



Modelo Digital de Elevaciones (D.E.M.) Área Sierra El Gigante (Prov. San Luis), Densificación a Partir de Datos de Restitución Aerofotogramétrica.

Sisti, Jorge⁽¹⁾; Soto, Leandro⁽²⁾.

^(1,2) Facultad de Ingeniería U.N.L.P. / Agrimensura, Calle 47 esq. 116 (1900) La Plata, prov. Bs. As.

⁽¹⁾ Dr. en Agrimensura, Agrim. Ing. Hidr. y Civil, Prof. Titular Ord. Fotointerpretación – Percepción Remota. Prof. Tit. Int. Trabajo Final. jsisti@ing.unlp.edu.ar

⁽²⁾ Agrimensor, Prof. Adj. Ord. Cartografía – Sistemas de Información Geográfica. sotoleandro@gmail.com

RESUMEN

Con el objetivo de hallar un modelo de elevaciones del terreno confiable sobre una zona de 130 km², se analizaron diversas posibilidades de obtención del mismo. Se optó por realizarlo a partir de datos de restitución fotogramétrica convencional: puntos aerotriangulados, datos 3 D (breaklines/drenaje) y datos 2D (curvas de nivel). Se disponían además en un sector relativamente pequeño, datos de mensura DGPS, vértices aislados con sus tres coordenadas. El autor además, tiene conocimiento personal de la zona de trabajo y de los datos fotogramétricos.

Utilizando datos seleccionados, se generó una grilla de 5m x 5m sobre toda el área de trabajo (mas de 6 millones de puntos) para luego darle como atributo su cota (altura ortométrica), aplicando criterios de interpolación apropiados. A partir de dicha grilla se generó una imagen DEM raster de 2m de tamaño de pixel.

Sobre el DEM resultado, fueron controlados los puntos las alturas correspondientes a puntos del terreno que no fueron utilizados en la generación del mismo, obteniendo una calidad superior a la esperada inicialmente.

PALABRAS CLAVE: Modelo digital de Elevaciones, D.E.M., Restitución Fotogramétrica, ANUDEM.

OBJETIVO

Obtener un D.E.M. con calidad controlada en la zona de Sierra El Gigante, provincia de San Luis, sobre un área extendida. El DEM resultante se utilizaría para producción minera, principalmente planificar actividades de extracción de piedra caliza. Debido a la topografía muy “rugosa”, podría ser aceptable apartamientos en valores individuales de hasta 1 m en altura, mientras no produjera deformaciones importantes del relieve representado.

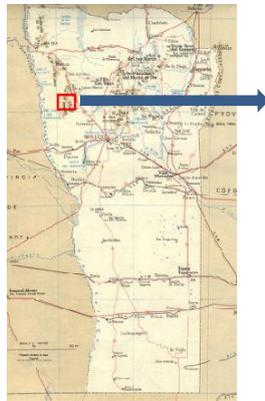
INTRODUCCIÓN

Los modelos de elevaciones del terreno en formato digital son un requerimiento habitual para diferentes tipos de exploraciones y explotaciones, por ejemplo las mineras, así como para proyectos de ingeniería. Los modos de obtención actuales son variados, prevaleciendo para áreas extensas los basados en imágenes satelitales estereoscópicas con tratamiento fotogramétrico “convencional”, mientras que para áreas reducidas tienden



a ser utilizados drones con cámaras especiales que permiten con software especializado obtener con procesos *hiper o multi-estereoscópicos* buenos resultados.

Sobre una amplia zona de más de 13.000 Ha (130 km²) se disponían en soporte digital datos 2D y 3D provenientes de un relevamiento aerofotogramétrico, útiles para producir un DEM de buena precisión. La solución actual de imágenes satelitales no hubiera podido alcanzar las mismas precisiones, teniendo además costos altos y tiempos de procesos prolongados. Parta tener un pauta de comparación: el I.G.N. produce modelos fotogramétricos digitales (los de mayor calidad del país actualmente) a partir de imágenes con 20 cm de resolución espacial, siendo el producto DEM habitual grillas de 7m x 7m y con ajustes en altimetría menores que 1 m (han sido verificados con controles de campo ajustes en altimetría del orden de 70 cm).



El área de trabajo se sitúa en el norte de la provincia de San Luis, y se observa en la imagen satelital ampliada sobre la zona, el relieve predominantemente

“rugoso” de la zona de interés en la zona de sierra El Gigante. El sector nor-este es menos variado en cuanto a topografía; hay un colector fluvial principal que escurre de este a oeste, se observa en color blanco por ausencia de agua en superficie (“rio seco”); observándose en la zona central de sierras en colores celestes zonas de extracción minera (canteras).

METODOS

El conocimiento de los medios tecnológicos disponibles para acceder al producto de interés, Modelo Digital del Elevaciones (“DEM”, por su sigla en inglés) con las precisiones esperadas, sumado al conocimiento de los datos disponibles, permitieron seleccionar como solución técnica la densificación de la restitución fotogramétrica realizada a partir de un vuelo fotogramétrico de 1998, por sobre otras alternativas actuales: a) Restitución estereoscópicas de imágenes satelitales; b) Relevamiento con drones fotogramétricos. La primera alternativa (imágenes satelitales) requiere adquisición de al menos dos nuevas imágenes de alta resolución (aprox. 50 cm), y su procesamiento posterior. Los plazos estimados no bajaban de los 60 días, con precisiones altimétricas que difícilmente pudieran mejorar 3 a 5 m. La alternativa *dron* permitía esperar precisiones plani-altimétricas superiores (pocos decímetros), pero los plazos y costos para un área tan extendida eran imprevisibles ya que no hay antecedentes exitosos en el país para un área tan extensa y “movida”, tanto por razones operativas como económicas. Como se mencionó anteriormente la mejor tecnología del país para grandes superficies y productos de calidad

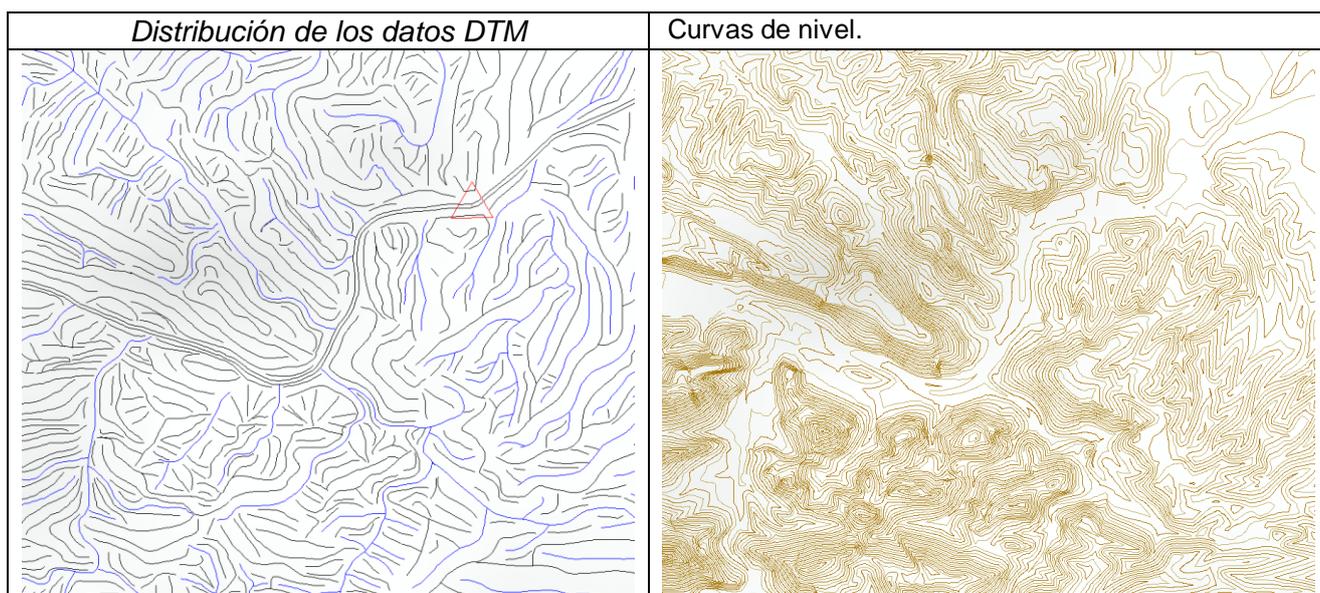


controlada la está utilizando el IGN, con relevamientos programados, que no incluyen ésta región geográfica por el momento.

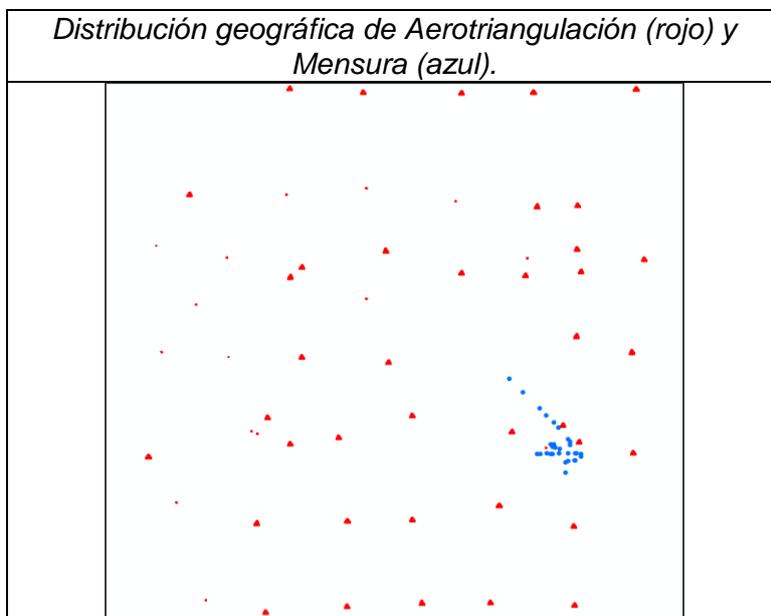
Por otra parte, el conocimiento de los datos existentes, su modalidad de captura y métodos de producción, sumado al conocimiento in situ de la zona, permitieron resolver que la mejor opción con buenos resultados compatibles con los requerimientos, era la densificación de los datos provenientes de restitución fotogramétrica, aún a sabiendas que en las zonas de canteras especialmente, mostrarían información desactualizada.

- **Datos Disponibles:**

A) Archivos de AutoCAD con vectores georreferenciados en coordenadas cartográficas Gauss Krüger faja 3, sistema Campo Inchauspe (sistema o datum vigente en el país a la fecha de ejecución del relevamiento). En figuras abajo se muestra la distribución de los datos 3 D (breaklines/drenaje) y los datos 2D (curvas de nivel) disponibles.



B) B.1, archivo de AutoCAD con puntos 3D, provenientes de la aerotriangulación utilizada para generar la restitución; B.2, listado excel de coordenadas de coordenadas plani-altimétricas correspondientes a una mensura realizada con técnicas DGPS dentro de la zona de interés en un área relativamente reducida. Las coord. planimétricas todas en el mismo sistema referido en A, con decimales; las coordenadas altimétricas en sistema altimétrico cotas IGM/IGN; las indicadas en B.2, expresadas al metro (sin decimales).



Para realizar la densificación del DEM con criterios que respeten la descripción del terreno, se resolvió utilizar como *input* solamente el archivo 3 D (breaklines/drenaje), descartándose utilizar las curvas de nivel. Tanto los datos puntuales de aerotriangulación, mensura DGPS, como curvas de nivel, se utilizarían para control de calidad del producto final. Los puntos dato utilizados fueron más de 600.000, lo que permite estimar una disponibilidad de 46 pto./ha., aunque la distribución no es homogénea.

Para la generación de los datos nuevos, se realizó control sobre el ingreso de los datos, la densidad de puntos razonable y representativa del paisaje (muy “rugoso” o movido), el peso a otorgar a los puntos datos y los algoritmos de interpolación.

Se definió un espaciamiento de 5m x 5m (dando origen a 6 millones de puntos, una densidad 10 veces superior a la disponible al comenzar, ahora con mayor homogeneidad).

Conociendo los datos origen y las metodologías empleadas, la confiabilidad altimétrica del resultado pudo estimarse cercana a los 1,5 m en la mayoría de los casos, con apartamientos puntuales que no superaran 3 veces ese valor.

- **Procesos**

En primera instancia se recortó el archivo vectorial 3D al área de interés. Sobre dicha área se generó una grilla regular de puntos con espaciamiento 5 m. El trabajo de densificación del DEM consistió esencialmente en asignarle una cota a cada punto, en base a los datos disponibles. El método de interpolación seleccionado utilizó los criterios TIN (algoritmos de redes irregulares de triángulos) y ANUDEM, método de interpolación diseñado específicamente para crear modelos digitales de elevación “hidrológicamente correctos”; adicionalmente, se aplicó un criterio *buffer* que contempló que si el nuevo punto de la grilla estaba dentro de un entorno de 1m de un punto dato, se le asignó dicha cota (sin realizar interpolación).

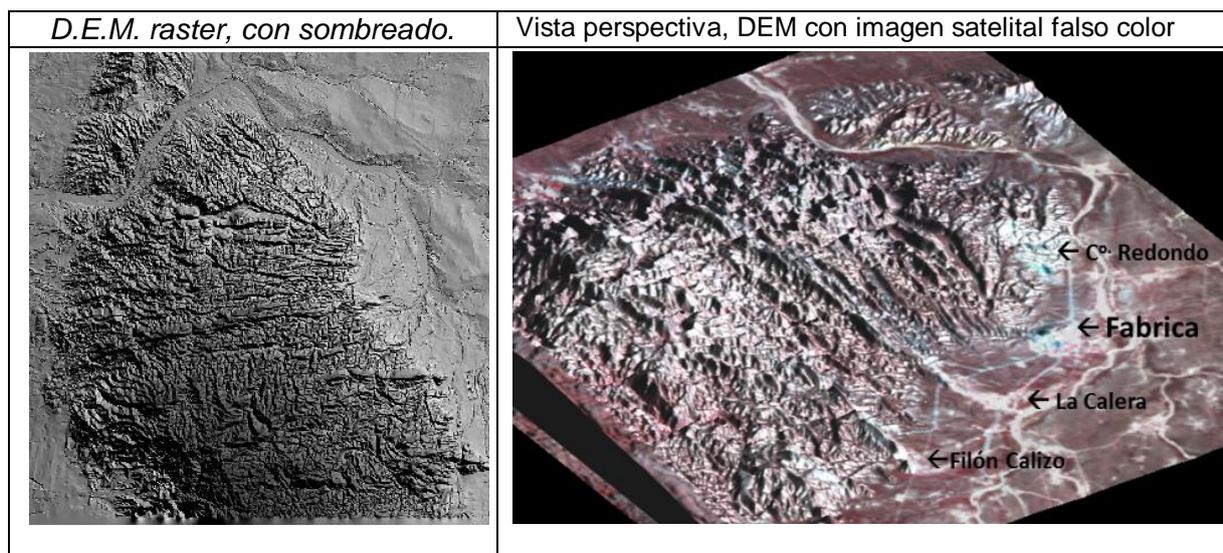


Por otra parte, dado que actualmente se está utilizando otro datum cartográfico en la cartografía oficial (Posgar 2007, referido también como WGS'84), los archivos digitales fueron re-proyectados en coordenadas cartográficas Gauss Krüger faja 3 en éste sistema.

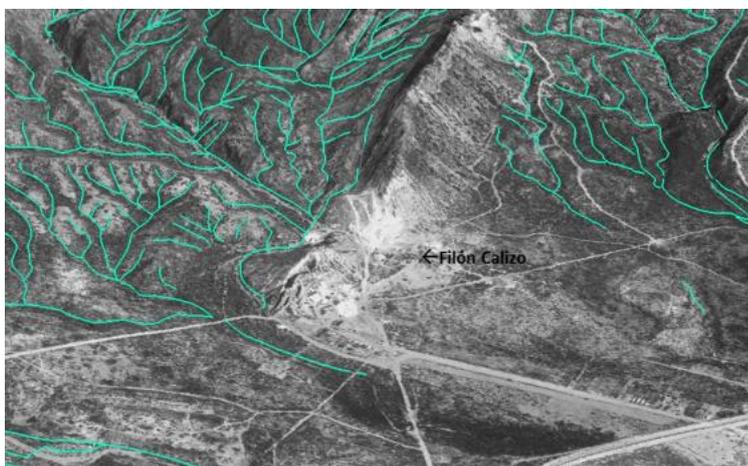
- **Productos**

Los productos del trabajo fueron:

- 1) 1.a: DEM en formato de texto (.txt), éste archivo tuvo un peso de más de 200 Mb.;
1.b: DEM formato AutoCAD en cuatro cuadrantes; en la proyección cartográfica arriba referida, en dos sistemas de referencia (Campo Inchauspe 1969 y Posgar 2007).
- 2) Subproductos: 2.a: DEM en format raster (como imagen georeferenciada) con resolución 2m; DEM formato GIS (.shp); Vistas Perspectivas (utilizando DEM, imagen satelital y ortofoto). 2.b: accesorios (no vinculados al DEM): Ortofoto1998, Imagen satelital Landsat 8 (OLI) 21agosto2016



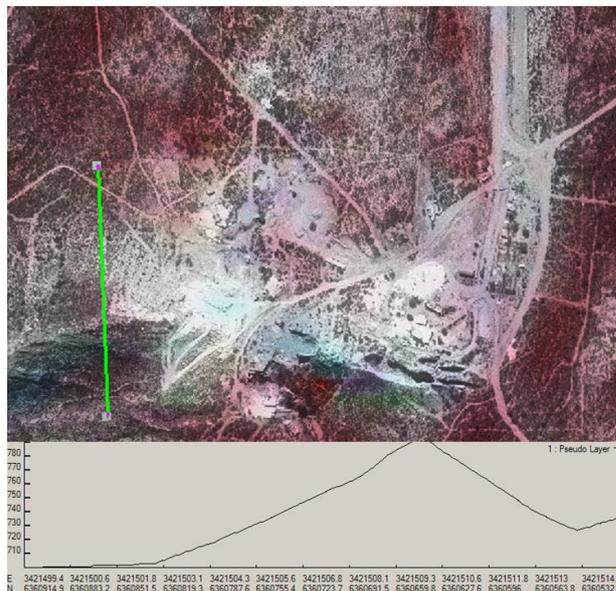
Perspectiva con DEM, ortofoto y vectores restitución fotogramétrica.





Arriba: Perfil transversal (vector verde sobre imagen satelital),

Abajo: su representación gráfica del perfil, con sus coordenadas plani-altimétricas.

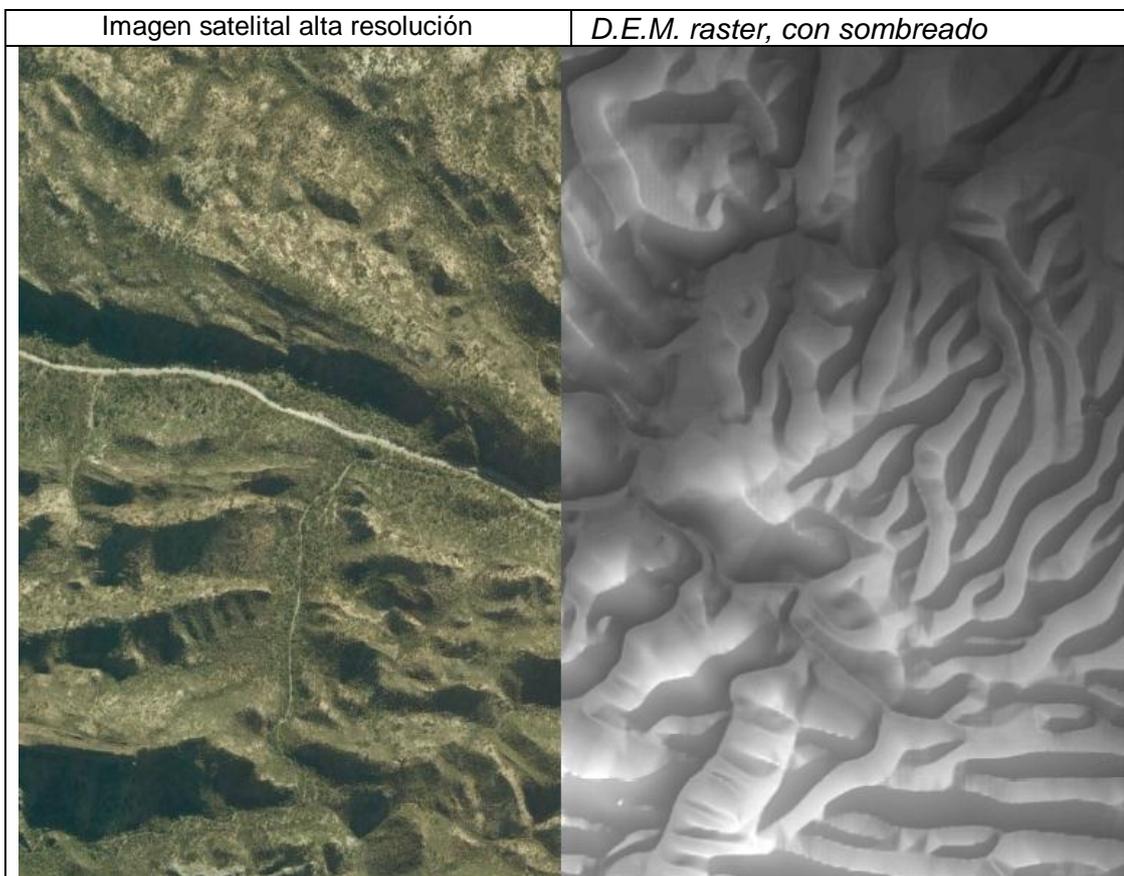


- **Controles de calidad.**

De acuerdo a la expectativa de precisiones alcanzables con el producto, fueron contrastadas las cotas de los valores absolutos de los nuevos puntos acotados con dos fuentes diferentes (puntos que no fueron incluidos como datos para generar el producto): 1) los puntos aerotriangulados, distribuidos sobre toda la zona de trabajo y en buena cantidad, provenientes del trabajo que dio origen a los datos, y 2) datos de mensura DGPS plani-altimétricos, en una superficie reducida dentro del área de interés.

Los resultados del control dieron que más de 2/3 de los puntos de control aerotriangulados tenían menos de 1 m de error, teniendo los restantes diferencias acotadas, explicables por diferentes causas; los puntos de control de mensura, con cota al metro (sin decimales), arrojaron mas del 90% diferencias menores a 1 m.

Controles adicionales: se generaron nuevas curvas de nivel y se compararon con las disponibles, encontrándose muy escasos y pequeños apartamientos, explicables totalmente por la morfología del terreno y los procesos realizados; por otra parte, al modelo altimétrico raster se lo superpuso con imagen satelital de alta resolución (fuente: web), por interpretación visual se correlacionó totalmente la geomorfología “digital” con el paisaje analizado en la imagen.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La densificación de datos de la restitución fotogramétrica existente proveyó en éste caso, datos de excelente calidad (superaron las expectativas iniciales). La decisión de utilizar ésta fuente está íntimamente relacionado con el ejercicio de la ingeniería: proveer la mejor solución entre las variables disponibles, basadas en un profundo conocimiento técnico /tecnológico.

Los D.E.M. son actualmente un producto cada vez mas conocido y por ello demandado. El conocimiento de los métodos del producción asociado a las precisiones esperables, plazos y costos, es inherente principalmente especialistas que además de la creación, manipulación y formateo de los datos, tengan profundos conocimientos de interpretación de imágenes, fotogrametría, teledetección, cartografía y geodesia. Por otra parte, los productos que se entregan deben tener un adecuado control de calidad, y convenientemente un profesional responsable.



CONCLUSIONES

La cartografía del territorio constituye el primer elemento de consulta para cualquier proyecto de ingeniería, explotación de recursos, o aun para conocimiento del mismo para cualquier acto que involucre la administración de recursos naturales.

La cartografía digital, cada vez más expandida sobre todo desde la aparición en los últimos años en la web diversas fuentes (p.e. *Google Earth*, *Bing*, *WMS*, etc) no pose de suyo la calidad asociada a la cartografía oficial producidas por organismos o instituciones específicas.

Los DEM son un complemento imprescindible para cualquier utilización que implique el conocimiento de la morfología terrestre con buena precisión. El método de producción del DEM mas adecuado deberá ser compatible con el uso posterior de los datos y las precisiones requeridas en cada caso, las que deben estar corroboradas por controles de calidad profesionales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Hutchinson, M. F., T. Xu, and J. A. Stein, *Recent Progress in the ANUDEM Elevation Gridding Procedure*. 2011.

Argerich Analía, *Teledetección satelital*. Edit. Científica Universitaria, U.N. Catamarca, 2006.

Felicísimo Angel M., *Modelos Digitales del Terreno*. Edit. Pentalfa, 1994.

Campell James B., *Introduction to remote sensing*. The Guilford Press, 2002.

Chuvieco, E., *Teledetección Ambiental. La observación de la Tierra desde el espacio*. Editorial Ariel, 2010.

Lillesand & Kieffer, *Remote Sensing and Image Interpretation*. Edit. Wiley.