

EVALUACIÓN DEL MDE “BARE-EARTH” SRTM EN UN TRAMO COMPARTIDO PARAGUAYO-ARGENTINO DEL RÍO PARANÁ.

Ing. Yanet Cabrera Herebia^{1} ; Prof. Dr. Walter Collischonn²*

Resumo – El uso de modelos digitales de elevación (MDE) en estudios de grandes coberturas de terreno, compartidos por varios países, conducen muchas veces a la necesidad de trabajar con MDE globales y con la mejor representación posible. Recientemente fue publicado el MDE global “Bare-Earth” SRTM, un producto basado en el MDE SRTM, donde se usó una metodología interesante para corregir los errores por vegetación del MDE SRTM. El presente trabajo tuvo como objetivo tener una evaluación preliminar del MDE “Bare-Earth” SRTM, en un tramo de la cuenca del río Paraná compartido entre Paraguay y Argentina. Para lo cual, se hicieron una serie de comparaciones de resultados arrojados por los MDE “SRTM” y MDE “Bare-Earth” SRTM, utilizando imágenes de satélite Landsat 5 TM correspondientes con el año de captura del MDE SRTM. Con los resultados obtenidos, se considera que se dispone de un MDE global con buen desempeño para el uso en estudios de modelación hidrodinámica, como ser, predicción de extensiones de áreas de inundación y propagación de ondas de crecidas; y se recomienda para su evaluación más refinada, contrastar resultados de modelaciones hidrológicas e hidrodinámicas utilizando ambos MDE, con registros históricos.

Palabras Claves – Modelo Digital de Elevación, MDE “Bare-Earth” SRTM, MDE SRTM.

EVALUATION OF THE “BARE-EARTH” SRTM DEM IN A STRETCH SHARED PARAGUAYO-ARGENTINE PARANA RIVER.

Abstract – The use of digital elevation models (DEM) in studies of large terrain coverage, shared by several countries, often leads to the need to work with global DEMs and with the best possible representation. Recently the global “Bare-Earth” SRTM DEM was published, a product based on the SRTM DEM, where an interesting methodology was used to correct the SRTM DEM vegetation errors. The present work had as objective to have a preliminary evaluation of the “Bare-Earth” SRTM DEM, in a stretch of the Paraná River basin shared between Paraguay and Argentina. For this purpose, a series of comparisons of results produced by the SRTM DEM and “Bare-Earth” SRTM DEM were made, using satellite images Landsat 5 TM corresponding to the capture year SRTM DEM. With the results obtained, it is considered that a global DEM with good performance is available for use in hydrodynamic modeling studies, such as prediction of extensions of flood areas and propagation of flood waves, and it is recommended for its more refined evaluation, to contrast results of hydrological and hydrodynamic models using both DEM, with historical records.

Keywords – Digital Elevation Model, “Bare-Earth” SRTM DEM, SRTM DEM.

^{1*} Masterando PPGIRH - FIUNA. E-mail: yanetcahe@gmail.com.

² Profesor Adjunto IPH - UFRGS. E-mail: collischonn@iph.ufrgs.br.

1. INTRODUCCIÓN.

La necesidad de contar con un único Modelo Digital de Elevación global de una zona extensa de terreno, tanto para el campo de aplicación de la hidrología, como para las modelaciones hidrodinámicas, se torna más importante aún, cuando los cursos de agua a estudiar son compartidos entre varios países. Donde cada país tiene sus propios sistemas de referencias de datum horizontal, proyecciones y datum vertical; así como diferentes densidades de información, formatos, etc.

El Modelo Digital de Elevación SRTM (Farr *et al.*, 2007), ampliamente utilizado, aparece como una opción. Sin embargo, este modelo tiene los errores de altura por la vegetación, edificaciones, entre otros.

En los modelos hidrológicos e hidráulicos, los errores de vegetación del MDE SRTM suelen ser ignorados; sin embargo, estos desvíos pueden causar errores en resultados de modelos tales como la predicción de la extensión de áreas inundables y en la velocidad de propagación de la onda de inundación (Paiva *et al.*, 2013).

Recientemente fue publicado el primer Modelo Digital de Elevación global “Bare-Earth” basado en el MDE SRTM (O’Loughlin *et al.*, 2016), donde fueron combinados un conjunto de datos de Teledetección con el objeto de remover las alturas de vegetación del SRTM.

El presente trabajo tuvo como objetivo tener una evaluación preliminar del desempeño del MDE “Bare-Earth” SRTM en una zona de la cuenca del río Paraná, compartida entre Paraguay y Argentina, donde se tiene una importante área boscosa, especialmente en la margen izquierda (Argentina) del río. Para lo cual, se contrastaron las diferencias de alturas entre los MDE SRTM y “Bare-Earth” SRTM con imágenes de satélites Landsat 5 TM, y se compararon los resultados arrojados por ambos modelos en delimitaciones de cuencas, subcuencas y microcuencas, redes de drenajes, y áreas de inundación y volúmenes de acumulación debido a una presa impuesta en una sección del curso de agua seleccionado; ya sea a nivel de la cuenca de aporte total al río Paraná o a nivel de subcuencas tributarias al río.

Todo esto con el fin de ir encontrando un MDE global con la mayor precisión disponible actualmente para la zona de interés, tanto para ser utilizados en modelaciones hidrológicas de las cuencas tributarias al río Paraná, como para modelaciones hidrodinámicas para una mejor representación de la propagación de las ondas de crecidas, las predicciones de extensiones de áreas inundables y volúmenes acumulados por la presencia de una presa.

2. MATERIALES Y MÉTODOS.

2.1. Área de Estudio.

El área de estudio abarca un tramo de la cuenca del río Paraná, comprendido entre las confluencias de los ríos Paraná e Iguazú hasta una sección del río conocido como el Eje Encarnación (Margen Derecha) – Posadas (Margen Izquierda).

Es compartido entre dos países, en la margen izquierda del río por Argentina y en la margen derecha por Paraguay. Se encuentra entre el emplazamiento de las represas de las centrales hidroeléctricas de Itaipú y Yacyreta.

El río Paraná en éste tramo tiene una longitud de 340 km. y el área de aporte de la cuenca es de aproximadamente 35000 Km². Tiene una importante extensión de bosques en la margen izquierda del río.

2.2. MDE “Bare-Earth” SRTM.

“Bare-Earth” SRTM es un modelo digital de elevación global, basado en el MDE SRTM, que cubre toda la tierra entre 60N y 54S (O’Loughlin *et al.*, 2016). Es un producto obtenido de la combinación de un conjunto de múltiples datos de Teledetección, para remover las alturas de vegetación contenidas en el MDE SRTM, no así las alturas debido a las estructuras construidas. Su análisis de desempeño resulta interesante, porque para su obtención, fue usado una dinámica corrección que varió con la altura y densidad de vegetación y regionalizado de acuerdo a zonas climáticas o tipos de vegetación (O’Loughlin *et al.*, 2016).

Su resolución espacial es de 3 segundos de arco (aproximadamente 90 m.), igual a la versión del MDE SRTM que fue utilizado. Es de acceso libre, que puede ser descargado de: <http://data.bris.ac.uk/data/dataset/10tv0p32gizt01nh9edcjd6wa>

2.3. MDE SRTM.

Para el análisis fue usado el MDE SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) de resolución espacial 3 segundos de arco (aproximadamente 90 m.), banda C, vacíos llenados (void-filled) versión 4 (Jarvis *et al.*, 2008), obtenido del Consorcio para la Información Espacial (Consortium for Spatial Information - CGIAR CSI), disponible en srtm.csi.cgiar.org. Esta misma versión fue la utilizada para obtener el producto MDE “Bare-Earth”. Existen varias versiones del MDE SRTM, pero todas tienen los mismos errores por vegetación.

2.4. Imagen Satelital Landsat 5 TM.

Fueron seleccionadas imágenes satelitales landsat 5 sensor TM, captadas en el año 2000, de tal manera a conseguir una representación de la vegetación existente durante los días en que fueron volados y obtenido el MDE SRTM (febrero de 2000) (Farr *et al.*, 2007).

2.5. Metodología.

Primeramente, se hizo, una comprobación visual entre: el raster obtenido de las diferencias de cotas entre los MDE SRTM y “Bare-Earth” SRTM con el mosaico de las imágenes landsat y el raster obtenido del cálculo del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada NDVI, según la siguiente fórmula (Aburas *et al.*, 2015):

$$NDVI = \frac{\text{Infrarrojo cercano (NIR)} - \text{Rojo(R)}}{\text{Infrarrojo cercano (NIR)} + \text{Rojo(R)}} \quad (1)$$

Se delimitaron con los dos modelos digitales de elevación SRTM y “Bare-Earth” SRTM, la cuenca general de aporte, las subcuencas de los cursos tributarios al río Paraná con áreas de drenaje mayores a 250 km² y las redes de drenajes. Para luego comparar para cada caso los resultados arrojados por cada MDE respectivamente.

Se consideró examinar los resultados arrojados por los dos modelos digitales de elevación, SRTM y “Bare-Earth” SRTM, en dos subcuencas con condiciones distintas de coberturas de vegetación. Seleccionando el arroyo Piray Miní (Margen Izquierda), con una extensa cobertura boscosa, y el río Ñacunday (Margen Derecha), considerada como una de las que contiene menor vegetación. Para lo cual, se determinaron, con los dos MDE ambas cuencas a nivel de minicuencas y sus redes de drenaje, para luego comparar la representatividad de ambos MDE. También fue incluida una presa en una sección de ambos cursos de agua seleccionados, para comparar las diferencias entre las áreas de inundación y los volúmenes acumulados para una cota de superficie de agua establecida, calculados con ambos MDE.

Para apreciar las diferencias entre las áreas de inundación, arrojadas por los MDE SRTM y “Bare-Earth” SRTM, a lo largo de las márgenes del Río Paraná, se incluyó una presa en el Eje Encarnación-Posadas con cotas de superficie de agua 105, 110, 120 y 130 m. Contrastando las diferencias encontradas con las imágenes de satélite.

3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Se ha encontrado una buena concordancia al contrastar los rasters (Figura 1), salvo en algunas zonas:

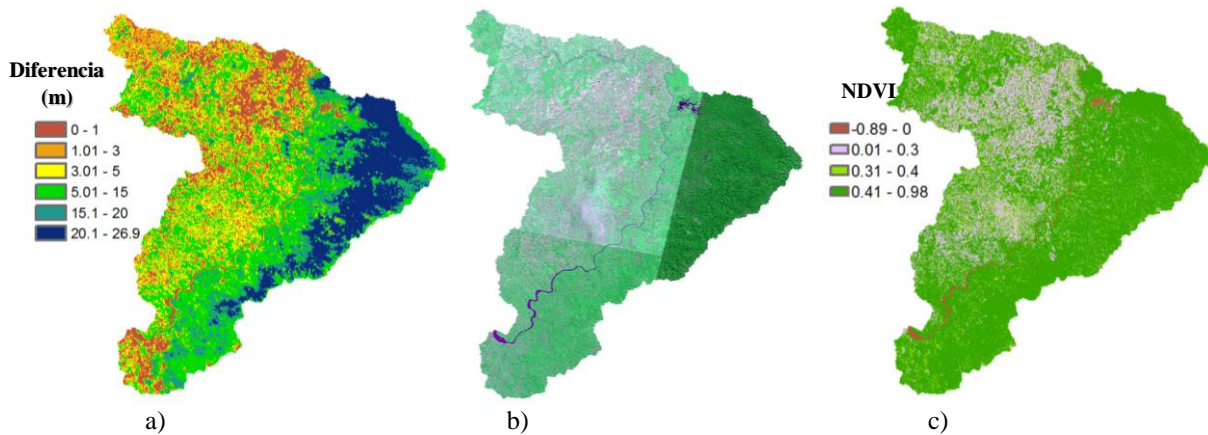


Figura 1 - a) Diferencia entre MDE SRTM y “Bare-Earth” SRTM. b) Mosaico imagen satelital Landsat 5 TM (año 2000) RGB342. c) NDVI.

Al comparar las delimitaciones obtenidas con los MDE SRTM y “Bare-Earth” SRTM de la cuenca total de aporte al río Paraná y de las subcuencas tributarias al río Paraná con áreas de drenaje mayores a 250 km², no se observaron diferencias importantes (figura 2).

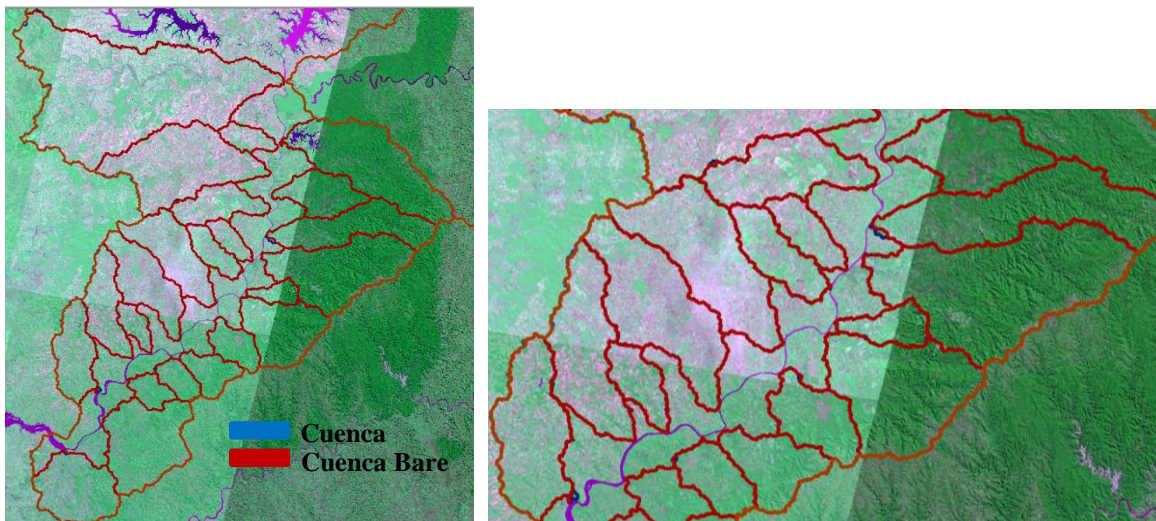


Figura 2 - Comparación de delimitación de cuencas con áreas de drenaje mayores a 250 km². MDE SRTM y “Bare-Earth” SRTM.

En relación a las redes de drenaje (área acumulada mayor que 10 km²) para ambos MDE se encontraron en algunas zonas de las subcuencas más planas diferencias con las observadas en las imágenes de satélites (consideradas reales). En lo global, no se han encontrado mejoras significativas entre uno u otro MDE (figura 3); se sospecha que pueden deberse a dos factores: la resolución espacial de ambos MDE o la metodología utilizada por la herramienta SIG para el cálculo de la red de drenaje.

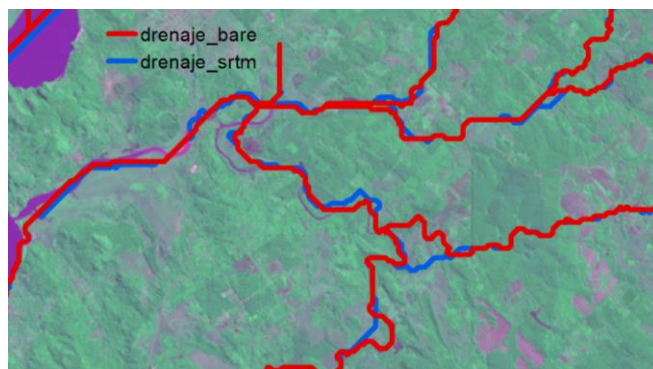


Figura 3 - Ejemplo de comparación en una zona plana, entre redes de drenajes con los MDE SRTM y “Bare-Earth” SRTM.

La cuenca del arroyo Piray Miní (MI-Argentina) con área de drenaje aproximadamente 1460 km², considerada como una de las cuencas tributarias al río Paraná con mayor densidad de bosques, al delimitarla y compararla a nivel de mini cuencas con ambos MDE SRTM y “Bare-Earth” SRTM, no presentan en general diferencias importantes salvo en algunas partes de la zona baja de la cuenca, donde también se tienen diferencias en la red de drenaje (figura 4).

Se incluyó una presa a cota 400 m. en una sección del cauce del arroyo Piray Miní, seleccionada de tal manera que contemple a la parte más boscosa de la cuenca. El área inundada según el MDE “Bare-Earth” SRTM es 33% más que el dado por el MDE SRTM y el volumen detrás de la presa es 43 % más que el dado por el MDE SRTM (figura 5 y tabla 1).

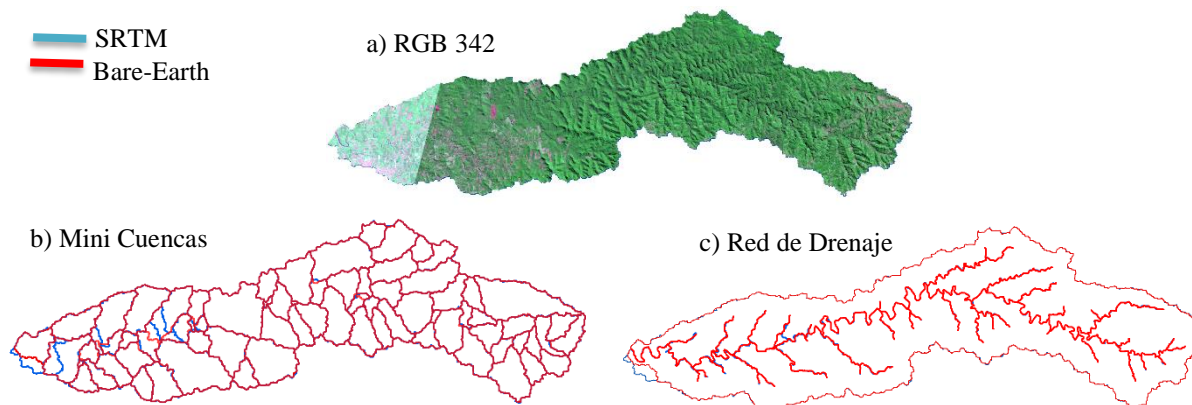


Figura 4 - Cuenca Arroyo Piray Miní. a) Imagen Satelital Landsat 5 TM – RGB 342. b) Delimitación a nivel de mini cuencas. Comparación entre MDE SRTM y “Bare-Earth” SRTM, c) Red de Drenaje. Comparación entre MDE SRTM y “Bare-Earth” SRTM.

Tabla1. Cuenca Arroyo Piray Miní. Comparación MDE: SRTM y “Bare-Earth” SRTM.

Cuenca Piray Miní - Presa Cota 400 m.			
Parámetro Calculado	MDE		% de Aumento
	SRTM	Bare-Earth	
Área Inundada (km ²)	93.2	124.0	33%
Volumen (Hm ³)	5426.2	7754.9	43%

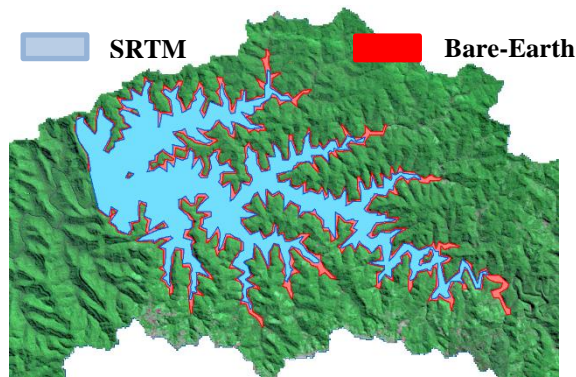


Figura 5 - Cuenca Arroyo Piray Mini. Áreas inundadas – Presa a cota 400 m. Comparación entre MDE SRTM y “Bare-Earth” SRTM.

La cuenca del río Ñacunday (MD-Paraguay) con área de drenaje de aproximadamente 2540 km², fue seleccionada como una de las cuencas tributarias al río Paraná con menor extensión de áreas boscosas (a pesar que tiene como en casi todos los tributarios, arboles a lo largo de los cursos de agua). Al comparar las delimitaciones a nivel de mini cuencas de los resultados arrojados por ambos MDE SRTM y “Bare-Earth” SRTM, no se observan en lo global diferencias significativas, las diferencias se ven generalmente en las zonas de confluencias de los cursos de agua (más planas), que concuerdan con las diferencias de las redes de drenaje (figura 6). Contrastando las redes de drenaje con las reales (imágenes satelitales) no se obtuvieron en lo global con uno u otro MDE mejoras importantes, como ya se mencionó antes, dando en algunos lugares con uno de los MDE mejores aproximaciones a los cursos de agua reales que con el otro o viceversa.

Se incluyó una presa a cota 230 m. en una sección del cauce del río Ñacunday, seleccionada de tal manera que contenga a una parte de la cuenca con menos extensión de árboles. El área inundada según el MDE “Bare-Earth” SRTM es 5 % más que el dado por el MDE SRTM y el volumen detrás de la presa es 9 % más que el dado por el MDE SRTM, (figura 7 y tabla 2), no encontrando diferencias significativas entre los resultados arrojados por ambos MDE.

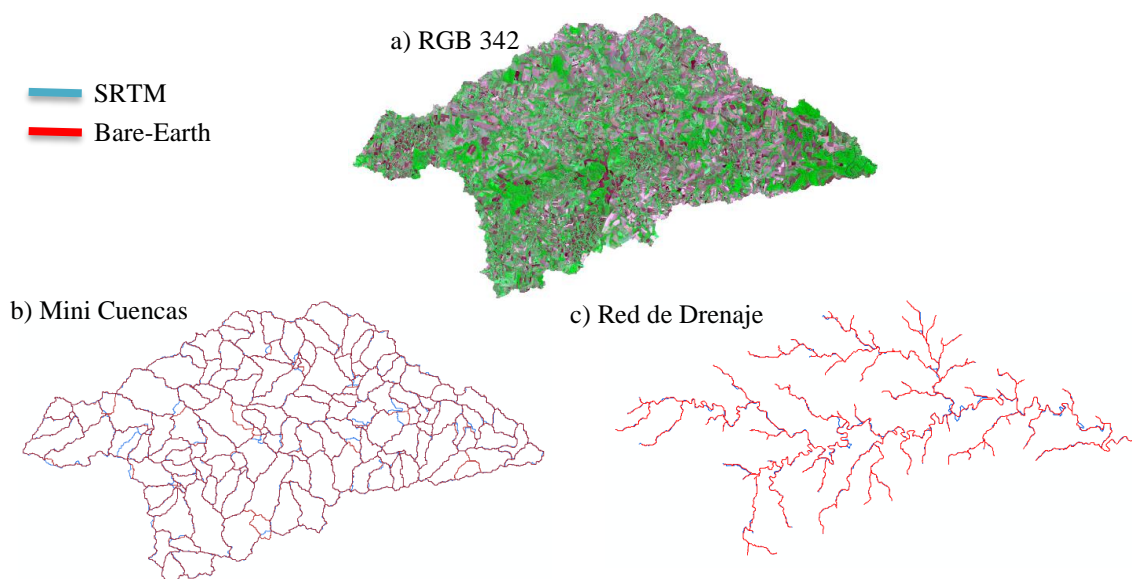


Figura 6 - Cuenca Río Ñacunday. a) Imagen Satelital Landsat 5 TM – RGB 342. b) Delimitación a nivel de mini cuencas. Comparación entre MDE SRTM y “Bare-Earth” SRTM, c) Red de Drenaje. Comparación entre MDE SRTM y “Bare-Earth” SRTM.

Tabla2. Cuenca Río Ñacunday. Comparación MDE: SRTM y “Bare-Earth” SRTM.

Cuenca Río Ñacunday - Presa Cota 230 m.			
Parámetro Calculado	MDE		% de Aumento
	SRTM	Bare-Earth	
Area Inundada (km2)	112.5	118.0	5%
Volúmen (Hm3)	1975.8	2153.4	9%

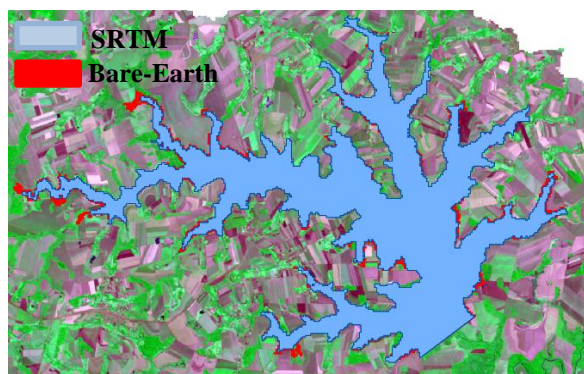


Figura 7 - Cuenca río Ñacunday. Áreas inundadas – Presa cota 230 m. Comparación entre MDE SRTM y “Bare-Earth” SRTM.

Al incluir una presa a diferentes cotas en el Eje Encarnación Posadas (EEP) de tal manera a contrastar las diferencias de áreas de ocupación de la superficie de agua a lo largo del río Paraná, dadas por ambos MDE, se obtuvo con el MDE “Bare-Earth” SRTM hasta la cota analizada, áreas mayores al 20 % respecto al MDE SRTM (tabla 3). Se encontró en varias zonas, una buena concordancia de las diferencias de extensión de ocupación de terreno con observaciones de presencia de árboles en las imágenes satelitales utilizadas (figura 8).

Tabla3. Áreas de superficie de agua ocupadas a lo largo del río Paraná para diferentes cotas de Presa en EEP. Comparación MDE: SRTM y “Bare-Earth” SRTM.

Cota EEP (m)	Áreas Inundadas (km2) - Río Paraná		
	SRTM	Bare-Earth	% de Aumento
105	679	862	27%
110	831	1038	25%
120	1184	1466	24%
130	1614	1956	21%

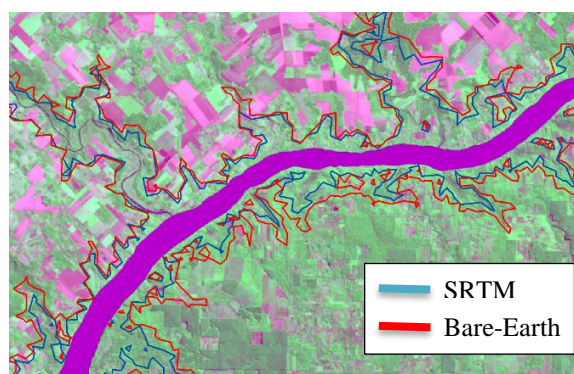


Figura 8 - Río Paraná. Ejemplo de comparación de extensión de terreno ocupado para una cota 120 m., según el MDE SRTM y el MDE “Bare-Earth” SRTM. Mosaico imagen satelital RGB 342 Landsat 5 TM, año 2000.

4. CONCLUSIONES.

Con la evaluación preliminar hecha en éste trabajo, para examinar el desempeño del modelo digital de elevación “Bare-Earth” SRTM en el área de estudio, se encontraron mejoras en gran parte de la cuenca, en relación a los errores de alturas de vegetación, observadas al contrastar la ubicación de zonas boscosas en las imágenes satelitales con las diferencias de alturas entre ambos MDE; no teniendo certeza de las alturas precisas de los diferentes tipos de vegetación. Se encontró diferencias importantes entre ambos MDE en las delimitaciones de áreas de inundación y volúmenes de almacenamiento debido a la presencia de bosques. En cuanto a las delimitaciones de cuencas y subcuencas no se obtuvieron diferencias relevantes. Las redes de drenaje con ambos MDE no mostraron mejoras importantes comparadas con las reales.

Con los resultados encontrados, se considera que se dispone de un MDE “Bare-Earth” SRTM con buen desempeño, para su uso en los estudios de modelación hidrodinámica, como ser: las propagaciones de ondas de crecidas, predicciones de extensiones de áreas inundables, entre otras. Se recomienda que, en una etapa posterior, se realicen modelaciones hidrológicas e hidrodinámicas con ambos MDE, contrastando con registros históricos, para tener un análisis más refinado del impacto de las mejoras encontradas.

5. REFERENCIAS.

- ABURAS, M. M.; ABDULLAH, S.; RAMLI, M. F.; ASH'AARIA, Z. H. (2015). Measuring Land Cover Change in Seremban, Malaysia Using NDVI Index. *Procedia Environmental Sciences* 30, p. 238-243. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.10.043>.
- 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.; ALSDORF, D. (2007). The Shuttle Radar Topography Mission. *Reviews of Geophysics* 45 (2), RG2004. <http://dx.doi.org/10.1029/2005RG000183>.
- JARVIS, A.; REUTER, H. I.; NELSON, A.; GUEVARA, E. (2008). Hole-filled SRTM for the globe version 4. Disponible en CGIAR-CSI SRTM 90 m. <http://srtm.csi.cgiar.org>.
- O'LOUGHLIN, F. E.; PAIVA, R. C. D; DURAND, M.; ALSDORF, D. E.; BATES, P.D. (2016). A multi-sensor approach towards a global vegetation corrected SRTM DEM product. *Remote Sensing of Environment* 182, pp. 49-59. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2016.04.018>.
- PAIVA, R. C. D; BUARQUE, D. C.; COLLISCHONN, W.; BONNET, M. P.; FRAPPART, F.; CALMANT, S.; BULHOES MENDES, C. A. (2013). Large-scale hydrologic and hydrodynamic modeling of the Amazon River basin. *Water Resources Research* 49 (3), pp. 1226–1243. <http://dx.doi.org/10.1002/wrcr.20067>.