

# MODELO DIGITAL DEL TERRENO (MDT) DEL VALLE DEL ARROYO NAPOSTÁ GRANDE EN BAHÍA BLANCA, ARGENTINA

Lucía Brockerhof <sup>(1)</sup>, Beatriz Aldalur <sup>(1)</sup>, Claudia Pizzichini <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Depto. de Ingeniería, UNS, Av. Alem 1253, 1<sup>er</sup> piso, Bahía Blanca, [lu.brocke@gmail.com](mailto:lu.brocke@gmail.com); [baldalur@uns.edu.ar](mailto:baldalur@uns.edu.ar); [claudiapizzi@gmail.com](mailto:claudiapizzi@gmail.com)

## RESUMEN

Los alumnos de la cátedra de Fotogrametría de la carrera de Agrimensura del Departamento de Ingeniería de la Universidad Nacional del Sur, trabajan en sus prácticas de laboratorio con un programa de características fotogramétricas que permite elaborar Modelos Digitales del Terreno (MDT) y ortofotos a partir de pares estereoscópicos. El objetivo de este trabajo es difundir las grandes posibilidades que brinda la fotogrametría digital para la construcción de un MDT, mostrando lo desarrollado por una alumna en esta cátedra.

La incorporación de los parámetros de orientación interna que permiten identificar la cámara fotogramétrica empleada fue el primer paso realizado. Posteriormente se confeccionaron las orientaciones relativa y absoluta del modelo empleando puntos del control de campo y de gabinete. Para incrementar información sobre las coordenadas X, Y, Z de áreas en las que se necesitaba mayor detalle, se digitalizaron vectores observando el terreno natural en tres dimensiones y se construyó una TIN (red de triángulos irregulares) de la zona de superposición.

Sobre la base de los archivos vectoriales logrados se confeccionaron las curvas de nivel y el MDT. La práctica alcanzada por los alumnos en la cátedra de Fotogrametría de la carrera de Agrimensura permite elaborar herramientas necesarias para ser empleadas por distintas disciplinas en el estudio y análisis del territorio.

**PALABRAS CLAVE:** Fotogrametría digital, Modelo Digital del Terreno, Cátedra de fotogrametría

## DIGITAL TERRAIN MODEL (DTM) NAPOSTÁ GRANDE VALLEY STREAM IN BAHÍA BLANCA, ARGENTINA.

## ABSTRACT

Students of Photogrammetry class of the Surveying career from Engineering Department of the Universidad Nacional del Sur, work in their laboratory practices with a program of photogrammetric characteristics that allows developing Digital Terrain Models (DTM) and orthophotos from stereo pairs. The aim of this paper is to spread the great possibilities offered by digital photogrammetry to build a DTM showing what it's developed by a student in this cathedra.

The first step was to identify the incorporation of the internal orientation parameters that identify the photogrammetric camera used. Afterwards the relative and absolute orientations were produced using ground control points field and tie points. To increase information about the X, Y, Z coordinates where areas with more detail needed, vectors observing the natural terrain in three dimensions were digitized and was built a TIN (triangulated irregular network) of the overlap region.

Based on the achieved vector files, the contours and the MDT were made. The students acquire training in the use of the own tools of digital photogrammetry. The practice achieved by students in the Surveying career can develop tools to be used by different disciplines in the study and analysis of the territory.

**KEY WORDS:** Digital Photogrammetry, Digital Terrain Model, Photogrammetry cathedra

## INTRODUCCIÓN

La fotografía aérea es una herramienta empleada por un abanico de disciplinas. Desde el punto de vista de la explotación de la información que brindan, existen aspectos importantes de su uso multidisciplinario como son los datos sobre la topografía, el uso y cobertura del suelo y la integración de los datos derivados de las fotografías aéreas en un sistema de información geográfica (López Cuervo y Estévez, 1980).

Las posibilidades brindadas por la fotogrametría analógica y analítica resultaron desde hace años, muy onerosas para implementar en las aulas de nuestras universidades. Con el desarrollo de la

fotogrametría digital, la cátedra de Fotogrametría de la Universidad Nacional del Sur (UNS) ha podido llevar a adelante sus prácticas mediante el aprendizaje de un programa de características fotogramétricas donado por el Consejo Profesional de Agrimensura de la Provincia de Buenos Aires (CPA) que instruye, entre otras cosas, en la ejecución de Modelos Digitales del Terreno (MDTs).

Los MDT son muy utilizados en los Sistemas de Información Geográfica (SIGs) ya que éstos permiten el manejo de elementos puntuales, lineales y de superficie, así como explotación de la información gráfica relacionada con una base de datos alfanumérica. A partir de ellos, se pueden realizar numerosas aplicaciones como pueden ser diseño y trazado de carreteras, canales y cualquier obra lineal, perfiles longitudinales y transversales, cubicaciones, mapas de pendientes, mapas de orientaciones, mapas de cuencas de drenaje (Pozo Ríos, 2002). Las utilidades que ofrecen, los sitúan como uno de los productos fotogramétricos más requeridos e importantes (Sosa, 2002).

Existen diferentes metodologías para la obtención de un MDT. Entre ellas podemos citar la toma directa de datos por medio de levantamientos topográficos empleando estaciones totales o el Posicionamiento Global Satelital (GPS<sup>1</sup>) o mediante el uso de productos del radar o del láser desde plataformas aéreas o satelitales. También se pueden construir un MDT en forma indirecta digitalizando las curvas de nivel a partir de los mapas topográficos convencionales, ya sea a través del escáner con posterior vectorización o en forma manual mediante tableta digitalizadora o pantalla.

La fotogrametría realiza los MDT a partir de fotografías aéreas, apoyándose en el análisis de pares estereoscópicos y en la extracción de la información de los mismos durante la fase de restitución, siempre con la ayuda de la visión estereoscópica. En esencia, la fotogrametría digital permite a sus usuarios realizar todas las técnicas que llevan a construir el modelo de un objeto, brindando a través de los sucesivos procesos, las coordenadas x, y, z del objeto relevado.

De forma general, la unidad básica de información en un MDT es un valor de altitud z, al que acompañan los valores correspondientes de x e y, expresados en un sistema de proyección geográfica con una precisa referenciación espacial. La altitud se describe básicamente mediante un conjunto finito y explícito de cotas. El valor propio de un punto de localización arbitraria será, en su caso, estimado por interpolación a partir de los datos de su entorno. La confección de un MDT mediante técnicas fotogramétricas resulta una opción de bajo costo si se emplea el programa utilizado en una de las cátedras de Agrimensura de la UNS.

El objetivo de este trabajo es difundir las grandes posibilidades que brinda la fotogrametría digital para la construcción de un MDT mostrando lo desarrollado la cátedra de Fotogrametría de la del Departamento de Ingeniería de la UNS. Esta cátedra recibió en donación por parte del Consejo Profesional de Agrimensura (CPA) un programa económicamente más accesible que permite llevar adelante esta tarea. Se trata del programa Photomod, de origen ruso ([www.racurs.ru](http://www.racurs.ru)) con el que es posible realizar Modelos Digitales del Terreno y ortofotos entre otros productos. Más información sobre las capacidades de este programa y su fundamento teórico se pueden encontrar en Adrov y Titarov (2004).

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

En este trabajo se emplearon 11 fotografías aéreas y coordenadas de 62 puntos de control. Los fotogramas corresponden a un vuelo del 10 de mayo de 2000 en escala 1:5000 escaneados a 500 dpi, lo que permitió tener una resolución espacial de un píxel que equivale a 0,254 m en el terreno. Las 11 fotografías aéreas forman parte de tres corridas, permiten la confección de siete modelos y deben incluir en el escaneo las marcas fiduciales de cada fotograma.

El área de trabajo pertenece a la zona del valle del arroyo Napostá Grande, Bahía Blanca, Argentina y corresponde a una zona con importantes desniveles. Un tercio del área de estudio se encuentra ocupada por el Campus de la Universidad Nacional del Sur con alguna infraestructura urbana.

El programa utilizado fue Photomod 5 Lite. Si bien la cátedra cuenta con licencia de este programa, existe la posibilidad de trabajar también con un demo que establece la limitación en la cantidad de fotogramas a emplear por proyecto.

Para el relevamiento de los puntos de control, se utilizaron equipos GPS geodésicos Trimble 4800 de doble frecuencia. Se trabajó con el método del posicionamiento diferencial estático que es el método más adecuado para la medición de bases largas dado que las sesiones de observaciones largas permiten un cuidadoso tratamiento de los errores sistemáticos (Perdomo *et al.*, 1998). Esto significa que la medición se realizó simultáneamente con dos equipos posicionados sobre dos puntos que observan sincrónicamente los mismos satélites. Uno de los puntos fue la Estación Permanente Bahía Blanca (EPBB) denominada punto base, que se encuentra emplazada sobre un punto cuyas

---

<sup>1</sup> Se conserva la sigla en inglés, GPS (Global Positioning System)

coordenadas se conocen en forma precisa. El punto base elegido fue el punto fijo EPBB ubicado en la Universidad Nacional del Sur y denominado VBCA (Vínculo Bahía Blanca) que se encuentra ligado a la Red Posgar. El resto de los puntos con coordenadas no conocidas donde se posiciona el equipo GPS se denominan puntos “rover” o remotos los cuales fueron elegidos previamente en las fotografías aéreas.

La primera etapa del trabajo comprendió el ingreso de los fotogramas por corridas, en este caso constituían cuatro en una de ellas y tres fotogramas en las otras dos corridas. Las tres corridas del área de estudio constituyen un bloque que se pueden observar como mosaico rectificado con los porcentajes de superposiciones longitudinales y transversales una vez que se ingresan los puntos de control. El programa cuenta con diferentes módulos que cumplimentan las distintas tareas. Ejemplo: *Block Layout*, *Block Forming* y *AT* (Aerotriangulación). La figura 1 muestra la ventana del programa con las tres corridas ensambladas una vez que se le han incorporado los puntos de control terrestre.

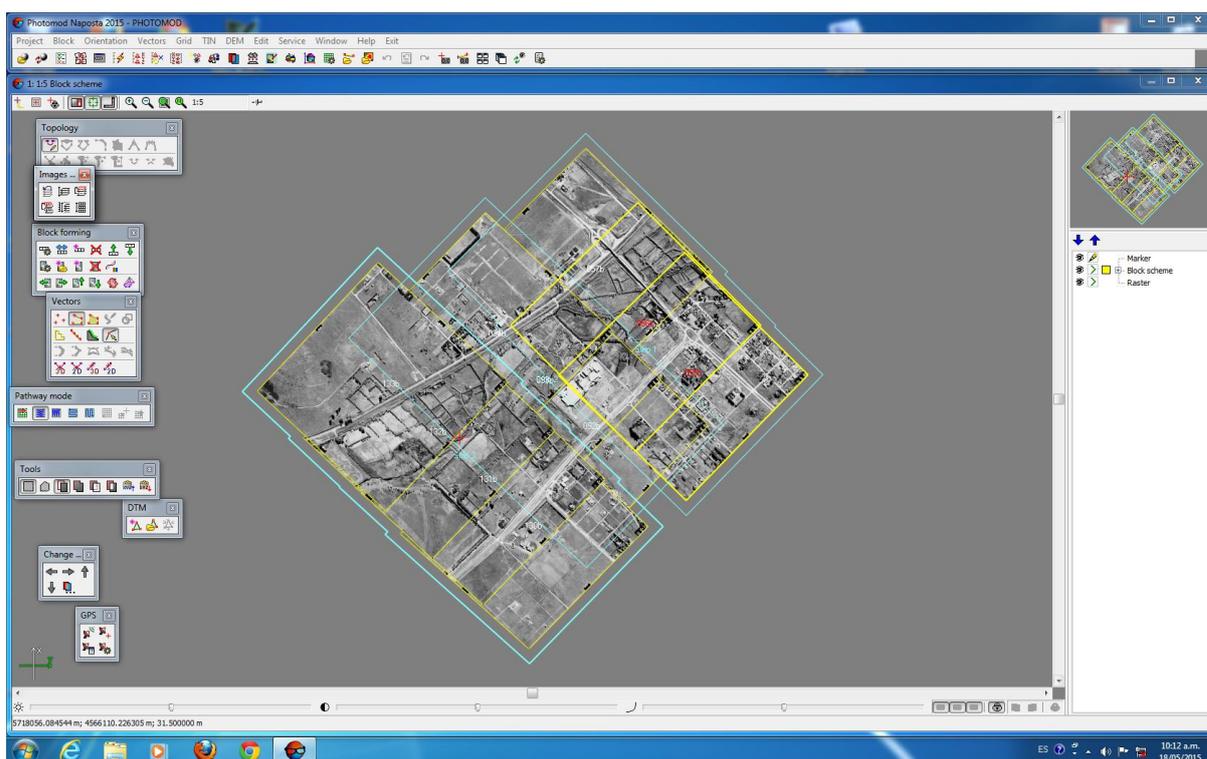


Figura 1: Imagen de la pantalla del programa Photomod 5 mostrando las tres corridas con fotogramas rectificados. Fuente: Elaborado por Brockerhof, Aldalur, Pizzichini.

En la siguiente etapa se realizaron las orientaciones interna, relativa y absoluta. La orientación interna de cada una de las fotografías permitió la reconstrucción del haz de rayos que dio origen a la imagen. Los dos sistemas de coordenadas pixel e imagen se vinculan mediante la señalización en pantalla de las coordenadas de las cuatro marcas fiduciales, tarea que se realiza para cada fotograma, para lo cual se aplicó la transformación afín (Liba y Järve, 2009) y cuyo resultado se puede verificar a través de un reporte de los errores cometidos en la bisección de cada punto (localización mediante el cursor en pantalla). En cada fotograma, las dos primeras marcas fiduciales se identifican en forma manual y en forma automática las otras dos restantes. La distancia focal de la cámara ingresada fue 153.12 mm. Esta información, de distancia focal y de coordenadas de las marcas fiduciales, es extraída del certificado de calibración de la cámara. No se tenían valores del error de distorsión de la lente por lo que este dato no pudo ser incorporado al programa. Se estableció un error medio cuadrático (RMS<sup>2</sup>) máximo para la orientación interna de 0.500 píxel.

El siguiente paso fue la realización de la orientación relativa. Esta etapa está dirigida a eliminar la paralaje vertical, para ello es necesario que se intersecten los rayos homólogos de cinco puntos en la zona de superposición. Los excedentes o residuales determinan los errores producidos. La tarea consistió en la medición y transferencia en pantalla de los puntos de control, en todos los fotogramas. Es importante que los puntos de apoyo de campo se encuentren emplazados preferentemente en la

<sup>2</sup> Se conserva la sigla en inglés, RMS (Root Mean Square)

zona de triple superposición longitudinal y en la superposición transversal. El error medio cuadrático máximo fijado fue de 0.500 píxel en la medición de las paralajes.

A continuación se realizó la búsqueda, medición y transferencia de los puntos de enlace (*ties* o de gabinete) los cuales deben ser numerosos y deben ubicarse a nivel del terreno. Aquí se trabaja con el módulo AT, que muestra en todo momento si existe uniformidad en la cantidad de puntos según las 6 zonas de Von Grüber. Más detalles sobre las orientaciones interna, relativa y absoluta pueden obtenerse en Kasser y Egels (2002) y Mikhail *et al.* (2001).

Si bien el programa presenta la opción de realizar la transferencia de puntos de enlace en forma automática, esto no es recomendable por la cantidad de puntos que incorpora y que después el operador debe filtrar y controlar eliminando errores cometidos en la correlación de las imágenes. En este trabajo, y para el primer MDT se incorporaron 81 puntos de enlace.

Una vez que se densificaron los puntos de control de campo con puntos de control de gabinete, se realizó la orientación externa o absoluta. Este paso consiste en efectuar la aerotriangulación para lo cual se hace la compensación del bloque por mínimos cuadrados y por ajuste de rayos. Desde el reporte de errores cometidos se realiza la evaluación de la posición  $x$ ,  $y$ ,  $z$  y  $\phi$ ,  $\omega$ ,  $\kappa$  de cada punto para poder efectuar su corrección. El resultado obtenido, luego de realizar las tres orientaciones, se muestra en la figura 2.

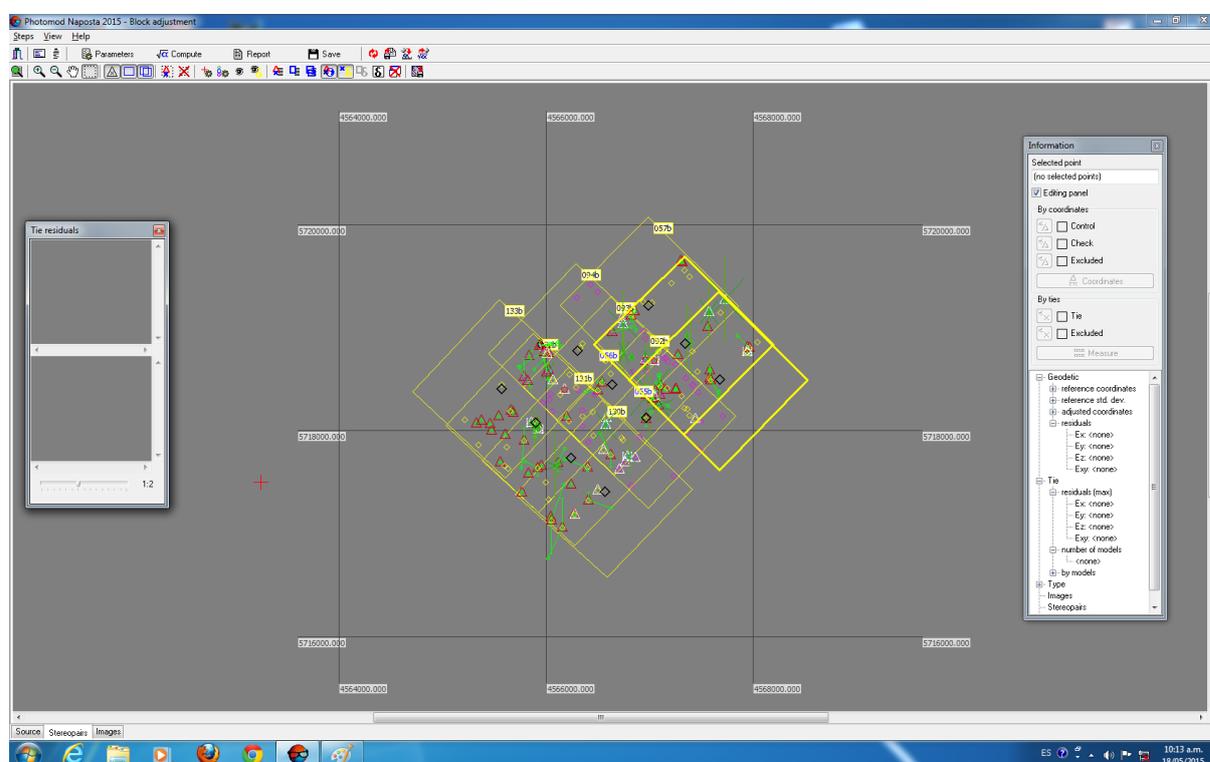


Figura 2: Imagen de la pantalla del programa Photomod 5 mostrando el resultado de aplicar las tres orientaciones. Fuente: Elaborado por Brockerhof, Aldalur, Pizzichini.

La segunda etapa del trabajo consistió en densificar la localización de puntos del terreno en áreas donde existieran mayores variaciones topográficas y sobre líneas de quiebre que representaban todos los cambios contrastantes en la forma del suelo. Esto se logró creando capas vectoriales mediante la digitalización de puntos que cumplieran esa condición.

La digitalización de cada uno de ellos fue realizada visualizándolos en los pares estereoscópicos y en tres dimensiones. La visión 3D se elabora mediante el método de los anaglifes, para lo cual se debe observar el área de estudio desde lentes especiales para este tipo de visión. Se crearon además varias capas vectoriales a partir de grillas regulares de tres por cuatro puntos que fueron localizadas sobre el terreno natural en zonas llanas y sobre las que no se tenía información en formato vectorial.

Sobre la base de todas las capas vectoriales realizadas se creó el modelo TIN<sup>3</sup> (Red de triángulos irregulares). Esta red está formada por triángulos donde cada vértice es uno de los puntos digitalizados por visión estereoscópica o es un punto de la grilla regular.

<sup>3</sup> Se conserva la sigla en inglés, TIN (Triangulated Irregular Network)

A partir de las coordenadas conocidas de los puntos de control de campo, de los puntos de gabinete y de la posibilidad de obtener las coordenadas de nuevos puntos a través de la interpolación polinómica de la elevación, en los triángulos de la TIN, se confeccionó el MDT. Para ello se determinó el cálculo de nuevas coordenadas en una distribución regular de celdas de 1 m.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El reporte de la orientación interior reveló los errores producidos al relacionar la ubicación de las marcas fiduciales con sus coordenadas de imagen. Los valores obtenidos estuvieron comprendidos entre 0.177 píxel y 0.460 píxel, con un RMS de 0.297 píxel. Este resultado resulta satisfactorio, dado que las imágenes fueron escaneadas a 500 dpi.

El resultado de la compensación del bloque por mínimos cuadrados presentó un error medio cuadrático (RMS) para los residuales de las coordenadas de los puntos de control igual a 0,191 m en planimetría y a 0,121 m en altimetría, valores que permiten la elaboración del MDT con errores en ese entorno. Respecto a los puntos de enlace, se obtuvieron errores de 0,381 m en planimetría y 0.750 m en altimetría entre los estereopares. Si se tiene en cuenta que se fijó 0,50 m y 0,80 m respectivamente el valor máximo deseado, nos encontramos con errores aceptables para este trabajo. La elección del valor máximo aceptable se realiza en función del objetivo del trabajo. La figura 3 permite observar el MDT del terreno obtenido mediante la aplicación de técnicas fotogramétricas y trabajado con pares estereoscópicos.

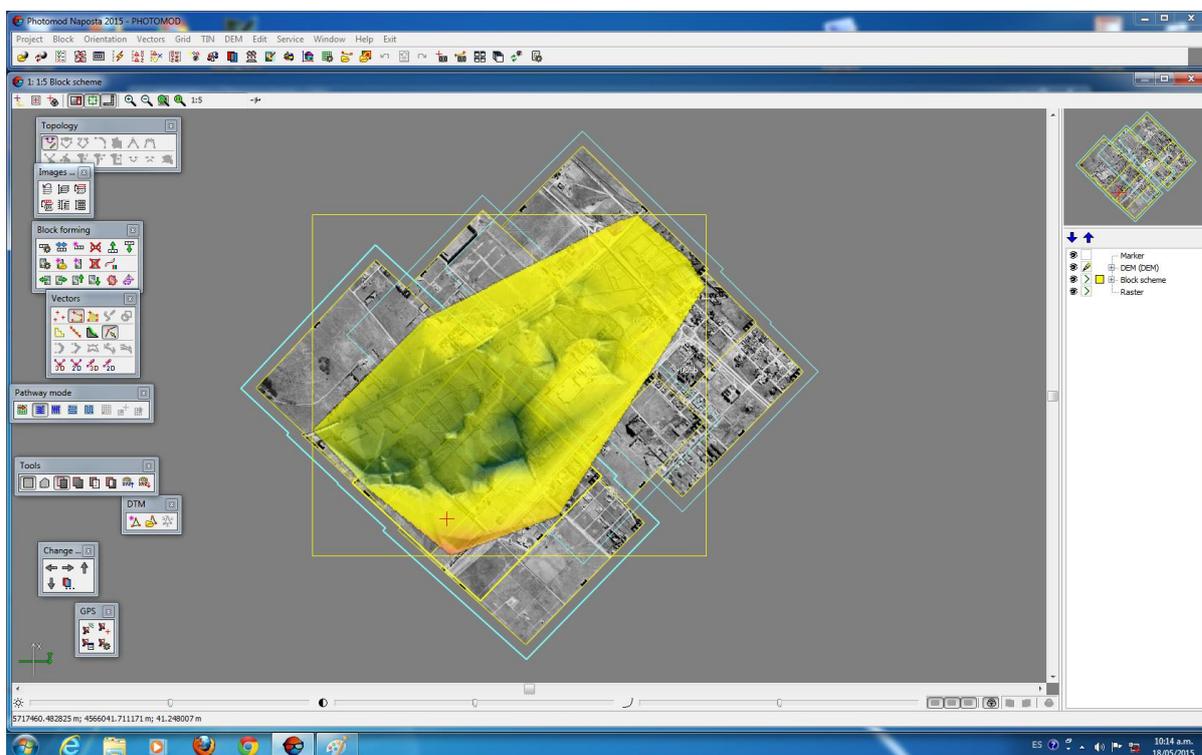


Figura 3: Imagen de la pantalla del programa Photomod 5 mostrando el MDT. Fuente: Elaborado por Brockerhof, Aldalur, Pizzichini.

## CONCLUSIONES

La cátedra de fotogrametría entiende que los alumnos tienen la capacitación necesaria para iniciarse en el estudio, análisis y desarrollo de estas técnicas fotogramétricas y pretende que ellos puedan seguir entrenándose para lograr un mayor crecimiento.

Los modelos del terreno logrados a través de estos procedimientos fotogramétricos, proporcionan coordenadas planialtimétricas a escala de detalle, imprescindibles en numerosos estudios del ámbito de las ciencias de la tierra y de la ordenación del territorio donde el conocimiento de la topografía es esencial. Los errores en altimetría son del orden de los 0,50 m.

El grado de detalle logrado en el MDT dependerá de la escala de la fotografía empleada y de los parámetros que se fijen para su cálculo.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Adrov, V. N., T. y Tltarov, P. S., 2004. Digital photogrammetric system PHOTOMOD and its usage for pushbroom imagery processing, [En línea], <http://www.racurs.ru/?page=256> [12/05/2015].
- Kasser, M. y Egels, Y., 2002. Digital Photogrammetry. Editorial Taylor & Francis, 351 p., Londres.
- Liba, N., y Järve, I., 2009. Making Orthophotomosaic about Tartu City with Photomod program and its geometrical quality. En: International Federation of Surveyors (FIG) Working Week, Surveyors Key Role in Accelerated Development, Eilat, 9 p., Israel.
- Lopez Cuervo y Estévez, S., 1980. Fotogrametría, EGRAF S.A., 367 p., Madrid.
- Mikhail, E. M., Bethel, J. y Mc Glone, J. C., 2001. Introduction to Modern Photogrammetry. Editor John Wiley & Sons, Inc., 479 p., Nueva York.
- Perdomo, R.; Del Cogliano, D.; Di Croche, N.; Napal, E.; Aldalur, B.; De Aduriz, A.; Napal, P.; Plana, N.; Pintos, I.;Martinez, M.; Rosso, S. y San Cristóbal, J., 1998. Red Geodésica con técnicas GPS. V Jornadas Geológicas y Geofísicas Bonaerenses. Volumen II. Mar del Plata: 191-195.
- Pozo Ríos, M., 2002. Desarrollo de equipos de fotogrametría: Explotación del dato digital. En: IX Congreso Nacional de Ingeniería Gráfica, 9 p., Santander, España.
- Sosa, S., 2002. Algunas experiencias con procedimientos accesibles de fotogrametría digital. Mapping, Editor eGeoMapping, N° 81: 58-67, España.
- Programa Photomod 5, [www.racurs.ru](http://www.racurs.ru) [10 de mayo de 2015].

## **AGRADECIMIENTOS**

- Al Consejo Profesional de Agrimensura de la Provincia de Buenos Aires (CPA), por la donación del programa Photomod 5 Lite.
- A la Dirección de Catastro de la Municipalidad de Bahía Blanca, por facilitar las fotografía aéreas.