTM.

Palabras clave: SRTM, topographic maps, forestry, Eucalyptus, cartas topográficas, forestaciones

1- Introducción

Un Modelo Digital de Elevación (DEM) es una representación de la superficie terrestre y como tal provee la base para la extracción digital de parámetros topográficos. Estos modelos son una importante fuente de datos para diversas aplicaciones en un entorno de Sistemas de Información Geográfica (GIS) (Presutti, 2002). La ruta del agua sobre la superficie terrestre está condicionada por la forma de esa superficie (Wood, 1996). Las características hidrológicas, como pendiente, orientación o curvatura pueden ser derivadas a partir de éstos modelos. Si bien un DEM es el origen de todas las modelaciones total o parcialmente dependientes de la topografía, la utilidad y validez de los resultados derivados están estrechamente relacionadas con la calidad del modelo original.

El paso inicial para la construcción de un DEM es la captura de la información hipsométrica, e incluye la transformación de la realidad geográfica a la estructura digital de los datos. La fuente de esta información es variada, como el levantamiento de datos a campo con estaciones topográficas, la digitalización de mapas topográficos existentes, restitución de fotos aéreas hasta el procesamiento de datos adquiridos desde cámaras ópticas o radar montadas en satélites.

La calidad de estos modelos depende de la magnitud de los errores implicados. Un DEM es una simplificación de la realidad y por lo tanto inevitablemente contendrá errores. Estos errores no son considerados equivocaciones y no pueden ser eliminados trabajando muy cuidadosamente; lo mejor que puede esperarse es que sean razonablemente pequeños y tener una estimación fiable de su magnitud (Taylor, 1997). Error es definido como el alejamiento de una medida de su valor real. A menudo en análisis geográficos no se conoce el valor real, ésta falta de conocimiento acerca de la fiabilidad de la medida real, se denomina incertidumbre.

La precisión del modelo generado se puede considerar dependiente de una serie de parámetros implicados en su generación, que van desde las características orográficas de la zona, los datos fuente hasta el método de elaboración (Morillo Barragán et al, 2002).

En la evaluación de la exactitud de los modelos de elevación se utiliza un grupo de puntos de control considerados como “verdad de campo” cuyas cotas son comparadas con las generadas por el modelo para la misma posición. Se obtiene entonces la diferencia entre las dos alturas, es decir el error. Con estos errores se computan valores estadísticos, como el RMSE (*Root Mean Squared Error*), usados en la evaluación de la exactitud de los DEMs.

La *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) fue un proyecto conjunto entre la *National Imagery and Mapping Agency* (NIMA), la *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) y las Agencias Espaciales de Alemania (DLR) e Italia (ASI). La misión se desarrolló del 11 al 22 de Febrero del 2000, y el objetivo fue generar datos digitales topográficos para el 80% de la superficie de la tierra (el área entre 60° Norte y 56° Sur).

Se utilizó la técnica de interferometría radar, en la cual dos imágenes radar de un mismo sitio son tomadas desde dos posiciones diferentes. Las ondas de radar de las bandas C (5.6 cm) y X (3.1 cm), que inciden sobre la superficie terrestre son fuertemente dispersadas por los elementos presentes pues son mas grandes que esas longitudes de onda. En consecuencia, en zonas cubiertas con vegetación, las hojas y ramas actúan como fuertes dispersores. Estas cortas longitudes de onda no pueden penetrar la vegetación, por lo cual los modelos de elevación generados no muestran la altura del suelo desnudo, sino más bien la altura de la superficie visible (edificios o vegetación). Por este motivo es de esperarse diferentes exactitudes del modelo para áreas abiertas, forestadas o bien ciudades.

El USGS (*United States Geological Survey*) a través del *EROS Data Center* archiva y distribuye la información recolectada en esta misión, previo procesamiento (<http://srtm.usgs.gov/>). Los datos del SRTM están disponibles con 90m de resolución para casi todo el globo y con 30m de resolución solo para algunos países. El error vertical reportado es menor a los 16m. Los datos actualmente distribuidos por NASA/USGS contiene pixeles sin datos, lugares donde al momento de lo misión había agua o bien fuertes sombras que impidieron la cuantificación de la elevación. Generalmente, estos son pequeños agujeros en la información que de todos modos pueden tornar de poca utilidad estos datos, específicamente para el modelado hidrológico. Por esto los datos originales han sido nuevamente procesados con el fin de llenar los huecos del modelo y los mismos están disponibles en el Geoportal del CGIAR-CSI. (<http://srtm.csi.cgiar.org/>).

Este trabajo tiene por objetivo realizar una comparación entre el DEM-SRTM generado a través de interferometría radar, con otro DEM generado a partir de la información proveniente de Cartas Topográficas del Instituto Geográfico Militar (IGM). Otro objetivo es evaluar la posibilidad de la utilización conjunta de ambos modelos en la determinación de la altura de la vegetación arbórea presente en la zona de estudio al momento de su adquisición.

2- Materiales y Métodos

El área de estudio corresponde a los departamentos Colón y Concordia, ubicados sobre la costa del río Uruguay en el Centro-Este de la provincia de Entre Ríos, Argentina. El clima es templado húmedo de llanura, con una temperatura media anual de 18,5 °C y la precipitación media anual se ubica en los 1100 mm, registrándose en el período octubre a abril más del 70% del total anual.

Sobre la costa del río Uruguay se encuentran suelos arenosos con características muy variables a corta distancia. Los mismos se disponen en una franja irregular, paralela a la costa del río, en un ancho que varía aproximadamente de 2 a 30 Km. Hacia el oeste el porcentaje de arena va disminuyendo y aumentando el de arcilla, determinando la aparición de suelos Molisoles y Vertisoles. Los suelos arenosos, se caracterizan por ser muy aptos para la

citricultura y la silvicultura; por lo cual las plantaciones forestales se extienden preferentemente sobre las terrazas del río, en una franja de 20-35 km paralela a la costa. La especie más frecuentemente utilizada en las plantaciones comerciales es *Eucalyptus grandis* y en menor medida *Eucalyptus dunni*, *Pinus elliottii*, *Pinus taeda* y *Eucalyptus globulus*. A diferencia de las otras provincias de la Mesopotamia, las plantaciones son relativamente jóvenes, lo cual indicaría que las cosechas a corto plazo se destinarían en su mayor parte a la producción de pulpa.

Las cartas topográficas del IGM (Instituto Geográfico Militar) escala 1:100.000 utilizadas para generar el DEM fueron: 3357-01 (Colón), 3360-06 (Gobernador Urquiza), 3157-31 (Arroyo Barú), 3160-36 (Jubileo) y 3157-25 (Concordia). Además, se utilizó una imagen Landsat adquirida en Noviembre de 2000 como referencia visual para discernir la ubicación de las plantaciones forestales. Finalmente, se utilizó el DEM-SRTM descargado libre de costo desde el portal CGIAR-CSI.

Los pasos metodológicos seguidos para evaluar la calidad y comparar ambos modelos fueron los siguientes:

- i) Digitalización de las curvas de nivel: a partir del escaneo, georreferenciación y mosaico de las 5 cartas topográficas, escala 1:100.000 y la posterior vectorización en pantalla de las curvas de nivel (equidistancia 5 m)
- ii) Generación del DEM-IGM mediante interpolación desde las curvas de nivel, utilizando el programa ArcVIEW GIS y un script de uso público.
- iii) Evaluación de la calidad del DEM generado mediante el cálculo del error medio cuadrático (RMSE) de la componente altitudinal, utilizando 317 puntos de control.
- iv) Obtención de la imagen diferencia entre el DEM-SRTM y DEM-IGM
- v) Obtención de las alturas de ambos modelos en puntos ubicados dentro y fuera de áreas forestadas.

La cuantificación del error en un DEM se lleva a cabo comparando un conjunto de valores reales de elevación con los estimados en el modelo, así el error de altitud en un punto $d(i)$ es definido como la diferencia entre la altitud del punto en el modelo $z(i)$ y su valor real $z'(i)$. (Felicísimo, 1994)

Los puntos de control aquí utilizados fueron los puntos fijos, acotados y trigonométricos que figuran en las cartas topográficas. La cota de estos puntos se considera como real y sin error.

La medida más ampliamente utilizada (Li, 1991 y Yang y Hodler, 2000), para reportar la exactitud en un DEM es una medida de dispersión, el RMSE (*Root Mean Square Error*). Para su cálculo se utiliza la siguiente fórmula:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y_i - y_j)^2}{N}} \quad (1)$$

Donde: y_i es el valor de altura del modelo

y_j es la altura real y

N es el número de pares de valores modelados.

La imagen diferencia entre ambos modelos obtenida en un entorno SIG, es simplemente la sustracción pixel a pixel del valor de cota obtenido por el DEM-IGM al DEM-SRTM, el cual incluye la cota del terreno más la vegetación. Esta imagen diferencia, representa la altura de la vegetación presente en la zona, en este caso son plantaciones forestales.

Sobre la imagen satelital se ubicaron 73 puntos al azar, 23 de ellos ubicados en zonas abiertas, sin forestaciones y el resto ubicado en áreas plantadas. Se extrajeron para cada uno de estos puntos las cotas representadas en ambos modelos.

3- Resultados y Discusión

A las curvas de nivel digitalizadas a partir de cartas topográficas se les aplicó un algoritmo de interpolación para obtener un DEM con una resolución de 30m. Aplicando la Ecuación 1, se obtuvo un RMSE= 1.675m. La resolución 233 del VIII Congreso Nacional de Cartografía recomienda para trabajos expeditivos que el EMC de los puntos de las curvas de nivel no deberá ser superior a 1/3 de la equidistancia, es decir que el 95% de los puntos de las curvas de nivel tendrán un error menor que 2/3 de la equidistancia (CAC, 1992). En este caso, siendo la equidistancia de 5m, el valor recomendado es de 1.67m. Por lo que el DEM generado está dentro de los límites esperados.

Considerando la frecuencia de las diferencias de cotas entre los puntos de control y el valor estimado por el modelo: del total de 317 puntos, 222 subestimaron la cota real, en 11 puntos los valores fueron sobreestimados en 10 cm, 33 en 50 cm y en 51 ubicaciones sobrestimó la cota en hasta 3 m. Estos errores son atribuidos al algoritmo de interpolación utilizado.

El DEM-IGM generado y el DEM-SRTM se muestran en la Figura 1, a simple vista los dos parecen similares, es decir que a nivel regional ambos muestran las características más relevantes del relieve como son los cauces de los ríos y arroyos.

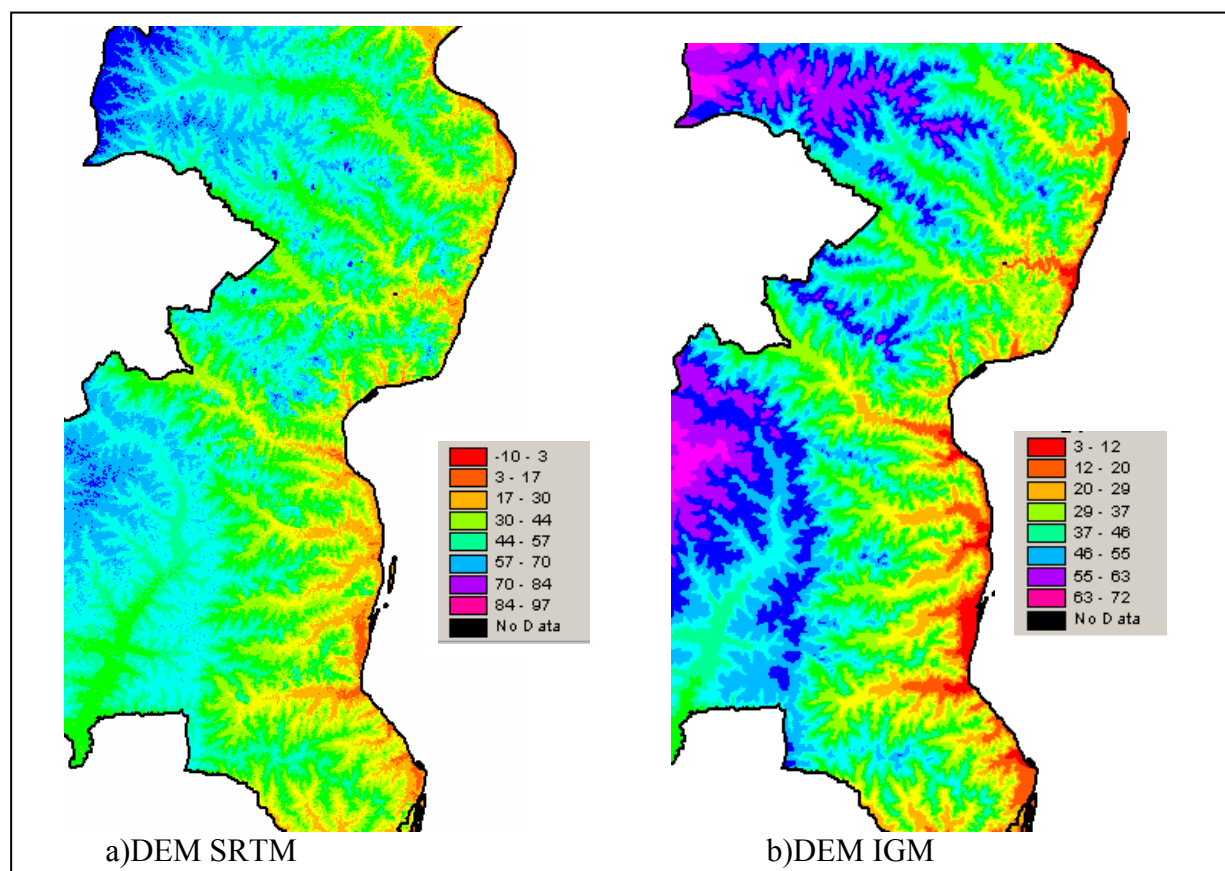


Figura 1 a)DEM-SRTM con 90 m de resolución y b) DEM-IGM con 30 m de resolución generado a partir de curvas de nivel de cartas topográficas escala 1:100.000 y equidistancia 5 m

Analizando la imagen diferencia del DEM-SRTM menos DEM-IGM (Figura 2), se observan desvíos, tanto negativos como positivos distribuidos por toda el área de estudio. Los desvíos negativos se presentan donde el DEM-SRTM sobrestimó la cota del terreno de acuerdo con el DEM-IGM. Al focalizar el análisis solamente en estas diferencias positivas mayores a 7m, y superponiéndolas con la imagen satelital, también adquirida durante el año 2000, meses después de la misión del trasbordador, se observa que las mismas se corresponden con las plantaciones forestales presentes en la región (Figuras 3 y 4). En la Figura 4 se ve claramente en la porción norte una zona donde si bien existen plantaciones de *Eucalyptus*, estas aun son muy jóvenes y su altura es menor al límite de 7m.

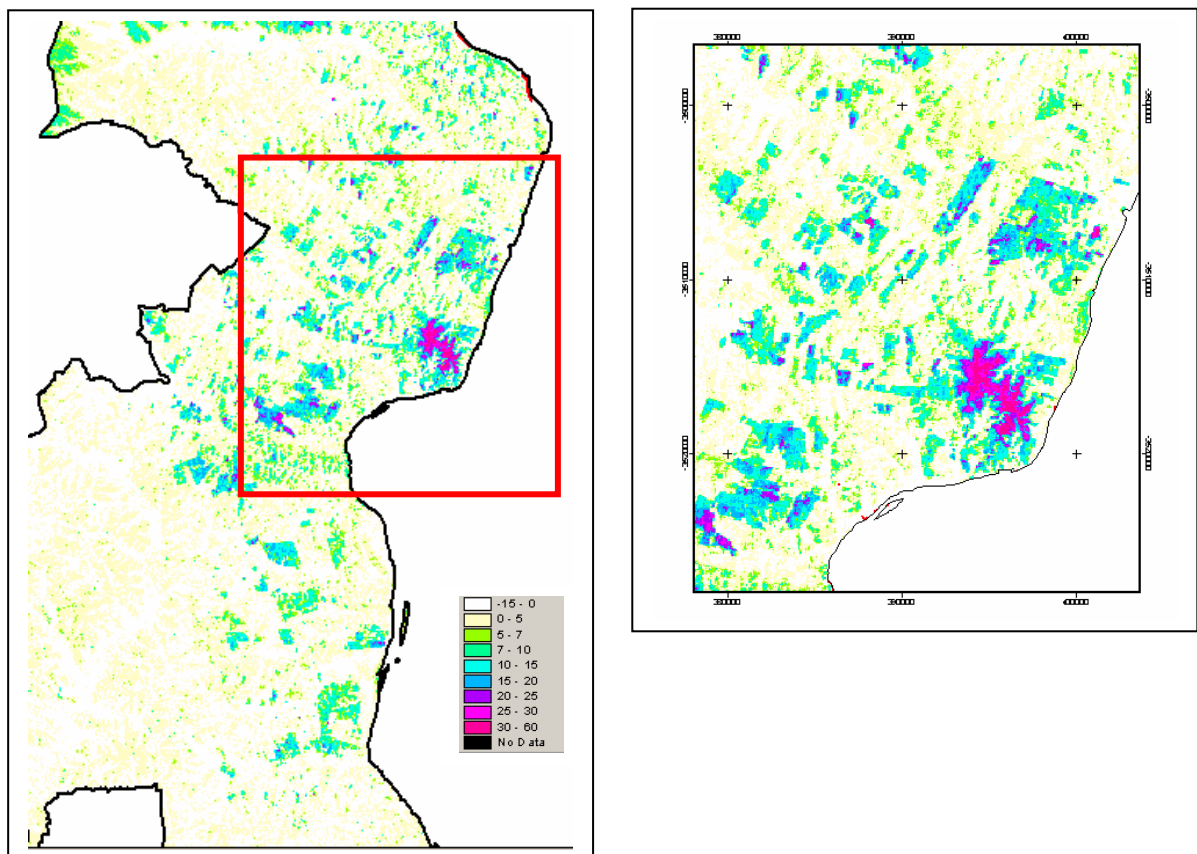


Figura 2 Imagen diferencia del DEM-SRTM menos el DEM-IGM y a la derecha un detalle del mismo donde se ubican las plantaciones forestales.

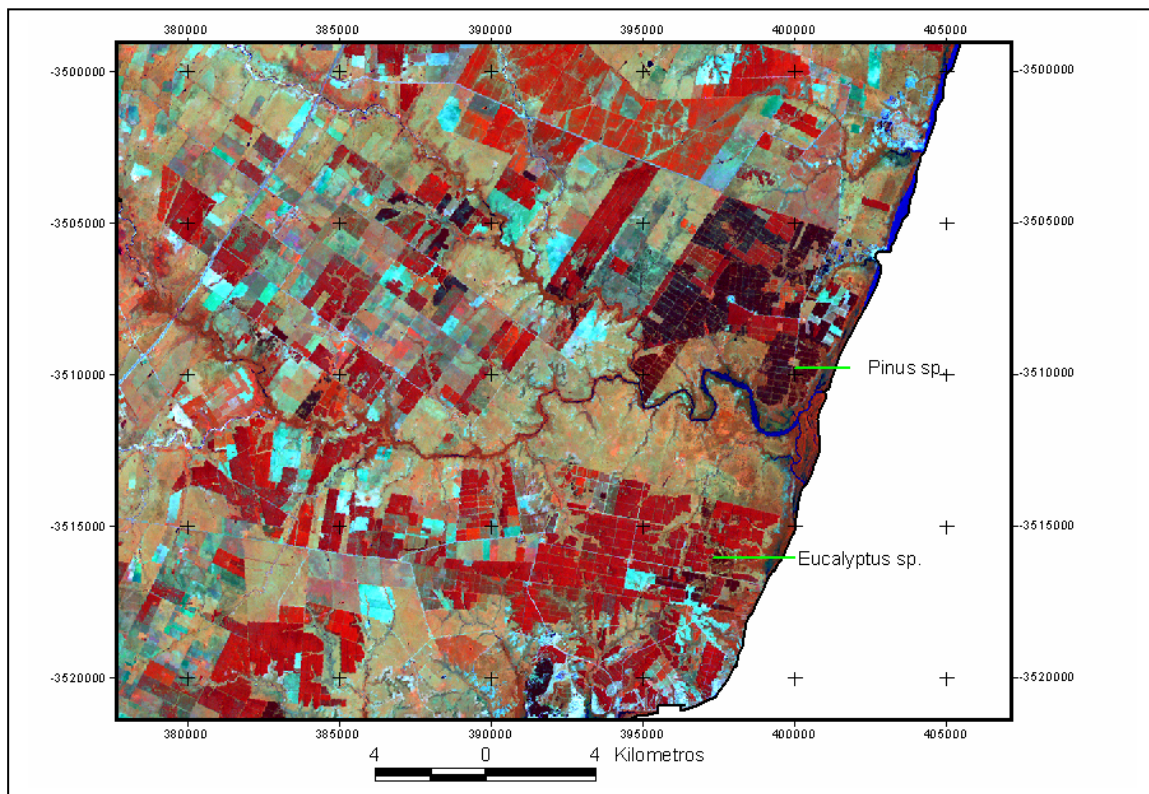


Figura 3 Imagen Landsat de una porción del área de estudio donde se observan las áreas forestadas con *Pinus* y *Eucalyptus* y áreas abiertas sin vegetación.

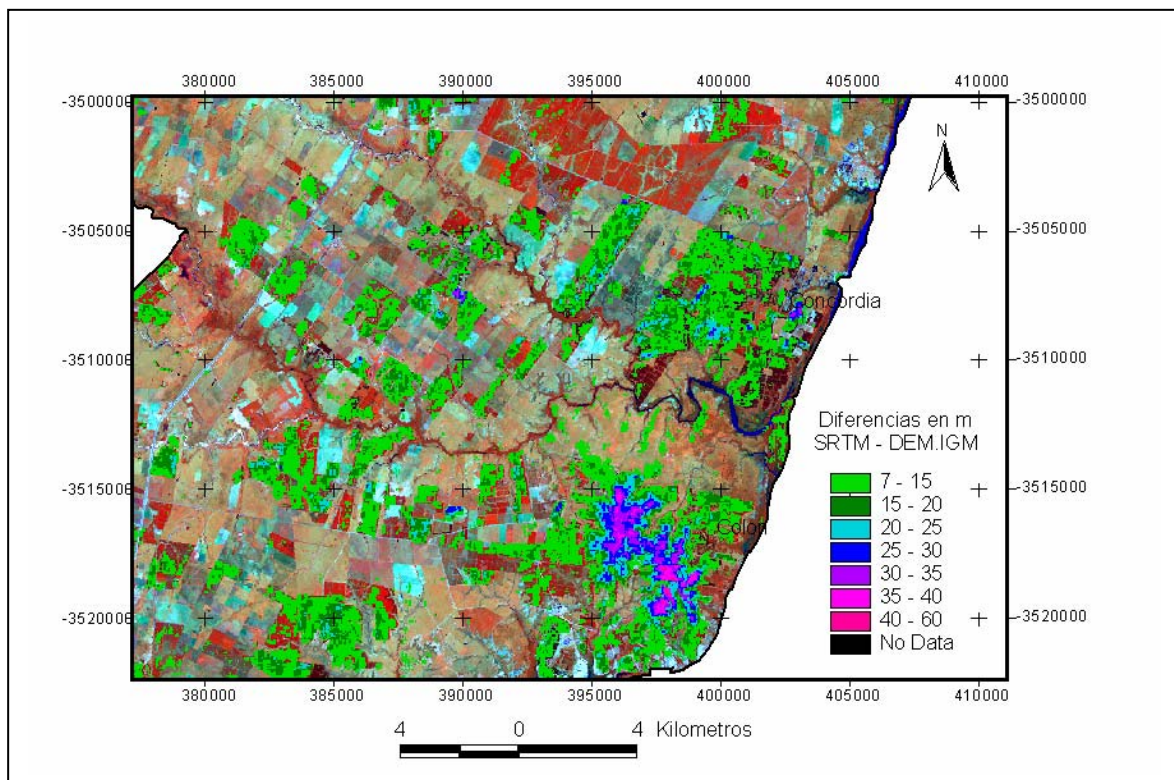


Figura 4 Imagen diferencia entre ambos DEMs sobre la imagen Landsat, donde se observa la localización de los diferentes valores de altura de las plantaciones forestales.

Al comparar las cotas de ambos modelos para los 73 puntos ubicados dentro y fuera de las plantaciones, se observa que para aquellos ubicados en áreas sin vegetación las cotas son similares, las diferencias son mínimas; mientras que para los puntos dentro de las plantaciones las diferencias van entre 15 y más de 30m. Esto se muestra en la Figura 5.

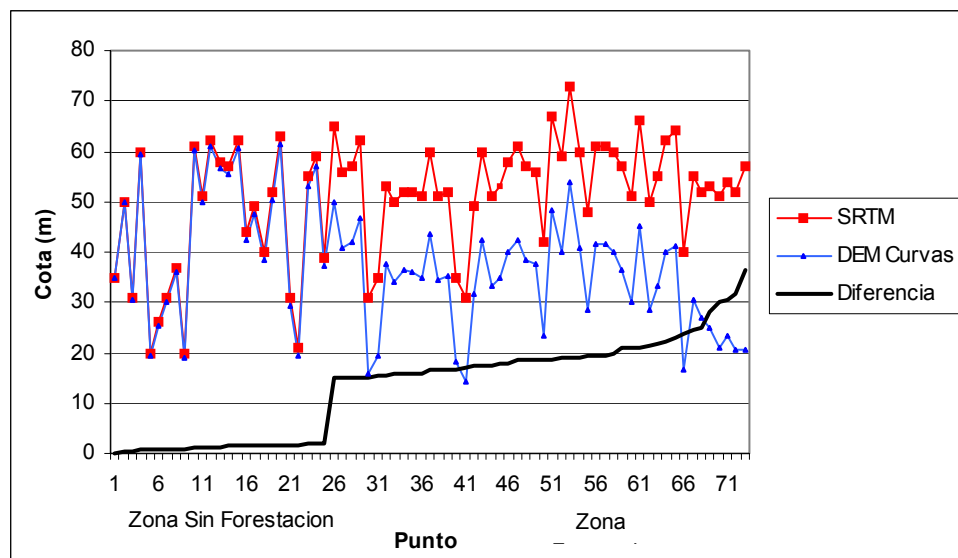


Figura 5 Cotas de ambos modelos para 73 puntos ubicados dentro (50) y fuera de las plantaciones forestales (23). Se muestra también la diferencia entre ambos en valores absolutos.

Conclusiones

El DEM-SRTM disponible en Internet y libre de costo representa un componente importante para el estudio del ambiente. La exactitud reportada en la bibliografía es suficiente para diversas aplicaciones y para muchas regiones del mundo este modelo representa un dato mucho más detallado de lo existente hasta este momento. El DEM-SRTM exhibe una significativa sensibilidad a la estructura vertical de la vegetación, aunque parte de la comunidad de usuarios ve a la vegetación como la mayor fuente de ruido y molestias, se demostró que para la estimación de la altura de la vegetación, este conjunto de datos es un recurso muy valioso y de alcance casi global.

Agradecimientos

Al INPE por la provisión de la imagen Landsat utilizada en este estudio

Referencias Bibliográficas

Centro Argentino de Cartografía (1992). *Boletín N° 1*. Editorial del Centro Argentino de Cartografía, Buenos Aires. Argentina. 72 pp.

Felicísimo, A. M. (1994) *Parametric statistical method for error detection in digital elevation models*. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 49(4): 29-33.

Li Zhilin. (1991). *Effects of check points on the reliability of DTM accuracy estimates obtained from experimental tests*. In Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, vol 47, n° 10, pp 1333-1340.

Morillo Barragán, J.; J. Pozo Baselga; F. Pérez Preciado; M. C. Rodríguez Gordillo y F. J. Rebollo Castillo (2002). *Análisis de calidad de un modelo digital de elevaciones generado con*

distintas técnicas de interpolación. XIV Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica. Santander, España.

Presutti, M (2002). *Evaluación de errores en modelos digitales de elevación (DEM) generados mediante diferentes técnicas de interpolación*. X Simposio Latinoamericano de Percepción Remota, SELPER, Cochabamba. Bolivia.

Taylor, J. (1997). *An Introduction to Error Analysis: The Study of Uncertainties In Physical Measurements*. University Science Books, Sausalito, CA. EEUU. 327 pp.

Wood, J. (1996). *The Geomorphological Characterization of Digital Elevation Models*. Ph.D. Dissertation, Department of Geography, University of Leicester, Leicester. UK.

Yang, Xiaojun y Hodler, Thomas (2000). *Visual and statistical comparisons of surface modeling techniques for point-based environmental data* In Cartography and Geographic Information Science, vol 27, n°2, pp 165-175.