



Edición automática del modelo SRTM de un arco de segundo

Beneficiario: Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE)

Área de Cobertura: Neuquén, Río Negro, Chubut, Santa Cruz y Tierra del Fuego, y sur de Buenos Aires y La Pampa.

Autores: Dr. Gastón Díaz¹, Dr. José Daniel Lencinas²

¹Investigador asistente del CONICET

²Investigador del CONICET/Univ. Nac. Patagonia SJB, Director CIEFAP

Glosario

SRTM_{C1}: Modelo digital de elevación de la Misión *Shuttle Radar Topography*, Banda C con resolución espacial de aproximada un arco de segundo. Subíndice C1: fuente CONAE con nivel 1 de procesamiento. Presenta áreas sin dato.

SRTM_{C1.1}: Modelo digital de elevación de la Misión *Shuttle Radar Topography*, Banda C con resolución espacial de aproximada un arco de segundo. Las áreas sin dato se completaron con información extraída del SRTM Banda X, del SRTM Banda C de CGIAR, o del ASTER GDEM.

Objetivos

El objetivo general es contribuir a mejorar la calidad geométrica de los modelos digitales de elevación de Argentina e incrementar su accesibilidad por parte de usuarios de tecnología geomática.

Los objetivos específicos del presente trabajo fueron;

- 1) analizar la calidad geométrica del modelo SRTM-C de un arco de segundo¹
- 2) desarrollar procesos automáticos de edición de áreas sin dato

Organización del informe

Este informe se organiza con un formato similar al de un artículo de investigación. En el subtítulo “Métodos” se describe el tratamiento dado al problema planteado en “Introducción”, mientras que en “Resultados” se explicitan los resultados obtenidos y en “Discusión” se trata la interpretación conjunta de los resultados reportados y su vinculación con referencias bibliográficas, además de discutirse si es conveniente emprender nuevos trabajos relacionados. Finalmente, en la “Conclusión” se incluye las ideas más relevantes derivadas de la discusión.

1. Introducción

Importancia de los modelos digitales de elevación (MDE) en la gestión de la información

Los modelos digitales de elevación (MDE) tienen múltiples aplicaciones en la gestión del territorio. A partir de un MDE puede derivarse atributos geológicos, hidráulicos, y topográficos, aunque también tienen un rol fundamental en el preprocesamiento de datos de teledetección. El beneficio derivado de todas estas aplicaciones está fuertemente condicionado por la resolución espacial y calidad geométrica de los MDE. Por ejemplo, la falta de un MDE a escala nacional, con resolución espacial real del orden de los 30 metros, y fundamentalmente con características geométricas conocidas y validadas por la comunidad científica tecnológica, ha imposibilitado producir ortoimágenes de alta calidad planimétrica (Lencinas 2011). La disponibilidad de una base geométrica consistente a partir de ortoimágenes produce un alto impacto en la eficiencia de la gestión de información (Chmiel *et al.* 2004).

En los datos brutos de sensores ópticos, el relieve es una causa importante de distorsiones geométricas y radiométricas (Richter 2007, Toutin 2008). Estas distorsiones no pueden ser corregidas sino se disponen de un MDE con exactitud geométrica adecuada. La relación entre los errores

¹Fuente CONAE, denominado en este trabajo **SRTM_{C1}**

planimétricos en ortoimágenes de muy alta resolución espacial y los errores planimétricos de los MDE ha sido confirmada por los resultados obtenidos por Junfeng y Jingfeng (2006), Aguilar *et al.* (2007), Aguilar *et al.* (2008), y Lencinas y Díaz (2011).

Disponibilidad y características de MDE con cobertura nacional

Entre los MDE de mayor resolución espacial disponibles sin costo, con referencia específica a todo el territorio argentino, se encuentran 1) el SRTM-C producido con datos radar banda C adquiridos desde un trasbordador espacial durante la misión SRTM [del inglés Shuttle Radar Topography Mission (Farr *et al.* 2007); 2) el SRTM-X (© DLR), producido con datos banda X adquiridos al mismo tiempo que los datos banda C, pero en franjas cuatro veces más angostas, lo que ocasiona vacíos de información entre órbitas adyacentes; y 3) el ASTER GDEM (del inglés Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer Global Digital Elevation Model) producido mediante procesamiento automático de 1,5 millones de escenas del sensor ASTER.

Los datos de la misión SRTM, tanto de banda C como de X, fueron adquiridos a una resolución espacial de un arco de segundo (aproximadamente 30 m). Sin embargo, Farr *et al.* (2007) especifican que la distribución de los datos de elevación SRTM-C por fuera del territorio de los EEUU está regulada por su Departamento de Defensa, el cual permite que se distribuya una versión remuestreada a tres arcos de segundo (aproximadamente 90 m). Este remuestreo se realiza mediante la función promedio para los datos distribuidos por la NASA. Según Farr *et al.* (2007), tanto la NASA como la NGA (del inglés, National Geospatial-Intelligence Agency) están trabajando para que los datos sean liberados para uso científico.

El GDEM fue puesto a disposición sin costo en el año 2009 por el Ministerio de Economía y Comercio del Japón y la NASA. Fue producido a partir de datos estereoscópicos obtenidos por el sensor ASTER mediante la banda del infrarrojo de onda corta (0.76 μm a 0.86 μm , Banda 3n y 3b). Se generó con una resolución espacial de 30 m cubriendo el 99 % de la superficie terrestre.

Hasta ahora no hemos mencionado que los MDE pueden modelar diferentes tipos de altura, lo cual es de especial importancia para evaluar qué altitud representa el modelo: 1) la superficie del terreno, o 2) la superficie de la cobertura del suelo. Establecer cuál es la altitud que está siendo modelada no es sencillo porque la señal del radar puede penetrar la vegetación dependiendo del tamaño de las hojas y ramas, de su humedad, y de la banda radar que se utilice. La banda C tiene una longitud de onda de aproximadamente 5 cm y la banda X de 3 cm. Por ejemplo, si la vegetación es baja, con hojas y ramas pequeñas y su superficie está seca, la banda C podría penetrar hasta el suelo, mientras que la X solamente penetraría hasta aproximadamente la mitad del dosel vegetal (Hengl and Reuter, 2009, p. 101). Por otro lado, si el MDE se deriva de datos ópticos, la altura modelada siempre es la de la superficie de la cobertura del suelo porque los datos ópticos no pueden penetrar ni el suelo ni la vegetación.

Finalmente, los MDE pueden tener diferentes alturas de referencia. El SRTM-X utiliza el Elipsoide WGS84 como altitud de referencia; en cambio, el SRTM-C y ASTER-GDEM utilizan el geoide EGM96.

Atributos determinantes para la calidad geométrica de un MDE

Para que un MDE pueda utilizarse como insumo en la corrección de datos de teledetección se debe evaluar si éste contiene:

- Errores sistemáticos de desplazamiento horizontal o vertical
- Áreas sin datos (denominadas *gaps* o *voids* en la literatura específica)
- Formas artificiales producidas durante la generación del modelo o su distribución (artefactos)
- Ruido (errores aleatorios)

De observarse algunas de estas anomalías, es posible utilizar métodos de corrección o mitigación del error.

La mayoría de los análisis de base geoespacial requieren MDE continuos, es decir, aquello que no tienen áreas sin dato. Si las áreas sin dato son relativamente pequeñas, es posible utilizar un algoritmo de interpolación. Sin embargo, al aumentar el área que se debe interpolar crece la posibilidad de que los datos interpolados sean erróneos. Cuando se dispone de varios MDE y al menos uno de ellos posee áreas sin dato, en vez de interpolar, la estrategia usual es asignar valores a las áreas sin dato mediante la unión de los MDE. Sin embargo, es muy posible que deban realizarse procedimientos para ajustar a los MDE entre ellos. En dichos procedimientos, algunos aspectos a tener en cuenta son :

- La diferencia en la resolución espacial y alineación de los píxeles.
- Corregistración horizontal
- Errores sistemáticos horizontales (tendencias modelables con superficies polinómicas de primer o segundo orden)
- Distribución espacial heterogénea en los errores.
- Diferencias tecnológicas que puedan influenciar el tipo de altura modelada (ejemplo, tipo de banda radar).

Cualquiera de estos aspectos, por separado o en sinergia, tiende a producir irregularidad en los datos. Se han desarrollado varios métodos para la la unión de los MDE, aunque los más destacados por sus buenos resultados son *delta surface fill* (Grohmann *et al.* 2006) y el método de Karkee *et al.* (2008). El método más simple consiste en copiar directamente el valor de elevación desde otro MDE disponible (de ahora en adelante MDE para relleno) y suavizar la interface para mitigar el error producido en la intersección. El algoritmo *delta surface fill* se basa en obtener la diferencia entre el MDE con áreas sin dato y el MDE para relleno, lo cual produce la superficie

denominada "delta", la cual es utilizada para realizar la interpolación del área sin dato. Finalmente, el resultado de la interpolación es transferido al MDE con una corrección de tendencia. La propuesta de Karkee *et al.* (2008) es, frente a un píxel sin dato, derivar la pendiente y exposición del MDE para relleno y utilizar esa información para deducir el valor de elevación del píxel sin dato.

A diferencia de estos autores, nuestra propuesta es agrupar los píxeles sin datos que son contiguos en un objeto digital, por lo tanto, abordamos el problema desde el paradigma de Análisis de Imágenes Basado en Objetos (Blaschke *et al.* 2008) en vez del paradigma tradicional basado en píxeles. Creemos que con este nuevo enfoque podrían obtenerse mejores resultados.

Para desarrollar el procedimiento de edición nos basamos en las siguientes hipótesis de trabajo:

- 1) En los objetos digitales sin dato con superficie menor a 50 píxeles puede utilizarse interpolación sin que éste procedimiento produzca artefactos
- 2) En el resultado de unir MDE puede corregirse la irregularidad sí, a la escala del objeto digital sin dato, se ajusta una superficie polinómica de primer orden para modelar las diferencias entre los MDE a unir.

2. Métodos

En la Figura 1 se presenta la organización del flujo de trabajo. En adelante, se entenderá por modelo inicial al $SRTM_{c1}$, que es la denominación establecida en este informe para el MDE entregado por CONAE al Laboratorio de Geomática del CIEFAP.

Los archivos fueron entregados en bloques de un grado de longitud por un grado de latitud. Estos archivos están organizados en sub carpetas que indican la coordenada de longitud y archivos que indican la coordenada de latitud. Estas coordenadas se refieren a la esquina suroeste del dato. No se procesaron todos los archivos entregados (Figura 2).

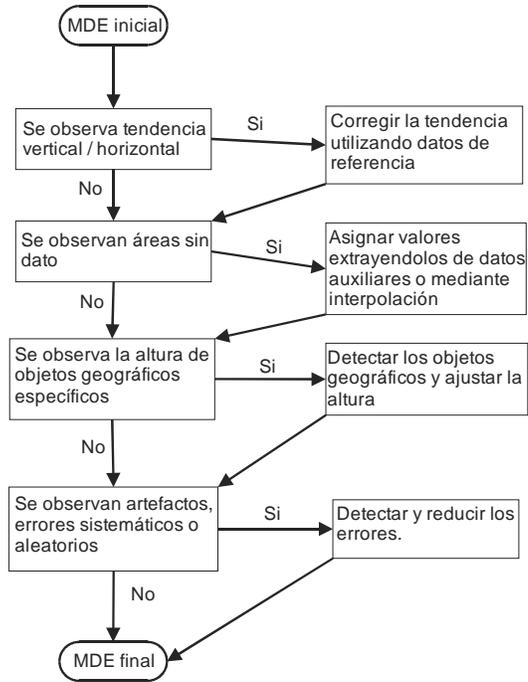


Fig. 1. Flujo de trabajo para preprocesar un DEM con el fin de utilizarlo para análisis geomorfométrico.

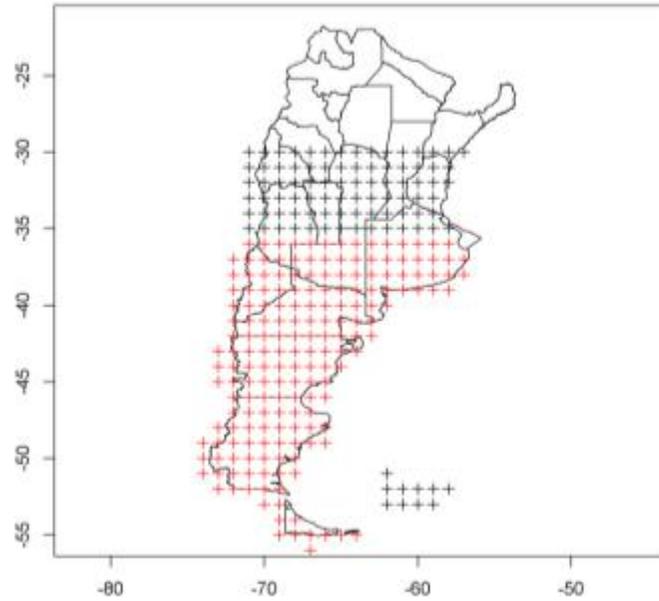


Fig. 2. Las cruces representan la coordenada de la esquina suroeste de los archivos entregados. Las cruces rojas representan los archivos efectivamente procesados por el Laboratorio de Geomática.

2.1 Evaluación de la exactitud

Evaluación cuantitativa

Para evaluar la exactitud horizontal del SRTM_{c1} se sortearon 32 puntos en el área delimitada por los archivos procesados (Fig. 2). Como dato de referencia se utilizó el *Basemaps World Imagery* de ESRI (<http://www.esri.com/data/basemaps>). El procedimiento consistió en añadir a un proyecto de ArcMap 10.1 la sombra del relieve generada con el SRTM_{c1} (0° de azimut y 45° de elevación) y el dato de referencia. Luego, se posicionó el visor en uno de los puntos sorteados y se analizó visualmente el área (escala entre 1:15000 y 1:40000) para digitalizar un punto en una geoforma identificable tanto en el dato de referencia como en la sombra del relieve. Este procedimiento fue repetido en los 32 puntos. Para calcular el error se re proyectaron los puntos digitalizados al sistema de coordenadas de referencia POSGAR94. En función de su coordenada de longitud, cada punto se re proyectó a la faja correspondiente. Las ecuaciones 1 a 4 se utilizaron para reportar el error horizontal.

$$error_{x,i} = x_{dato,i} - x_{referencia,i} ; error_{y,i} = y_{dato,i} - y_{referencia,i} \quad (1)$$

$$error_{h,i} = \sqrt{error_{x,i}^2 + error_{y,i}^2} \quad (2)$$

$$RMSE_x = \sqrt{\frac{\sum error_{x,i}^2}{n}} ; RMSE_y = \sqrt{\frac{\sum error_{y,i}^2}{n}} \quad (3)$$

$$RMSE_h = \sqrt{\frac{\sum error_{h,i}^2}{n}} \quad (4)$$

Donde RMSE son las siglas del inglés *Root Mean Square Error*.

Se evaluó la exactitud vertical del SRTM_{c1} con un muestreo dirigido, con el cual se trató de incluir la más alta variabilidad topográfica. Como dato de referencia, se utilizó el *Basemaps World Topographic* de ESRI (<http://www.esri.com/data/basemaps>). La altitud y posición fue interpretada visualmente de las cotas del dato de referencia (mediante comparación con los MDE se determinó que la altura del dato de referencia se refiere al elipsoide). Las ecuaciones 5 y 6 se utilizaron para reportar el error vertical.

$$error_{z,i} = z_{dato,i} - z_{referencia,i} \quad (5)$$

$$RMSE_v = \sqrt{\frac{\sum error_{v,i}^2}{n}} \quad (6)$$

Evaluación cualitativa

Consistió en el análisis visual de la sombra del relieve generada con el MDE inicial. Se utilizaron los 32 puntos empleados para evaluar cuantitativamente el error horizontal. A partir de cada uno de estos puntos se realizó el análisis visual a escalas comprendidas entre 1:100.000 y 1:150.000. El análisis consistió en la búsqueda de candidatos a artefactos. Una vez localizados estos candidatos, fue utilizado el *Basemaps World Imagery* para interpretar el relieve y determinar si el candidato debía considerarse un artefacto. Si no se encontraban artefactos en el lapso de aproximadamente 20 minutos, se procedía al siguiente punto de inicio. Posteriormente y para realizar figuras, se accedió a las imágenes *Bing Map* (<http://www.bing.com/maps/>) a través del paquete *OpenStreetMap*.

Altura de referencia: el geoide EGM96

Los valores de elevación del geoide EGM96 fueron obtenidos utilizando el programa F447.exe (<http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm96/egm96.html>), con un INPUT.DAT equivalente a un raster de 10 arcos de segundo de resolución espacial y con extensión comprendida entre los -77° y -56° grados de longitud y los -56° y -34° grados de latitud.

2.2 Procedimiento de edición automática

El procedimiento automático se implementó en el lenguaje de programación R. En términos generales, consistió en asignar valores a las áreas sin dato. Se programó con el editor Tinn-R 2.4.1.7 y R 3.0.1 en una PC con un procesador AMD FX™-4100 Quad-Core 3,60 GHz, 6 GB de memoria RAM y Windows 7 de 64 bit.

Conceptualmente, el script realiza las siguientes operaciones:

- 1) Establece la ruta a todos los archivos del SRTM_{c1} en los servidores locales
- 2) Extrae las coordenadas geográficas de la ruta (esto es, del extremo suroeste)
- 3) Selecciona los archivos que se desean procesar (Figura 2)
- 4) Selecciona un archivo del SRTM_{c1}
- 5) Selecciona los datos SRTM-X que se corresponden con el archivo del SRTM_{c1} seleccionado. Luego, acondiciona su resolución y extensión para que se correspondan con el SRTM_{c1}, utilizando remuestreo bilineal de ser necesario.
- 6) Filtra los datos de elevación del SRTM-X con el respectivo archivo de calidad. Dicho archivo contiene, para cada pixel, una estimación del error en metros del producto en función de las características de los datos radar originales. Establecimos un umbral de 10 metros, de modo

que solamente los píxeles con una estimación del error menor al umbral podrán incorporarse al MDE final.

- 7) Repite el paso 5 para el ASTER GDEM y el SRTM-C de 90 metros.
- 8) Adapta el Geoide a la resolución y extensión del SRTM_{c1} mediante remuestreo bilineal.
- 9) Segmenta los píxeles sin dato para agrupar los píxeles contiguos en un único objeto.
- 10) Clasifica los objetos "sin dato" con área entre 50 y 100.000 píxeles y genera una máscara binaria de dicha clasificación.
- 11) Segmenta la máscara binaria de modo que cada grupo de píxeles contiguos sea un objeto.
- 12) De un objeto a la vez, realiza los siguientes pasos:
 - a. Obtiene el cuadro delimitador del objeto sin dato y duplica sus lados para delimitar un área
 - b. Para esa área, obtiene la diferencia entre el SRTM_{c1} y el SRTM-X, ASTER GDEM y SRTM-C de 90 metros.
 - c. Selecciona aleatoriamente el 70 % de los píxeles dentro del área delimitada y luego substraer de esa selección aquellos sin dato en el SRTM_{c1}.
 - d. Utiliza los píxeles seleccionados para ajustar una superficie polinómica de primer orden a los raster de diferencia obtenidos en 12.b.
 - e. Suma la superficie ajustada al respectivo MDE (el SRTM-X, ASTER GDEM o SRTM-C de 90 metros). Esto produce un MDE corregido.
 - f. Crea un área buffer de dos píxeles hacia afuera del objeto sin dato.
 - g. Para los píxeles del área buffer, obtiene la mediana de la diferencia entre el SRTM_{c1} y los MDE corregidos con la superficie ajustada.
 - h. Utiliza el menor valor absoluto de la mediana para seleccionar un MDE corregido. El MDE seleccionado lo usa para reemplazar los valores sin dato del objeto por valores de elevación.
- 13) Interpola las áreas sin dato restantes, las cuales son grupos de no más 50 píxeles contiguos.
- 14) Durante el proceso se crea un archivo raster que permite conocer que tipo de dato se utilizó en cada píxel del MDE final.

3. Resultados

Evaluación del SRTM_{c1}

No todos los archivos del SRTM_{c1} tienen la misma resolución espacial (Tabla 1), lo cual dificulta su procesamiento sistemático. La exactitud horizontal fue de 13.74 m RMSE_h, 9.72 m RMSE_x, y 18.52 m RMSE_y. La exactitud vertical fue de SRTM_{c1} 31,379 m RMSE (n=55).

Tabla 1. Número de archivos del MDE inicial en función de su resolución espacial. Solamente se reportan los archivos efectivamente procesados (ver Figura 2).

Resolución espacial (grados decimales)	Longitud	Latitud
0.000278	239	271
0.000393	1	1
0.000556	32	

En el SRTM_{c1} se observaron tanto áreas sin datos (Figura 3) como artefactos (Figura 4). En 14 de los 32 puntos iniciales se observaron áreas con al menos un artefacto (Anexo I); 9 de ellos pueden explicarse por presencia de agua en superficie. En la Figura 5 puede verse que el SRTM-X y el SRTM_{c1} tienen gran similitud mientras que el ASTER-GDEM es sustancialmente diferente. En la Figura 5a puede verse que el ASTER-GDEM modela correctamente el cambio abrupto de pendiente mientras que tanto el SRTM-X y como el SRTM_{c1} presentan errores. Por el contrario, en la Figura 5b el ASTER-GDEM, a diferencia de los otros modelos, presenta una intensa textura rugosa no observada en el terreno (consultar el Anexo para visualizar la imagen del Bing Maps).

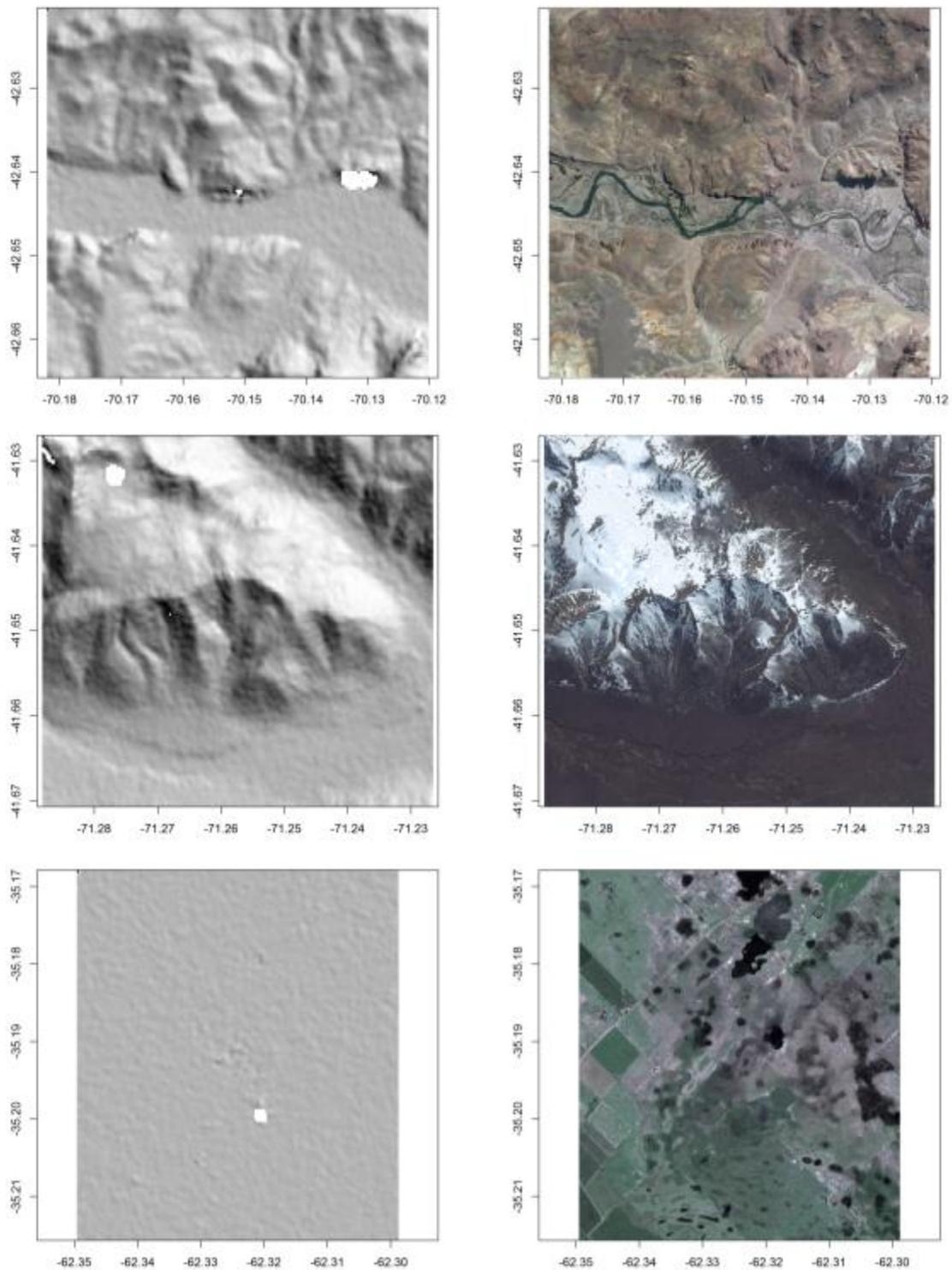


Fig. 3. La columna de la izquierda son sombras del relieve generada con el $SRTM_{c1}$ (fuente de iluminación a 45 grados de dirección y elevación). El área es de 2.5 km de lado con proyección geográfica (WGS84). La columna de la derecha son las imágenes de Bing Maps. En la escena superior, las áreas sin dato se corresponden con áreas de pendiente pronunciada con

orientación sur. En la escena central, el área sin dato del noreste se corresponde con un cuerpo de agua. En la escena inferior, no es clara la relación entre el área sin dato y la geomorfología o cobertura del terreno.

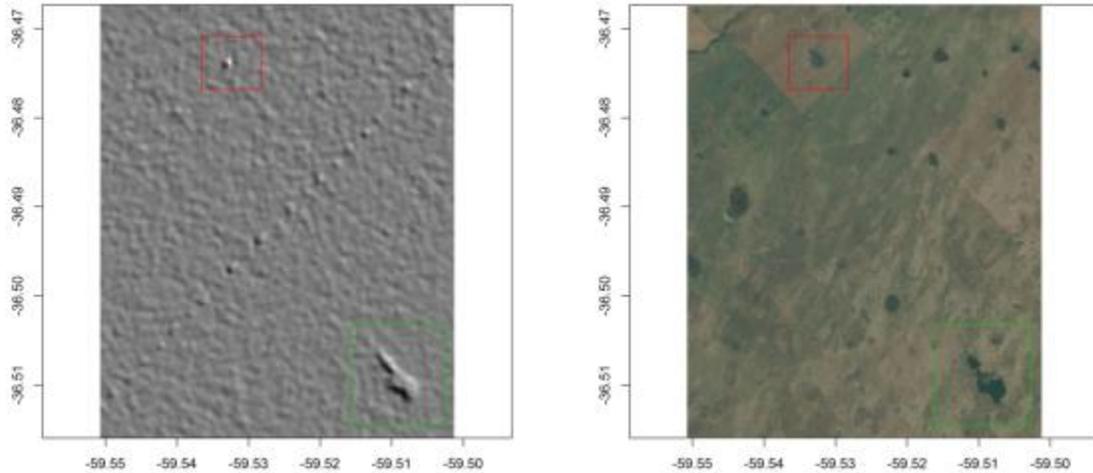


Fig.4. Izquierda, sombra del relieve generada con el $SRTM_{c1}$ (fuente de iluminación a 45 grados de dirección y elevación, realizada con respecto a la versión del Anexo). El área es de 2.5 km de lado con proyección geográfica (WGS84). Dentro del cuadro verde y en la imagen de la derecha puede verse una plantación. En la imagen de la izquierda se observan, mediante la proyección de sombras, los cambios de elevación que produce la plantación. En el cuadro rojo y en la imagen de la izquierda puede verse un objeto con una superficie aproximadamente circular y una altura similar a la plantación, sin embargo, en la imagen de la derecha no se observa un objeto geográfico correspondiente. Lo mismo sucede con la línea diagonal de puntos de la imagen izquierda. Es posible que estos cambios de elevación en el modelo sean producidos por infraestructura que no se corresponde en superficie y altura con el cambio de elevación modelado (por ejemplo, tendido eléctrico), por lo tanto, deben considerarse artefactos. Adicionalmente, puede verse una textura granular en la izquierda que no varía a pesar de que en la derecha vemos áreas rectangulares que acusan grandes diferencias en el tipo de cobertura vegetal (manejo diferente a nivel predial). Esta textura granular se trata de un error aleatorio.

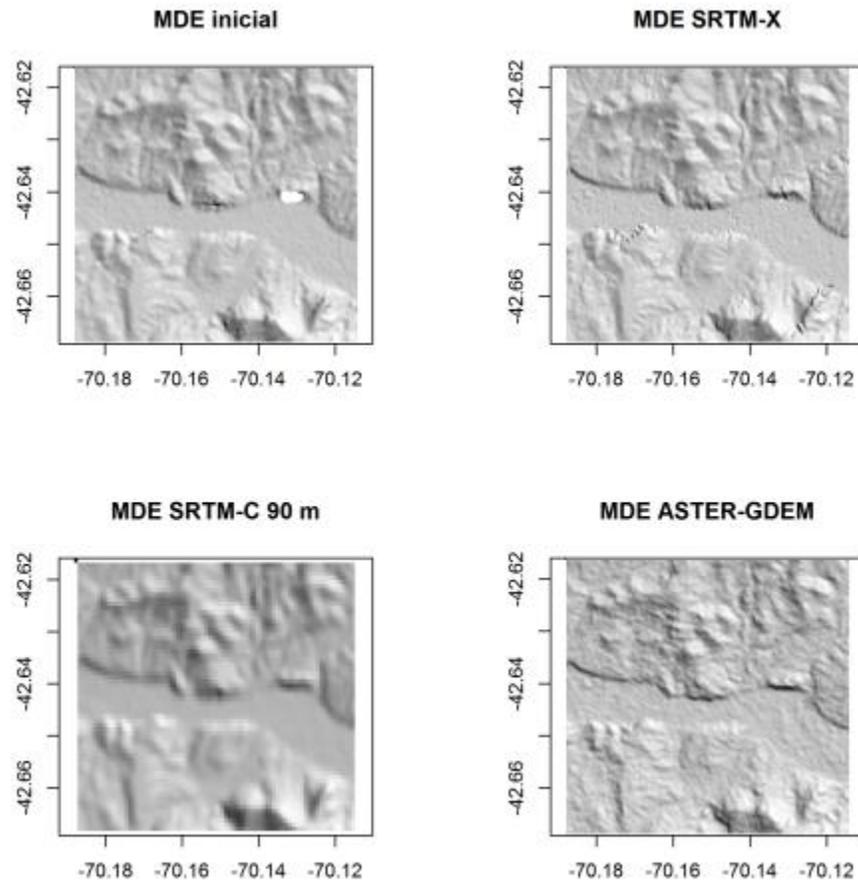


Fig.5a. Sombra del relieve generada con fuente de iluminación a 45 grados de dirección y elevación. El área es de 2.5 kilómetros de lado con proyección geográfica (WGS84). MDE inicial: $SRTM_{C1}$

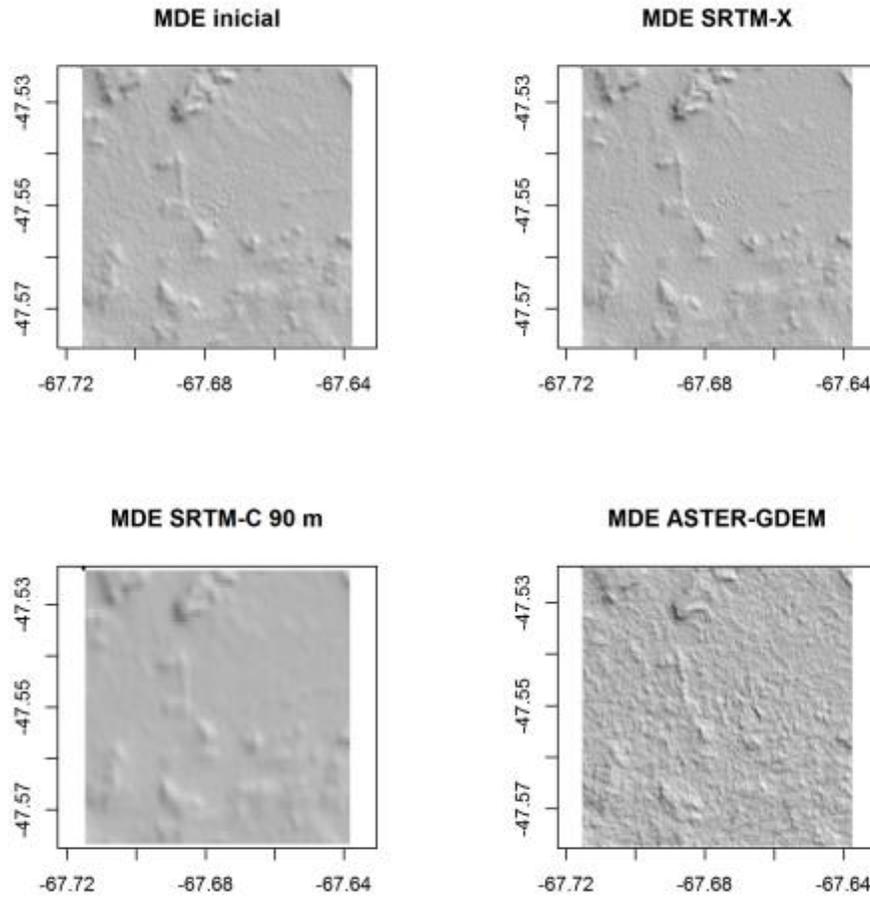


Fig. 5b. Sombra del relieve generada con fuente de iluminación a 45 grados de dirección y elevación. El área es de 2.5 kilómetros de lado con proyección geográfica (WGS84). MDE inicial: $SRTM_{C1}$

Establecimos que la altura de referencia del $SRTM_{C1}$ es el EGM96 comparando el $SRTM_{C1}$ con el SRTM-C, SRTM-X y ASTER-GDEM.

En la Figura 6 puede observarse un patrón de tendencia del error en el $SRTM_{C1}$ en función de la altitud; sin embargo, dicho patrón puede deberse a la baja representatividad que las mayores altitudes tuvieron en la muestra. Escapa a los objetivos de este trabajo poner a prueba la significancia estadística de dicha tendencia.

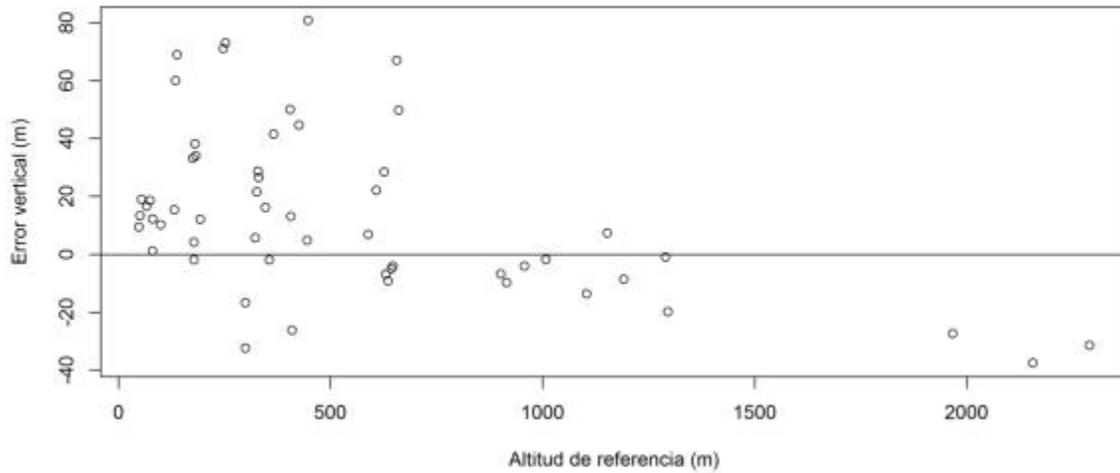


Fig. 6. Error vertical en relación con la altitud respecto al elipsoide WGS84.

Modelo SRTM_{C1.1}

El producto final (SRTM_{C1.1}) consiste de un modelo continuo (Figura 7) con sus correspondientes archivos de Metadatos, como a continuación se presenta un ejemplo:

 Inicio: 2014-06-04 17:51:30

fin: 2014-06-04 18:20:55

Metadato DN 0: SRTM-C (1 arco de segundo) provisto por CONAE

Metadato DN 1: SRTM-X (C)DLR descargado del EOWEB

Metadato DN 2: ASTER GDEM Versión 2 (<http://gdem.ersdac.jspacesystems.or.jp/>)

Metadato DN 3: SRTM-C (3 arcos de segundo) (<http://srtm.csi.cgiar.org/>)

Metadato DN 4: Interpolación

Resolución espacial x (grados): 0.00027777777839488

Resolución espacial y (grados): 0.00027777777839488

Referencia: Procesado por el Laboratorio de Geomática del CIEFAP

Contacto: Dr. Gastón Mauro Díaz (gdiaz@ciefap.org.ar)

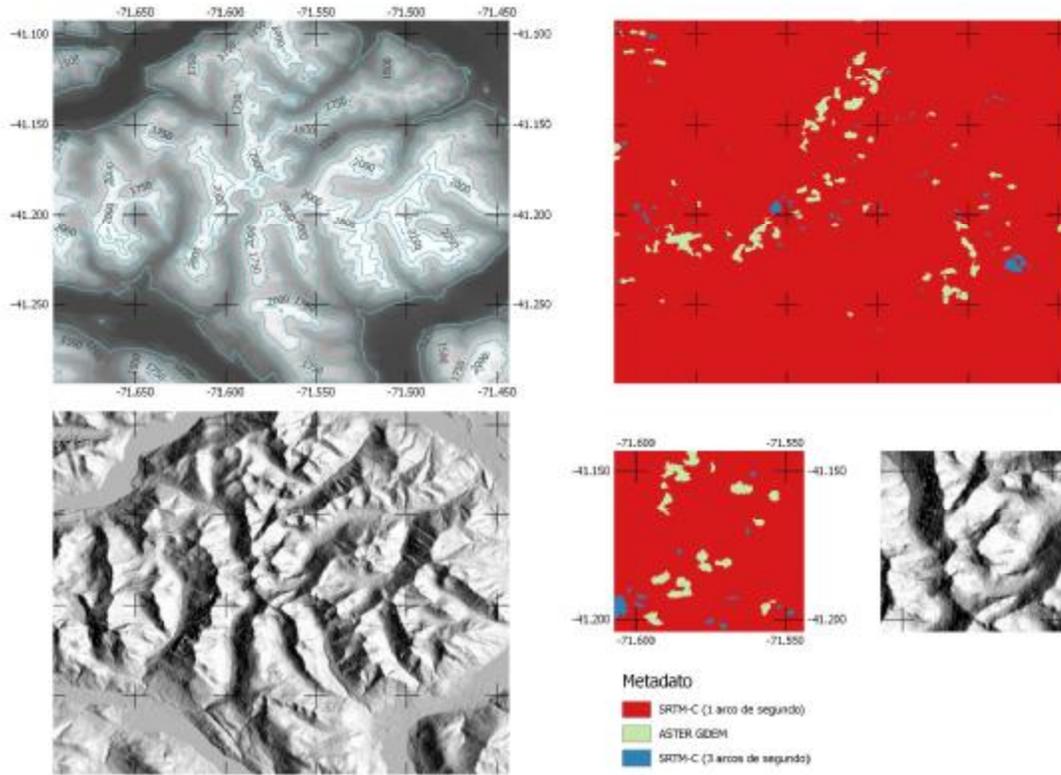


Fig. 10. Recorte del producto final. Arriba a la izquierda, MDE y curvas de nivel con equidistancia de 250 metros. Arriba a la derecha, metadatos. Abajo a la izquierda, sombra del relieve. Abajo a la derecha, subfiguras de metadatos y sombra del relieve. Se destaca que en la sombra del relieve no se observan artefactos en los límites entre diferentes modelos.

Discusión

La evaluación del $SRTM_{c1.1}$ sugiere que se trata del modelo de mayor exactitud disponible para toda la región, y seguramente también para el resto del país. La cobertura del $SRTM-X$ podría ser localmente continua pero es regionalmente parcial. Otras alternativas son el ASTER GDEM y el $SRTM-C$ de 90 m, pero ambos tienen menor exactitud que el $SRTM_{c1.1}$. Otra ventaja del $SRTM_{c1.1}$ es que, aunque presenta artefactos, su frecuencia es baja, como sugiere el análisis cualitativo realizado.

La mayoría de los análisis o procedimientos que involucran MDE requieren que estos sean continuos y, como se muestra en la Figura 3, el $SRTM_{c1}$ presenta áreas sin dato. No se realizó una evaluación sistemática y cuantitativa del procedimiento de edición. Una forma de llevar a cabo dicha evaluación es generando áreas sin dato en forma artificial, como fue realizado por Karkee et al. (2008). Además, podría implementarse en R la propuesta de Karkee et al. (2008) y el *delta surface filling* y realizar un análisis comparativo de los resultados. Otros aspectos importantes a tener en

cuenta con respecto al SRTM_{c1.1} es que aún contiene artefactos y ruido, siendo posible desarrollar algoritmo para su edición.

Conclusión

El MDE entregado por CONAE al laboratorio de Geomática es el modelo con cobertura regional de mayor exactitud disponible actualmente. Aunque presenta artefactos, estos se observan con baja frecuencia. Su principal desventaja son las áreas sin dato. En este informe fue presentado el algoritmo para utilizado para asignar valores a las áreas sin dato. La inspección visual del resultado fue satisfactoria, quedando pendiente su análisis sistemático y cuantitativo. Además, podrían realizarse futuros trabajos para editar los artefactos existentes en forma automática.

Referencias Bibliográficas

- AGUILAR, M., AGUILAR F., AGÜERA F. Y SÁNCHEZ J., 2007. Geometric accuracy assessment of Quickbird basic imagery using different operational approaches, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 73, 12, 1321-1332.
- AGUILAR M, AGUERA F, AGUILAR F & CARVAJAL F., 2008. Geometric accuracy assessment of the orthorectification process from very high resolution satellite imagery for Common Agricultural Policy purposes. *International Journal of Remote Sensing*. 29 (24): 7181-7197.
- CHMIEL, J., KAY, S. AND SPRUYT, P., 2004. Orthorectification and geometric quality assessment of very high spatial resolution satellite imagery for Common Agricultural Policy purposes. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Istanbul, Turkey, Vol. XXXV, Part B4, 5 p. (On DVD).
- BLASCHKE T., S. LANG, G HAY. 2008. *Object-Based Image Analysis: Spatial Concepts for Knowledge-Driven Remote Sensing Applications*. Heidelberg, Berlin, New York: Springer, , p. 818.
- CONGALTON R. AND K. GREEN, 2009. *Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices*, 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, p. 210.
- CROSETTO, M. AND B. CRIPPA. 1998. Optical and RADAR data fusion for DEM generation. *IAPRS*. 32(4).
- GROHMANN, G., KROENUNG, G., STREBECK, J., 2006. Filling SRTM Voids: The Delta Surface Fill Method. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 72(3), pp. 213–216.
- CONGALTON, R., Green, K., 2009. *Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices*, 2nd ed. CRC Press, Boca Raton.
- 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. *Rev. Geophys.*, vol. 45, no. 2, p. 33.
- FELLOWS, I., 2013. *OpenStreetMap: Access to open street map raster images*.

- HENGL, T., REUTER, H., 2009. GEOMORPHOMETRY Concepts, Software, Applications, Developmen. ed. Elsevier, Amsterdam.
- JUNFENG, X., JINGFENG, H., 2006. Orthorectification of IKONOS and impact of different resolution DEM. *Geo-spatial Inf. Sci.*, vol. 9, no. 2, 108–111 pp.
- KARKEE, M., Steward, B., Aziz, S., 2008. Improving quality of public domain digital elevation models through data fusion. *Biosyst. Eng.* 101, 293–305.
- LENCINAS, J. D., 2011. Tecnología geomática para la evaluación de bosques nativos en patagonia. CIEFAP, 2011.
- LENCINAS, J. D., DÍAZ, G. M., 2011. Incidencia de los modelos digitales de elevación en la corrección geométrica de datos satelitales Quickbird: caso del SRTM-C, SRTM-X y ASTER GDEM, *Geofocus*, vol. 11, pp. 431–454.
- REINARTZ, M LEHNER, D HOJA, R MÜLLER, M SCHROEDER, 2005. Comparison and fusion of DEM derived from SPOT-5 HRS and SRTM data and estimation of forest heights. Proc. of the 25th EARSeL Symposium, Porto, Portugal.
- RICHTER R. 2007. Atmospheric and Topographic Correction for Satellite Imagery: Atcor-2/3 User Guide, Version 6.3, January 2007. Germany: DLR-German Aerospace Center and Remote Sensing Data Center, 134 p.
- SEFERCIK U, JACOBSEN K, ORUC M & MARANGOZ A. 2007. Comparison of SPOT, SRTM and ASTER DEMs. *Int Arch PhRS XXXVI. Band 1/W51*. Hannover.
- TOUTIN T. 2004. REVIEW PAPER. Geometric processing of remote sensing images: models, algorithms and methods. *International Journal of Remote Sensing*.25 (2004): 1893-1924.
- TOUTIN.T. 2008. ASTER DEMs for geometric and geoscientific applications: A review. *Int. J. Remote Sens.*, Vol.29, No.7,pp.1855-1875.

ANEXO I

Evaluación cualitativa

Con el método descrito en "Evaluación cualitativa" se localizaron las siguientes 14 escenas de 2,5 kilómetros de lado con al menos un artefacto.

