



Geografía y Sistemas de Información Geográfica (GEOSIG). Revista digital del Grupo de Estudios sobre Geografía y Análisis Espacial con Sistemas de Información Geográfica (GESIG). Programa de Docencia e Investigación en Sistemas de Información Geográfica (PRODISIG). Universidad Nacional de Luján, Argentina.

<http://www.revistageosig.wixsite.com/geosig> (ISSN 1852-8031)

Luján, Año 10, Número 10, 2018, Sección I: Artículos. pp. 107-117

MODELO DIGITAL DEL TERRENO MEDIANTE RELEVAMIENTOS CON GNSS

**Karina Neuman – Paula Zapperi – Beatriz Aldalur – Alicia Campo – Ariel
Bongiovanni – Diana Pischel**

Universidad Nacional del Sur – Departamento de Ingeniería
Departamento de Geografía y Turismo – CONICET
Provincia de Buenos Aires, Argentina
E-mail: kneuman@uns.edu.ar

RESUMEN

La información topográfica de alta precisión es primordial en diferentes estudios del medioambiente. Es por ello que el objetivo del trabajo fue generar una grilla de base para la elaboración de un MDT (Modelo Digital del Terreno) para la ciudad de Bahía Blanca a partir de puntos obtenidos con métodos directos. De esta manera, se planteó el relevamiento planialtimétrico de las vías de circulación mediante técnicas de medición por satélites. La altura de cada punto relevado fue llevada a altura ortométrica utilizando el modelo geoidal GEOIDEAr. Para la validación del modelo se emplearon 44 puntos de control, de distinto origen y calidad. Se utilizaron puntos de la red de nivelación de precisión y de alta precisión del IGN, puntos de la Dirección de Geodesia de la provincia de Buenos Aires y puntos propios. En promedio, las diferencias entre el modelo generado y los puntos de control de las distintas fuentes no superan los 35 cm. El mismo mejoró la confianza en el valor altimétrico comparando con modelos preexistentes, principalmente en la zona céntrica.

Palabras clave: MDT; GNSS; Bahía Blanca.

DIGITAL TERRAIN MODEL THROUGH GNSS MEASUREMENTS

ABSTRACT

High-precision topographic information is essential in many environmental studies. This is why the objective of the work was to generate a base grid for the elaboration of a DTM (Digital Terrain Model) for Bahía Blanca city from points obtained by direct methods. In this way, the plane altimetric survey of the roadways was proposed through satellite measurement techniques. The height of each measured point was taken to orthometric height using the GEOIDEAr geoid model. For the validation of

the model, 44 control points of different origin and quality were used. Points of leveling precision network and high-precision of the IGN were used, points of the Dirección de Geodesia and own points. On average, the differences between the generated model and the control points of the different sources do not exceed 35 cm. This model improved confidence in the altimetric value compared to pre-existing models, mainly in the centric zone.

Keywords: DTM; GNSS; Bahía Blanca.

INTRODUCCIÓN

Los datos altimétricos constituyen información indispensable para estudios medioambientales, hidrológicos, de planificación urbana, etc. Existen Modelos Digitales de Elevación (MDE), de libre acceso que muestran con buena aproximación el comportamiento de la topografía en áreas extensas y brindan herramientas para la ejecución de estudios que no requieren precisión centimétrica en el valor de la altura referida al nivel medio del mar (Racoviteanu *et al.*, 2007; Siart *et al.*, 2009; Burgos, 2012; Grosse *et al.*, 2012; Kinsey-Henderson y Wilkinson, 2013). Entre ellos, se destaca por su calidad y extensión en su uso el SRTM90 y el SRTM30 (Shuttle Radar Topography Mission) de 90 y 30 m de resolución respectivamente. Estos ofrecen información de alturas a escala planetaria y son el resultado de la aplicación de técnicas de interferometría en imágenes radar. Su resolución acota su uso a los estudios aplicados a escalas regionales donde la microtopografía no es considerada (Campo *et al.*, 2016). A partir del año 2015 el Instituto Geográfico Nacional (IGN) puso a disposición de los usuarios el MDE de la Argentina: MDEar de 45 m y 30 m por pixel de resolución que fueron confeccionados a partir del SRTM30.

Un MDE es una representación matemática continua y digital de un objeto existente virtual y de todo su entorno. Se trata de un concepto genérico que puede referirse a elevaciones en la superficie terrestre o a una capa sobre la tierra, como alturas de edificios o cubiertas de un bosque. Cuando el MDE contiene los elementos que configuran la superficie del terreno (vegetación, construcciones, etc.) se denomina MDS (Modelo Digital de Superficie) (Kasser y Egels, 2002). Mientras que cuando la superficie se encuentra limitada a un modelo digital del terreno el MDE es denominado MDT (Modelo Digital del Terreno) y provee información sobre la altura de cada punto de la superficie terrestre o de la superficie del agua. Felicísimo (1994) lo define como una representación estadística de la superficie continua del terreno, mediante un número elevado de puntos selectos con coordenadas “x”, “y” y “z” conocidas, en un sistema de coordenadas arbitrario.

Los MDE pueden ser obtenidos por métodos directos en campo o través de métodos indirectos. En el primero de los casos, se generan sobre la base de un sistema global de localización apoyado en satélites que ofrecen las coordenadas “x”, “y” y “z” de los puntos referidos a una superficie de referencia (elipsoide). También dentro del método directo, se pueden incluir aquellos realizados mediante el empleo de instrumental (estación total) propio de la topografía convencional (o relevamientos topográficos). Un ejemplo de la aplicación que se da dentro de este tipo de metodología, es el caso de las imágenes LIDAR (del inglés *Laser Imaging Detection and Ranging*), las cuales resultan

de la información adquirida por un sensor remoto. Por otra parte, dentro de los métodos indirectos utilizados para la construcción de un MDE se consideran las técnicas de restitución fotogramétrica sobre fotografías aéreas e imágenes satelitales. También se incluye la generación de forma indirecta a través de técnicas de interferometría a imágenes de radar (como es el caso del modelo SRTM) y el procesamiento de datos altimétricos extraídos de documentos cartográficos.

Si bien un MDE es el origen de modelaciones dependientes de la topografía, la utilidad y validez de los resultados derivados están estrechamente relacionadas con la calidad del modelo original (Presutti, 2009). La elección de un modelo preexistente, depende principalmente del objetivo planteado. Los errores verticales promedio del SRTM90 encontrados por Gorokhovich y Voustianouk (2006) fueron del orden de los $7,58 \pm 0,60$ m para algunas áreas y de $4,07 \pm 0,47$ m en otras, dependiendo de la pendiente y de ciertos valores de aspecto. Liu (2008) evaluó el SRTM en el noroeste de China utilizando como referencia los valores del MDE derivado de cartas topográficas. En zonas llanas y valles, los errores de elevación fueron menores a 5 m.

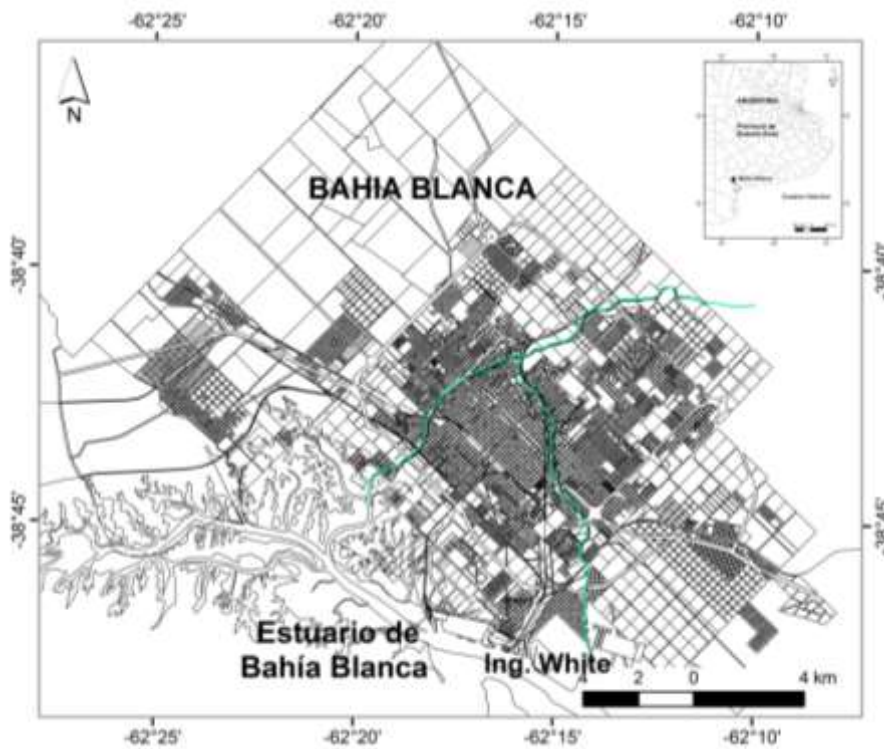
Asimismo, en la Argentina existen numerosos antecedentes de aplicaciones del SRTM. Investigadores de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP) utilizaron el SRTM como base topográfica para realizar el estudio de la cuenca del arroyo El Gato. La altimetría obtenida fue densificada con puntos GPS brindando la información necesaria para desarrollar un modelo de inundaciones y evaluar el sistema de evacuación pluvial (Romanazzi *et al.*, 2007). Rodríguez *et al.* (2006) analizaron el error del SRTM en sus componentes altimétricas y planimétricas según su distribución geográfica y estructura espacial. Los valores brindaron un error relativo en altura de 5,5 m (9 m como error absoluto en planimetría y de 6,2 m de error absoluto en altura). Por su parte Campo *et al.* (2016) compararon el MDS del SRTM de 90 metros de resolución con el MDT generado a partir de cartografía en escala 1:50.000 en el Sistema de Ventania, Argentina. De la comparación de los mismos se advirtió una mayor equivalencia a medida que se incrementaba la llanura del terreno. Presutti (2009) analizó las diferencias de alturas entre MDT derivados de mapas topográficos 1:100.000 y datos del SRTM-90 en la provincia de Entre Ríos. Los resultados mostraron que en las zonas abiertas los valores de altura de los dos modelos eran similares. En Bahía Blanca Zapperi *et al.* (2014) compararon el modelado topográfico derivado de curvas de nivel digitalizadas de cartas topográficas con el de curvas de nivel realizadas sobre la base de datos del SRTM. Se encontraron diferencias en los valores de altimetría con un valor promedio de 4,33 m. El valor máximo absoluto de los errores en altura fue de 18,05 m y el mínimo de 0,12 m, con desvíos de 5,06 m.

Con el fin de llevar a cabo análisis de procesos de escurrimiento superficial en la ciudad de Bahía Blanca se comenzó a trabajar en la generación de información altimétrica de superior precisión a la ofrecida por los modelos de acceso libre. Cabe señalar que al tratarse de una escala urbana de estudio, la necesidad de información topográfica de alta precisión es primordial. Es por ello que el objetivo del trabajo fue generar una grilla de base para la elaboración de un MDT para la ciudad de Bahía Blanca a partir de puntos obtenidos con métodos directos.

ÁREA DE ESTUDIO

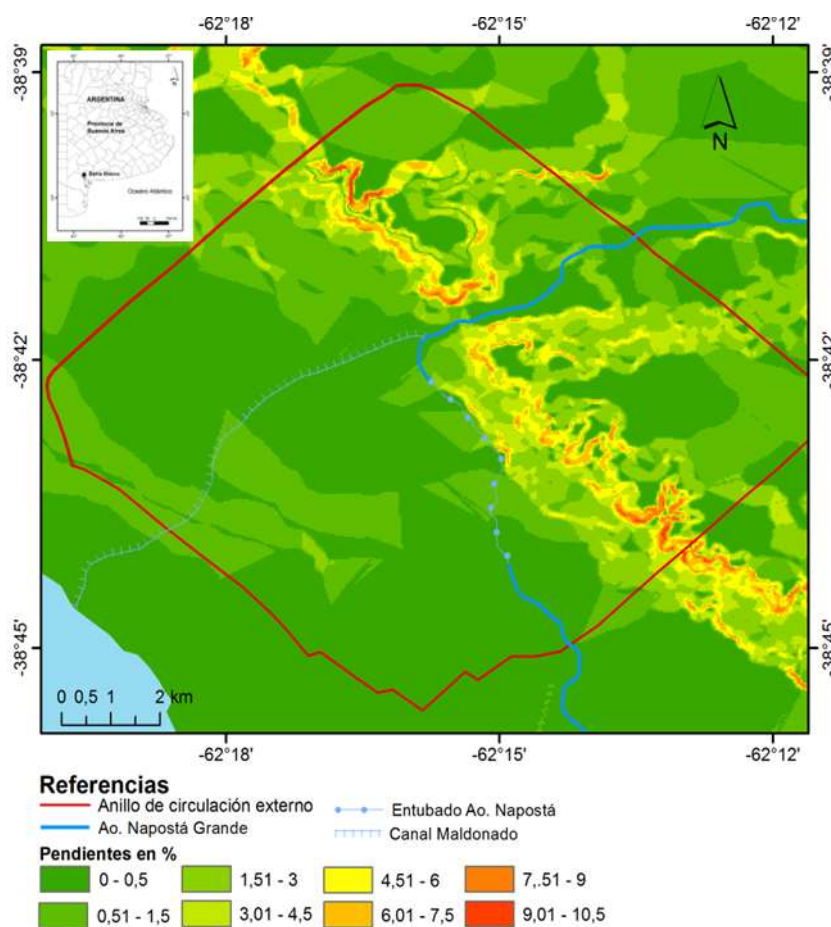
La ciudad de Bahía Blanca se encuentra al suroeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina y es cabecera del partido del mismo nombre. Su ubicación geográfica es $38^{\circ} 43'$ latitud Sur y $62^{\circ} 16'$ longitud Oeste y está situada a 7 km de distancia de la costa del estuario homónimo (Figura 1). Emplazada en la cuenca inferior del arroyo Napostá Grande, posee un gradiente altitudinal de 70 m aproximadamente, entre el norte de la ciudad donde se ubican las mayores elevaciones (70-80 m) y el sector sur. Esta topografía se interrumpe con un área de pendiente que conecta las zonas más altas con la llanura aluvial del arroyo (15-20 m) (Figura 2). Desde allí la altitud disminuye hacia el sureste hasta el límite con la llanura litoral donde alcanza valores inferiores a los 5 m. En la figura 2 pueden observarse las mayores inclinaciones del terreno (6 – 8 %) donde la peniplanicie de mayor elevación relativa da inicio a la llanura que se extiende hacia el sector costero y que presenta los menores valores de pendiente (0 – 2 %). Mientras que en las zonas que corresponden a los conos aluviales y valle del arroyo Napostá Grande se dan pendientes bajas a medias (2 – 6 %) (Zapperi *et al.*, 2014).

Figura 1: Área de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2: Topografía del área de estudio.



Fuente: Zapperi y Campo, 2011, sobre la base de Carta Altimétrica de la Municipalidad de Bahía Blanca.

MATERIALES Y MÉTODOS

Obtención de los datos: método relativo cinemático

Con el objetivo de generar la grilla de puntos de la base para la elaboración del MDT de la ciudad de Bahía Blanca se planteó el relevamiento planialtimétrico de las vías de circulación mediante técnicas de medición por satélites. Se empleó el método relativo cinemático, donde un equipo GNSS (del inglés *Global Navigation Satellite System*) permanece estático sobre un punto de referencia de coordenadas conocidas mientras que otro equipo, en movimiento, recolecta información de los puntos a lo largo de su trayectoria (Hoffmann-Wellenhof *et al.*, 2001). Para esto último, se utilizaron equipos GPS (del inglés *Global Positioning System*) marca Ashtech Promark 3 que fueron instalados sobre automóviles. En una primera etapa de trabajo, se realizó el relevamiento planialtimétrico de las principales vías de comunicación ubicadas en la periferia y centro de la ciudad. En una segunda instancia, se recorrieron las vías de circulación secundarias con el objetivo de densificar la red de puntos, principalmente sobre aquellos sectores donde se desarrollan los mayores desniveles y el estado del trazado vial era aceptable. En la zona periurbana norte, se encuentra el Comando del V

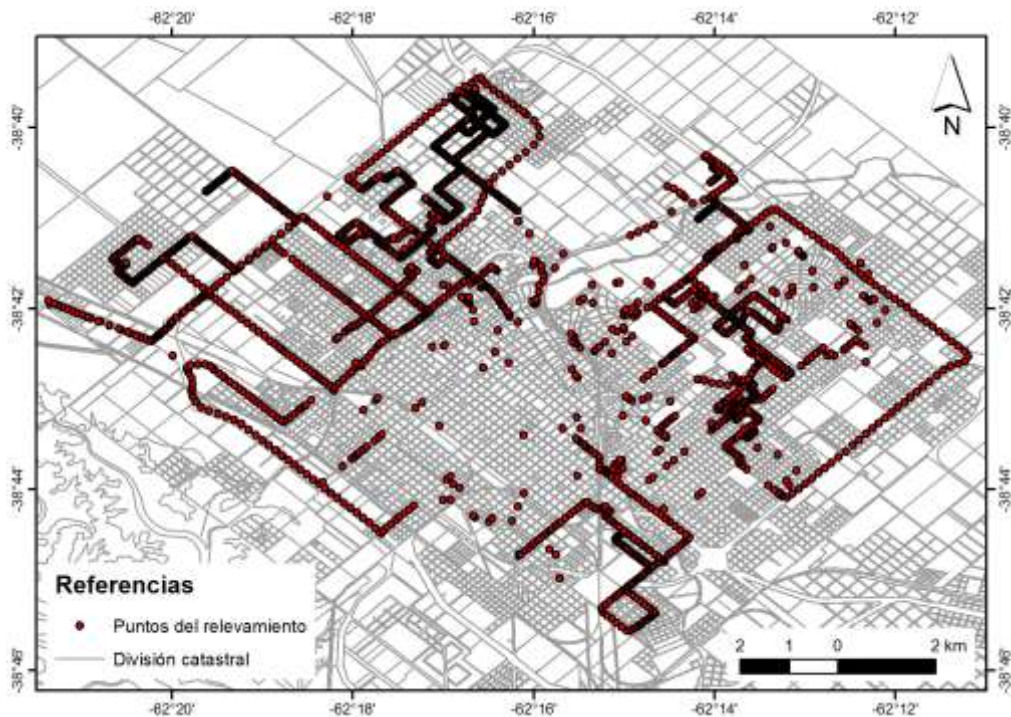
Cuerpo del Ejército Argentino, por lo que en ese sector de la zona alta no fue posible el relevamiento por no poder acceder al mismo.

Construcción del modelo

Para el procesamiento diferencial de las mediciones se utilizaron los archivos de la Estación Permanente Bahía Blanca (EPBB), ubicada sobre el punto denominado Vínculo Bahía Blanca (VBCA) el cual se emplaza en la terraza del Área de Agrimensura del Departamento de Ingeniería, Universidad Nacional del Sur (UNS). La EPBB ofrece correcciones de código y fase dentro del radio de 25 km y forma parte de la Red de Estaciones Permanentes de Argentina, proyecto RAMSAC (Red Argentina de Monitoreo Satelital Continuo). Los puntos relevados fueron georreferenciados al Marco de Referencia Geodésico Nacional POSGAR07 (Posiciones Geodésicas Argentinas 2007).

La altura de cada punto relevado fue transformada de altura referida a POSGAR07 a altura ortométrica (asociada al campo de gravedad de la Tierra) referida al Sistema de Referencia Vertical Nacional 2016 (SRVN16) utilizando el modelo GEOIDE-Ar16 (Instituto Geográfico Nacional y Dirección de Geodesia, 2017). Se analizaron los valores de confianza en altura y se eliminaron los puntos que arrojaban valores elevados de error, hecho atribuible a la interferencia de la señal y el efecto *multipath*. En la figura 3 se muestra la distribución final de los puntos relevados que fueron utilizados para la construcción del modelo. Cabe señalar que la mayor parte de los errores se ubicaron en la zona céntrica lo que provocó una baja densidad de puntos finales en ese sector. La elaboración del modelo preliminar se realizó con el programa Surfer 13.

Figura 3: Distribución final de los puntos relevados y utilizados para la construcción del modelo.

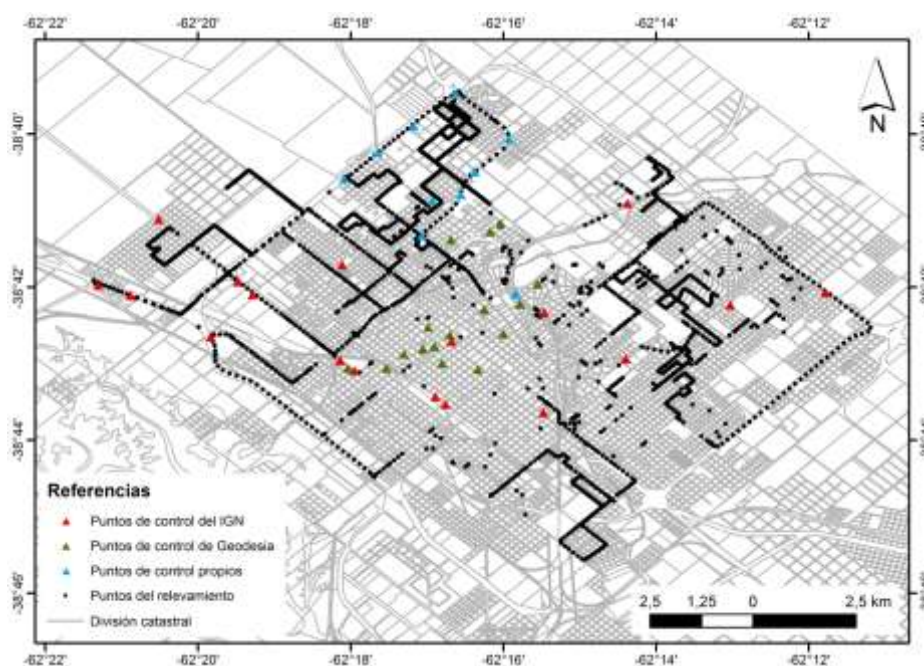


Fuente: Neuman *et al.*, 2017.

Validación del modelo

Para la validación del modelo se emplearon 44 puntos de control, de distinto origen y calidad. Se utilizaron los puntos de la red de nivelación de precisión y de alta precisión del IGN cuyas alturas ortométricas están referidas al Sistema de Referencia Vertical Nacional 2016 (SRVN16). También, puntos de la red municipal con información brindada por la Dirección de Geodesia de la provincia de Buenos Aires. En este caso se trata de puntos con alturas sobre el nivel medio del mar calculada a partir de una nivelación clásica, sin corrección por gravedad. Como se observa en la figura 4, la mayoría de los puntos se encuentran ubicados en el centro y macrocentro de la ciudad. Asimismo, para evaluar el funcionamiento del modelo en la zona alta de la ciudad, se monumentaron 10 puntos fijos en cercanías de las vías principales de acceso a la ciudad. Esta red de puntos fue relevada con equipos GPS Trimble 4800 en modo estático relativo y ajustada al punto VBCA. Las alturas elipsoidicas se redujeron a alturas ortométricas utilizando el GEOIDE-Ar16 del IGN. A partir de las coordenadas geográficas de cada punto de control se ingresó al modelo, obteniendo por interpolación la altura de cada uno, a fin de comparar con la altura de referencia.

Figura 4: Ubicación de puntos de control y puntos del relevamiento.



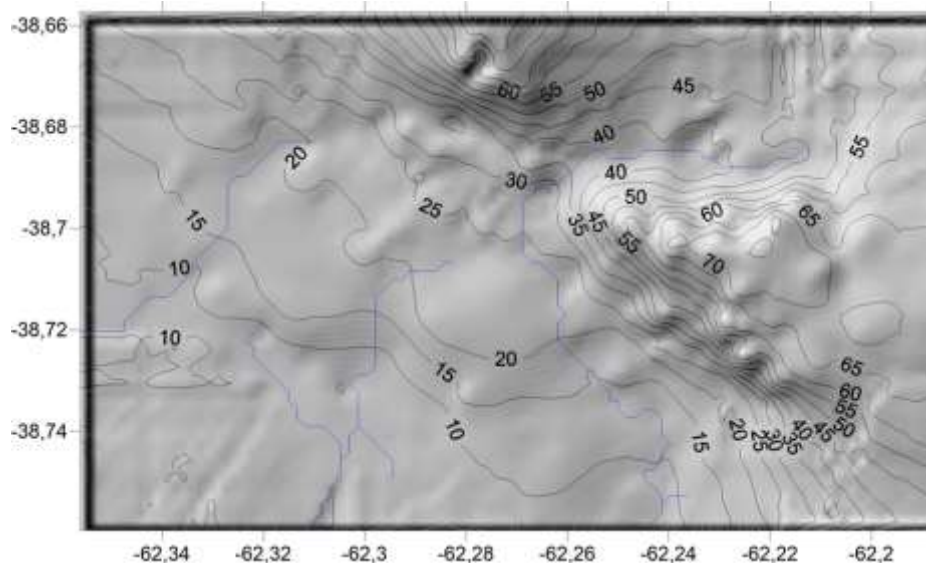
Fuente: Elaboración propia.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Modelo preliminar de alturas

En la figura 5 se presenta el modelo preliminar generado a partir de los datos obtenidos en el relevamiento y su posterior procesamiento. Se observan también las curvas de nivel trazadas sobre la base del mismo, las cuales reproducen una disposición de gran similitud con las de las cartas topográficas 1:50000 del IGN para el área.

Figura 5: Modelo digital del terreno preliminar para Bahía Blanca. Equidistancia 5 m.



Fuente: Elaboración propia.

La tabla 1 muestra los promedios y desvíos estándar de las diferencias entre las cotas interpoladas desde el modelo (CIM) y los valores de altura de los puntos de control (CC). En promedio, las diferencias con las tres fuentes no superan los 35 cm. Sólo en el caso de la comparación con los puntos de la red propia la diferencia es de signo negativo, lo que significa que las cotas interpoladas del modelo son inferiores a las de referencia. Caso contrario, es el de las diferencias positivas de 35 cm y 24 cm que se registraron con los puntos de control de la Dirección de Geodesia de la provincia de Buenos Aires y del IGN, respectivamente. La mayor diferencia entre el modelo y el control tuvo lugar en el sector norte de la ciudad donde el valor interpolado del modelo es de 13,9 m mientras que en las mismas coordenadas para el IGN es de 17,63 m. En los tres casos de comparación de han registrado diferencias de signo positivo y negativo.

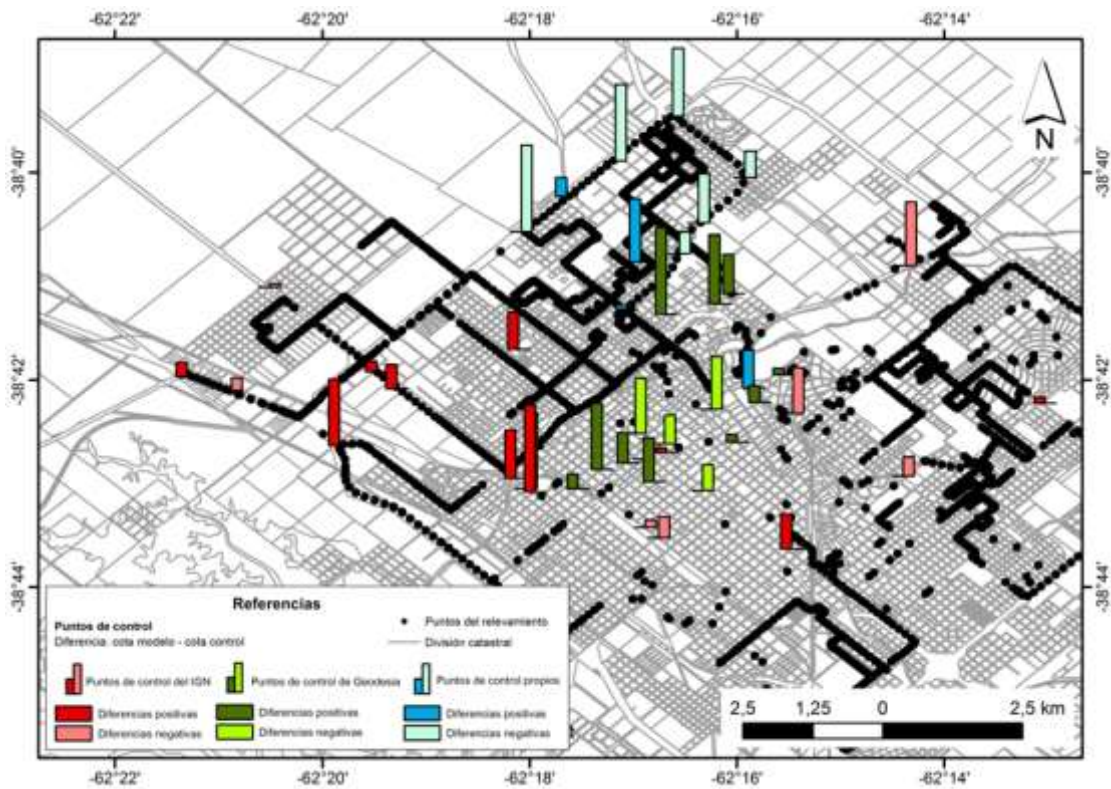
Tabla 1: Diferencias de alturas entre puntos interpolados en el modelo y puntos de control.

Red altimétrica	Promedio de la diferencia con el modelo generado (m)	Desvío Estándar (m)	Máxima diferencia			Mínima diferencia		
			Coord. Pto. (°)	CC (m)	CIM (m)	Coord. Pto. (°)	CC (m)	CIM (m)
IGN (18 puntos)	0,24	1,34	-38°43'05" -62°17'56"	13,90	17,63	-38°41'06" -62°20'30"	16,14	16,30
Red Propia (10 puntos)	-0,35	0,87	-38°40'33" -62°18'04"	28,94	27,45	-38°41'18" -62°17'03"	26,72	26,00
Dir. de Geodesia de la provincia de Buenos Aires (16 puntos)	0,35	1,61	-38°43'03" -62°18'01"	25,46	23,97	-38°42'42" -62°16'40"	33,32	33,50

Fuente: Elaboración propia.

Para ubicar espacialmente el grado de discrepancia entre estos valores, en la figura 6 se muestran a través de la graficación en barras, las diferencias proporcionales a la magnitud del error. En los colores de mayor saturación se expresan las diferencias positivas y en el mismo tono pero de forma más tenue se expresan las diferencias negativas. Si se considera el tamaño de las barras de la figura, es en la zona céntrica donde se observan las menores diferencias, a pesar de que en este sector hubo que eliminar gran cantidad de registros debido a los errores provocados por la influencia de los factores urbanos. También son bajas las diferencias en las comparaciones de las cotas aledañas al acceso a la ciudad del sector oeste. Caso contrario es el del camino de circulación externa del sector norte donde se observa en color celeste las diferencias de más de un metro a favor de los puntos de control propios.

Figura 6: Distribución de la magnitud y signo de las diferencias entre los puntos de control y los valores del modelo generado.



Fuente: Elaboración propia.

Los errores de aproximadamente un metro se identificaron en puntos cercanos a las vías de comunicación de la periferia en el sector norte. Esta diferencia se atribuye principalmente a la ubicación de los puntos acotados la que se caracteriza por su condición de borde. La densificación de la grilla a través del aumento de recorridos por calles secundarias e incrementar el relevamiento más allá de los límites de la zona urbana, son las medidas fundamentales para mejorar la calidad del modelo.

Con el método cinemático fue posible recolectar mayor cantidad de datos en zonas despejadas, mientras que en la zona del centro y macrocentro, será necesario coleccionar puntos con el método estático relativo para mejorar el modelo presentado.

CONCLUSIONES

El modelo generado mejoró la confianza en el valor altimétrico comparando con modelos preexistentes, sobre todo en la zona céntrica, donde se encontraron las mayores diferencias entre alturas tomadas desde el SRTM y el MDEar. En las zonas altas de la periferia, donde se presentan las mayores variaciones de desniveles, se requiere mayor densificación de puntos de relevamiento para poder superar la calidad de los modelos del SRTM, que se aproximan al terreno con buena exactitud. Para ello se propone el método cinemático mientras que las mediciones de la zona céntricas deberán realizarse de forma estática.

Ante la falta de puntos de control en el sector este y sur de la ciudad, será necesario materializar una red propia para la validación del modelo, utilizando la técnica empleada con anterioridad.

La realización de diagnósticos de problemáticas urbanas para fundamentar las decisiones gubernamentales respecto a la planificación y al urbanismo de la ciudad, requiere de información espacial de alta resolución. Lo cual se puede lograr mediante métodos de relevamientos directos, que aunque no resulten económicos, son los métodos más certeros.

Agradecimientos

El presente trabajo se realizó en el marco de los proyectos de investigación: “*Geografía Física Aplicada al estudio de la interacción sociedad-naturaleza. Problemáticas a diversas escalas temporo-espaciales*” dirigido por la Dra. Alicia M. Campo y subsidiado por la SGCyT-UNS (24/G067) y “*Tecnologías de la Información Geográfica (TIG) aplicadas al estudio del Ordenamiento del Suelo*” dirigido por la Dra. Agrim. Beatriz Aldalur y subsidiado por la SGCyT-UNS (24/J070).

BIBLIOGRAFÍA

- Burgos, V. 2012. *Evaluación de ASTER GDEM y SRTM-C / X para modelación hidráulica de la rotura de presa El Carrizal, Mendoza*. Instituto Nacional del Agua – Centro Regional Andino. 1er Encuentro de Investigadores en Formación de Recursos Hídricos (IFRH 2012), Ezeiza, Buenos Aires, Argentina.
- Campo, A.; Gentili, J.; Silva, A. 2016. Comparación de DEM generados a partir de distintas fuentes de datos. Cuenca del arroyo Sauce Corto, Sistema de Ventania, Argentina. *Geografía y Sistemas de Información Geográfica (GEOSIG)*. Año 8, n° 8, pp. 34-55.
- Felicísimo, A. 1994. *Modelos Digitales del Terreno. Introducción y aplicaciones en las ciencias ambientales*. Pentalfa. Oviedo. [On line: <http://www6.uniovi.es/~feli/pdf/libromdt.pdf> consultado el 14/06/2017].
- Gorokhovich, Y.; Voustianiouk, A. 2006. Accuracy assessment of the processed SRTM-based elevation data by CGIAR using field data from USA and Thailand and its relation to the terrain characteristics. *Remote Sensing of Environment*. Vol. 104, n° 4, pp. 409–415.
- Grosse, P., Van Wyk de Vries, B., Euillades, P. a., Kervyn, M.; Petrinovic, I. 2012. Systematic morphometric characterization of volcanic edifices using digital elevation models. *Geomorphology*. Vol. 136, issue 1, pp. 114–131.
- Hofmann-Wellenhof, B.; Lichtenegger, H.; Collins, J. 2001. *Global Positioning System, theory and practice*. Springer-Verlag, Wien, New York, 5° Ed., 135 pp.

- Instituto Geográfico Nacional y Dirección de Geodesia. 2017. *Red de nivelación de la República Argentina*. Instituto Geográfico Nacional, Buenos Aires, 51 pp. [On line: [http://ramsac.ign.gob.ar/posgar07_pg_web/documentos/Informe_Red_de_Nivelacion_de_la_Republica Argentina.pdf](http://ramsac.ign.gob.ar/posgar07_pg_web/documentos/Informe_Red_de_Nivelacion_de_la_Republica_Argentina.pdf)].
- Kasser, M. y Egels, Y. 2002. *Digital Photogrammetry*. Edit. Taylor & Francis, Londres, 347 pp.
- Kinsey-Henderson, A. y Wilkinson, S. 2013. Evaluating Shuttle radar and interpolated DEM's for slope gradient and soil erosion estimation in low relief terrain. *Environmental Modelling & Software*. Vol. 40, pp. 128–139.
- Liu, Y. 2008. An evaluation on the data quality of SRTM DEM at the alpine and plateau area, North-Western of China. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Vol. XXXVII, Part B1.
- Neuman, K.; Zapperi, P.; Campo, A.; Aldalur, B.; Bongiovanni, A. y Pischel, D. 2017. Elaboración de un Modelo Digital del Terreno de la ciudad de Bahía Blanca a partir de relevamientos con GNSS. *Primer Simposio Internacional de Geomática aplicada y soluciones geoespaciales. Libro de Resúmenes de Ponencias y Conferencias*. Rosario, Argentina, pp. 17. [On line: <http://www.geodata2017.com.ar/index.php/es/simposio/libro-de-resumenes>].
- Racoviteanu, A., Manley, W., Arnaud, Y. y Williams, M. 2007. Evaluating digital elevation models for glaciologic applications: An example from Nevado Coropuna, Peruvian Andes. *Global and Planetary Change*. Vol. 59, issue 1-4, pp. 110–125.
- Rodríguez, E.; Morris, C. y Belz, J. 2006. A Global Assessment of the SRTM Performance. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. Vol. 72, n° 3, pp. 249–260.
- Romanazzi, P; Urbizondo, J. et al. 2007. *Estudios Hidrológicos – Hidráulicos – Ambientales en la Cuenca del Arroyo del Gato*. Informe final. La Plata, Laboratorio de Hidrología – ADH – Fi – UNLP, 387 pp.
- Siart, C., Bubenzer, O. y Eitel, B. 2009. Combining digital elevation data (SRTM/ASTER), high resolution satellite imagery (Quickbird) and GIS for geomorphological mapping: A multi-component case study on Mediterranean karst in Central Crete. *Geomorphology*. Vol. 112, issue 1-2, pp. 106–121.
- Presutti, M. 2009. Comparación de un DEM generado a partir de curvas de nivel con el DEM-SRTM para estimar la altura de plantaciones forestales. En: *Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Natal, Brasil, INPE, pp. 2943-2950.
- Zapperi, P. A. y Campo, A. M. 2011. Efectos de precipitaciones intensas y su relación con las características geomorfológicas en la ciudad de Bahía Blanca. *Párrafos Geográficos*. Instituto de Investigaciones Geográficas de la Patagonia (IGEOPAT). Vol. 10, Nro. 1 p. 593-614. [On line: http://igeopat.org/revista/index.php?option=com_content&view=article&id=7&Itemid=111].
- Zapperi, P.; Aldalur, B. y Campo, A. 2014. Delimitación de red de drenajes sobre la base de datos SRTM-90 y de cartas topográficas. *Geotecnologías del sur argentino. Casos de estudio*. Cap. 15, pp. 181-189.

© Karina Neuman , Paula Zapperi , Beatriz Aldalur, Alicia Campo, Ariel Bongiovanni y Diana Pischel

Neuman, K.; Zapperi, P.; Aldalur, B.; Campo, A.; Bongiovanni, A.; Pischel, D. 2018. Modelo digital del terreno mediante relevamientos con GNSS. ***Geografía y Sistemas de Información Geográfica (GeoSIG)***. 10(10)Sección I:107-117

On-line: www.revistageosig.wixsite.com/geosig

Recibido: 8 de septiembre de 2017

Aceptado: 02 de diciembre de 2017