

CALIDAD ALTIMÉTRICA DE UN MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN GENERADO CON IMÁGENES BANDA L DE SAOCOM

S. B. Havrylenko, A. Espindola y P. A. Mercuri

Instituto de Clima y Agua (+54-11-43384600-8509), Centro de Investigación de Recursos Naturales, INTA. Nicolas Repetto y de los Reseros s/n. (1686), Buenos Aires, Argentina.

havrylenko.sofia@inta.gob.ar, espindola.aime@inta.gob.ar, mercuri.pablo@inta.gob.ar

Introducción

Los modelos digitales de elevación (MDEs) constituyen un insumo clave para la caracterización y modelización hidrológica de una cuenca. Es decir, a partir de esta información se puede interpretar la dinámica del escurrimiento, identificar las áreas inundables, como así también inferir el comportamiento y la disponibilidad del agua en el tiempo y el espacio. La precisión de los productos derivados y de la información extraída del relieve y, por ende, del MDE empleado. Por tanto, el objetivo del presente trabajo fue desarrollar y evaluar la calidad altimétrica de un MDE que tendrá uso hidrológico, obtenido a partir de imágenes de Radar de Apertura Sintética (SAR) de banda L de la constelación de satélites SAOCOM, en un área de la pampa ondulada bonaerense. La resolución espacial del MDE obtenido lo convierte en un producto interesante en comparación con los ofrecidos de forma gratuita en el mercado.

Materiales y método

El área de estudio tiene una extensión de 375.5 km² y se ubica al sureste de la localidad de Rojas, Buenos Aires, e incluye una microcuenca que fue seleccionada para poner a prueba algunos productos hidrológicos derivados del MDE.

La metodología (Figura 1) consistió en aplicar interferometría radar de apertura sintética (InSAR) (Goldstein y Werner, 1998) en pares de imágenes SAOCOM (1A/1B) de 04 y 12 de febrero de 2022 y 12 y 20 de junio de 2022 para generar el MDE (I) siguiendo un procedimiento estándar con el software SNAP - ESA Sentinel Application Platform v8.0.0 (ESA, 2021). Luego, se realizó el siguiente post-procesamiento con el software QGIS: a) eliminación de artefactos y valores de píxel espurios con un filtro de pendiente DTM filter (Vosselman, 2000); b) relleno de valores vacíos con la herramienta Close Gaps with Spline (Conrad, 2010) y Shrink and Expand (Wichmann y Conrad, 2011); c) ajuste del raster a 30 datos locales GNSS medidos en campo, considerados verdad del terreno (Galvan, 2014); d) suavizado con el filtro espacial Mesh Denoise (Stevenson et al., 2010). A continuación, se corrigió el MDE (II) para poder hacer uso de este desde una perspectiva hidrológica (Burgos y Salcedo, 2014), eliminando imperfecciones que desvían el recorrido natural del agua y determinando una grilla de dirección de flujo de agua. A tal efecto, las sobre-elevaciones y depresiones fueron tratadas con la herramienta Breach Depression (Lindsay, 2016), cuya ventaja de aplicación fue la conservación de las cubetas naturales de baja profundidad del terreno. Las depresiones artificiales remanentes de mayor tamaño se eliminaron con la herramienta Fill Sink de Wang y Liu (2006) para completar el proceso. Seguidamente, se validó el MDE SAOCOM (III) comparando los valores de altitud con 13 puntos tomados con GPS diferencial, determinando la diferencia existente entre píxeles y puntos. Adicionalmente, se comparó (IV) el MDE SAOCOM resultante con el MDE SRTM (NASA, 2013) previamente corregido y validado con el objetivo de determinar las diferencias y similitudes entre ambos modelos. Con este fin, se realizó una comparación visual, una operación de resta entre rasters y se contrastaron los perfiles topográficos en dirección N-S, E-O y del cauce del río Rojas. En último término, para evaluar el comportamiento hidrológico del MDE se generaron los siguientes productos hidrológicos (V): red de drenaje, cuencas

hidrográficas y subcuencas, Índice Topográfico de Humedad (TWI) (Boehner y Selige, 2006) y factor topográfico LS (Boehner y Selige, 2006) de erosión hídrica.

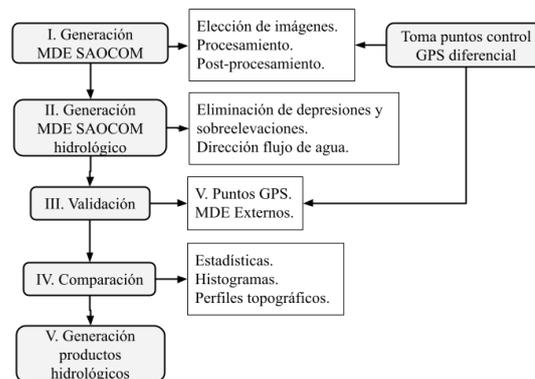


Figura 1.- Secuencia metodológica para el desarrollo del MDE SAOCOM.

Resultados

Como resultado final se logró un MDE SAOCOM de 10 m de resolución espacial con correcciones específicas enfocadas a un uso hidrológico. La validación del MDE SAOCOM dio como resultado una diferencia media global de 0.46 m y un EMC de 1.29 m (n= 13) (Figura 2). En la comparación visual, se observó que el MDE SRTM presenta una superficie notablemente más suavizada que el MDE SAOCOM (Figura 2).

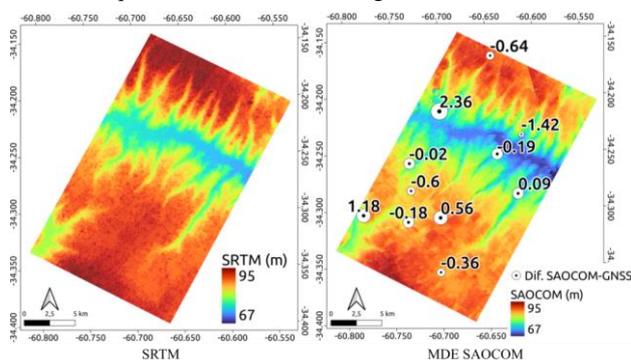


Figura 2.- Modelos digitales de elevación. MDE SRTM y SAOCOM.

El producto generado presenta algunas imperfecciones como el loteado por presencia de cultivos y la falta de discriminación de las lagunas naturales respecto de las depresiones falsas generadas por otras estructuras o por falta de coherencia. En la resta entre ráster se observó que más del 90 % de los píxeles de la imagen se mantuvo con una diferencia menor a los dos metros, y los valores más grandes se dieron principalmente en lotes con cultivo, zonas de bajos o arboledas, y/o coincidente con píxeles de baja coherencia en el par interferométrico. Al igual que en el caso anterior, esta diferencia de alturas en el eje vertical puede observarse en los perfiles topográficos, donde la mayor variación altitudinal se da en el perfil del río Rojas (Figura 3)

En lo que respecta a los productos derivados del MDE SAOCOM para evaluar su aptitud hidrológica, se observó que los escurrimientos de la red de drenaje se acumularon siguiendo el comportamiento de la topografía encauzando hacia los cursos de

agua principales y afluentes. Sin embargo, en zonas con muy baja pendiente y/o en las que se generan depresiones artificiales se identificaron sectores donde estos escurrimientos son difusos o erróneos (Figura 4).

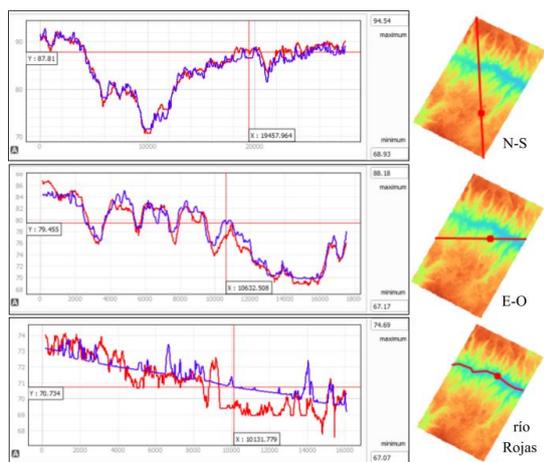
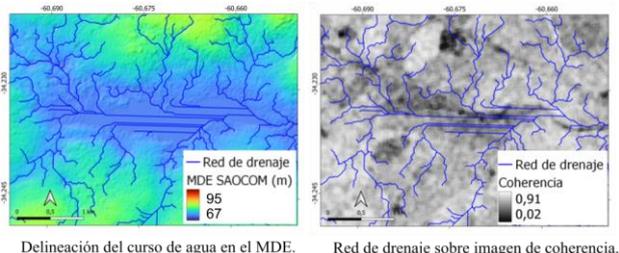


Figura 3.- Perfiles longitudinales del MDE SACOM (gris) y SRTM (negro).



Delineación del curso de agua en el MDE. Red de drenaje sobre imagen de coherencia.

Figura 4.- Red de drenaje.

La extensión areal de la cuenca MDE SAOCOM (824 ha) fue aproximadamente 45 % menor que la generada a partir del MDE SRTM (1495 ha) debido a las diferencias de resolución espacial y a errores altimétricos remanentes (Figura 5).

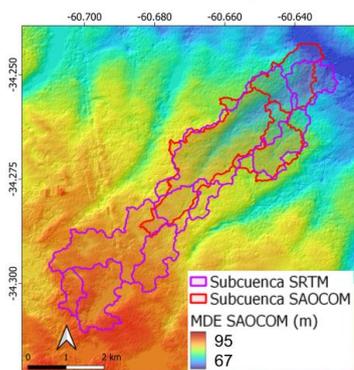


Figura 5.- Diferencia en la delineación automática de cuencas hidrográficas entre el MDE SAOCOM y SRTM.

Para determinar la funcionalidad del MDE SAOCOM se evaluó el Índice Topográfico de Humedad (TWI) y el factor topográfico LS. El TWI (Carson y Kirkby, 1972) permite predecir los lugares con mayor potencial de acumulación de humedad y por consiguiente que puedan actuar como zonas de inundación. El resultado obtenido fue corroborado con imágenes ópticas. El factor LS es el factor de relieve de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelos- USLE (Wischmeier y Smith, 1978) que estima la pérdida de suelo debido a la erosión hídrica. En el ráster obtenido, los valores más altos de este factor se ubicaron alrededor de los cauces y principios de las laderas, identificando correctamente las zonas más susceptibles a la erosión en caso de un manejo inadecuado.

Conclusión

A partir de pares interferométricos SAOCOM (1A/1B) fue posible generar un MDE para toda el área de estudio en una calidad aceptable. Para perfeccionar el MDE, sin que se produzcan desniveles altitudinales por diferentes artefactos, se recomienda utilizar pares interferométricos de épocas sin cultivos tomados desde finales de otoño hasta finales del invierno. Asimismo, se recomienda aplicar el filtro de suavizado de manera iterativa hasta encontrar un equilibrio entre la eliminación del ruido no deseado y la preservación de la morfometría del MDE. En este sentido, será importante realizar una prospección sobre nuevos filtros que permitan este tipo de resultados, pues en este trabajo sólo se aplicaron procedimientos automáticos conservadores. Aun así, los resultados encontrados al momento son prometedores en relación con el desarrollo de MDEs a partir de imágenes de radar de apertura sintética SAOCOM, ya que se ofrecería una mayor resolución espacial con un impacto positivo particularmente en la modelación de cuencas de llanuras.

El presente trabajo formó parte de los proyectos “Anuncio de Oportunidad para el Desarrollo de Modelos Digitales de Elevación y su Uso en Aplicaciones SAR” de CONAE y “Aportes para la gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH) en cuencas de las regiones del Sistema Agroalimentario Argentino” de la cartera de proyectos INTA.

Referencias

- Boehner, J. y Selige, T. (2006). “Spatial Prediction of Soil Attributes Using Terrain Analysis and Climate Regionalisation”. In: Boehner, J., McCloy, K.R y Strobl, J. *SAGA - Analysis and Modelling Applications, Goettinger Geographische Abhandlungen*, 115: 13-27.
- Burgos, V.H. y Salcedo, M.P. (2014). “Modelos digitales de elevación: tendencias, correcciones hidrológicas y nuevas fuentes de información”. https://www.researchgate.net/publication/274893404_Modelos_digitales_de_elevacion_Tendencias_correcciones_hidrologicas_y_nuevas_fuentes_de_informacion
- Carson, M.A. y Kirkby, M. J. (1972) Hillslope form and processes. New York Cambridge University Press, 475.
- Conrad, O. (2010). “Tool Close Gaps with Spline. SAGA-GIS Tool Library Documentation (v7.6.2).” Disponible online en: https://saga-gis.sourceforge.io/saga_tool_doc/7.6.2/grid_tools_25.html
- European Space Agency (ESA) (2021). SNAP - ESA sentinel application platform (v. 8.0.0) [Computer software]. <http://step.esa.int>
- Galvan, L. (2014). *Análisis y ajuste de modelos digitales de elevaciones en la región central de la Argentina: Integración de modelos geopotenciales e información altimétrica local* [Tesis de Maestría]. Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísica de la Universidad Nacional de La Plata.
- Goldstein, R. y Werner, C. (1998). “Radar interferogram filtering for geophysical applications.” *Geophysical research letters* 25(21): 4035–4038.
- Lindsay, J. B. (2016). “Efficient hybrid breaching-filling sink removal methods for flow path enforcement in digital elevation models”. *Hydrol. Process.*, 30: 846– 857. doi: 10.1002/hyp.10648.
- NASA JPL. (2013). “NASA Shuttle Radar Topography Mission Global 1 arc second [Data set].” NASA EOSDIS Land Processes DAAC. <https://doi.org/10.5067/MEASURES/SRTM/SRTMGL1.003>
- Vosselman, G. (2000). “Slope based filtering of laser altimetry data”. *IAPRS*, Vol. XXXIII, Part B3, Amsterdam, The Netherlands. pp. 935-942
- Wang, L. y Liu, H. (2006). “An efficient method for identifying and filling surface depressions in digital elevation models for hydrologic analysis and modelling”. *International Journal of Geographical Information Science*, 20(2): 193-213.
- Wichmann, V. y Conrad, O. (2011). “Module Shrink and Expand. SAGA-GIS Module Library Documentation (v2.2.3).” En: https://saga-gis.sourceforge.io/saga_tool_doc/2.2.3/grid_tools_28.html
- Wischmeier, W. H., y Smith, D. D. (1978). *Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning* (No. 537). Department of Agriculture, Science and Education Administration.