



DÍAZ ET AL. (2011) Revista Chilena de Historia Natural 83: 509-521.

Sobre el procesamiento de los datos satelitales: Clasificación en estratos, generación de un modelo digital de elevación y corrección geométrico-radiométrica

On the satellite data processing: Strata classification, digital elevation model building and geometric-radiometric correction

Este documento complementa al artículo “Teledetección satelital cuantitativa para estimar el área basal del bosque de *Nothofagus pumilio* (Nothofagaceae): el rol del índice de área foliar como información auxiliar”. Su fin es detallar los métodos de estratificación del área de estudio y de corrección geométrico-radiométrica de los datos SPOT-5.

CLASIFICACIÓN EN ESTRATOS

Para realizar el artículo fue necesario clasificar el área de estudio en estratos. Si bien el trabajo tuvo como objetivo comparar la exactitud de tres métodos para estimar el área basal de la lenga (*N. pumilio*) con datos SPOT-5, se utilizaron datos de resolución espacial más alta para la estratificación; siendo el fin de ello optimizar los esfuerzos de muestreo y minimizar el error experimental.

Se utilizó una imagen QuickBird sin nubes del 1/12/2008. Los datos son de 2.4 m de resolución espacial y de cuatro bandas producidas a 11 bit en la región del espectro electromagnético del azul, verde, rojo e infrarrojo cercano. La imagen fue preprocesada con métodos equivalentes a los utilizados para SPOT-5, los cuales son detallados en el apartado “Corrección geométrica y radiométrica de los datos SPOT-5”.

Fue utilizado el software Definiens Developer 7 (actualmente evolucionado a eCognition Developer 8, <http://www.ecognition.com/products/ecognition-developer>) para realizar un análisis de imágenes basado en objetos (AIBO) (Blaschke et al. 2008,

Blaschke 2010). Esta tecnología permite procesar datos de muy alta resolución espacial (con los que no es posible abordar un análisis a nivel de pixel), como es el caso de los datos QuickBird utilizados en la estratificación (Lamonaca et al. 2008).

Uno de los pasos necesarios para realizar un AIBO es segmentar la imagen en regiones discretas internamente coherentes y diferentes de su entorno (objetos de la imagen). La estratificación fue abordada con segmentación en dos niveles, el nivel superior (forma y tamaño equivalente a rodales) fue obtenido con los parámetros escala = 70, forma = 0.2 y compacidad = 0.5; el nivel inferior (forma y tamaño equivalente a copas individuales), mediante los parámetros 10, 0.1 y 0.2, respectivamente. En el siguiente paso, los objetos del nivel superior fueron clasificados en las cuatro coberturas detalladas en la Fig. 1. Para ello fue utilizado el algoritmo Nearest Neighbor. Para el entrenamiento de dicho algoritmo se seleccionaron 15 objetos por clase mediante interpretación visual y el conocimiento adquirido durante la exploración del área.

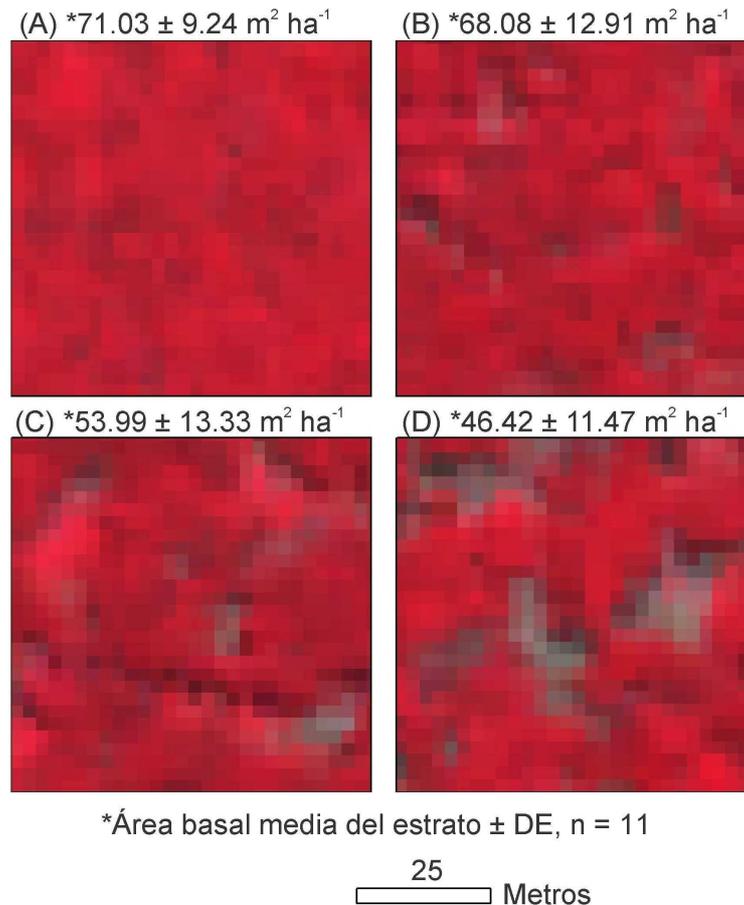


Fig. 1: Datos QuickBird multispectrales (RGB: infrarrojo cercano, rojo, verde). Estratos del área de estudio: (A) cobertura continua de copas con estructura vertical homogénea; (B) cobertura continua de copas con estructura vertical heterogénea; (C) cobertura discontinua de copas con claros de cinco a veinte metros de radio y (D) cobertura discontinua de copas con alta frecuencia espacial de claros mayores a 15 m de radio.

QuickBird multispectral data (RGB: near-infrared, red, green). Study site strata: (A) continuous crown cover with vertical structural homogeneity; (B) continuous crown cover with vertical structural heterogeneity; (C) discontinuous crown cover with five to twenty meter radius clearings and (D) discontinuous crown cover with high spatial frequency of clearings more than 15 m radius.

CORRECCIÓN GEOMÉTRICA Y RADIOMÉTRICA DE LOS DATOS SPOT-5

El desnivel propio de las áreas montañosas provoca errores sistemáticos de geolocalización en la imagen en bruto, los cuales pueden ser corregidos (proceso de ortorrectificación) si se dispone de un modelo digital de elevación (MDE) (Toutin 2004b). Para corregir radiométricamente imágenes satelitales de áreas montañosas, además de una calibración y corrección atmosférica, se requiere de la corrección del efecto del relieve, proceso para el que también se debe utilizar un MDE (Liang

2003, capítulo 2). Por falta de datos de elevación con la frecuencia espacial y exactitud altimétrica adecuada, debió construirse un MDE con datos satelitales.

Generación del MDE y estimación de su exactitud altimétrica

El PRISM (del inglés Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping) es un sensor óptico pancromático (520 a 770 nm) con resolución espacial de 2.5 m en el nadir y tres sistemas ópticos independientes con la capacidad de generar datos estereoscópicos simultáneos a

lo largo de la órbita. Fue diseñado para obtener MDE de 10 m de resolución espacial con RMS menor a 5 m. Se encuentra a bordo de la plataforma satelital ALOS (del inglés Advanced Land Observing Satellite) lanzada en el 2006 por la Agencia Japonesa de Exploración Aeroespacial (Díaz et al. 2010).

Se utilizaron datos PRISM tomados el 17/03/2008. Para su procesamiento se empleó el software Geomatica PCI 10.1.3. El modelo fue ajustado con 43 GCP estereoscópicos distribuidos en toda la imagen, alcanzando un RMS de 15 m en el plano horizontal y 8 m en el vertical.

La exactitud altimétrica del MDE PRISM fue de 16 m de RMS con error medio (\pm DE) de 14 ± 10 m, calculado con la

geolocalización de las 44 unidades de muestreo medidas en el bosque (véase “Métodos” del artículo). Considerando que se trata de un modelo digital de superficie, la altura media del dosel forestal fue sumada a la altura del terreno.

Corrección geométrica: Ortorrectificación

Los datos SPOT-5 1A DIMAP fueron ortorrectificados con el software Geomatica PCI 10.1.3. Se utilizó el modelo físico de Toutin (Toutin 2004a), 31 GCP y el MDE PRISM. En la Fig. 2 se representa la distribución de los GCP, diferenciándose la fuente y exactitud de los mismos (el modelo de Toutin requiere que los GCP se distribuyan en toda la escena).

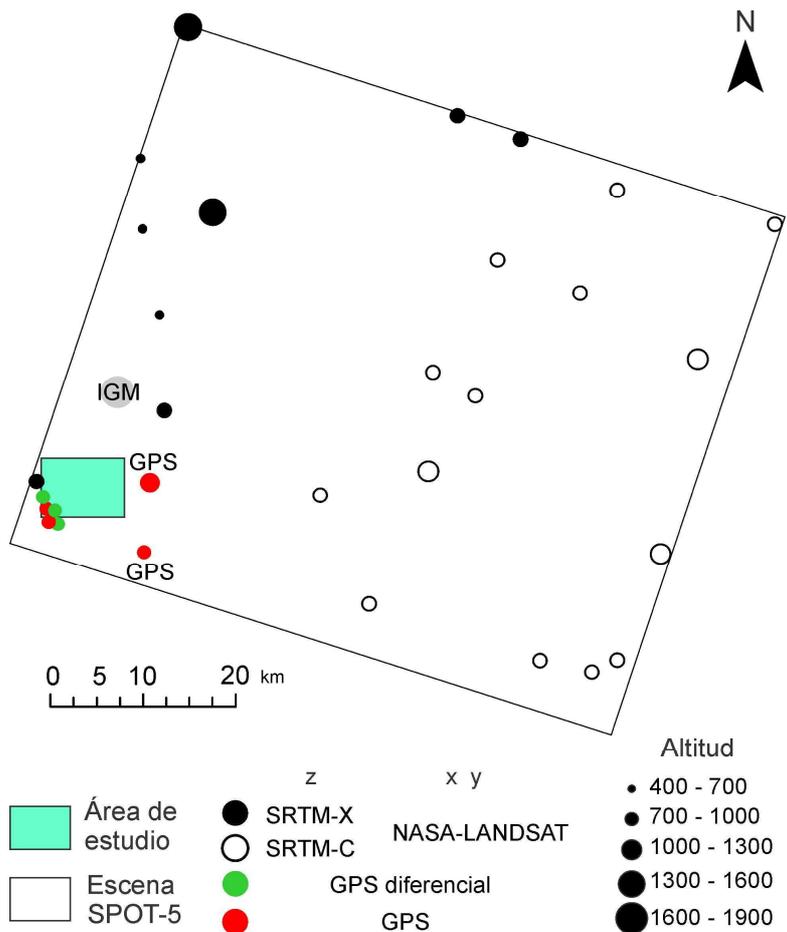


Fig. 2: Distribución espacial de los GCP en la escena SPOT-5. GCP spatial distribution over the SPOT-5 scene.

La fuente Nasa-Landsat se refiere a las imágenes Landsat ortorrectificadas de la base de datos de la Nasa (Tucker et al. 2004), la cual tiene cobertura mundial para tres periodos, el de los 70', el cercano al 90 y el cercano al 2000. En este trabajo fueron utilizadas dos escenas del último periodo. Con el fin de disminuir el error al localizar los GCP en la imagen, se realizó una fusión entre las bandas multiespectrales de 28.5 m y la banda pancromática de 14.25 m. Cuando se utilizó la fuente Nasa-Landsat, la altitud fue extraída de los MDE SRTM-X (© DLR, <http://eoweb.dlr.de>) o SRTM-C (<http://srtm.csi.cgiar.org>). La fuente GPS se refiere a mediciones en el terreno con un navegador convencional, esperándose errores absolutos menores a 15 metros. La fuente GPS diferencial se trata de puntos medidos en el terreno con exactitud decimétrica. La fuente IGM se refiere al mapa topográfico de escala 1:100000 realizado por el ex Instituto Geográfico Militar argentino (<http://www.ign.gob.ar>). Como resultado, el modelo de Toutin fue ajustado con un RMS de 15.95 m (12.28 m en x; 10.17 m en y).

Estimación de exactitud planimétrica

Desde el punto de vista de la propagación de errores aleatorios, el error en la imagen ortorrectificada (ortoimagen) puede expresarse como la suma del error en la etapa de ajuste del modelo de ortorrectificación y el error producido por el MDE (Aguilar et al. 2007). Para calcular este último se debe conocer cómo el modelo de ortorrectificación propaga el error de los MDE a las ortoimágenes. Para el caso del modelo de Toutin puede utilizarse un sencillo gráfico de curvas publicado en Toutin (1995), el cual predice el error planimétrico en función del error en los MDE y el ángulo de observación fuera del nadir. Mediante dicho gráfico se estima que, al

utilizar un MDE de 16 m de RMS para ortorrectificar los datos SPOT 5 con ángulo de 18°, el error planimétrico producido por el MDE es de 5 m de RMS. Entonces, considerando que el RMS del ajuste del modelo fue de 15.95 m (reportado en el apartado anterior), el error en la imagen ortorrectificada debe ser de 20.95 m de RMS (15.95 + 5), que es el resultado de sumar el error en el ajuste del modelo y el error producido por el MDE (Lencinas & Díaz en prensa).

Corrección radiométrica

Los datos fueron calibrados y corregidos por los efectos de la atmósfera y del relieve mediante el modelo ATCOR-3 del software ATCOR-2/3 7.1. Se utilizaron los valores de calibración de los metadatos de la imagen. De los tipos de atmosfera disponibles en el software, se utilizó el rural porque su descripción se corresponde con el paisaje del área de estudio. Debido a la reducida extensión del área, se asumió una visibilidad (i.e. espesor óptico de aerosoles) constante. Para la corrección del efecto del relieve fue utilizado el MDE PRISM. En la Fig. 3 se visualiza el efecto de la calibración, corrección atmosférica y del efecto del relieve.

LITERATURA CITADA

- AGUILAR MA, FJ AGUILAR, F AGÜERA & JA SÁNCHEZ (2007) Geometric accuracy assessment of quickbird basic imagery using different operational approaches. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 73: 1321-1332.
- BLASCHKE T, S LANG & GJ HAY (2008) *Object-based image analysis: spatial concepts for knowledge-driven remote sensing applications*. Springer. Heidelberg, Berlin, New York.

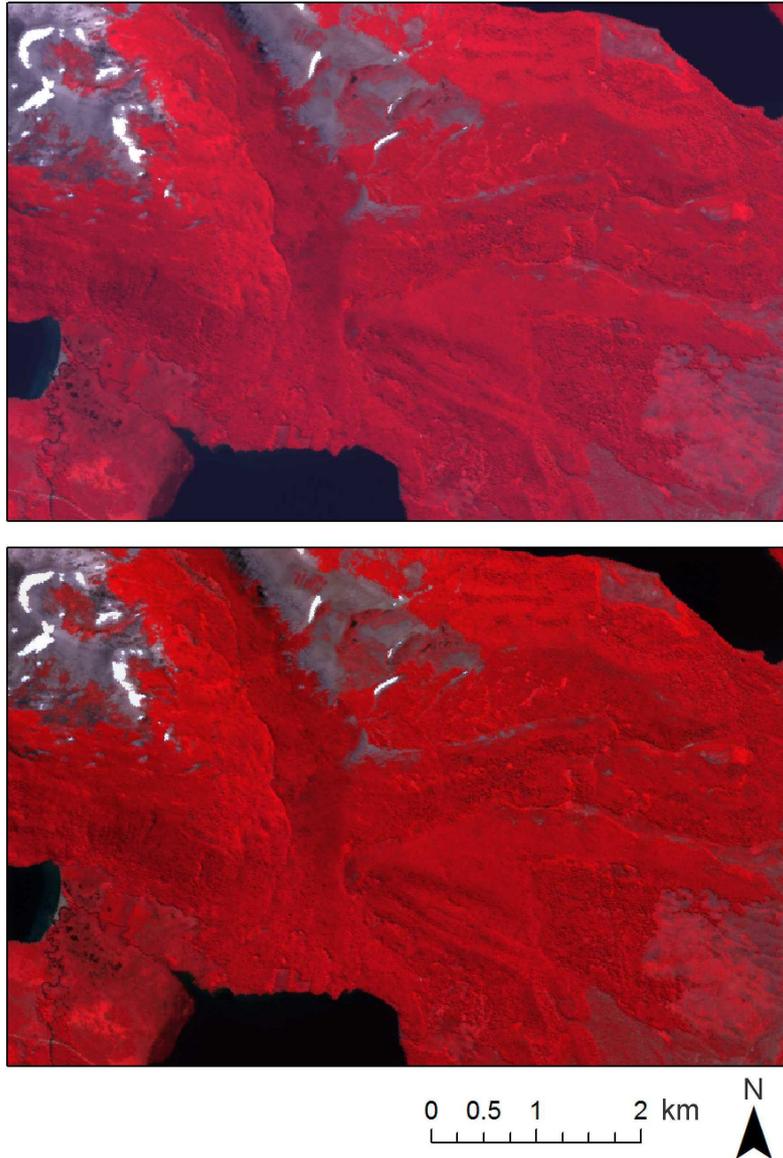


Fig. 3: Corrección atmosférica y del efecto del relieve. Imagen SPOT-5 (RGB: infrarrojo cercano, rojo, verde; sin realce); arriba, sin corregir; abajo, corregida.

Atmospheric/topographic correction. SPOT-5 image (RGB: near-infrared, red, green; without histogram stretching); up, uncorrected; down, corrected.

BLASCHKE T (2010) Object based image analysis for remote sensing. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 65: 2-16.

DÍAZ G, D MOHR-BELL & JD LENCINAS (2010) Modelos digitales de elevación de alta resolución: Extracción con datos del satélite ALOS. *Patagonia Forestal (Argentina)* 54: 5-8.

LAMONACA A, P CORONA & A BARBATI (2008) Exploring forest structural complexity by multi-scale segmentation of VHR imagery. *Remote Sensing of Environment* 112: 2839-2849.

LENCINAS & DÍAZ (en prensa) 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 (España)*.

- LIANG S (2003) Quantitative remote sensing of land surfaces. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken.
- TOUTIN T (1995) Multi-source data fusion with an integrated and unified geometric modelling. *EARSeL. Advances in Remote Sensing* 4: 118-129.
- TOUTIN T (2004a) DSM generation and evaluation from QuickBird stereo imagery with 3D physical modelling. *International Journal of Remote Sensing* 25: 5181-5193.
- TOUTIN T (2004b) Review article: Geometric processing of remote sensing images: Models, algorithms and methods. *International Journal of Remote Sensing* 25: 1893-1924.
- TUCKER CJ, DM GRANT & JD DYKSTRA (2004) NASA's global orthorectified Landsat data set. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 70: 313-322.