

# La estereo-ortofoto digital en la elaboración de mapas temáticos

*The digital stereo-orthophoto in the elaboration of thematic maps*

Jáuregui Manuel, Jáuregui Luis, Chacón Leira y Vílchez José

*Recibido: marzo 2005 / Aceptado: junio 2005*

## Resumen

En la elaboración de mapas temáticos es necesario disponer de información de aspectos específicos del terreno (usos del suelo, vegetación, geomorfología, etc.), los cuales estén correctamente geo-referenciados. La estereo-ortofoto es una herramienta valiosa para la elaboración de mapas temáticos. Una estereo-ortofoto consiste en un par de imágenes, una ortofoto y una imagen asociada o *estereomate*, que permiten su visualización en tres dimensiones. La estereo-ortofoto tiene la ventaja de que puede ser utilizada en la extracción de información mediante fotointerpretación, además esta información demarcada sobre la ortofoto se encuentra correctamente geo-referenciada. La estereo-ortofoto puede integrarse a un SIG como una capa de cartografía base y la información temática del terreno extraída de ella, puede ser añadida en capas separadas, para producir una base de datos geoespaciales del área de interés. En este artículo se muestra la utilidad de la estereo-ortofoto en la elaboración de mapas temáticos de la superficie del terreno para integrarse en una base de datos geo-referenciada o SIG.

**Palabras clave:** fotogrametría; estereo-ortofoto; ortorectificación digital; SIG; mapas temáticos.

## Abstract

For the elaboration of thematic maps it is necessary to have the information on specific aspects of the terrain (land use, vegetation, geomorphology, etc.), which have to be correctly georeferenced. The stereo-orthophoto is a valuable tool for the elaboration of thematic maps. A stereo-orthophoto is composed by a pair of images, an orthophoto and an associated image named *stereomate*, that allow its visualization in three dimensions. The stereo-orthophoto has the advantage that can be used for the extraction of terrain information through photo-interpretation. Additionally, all the information delineated on the orthophoto is correctly georeferenced. The stereo-orthophoto can be integrated into a GIS as a layer of basic cartography and the thematic information of the terrain can be added in additional separated layers in order to produce a geo-spatial database of the area. The purpose of this paper is to show the usefulness of the stereo-orthophoto in the elaboration of thematic maps of the terrain surface, which can be integrated into a geo-referenced database or GIS.

**Key words:** photogrammetry; stereo-orthophoto; digital orthorectification; GIS; thematic maps.

\* Universidad de Los Andes, Facultad de Ingeniería, Instituto de Fotogrametría, Mérida-Venezuela, e-mail: [hengelos@cantv.net](mailto:hengelos@cantv.net), [iluis@ula.ve](mailto:iluis@ula.ve), [leirac@ula.ve](mailto:leirac@ula.ve), [vilchez@ula.ve](mailto:vilchez@ula.ve)

## Introducción

En la producción de información temática es indispensable que los elementos del terreno a ser representados estén correctamente geo-referenciados. Un medio de proveer esta geo-referenciación es mediante la utilización de la ortofoto y la estereo-ortofoto. Una ortofoto es una representación fotográfica de la superficie del terreno, donde las deformaciones debidas al desplazamiento por relieve e inclinación de la cámara han sido corregidas, teniendo las mismas características métricas de un mapa, incluyendo una escala conocida. La estereo-ortofoto consiste en un par de imágenes integradas por una ortofoto y una imagen asociada o *estereomate*, que permite la visualización de la superficie del terreno en tres dimensiones [Jáuregui *et al.*, 2002]. Estos productos pueden generarse en forma digital y para su observación se usan diferentes técnicas de visión estereoscópica artificial, siendo los anaglifes la más comúnmente usada por su bajo costo.

La estereo-ortofoto puede producirse a partir de fotografías aéreas de formato convencional o de fotografías aéreas de formato pequeño. En el caso de usar el formato convencional, se conocen los parámetros de orientación interior de la cámara, tales como su distancia principal y las coordenadas del punto principal y de las marcas fiduciales, todos estos necesarios en el proceso de ortorectificación de la fotografía. En el caso del formato pequeño, estos parámetros tienen que determinarse por procesos de calibración que no requieran conocer las coordena-

das de las marcas fiduciales, como por ejemplo, la Transformación Lineal Directa.

En la cartografía temática, el uso de la estereo-ortofoto presenta ventajas tales como: i) permite la visualización tridimensional de la superficie del terreno, pudiéndose observar todos sus detalles. Por lo tanto, puede utilizarse para la fotointerpretación con fines de extracción de información temática del terreno, tales como suelos, vegetación, geomorfología, usos de la tierra, etc. ii) los aspectos temáticos de la superficie del terreno extraídos mediante fotointerpretación o mediante levantamiento de campo, pueden delinearse sobre la ortofoto, quedando correctamente determinadas sus coordenadas gracias al marco de geo-referencia que ésta provee, y iii) los desniveles, las distancias y áreas pueden ser medidas con exactitud sobre la estereo-ortofoto, proporcionando de esta forma, información de tipo geométrico del terreno.

La estereo-ortofoto puede ser integrada en un Sistema de Información Geográfica (SIG) como una capa o estrato de cartografía base. La información temática del terreno extraída a partir de la estereo-ortofoto o levantamientos de campo, puede agregarse en capas separadas, para producir una base de datos geoespacial del área de interés. El objetivo de este artículo es mostrar la utilidad de la estereo-ortofoto digital como herramienta en el proceso de elaboración de mapas temáticos, específicamente en lo relativo a la extracción de información mediante fotointerpretación y en la geo-referenciación de la información en general.

## La estereo-ortofoto digital

La observación simultánea de un par de imágenes homólogas tomadas consecutivamente desde dos puntos de vista diferentes, permite la visión tridimensional de la escena fotografiada. Si la escena fotografiada es la superficie terrestre, usualmente estas dos imágenes presentan deformaciones tales como el desplazamiento por relieve y las causadas por inclinación del eje de la cámara, respecto a un plano horizontal de referencia. Si una de estas imágenes se rectifica en forma rigurosa para obtener una ortofoto, y simultáneamente se genera otra imagen asociada o *estereomate* que contenga los paralajes o desplazamientos causados por la separación entre las dos tomas sucesivas, se logra de igual forma la visión estereoscópica.

El conjunto de las imágenes de la ortofoto y la *estereomate* conforman la estereo-ortofoto, la cual es de gran utilidad para la obtención de información planialtimétrica del terreno y para la fotointerpretación de la topografía de la zona. En la actualidad la estereo-ortofoto se produce en forma digital, a partir de una ortofoto junto con su *estereomate*, generadas ambas imágenes digitalmente.

La ortofoto digital se elabora a partir de la información geométrica obtenida del Modelo Digital de Elevación del Terreno (MDET) y de la información radiométrica de la imagen original, aplicando las ecuaciones de colinealidad y procedimientos de remuestreo de los valores radiométricos de la imagen original. La posición de cada punto del MDET se

transforma a su respectiva posición sobre la imagen original. Como la celda del MDET ya está geo-referenciada, sólo resta ubicar su posición en la ortofoto y determinar el tono de gris correspondiente (Jáuregui, *et al.*, 2002).

La *estereomate* digital se elabora mediante la introducción en la ortofoto digital de los paralajes de los puntos imagen calculados a partir de la intersección del MDET con el plano de referencia y de la base de toma de vista establecida. Esta imagen digital se genera mediante el desplazamiento horizontal de cada uno de los píxeles de la ortofoto. Estos desplazamientos son los paralajes horizontales determinados respecto a un plano medio de referencia, establecido a partir de las alturas del MDET y de una base de toma de vista que garantice una buena visión estereoscópica. Esta base se determina en función de la escala y del formato de la ortofoto, así como del recubrimiento longitudinal deseado. Una vez calculada la posición de cada celda del MDET en la *estereomate*, se le asigna el mismo tono de gris asignado a su homóloga en la ortofoto (Jáuregui, *et al.*, 2002). Un esquema ilustrativo del proceso se muestra en la figura 1.

## Extracción de la información temática

La visión estereoscópica permite la fotointerpretación de elementos de la superficie del terreno sobre pares de fotografías con un propósito definido como puede ser la extracción de información para la elaboración de mapas de vegetación, suelos, usos, geomorfología, etc.

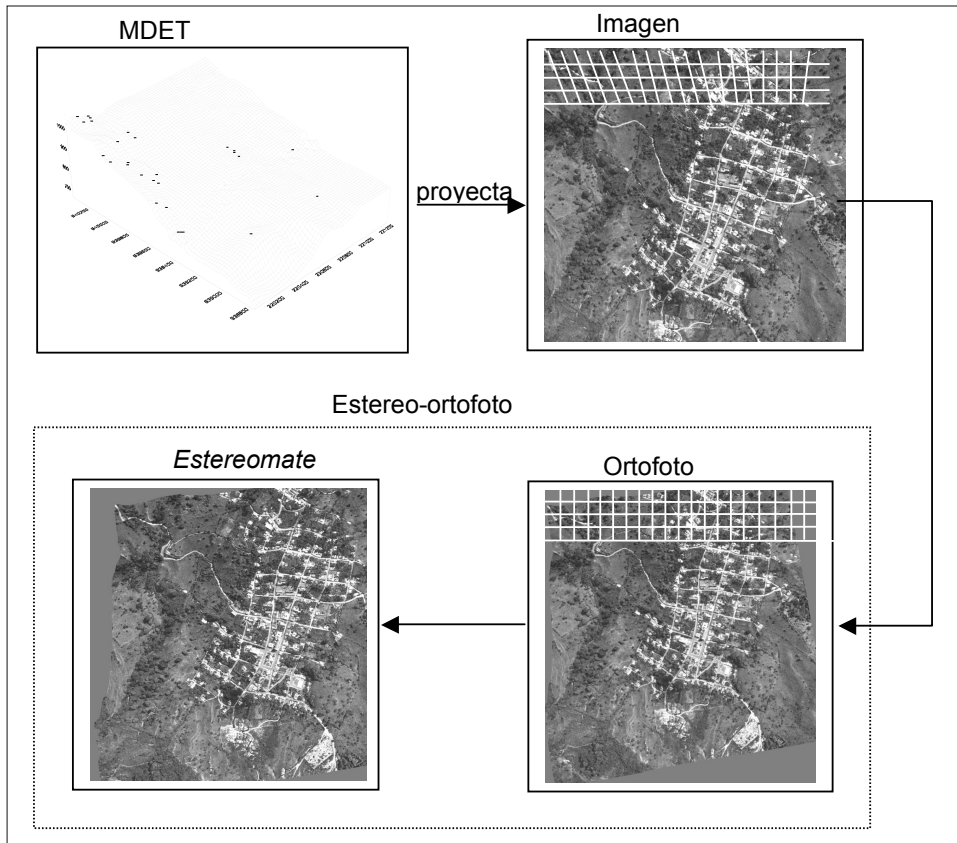


Figura 1. Proceso de generación de la estereo-ortofoto

En la extracción de información temática la estereo-ortofoto digital se utiliza de forma similar a un par estereoscópico convencional. La visualización estereoscópica se hace utilizando las imágenes de la ortofoto y la *estereomate*. Las anotaciones generadas en los procesos de foto-interpretación o levantamiento de campo se realizan sobre la imagen ortofoto.

Los elementos de la superficie del terreno tales como topografía, drenajes, vegetación, tonos, texturas, colores, patrones, etc. son analizados sobre la es-

tereo-ortofoto de forma similar a como se realiza sobre pares estereoscópicos convencionales. La exageración estereoscópica puede manipularse durante la generación de la *estereomate*, suavizando o exagerando el relieve observado según convenga.

La observación estereoscópica sobre la estereo-ortofoto puede hacerse de varias maneras, entre las cuales las más sencillas son:

- a. mediante la observación de la estereo-ortofoto con estereoscopio de

espejos. Se tiene que disponer de la *estereomate* y ortofoto impresos. Tiene la ventaja de utilizar equipos comúnmente disponibles para la observación, pero se requiere de trabajo adicional para la incorporación de los detalles levantados con el estereoscopio en la base de datos del SIG. En este caso las coordenadas de la información demarcada se obtienen a partir de la cuadrícula de referencia de la ortofoto;

- b. mediante el uso de un anaglifo elaborado con la ortofoto y el *estereomate* en colores complementarios desplegado en un monitor. En este caso la información se digitaliza directamente sobre el monitor y se puede incorporar directamente a la base de datos de un SIG, en la capa de información correspondiente, ya que se encuentra en coordenadas de terreno.

La digitalización de los aspectos culturales del terreno, tales como la vialidad, edificaciones, etc., se puede realizar directamente mediante monoploteo sobre la ortofoto, prescindiendo de la observación tridimensional, ya que esta clase de objetos tienen límites bien definidos. En el caso de aspectos naturales del terreno tales como el drenaje, vegetación, geomorfología y otros, debido a su naturaleza, se requiere de la visión estereoscópica para la correcta definición de sus límites.

La exactitud de la información demarcada sobre la ortofoto digital está dada por el tamaño de píxel de la ortofoto, en metros sobre el terreno.

## Aplicación

El área escogida para demostrar el uso de la estereo-ortofoto fue el centro poblado de Chiguará del estado Mérida, adecuada por los grandes desplazamientos por relieve que se presentan en la imagen fotográfica. La zona presenta un relieve montañoso, con alturas medias que oscilan entre 400 m y 1400 m sobre el nivel medio del mar.

La escala de la fotografía usada para la ortorectificación fue de 1:10.000, tomada con una cámara gran angular de distancia principal igual a 152,4 mm y formato 23 cm x 23 cm. La fotografía fue digitalizada a una resolución óptica de 600 dpi, y los puntos de control y las marcas fiduciales fueron vectorizadas en la pantalla.

El MDET del área cubierta por la fotografía se generó a partir de un plano topográfico a escala 1:2.500, con intervalos entre curvas de nivel de 10 m. El tamaño seleccionado para sus celdas fue de 5 m. El RMS del MDET fue de 0,95 m, un valor residual máximo de 9,3 m y el 1,7% de valores residuales mayores de 1/3 de intervalos entre curvas de nivel, cumpliendo con los requerimientos establecidos, que aseguran una buena resolución de la ortofoto (Vílchez, 2000; Jáuregui, *et al.*, 1998b).

La resección en el espacio utilizando las ecuaciones de colinealidad se hizo tomando seis puntos de control, obteniéndose un RMSEX =  $\pm 0,116$  mm, RMSEY =  $\pm 0,219$  mm en los ejes Este y Norte, respectivamente. Luego, el MDET se proyectó sobre la imagen para obtener el nivel de gris y producir la imagen or-

to rectificadas, la cual se muestra en la figura 2. En este caso, la estereo-ortofoto digital se elaboró mediante un conjunto de programas propios, desarrollado en el Grupo de Investigación de Fotogrametría Digital y Modelaje del Terreno de la Universidad de Los Andes.

El anaglifo se elaboró utilizando el programa comercial Photoshop, el cual permite superponer la ortofoto y la *estereomate* haciendo uso de colores complementarios (Jáuregui, *et al.*, 1998a).

Esta imagen generada de esta forma, se encuentra en coordenadas de píxeles.

En la figura 2a se muestra la estereo-ortofoto (es decir, la ortofoto y la *estereomate*) y el anaglifo que contiene estas dos imágenes superpuestas, el cual se utilizó en la observación tridimensional y digitalización de los aspectos temáticos de vialidad, vegetación y drenaje. Como el anaglifo está en coordenadas imagen, se requirió su geo-referenciación para que las coordenadas de los aspectos temáti-

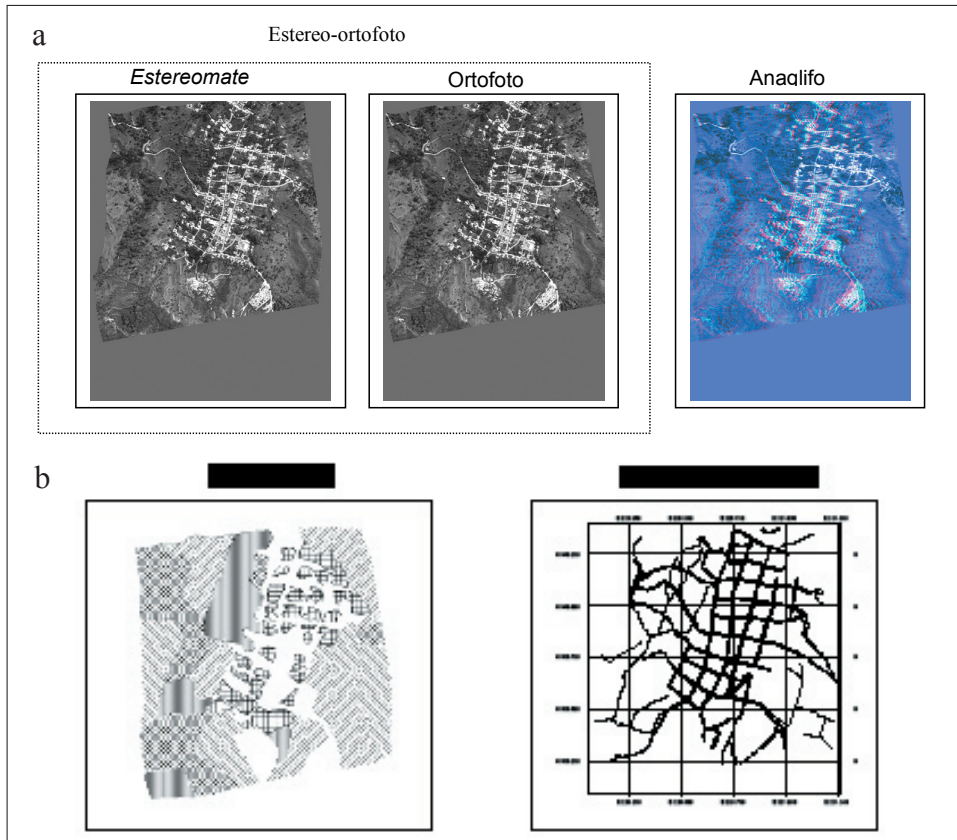


Figura 2. a. Estereo-ortofoto y anaglifo. b. Las capas de información obtenidas a partir de la estereo-ortofoto

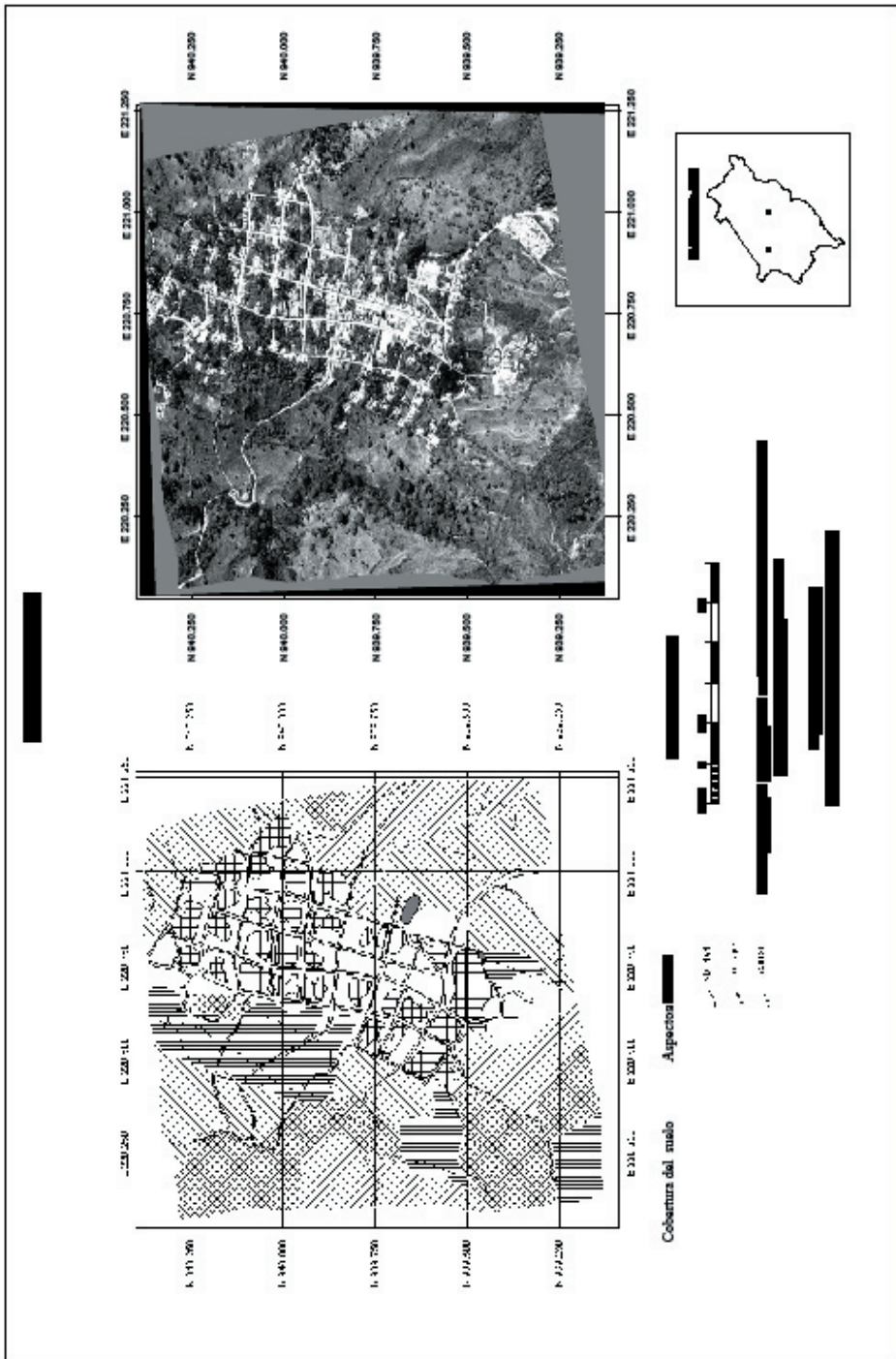


Figura 3. Ortofotoplano digital

cos digitalizados queden expresadas en el sistema de terreno y puedan ser integrados a la base de datos geoespacial. La Figura 2b muestra los elementos temáticos digitalizados.

En la figura 3 se tiene la ortofoto y el plano temático generado a partir de fotointerpretación sobre la estereo-ortofoto. Las categorizaciones usadas para los temas representados son sólo para ilustrar el procedimiento y no pretenden constituir una clasificación rigurosa.

## Conclusiones

El uso de la estereo-ortofoto para extraer información temática presenta tres ventajas principales. Primero, a diferencia de la fotointerpretación sobre un par estereoscópico sin rectificar, la georeferenciación es directa, debido a que la información se fotointerpreta y registra sobre la ortofoto, la cual ya está georeferenciada. Segundo, provee un modelo virtual de la superficie del terreno sobre el cual se puede fotointerpretar y realizar mediciones. Tercero, la observación tridimensional permite ubicarse fácilmente sobre la superficie del terreno al realizar trabajos de campo.

## Agradecimientos

Este artículo es el resultado de un proyecto financiado por el Consejo de Desarrollo Científico Humanístico y Tecnológico (CDCHT) de la Universidad de Los Andes, bajo el código I-901-05-02 A. Este soporte es altamente agradecido.

## Referencias citadas

- JÁUREGUI, M.; VÍLCHEZ, J.; CHACÓN, L. y JÁUREGUI L. 1998a. Elaboración de imágenes anaglíficas digitales. *Memorias de las IV Jornadas Científico-Técnicas de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Los Andes*. Mérida-Venezuela.
- JÁUREGUI, M.; VÍLCHEZ, J. y CHACÓN L. 1998b. Los modelos de elevación del terreno (MET) en la ortorectificación digital de imágenes fotográficas. *Memorias del III Congreso Venezolano de Geodesia y VI Encuentro Internacional de Mediciones Geodésicas y de Cartografía*. Maracaibo-Venezuela.
- JÁUREGUI, M.; VÍLCHEZ, J.; CHACÓN, L. y JÁUREGUI L. 2002. Elaboración de estereo-ortofotos digitales. *Memorias del Congreso Internacional de Geodesia y Cartografía*. Caracas-Venezuela.
- VÍLCHEZ J. 2000. *Evaluación de la exactitud de modelos de elevación digital (MED) de malla regular generados a partir de curvas de nivel*. **Revista Geográfica Venezolana**. 41(2): 239-256.