

## NOTA TÉCNICA

# CÁLCULO DE PARÁMETROS DE LA CUBIERTA VEGETAL ARBÓREA CON CPCV V1.0.

David López Trullén<sup>1</sup>, Elías Bayarri García<sup>2</sup> y Pablo Romero Castaño<sup>1</sup>

<sup>1</sup>c/Ruiz Zorrilla 16, 4-K. 39002-SANTANDER (España). Correo electrónico: dlopez1536@gmail.com

<sup>2</sup>Dirección General de Montes y Conservación de la Naturaleza. Gobierno de Cantabria. c/Rodríguez 5, 1º. 39002-SANTANDER (España)

## Resumen

La fotografía digital de la cubierta arbórea (*Digital Cover Photography*, DCP) es un método de alta resolución, con un campo de visión vertical, que sirve para estimar desde el suelo diferentes parámetros de la cubierta. Este método ofrece ciertas ventajas sobre otros similares como la fotografía hemisférica, por su facilidad de su aplicación y alta precisión. Se ha desarrollado un software para el procesado de las imágenes obtenidas mediante cámaras compactas (*point-and-shoot*) y cámaras réflex (DSLR), de forma que la obtención de los distintos parámetros de la cubierta se ejecute automáticamente, además de incluir el software la posibilidad de obtener otras variables a partir del Modelo Digital del Terreno (MDT).

Palabras clave: *Software, Imágenes, Fotografía hemisférica, C++, Cubierta, Insolación*

## INTRODUCCIÓN

Tiene gran interés, por parte de los gestores de los montes, la caracterización de las masas arbóreas que los pueblan. La descripción detallada de las masas arbóreas ayuda a una mejor comprensión de las dinámicas y procesos implicados en su propia evolución. La cantidad de follaje en el dosel de las masas arboladas es un indicador del carbono almacenado y del balance de agua, ya que en las copas de los árboles es donde el carbono se transforma en biomasa mediante la fotosíntesis y donde el agua pasa a la atmósfera mediante la transpiración. La geometría de la distribución de los huecos entre el follaje, unido a su situación orográfica, sirve para la estimación de la radiación potencial que atraviesa sus copas y que determina la energía solar disponible bajo la cubierta arbórea, ade-

más de otros parámetros de interés para la gestión de las masas arboladas.

La DCP puede ser utilizada para el estudio teórico de la cubierta arbórea. El método se basa en la toma de fotografías con un estrecho campo de visión, en comparación con el uso de objetivos utilizados en fotografía hemisférica, y la división de la fotografía digital en huecos, tanto dentro de la copa como fuera de la copa. Estas imágenes tienen una mejor resolución que las generadas con objetivos de amplio ángulo de visión, facilitando la precisión en la discriminación de los píxeles de la imagen. También son menos sensibles a la sobreexposición o subexposición de la imagen debido a su menor campo de visión, lo que aumenta la precisión en los píxeles afectados por los extremos de iluminación. Las fotografías pueden tomarse sobre transectos para muestrear la heterogeneidad espacial

entre copas. Este muestreo puede servir para mapear el paso de la luz y las características de la estructura del rodal como función de la posición horizontal o vertical. La dinámica y variación temporal puede ser monitoreada realizando repetidas mediciones sobre las mismas posiciones de la cámara. La DCP puede utilizarse para la caracterización de la formación y cierre de los huecos en las copas en el tiempo y la monitorización de los cambios estacionales en las densidades del follaje. La estructura de la cubierta y la luz que la atraviesa se puede medir sobre árboles individuales para estudios de demografía y ecofisiología. Así, la arquitectura de la copa se puede caracterizar desde el nivel de ecosistemas, hasta medio ambientes locales.

El objetivo de este artículo es explicar los principales componentes del desarrollo de un software específico para el procesado automático de imágenes de la cubierta arbórea y la presentación de los resultados obtenidos.

## MÉTODOS

Para el procesado automático de las imágenes de la cubierta arbórea, se ha desarrollado un software específico, el cual, a partir de determinados parámetros de entrada, junto con la imagen de la cubierta, proporciona de forma automática determinados parámetros de la

estructura de la cubierta. El software ha sido desarrollado en lenguaje de programación C++ sobre el entorno de desarrollo integrado (IDE) Dev-C++ con licencia GNU (General Public License). Se ha utilizado la API de Windows, mediante la librería <windows.h>, para generar una interfaz de usuario compatible con Windows (Figura 1). El proceso que ejecuta el software se compone de los siguientes módulos principales: recopilación de los datos de entrada, algoritmo de detección del cielo, corrección geométrica de la imagen, cálculo de parámetros relacionados con la arquitectura de la cubierta, cálculo de los parámetros relacionados con el MDT y generación de resultados.

### Recopilación de parámetros de entrada

Diferentes parámetros van a ser necesarios para la ejecución del software. Éste, pide la entrada de los siguientes datos: longitud focal del objetivo utilizado (mm); factor multiplicador de analógico a digital, definido como el valor numérico por el que ha de multiplicarse la distancia focal de un objetivo en mm, para determinar la distancia focal equivalente respecto de una cámara de formato 24x36 mm (en cámaras compactas, si hemos introducido la distancia focal equivalente, dicho factor será igual a 1); nombre de la imagen a procesar (formato “.bmp”), el software es capaz de procesar la mayor parte de los formatos de cámaras DSLR y compactas comerciales;

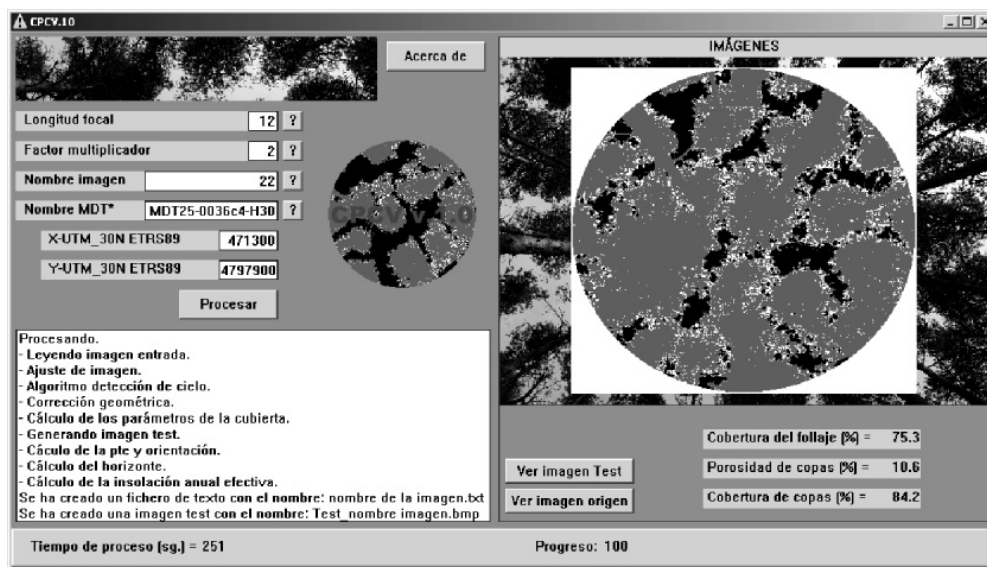


Figura 1. Interfaz de usuario de CPCV v1.0

nombre del MDT (soporta formato “.agr” con cualquier resolución espacial, aunque a menor resolución empleada mayor precisión de cálculo); y en su caso, las coordenadas de captura de la imagen (UTM 30N ETRS 89).

### Algoritmo de detección del cielo

Se ha desarrollado un algoritmo de detección del cielo para la segmentación de la imagen en píxeles detectados como cielo y no cielo. El algoritmo se basa en el modelo de color HSV (Hue, Saturation and Value). Se obtienen los valores de cada píxel de la imagen para el modelo HSV, mediante la transformación a partir de los canales de la imagen RGB a HSV, basado en COLANTONI & TRÉMEAU (2003):

```

1  if (R > G) then Max = R; Min = G; position = 0;
2  else Max = G; Min = R; position = 1;
3  fi
4  if (Max < B) then Max = B; position = 2; fi
5  if (Min > B) then Min = B; fi
6  V = Max;
7  if (Max ≠ 0) then S = (Max - Min)/Max;
8  else S = 0;
9  fi
10 if (S ≠ 0) then
11  if (position = 0)
12  then H = (1 + G - B)/(Max - Min);
13  else if (position = 1);
14  then H = (3 + B - R)/(Max - Min);
15  else H = (5 + R - G)/(Max - Min);
16  fi
17  fi

```

### Corrección geométrica de la imagen

Se divide en dos fases. En una primera fase, se recorta la imagen generando una imagen circular cuyo radio es el del lado menor de la imagen. Esta operación se realiza para evitar que exista una dirección predominante en la imagen. En una segunda fase, se realiza una corrección del efecto panorámico de la imagen, esto es, una corrección píxel a píxel de la imagen según su posición respecto al cenit de la imagen. Primero, es necesario calcular el ángulo de visión  $\alpha$  (Ecuación 1), dependiente del tamaño del sensor de la cámara  $d$  (se referencia al sensor de una cámara 24x36 mm) y de la distancia focal  $f$ . Segundo, corrección del efecto panorámico píxel a píxel para toda la imagen  $p'x$  y  $p'y$ , para

dimensión  $x$  e  $y$  del píxel (Ecuaciones 2 y 3), que depende del ángulo  $\delta$  respecto al cenit de la imagen.

$$\alpha = 2\arctan(d/2f) \quad (1)$$

$$p'x = 1/\cos^2\delta \quad (2)$$

$$p'y = 1/\cos\delta \quad (3)$$

### Cálculo de parámetros relacionados con la arquitectura de la cubierta

Se parte de la imagen corregida geoméricamente y con la clasificación previa de sus píxeles como cielo “c” o no cielo “nc”. Se aplica un algoritmo para reconocimiento píxeles agrupados “hu”, clasificados previamente como cielo, cuyo grupo no supere un determinado número (variable programable), esto es, aquellos huecos por los que la luz atraviesa el dosel arbóreo y que en proyección no superan un determinado tamaño. De este modo, los píxeles clasificados previamente como cielo pasan a estar clasificados como “h”. Se calculan los parámetros relacionados con la arquitectura de la cubierta: 1) Cobertura del Follaje (CF), definida como el porcentaje de la cubierta, ejercido por toda la cubierta vegetal arbórea (hojas, ramas, ramillos, tronco, etc.), sobre el total de la superficie de la imagen (Ecuación 4); 2) Cobertura de Copas (CC), definida como el porcentaje de cobertura ejercido por la cubierta vegetal arbórea (hojas, ramas, ramillos, tronco, etc.), incluyendo los huecos entre las copas, sobre el total de la imagen (Ecuación 5); y 3) Porosidad de Copas (PC), definida como el porcentaje de cobertura ejercido por los huecos entre la cubierta, sobre la cobertura ejercida por toda la cubierta vegetal arbórea (hojas, ramas, ramillos, tronco, etc.), incluyendo los huecos (Ecuación 6).

$$CF = nc*100/(nc + hu + c) \quad (4)$$

$$CC = (nc + hu)*100/(nc + hu + c) \quad (5)$$

$$PC = hu*100/(nc + hu) \quad (6)$$

### Cálculo de parámetros relacionados con el MDT

En el software, se ha implementado la posibilidad de cálculo de determinados parámetros relacionados con la orografía del terreno, para ello, de forma opcional, se le puede proporcionar el MDT (formato “.agr”) en proyección UTM 30N ETRS 89, de la zona de la toma de la imagen y, por lo tanto, se deben introducir las coor-

denadas en dicha proyección geográfica. Los parámetros que se calculan son: 1) altitud del punto de la toma de la imagen; 2) pendiente del terreno “Pte”, se calcula para el punto de la toma de la imagen mediante el algoritmo Second-order finite difference (2FD, ZHOU & LIU, 2003); 3) orientación del terreno “Ori”, se calcula para el punto de la toma de la imagen mediante el algoritmo Second-order finite difference (2FD, ZHOU & LIU, 2003); 4) horizonte sobre el terreno, tomando como centro el punto en cuestión, se calculan transectos de una determinada distancia (variable programable) en todas las direcciones del plano (360 grados) con origen en dicho punto (para cada uno de los 360 transectos  $T_i$  realizados se aplica la Ecuación 7); 5) cálculo de la insolación anual diurna no atenuada “I” con la ecuación 8, expresada en horas efectivas (se calcula la insolación acumulada en intervalos de 6 min para cada hora y día del año, de modo que la insolación es igual a cero cuando se determina que para la altura y acimut solares, correspondientes a ese momento, el punto no recibe la iluminación del sol de forma directa, esto es, la orografía del terreno proyecta su sombra sobre el punto en ese momento); y 6) radiación solar anual directa “S” (aproximación bajo cubierta arbórea, asumiendo cubierta permanente e invariable) [ $\text{cal}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{min}^{-1}$ ]. Para su cálculo se tiene en cuenta la insolación anual diurna no atenuada, anteriormente descrita. (Ecuación 12).

$$T_i = \text{atan}[(A_{max} - A_{pto})/d] \quad (7)$$

$$I = Ip(\cos(h)\text{sen}(Pte)\cos(a - Ori) + \text{sen}h\cos\alpha) \quad (8)$$

$$\cos a = (\text{sen}L\text{sen}h - \text{sen}\pi)/(\cos L\cos h) \quad (9)$$

$$\pi = 23,45 * \text{sen}[(360(284 + J))/365] \quad (10)$$

$$\text{sen}h = \text{sen}L\text{sen}\pi + \cos L\cos H\cos\pi \quad (11)$$

$$S = S_i\cos\theta * [1 - (CF/100)] \quad (12)$$

$$\cos\theta = \cos(Pte)\cos Z + \text{sen}(Pte)\text{sen}Z\cos(a - Ori) \quad (13)$$

$$S_{sup} = S_{ext} * ct^{1/\text{sen}h} \quad (14)$$

Donde,  $T_i$  es el resultado en grados para el transecto  $i$ ;  $A_{max}$  es el punto del transecto  $i$  que sobre el terreno tiene la cota máxima;  $A_{pto}$  es la cota del punto de la toma de la imagen; y  $d$  es la distancia reducida entre  $A_{max}$  y  $A_{pto}$ ;  $I$  es la insolación actual instantánea para un elemento de la superficie;  $Ip$  es la insolación medida en un elemento de la superficie perpendicular a la dirección de los rayos solares (se toma como 1);  $a$  y  $h$  son el acimut y elevación solar;  $L$  es la latitud;  $\theta$  es la declinación solar;  $J$  es el n° del día del año desde

el 1 de enero = 1, hasta el 31 de diciembre = 365;  $H$  es el ángulo horario;  $S_i$  es la densidad del flujo radiante perpendicular al rayo solar;  $Z$  es el ángulo cenital;  $S_{sup}$  es la densidad del flujo radiante en superficie;  $S_{ext}$  es la densidad del flujo radiante en el límite exterior de la atmósfera;  $ct$  es el coeficiente de transparencia de la atmósfera (0,75);

### Generación de resultados

Los resultados de los distintos parámetros calculados, tras el procesado de la imagen, se muestran en la interfaz gráfica del programa. Se ha implementado la posibilidad de visualizar la imagen a procesar y superpuesta a ésta, la imagen resultante de la clasificación. Esto se realiza mediante el pulsado reiterado de un botón y se muestra útil para realizar un análisis visual de la bondad del algoritmo de detección de cielo aplicado. El software también genera dos salidas en forma de archivos: una imagen, correspondiente a la imagen clasificada, sobre la que se ha aplicado el algoritmo de detección de cielo; un fichero de texto, en el cual se muestran todos los parámetros calculados, los parámetros de entrada y datos útiles como la fecha de ejecución del análisis, etc.

## RESULTADOS

Se han verificado 28 imágenes tomadas sobre una masa de *Pinus pinaster* en el Parque Natural de Lienres (Cantabria). Dichas imágenes fueron tomadas un día en el que el cielo estaba parcialmente nuboso, esto es, coexistían porciones de cielo con color predominante blanco, azul o ambos. De cada una de las imágenes se han testado 10 píxeles elegidos al azar. El software empleado para realizar esta tarea ha sido Envi 4.3. Para la verificación de los resultados obtenidos por los algoritmos en la clasificación de las imágenes, se obtiene una matriz de confusión (Tabla 1). El interés de las tablas de confusión proviene de su capacidad para plasmar los conflictos entre categorías. De esta forma, no sólo conocemos la fiabilidad global de la clasificación, sino también la exactitud conseguida para cada una de las clases, así como los principales conflictos entre ellas (CHUVIECO, 2008).

Clasificación	Referencia					
	1	2	3	Total	Exactitud Usuario	Error comisión
1	68	5	7	80	85,0	15,0
2	1	151	12	164	92,1	7,9
3	1	3	32	36	88,9	11,1
Total	70	159	51	280		
Exactitud productor	97,1	95,0	62,7			
Error omisión	2,9	5,0	37,3			

**Tabla 1.** Matriz de confusión obtenida para la clasificación (1-cielo; 2-follaje; 3-huecos)

A partir de la matriz de confusión se generan una serie de medidas estadísticas que permitan validar numéricamente los resultados obtenidos en la clasificación. Para la Fiabilidad global “F” (Ecuación 15) se obtiene un valor de 89,6%. El Error Proporcional total es de 10,4%. El error estándar de muestreo “ES” tiene un valor de 1,82, con un error de significación de 0,05 (probabilidad del 95%). Por tanto, el intervalo de confianza que se obtiene, es de  $89,6 \pm 3,569$ . Se ha calculado el estadístico Kappa K (Ecuación 16), resultando un valor de 0,85.

$$F = (\sum_{i=1,n} x_{ii}) / (\sum_{i=1,n} \sum_{j=1,n} x_{ij}) \quad (15)$$

$$K = (n \sum_{i=1,n} x_{ii} - \sum_{i=1,n} x_{i+} x_{+i}) / (n^2 - \sum_{i=1,n} x_{i+} x_{+i}) \quad (16)$$

## DISCUSIÓN

La fiabilidad obtenida ( $89,6 \pm 3,569$ ) se puede considerar alta, así como el estadístico Kappa (0,85) que mide la diferencia entre el acuerdo imagen-realidad observado y el que cabría esperar simplemente por azar. Ahora bien, se detecta cierta heterogeneidad en lo que a la participación de cada una de las clasificaciones en la fiabilidad se refiere. Los errores de omisión de las clasificaciones 1 (cielo) y 2 (follaje) son bajos (2,9 y 5,0%). Se observa un mayor error de comisión en la clasificación 1 (15,0%), que indica una sobrevaloración del algoritmo de detección de cielo. No obstante, la clasificación que mayor error reporta es la 3 (huecos), con un error de omisión de 37,3%. Esto provoca, fundamentalmente, traspaso de píxeles entre las clases 3 a 2. Es el algoritmo que ejecuta esta segunda clasificación el que mayor error reporta, fundamen-

talmente infraestimando el tamaño de los huecos de la arquitectura de copas.

## CONCLUSIONES

El procesado automático de DCP se muestra como una alternativa para la obtención de datos sobre la arquitectura de la cubierta arbórea. Es un método barato, simple, preciso, flexible y robusto y de gran utilidad para la obtención de determinados parámetros útiles para la caracterización de las masas arboladas. También esta técnica ofrece interesantes posibilidades para testar distintos parámetros de la vegetación, procedentes de teledetección. La aplicación de sencillos algoritmos de clasificación de imágenes basados en umbrales sobre un modelo de color HSV resulta útil para la clasificación operativa de las imágenes. Si bien, para futuras versiones, la aplicación de programación genética, podría mejorar la exactitud de las clasificaciones.

## BIBLIOGRAFÍA

- CHUVIECO, E.; 2008. *Teledetección ambiental. La observación de la tierra desde el espacio*. Editorial Ariel. Barcelona.
- COLANTONI, P & TRÉMEAU, A.; 2003. 3d visualization of color data to analyze color images. *In: Proceedings of PICS Conference: 500–505*. Rochester.
- ZHOU, Q. & LIU, X.; 2003. Analysis of errors of derived slope and aspect related to DEM data properties. *Computers & Geosciences* 30(2004): 369–378.