

EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES DE COPA EN LAS PLANTACIONES DE CHOPO

Jorge Martín-García¹, Juan Alberto Pajares Alonso¹, Hervé Jactel² y Julio Javier Diez Casero²

¹Dpt. de Producción Vegetal y Recursos Forestales. Universidad de Valladolid. Avda Madrid 44. 34004-PALENCIA (España). Correo electrónico: jorgemg@pvs.uva.es

²UMR 1202 BIOGECO. INRA. 33612-CESTAS Cedex (France)

Resumen

Las condiciones de copa de las masas forestales han sido evaluadas en Europa desde la década de los años 80 mediante programas de seguimiento, en el marco del “International Co-operative Programme on the Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forest, ICP Forest” (Red de nivel I), la cual comprende más de 6.100 parcelas a partir de una malla de 16x16 km. Sin embargo, la utilidad de dicha red se encuentra cuestionada, especialmente para bosques de escasa superficie y altamente fragmentados. Por ello, este estudio fue llevado a cabo para mejorar el programa de seguimiento de las condiciones de copa en plantaciones de chopo. La transparencia de copa y decoloración fue evaluada visualmente en 2.857 árboles, de 34 parcelas. A su vez, una representación de estos fue evaluada digitalmente a partir de fotografías aplicando el software CROCO para comparar la estimación visual y la digital. Este estudio ha demostrado que la evaluación de los árboles incluidos en una única subparcela de 15 metros de radio es suficiente y aporta la misma información que cuatro subparcelas de dicho radio. Por su parte las curvas de calibración desarrolladas para la aplicación del software CROCO en plantaciones de chopo obtuvieron un buen ajuste, por lo tanto se recomienda la utilización de dicha técnica para obtener una estimación más precisa y objetiva de las condiciones de copa en este tipo de plantaciones.

Palabras clave: *Seguimiento, Condiciones de copa, Transparencia de copa, CROCO*

INTRODUCCIÓN

La superficie mundial de plantaciones de chopos es de 6,7 millones de hectáreas, de las cuales el 73% se encuentran en China. Por su parte, España con una superficie próxima a 100.000 ha es el tercer país Europeo, tras Francia e Italia. Sin embargo, la importancia de las plantaciones de chopo es mucho mayor de lo que su superficie puede indicar a priori, ya que debido a su alta rentabilidad (FERNÁNDEZ MOLOWNY, 1998; HERNÁNDEZ Y HERRANZ, 2004) y sus beneficios ecológicos favorecen el desarrollo del entorno rural (BALL et al., 2005).

Los beneficios, directos e indirectos, de las plantaciones y otras masas naturales forestales son sobradamente conocidos, por ello cuando en la década de los ochenta se constató en Europa el denominado “decaimiento de los bosques” se desarrolló un programa de seguimiento de la sanidad forestal en el ámbito Europeo. Numerosos países, incluido España, se integraron en dicho programa de seguimiento que actualmente se denomina Red Europea de daños en los bosques, nivel I (dentro del International Co-operative Programme on the Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forest, ICP Forest), la

cual la componen algo más de 6.100 parcelas, en una malla de 16x16 km. La red de nivel I evalúa anualmente las condiciones de copa mediante estimación visual; transparencia de copa y decoloración de 24 árboles por parcela. Sin embargo, esta red de seguimiento presenta dos inconvenientes fundamentales. El primero parte de un diseño experimental basado en una malla cuadrada sin estratificación previa, por lo que las especies con una escasa superficie no se encuentran correctamente estudiadas (FERRETTI, 1997). Este es el caso de las plantaciones de chopo, ya que en Europa sólo hay 23 parcelas de nivel I, lo cual representa el 0,22% del total (LORENZ et al., 2005). Así, debido al reducido número de parcelas de plantaciones de chopo sus datos todavía no han podido ser analizados. El segundo problema parte de la estimación visual de las condiciones de copa por observadores, así debido a la subjetividad de la evaluación, la calidad y la comparación de los datos recogidos durante las evaluaciones han sido previamente cuestionadas (MIZOUE & DOBBERTIN, 2003).

Numerosas investigaciones han estado enfocadas a solventar este problema; mediante la combinación de equipos de campo y de control (GHOSH & INNES, 1995), usando datos de cursos de calibración para estimar los factores de corrección para los diferentes países (INNES et al., 1993), a través de cursos anuales de entrenamiento para los integrantes de los equipos de campo aplicando fotografías de referencia (SOLBERG & STRAND, 1999) o usando una plantilla de siluetas en dos dimensiones que representan diferentes grados de densidad de follaje (FRAMPTON et al., 2001). Sin embargo, todos estos intentos no han sido suficientes, por lo que los científicos han buscado otras soluciones; por medio de análisis de imágenes digitales (CLARK et al., 2003; MIZOUE, 2002) o teledetección (COOPS et al., 2004).

Particularmente, MIZOUE (2002) desarrolló un sistema semi-automático de análisis de imágenes, denominado CROCO, para evaluar la transparencia de copa desde fotografía digital. CROCO calcula un índice de transparencia de copa (DSO), la cual se define como la diferencia entre la dimensión fractal de la silueta de las copas (Ds) y la dimensión fractal de su contorno (Do) (MIZOUE & INOUE, 2001). El valor del índi-

ce DSO decrece conforme incrementa la transparencia de copa. CROCO usa Scion Image para Windows (de libre disposición en <http://www.scioncorp.com/>) y cualquier software para el manejo de imágenes.

El objetivo principal de este estudio fue redefinir un programa de seguimiento de la sanidad forestal, en el cual se evalúen objetivamente las condiciones de copa en plantaciones de chopo. Para ello, se ha estudiado el tamaño muestral óptimo para la evaluación de la sanidad de las plantaciones de chopo e intentado poner a punto una técnica de evaluación objetiva de la transparencia de copa.

MATERIAL Y MÉTODOS

En Castilla y León hay 45.000 ha de plantaciones de chopo, lo que supone alrededor del 50% de la superficie nacional, la mayoría del híbrido *Populus x euramericana* (*P. nigra* x *P. deltoides*). En la región hay plantados muchos clones, pero es el clon I-214 el más importante cubriendo alrededor del 70% del área total dedicada al cultivo del chopo (HERNÁNDEZ Y HERRANZ, 2004). Teniendo en cuenta este elevado porcentaje, el estudio fue llevado a cabo únicamente sobre este clon. El diseño experimental fue factorial con tres factores; edad (parcelas jóvenes de 3-7 años de edad y parcelas adultas de 8-14 años de edad), calidad de estación (óptima y pobre, es decir Calidad I y Calidad IV respectivamente, calculadas a partir de las curvas de calidad elaboradas para *Populus x euramericana* en la cuenca del Duero (BRAVO et al., 1995)) y manejo forestal (parcelas gradeadas y no gradeadas). De cada combinación de factores se tomaron cuatro repeticiones, excepto en la combinación joven, calidad I y gradeadas que fueron tomadas 6 repeticiones. En total fueron elegidas 34 parcelas localizadas en el norte de la provincia de Palencia, exactamente en la cuenca del río Carrión.

En cada parcela fueron muestreadas cuatro subparcelas circulares de radio fijo (exactamente de 15 metros, lo cual implica que el número de árboles varía por parcela), estas parcelas fueron localizadas a 25 metros de distancia de un punto central a partir de cuatro transectos perpendiculares.

En total fueron evaluados 2.857 árboles durante el verano de 2005 (primeras dos semanas del mes de julio), sobre los que fue estimada visualmente la transparencia de copa (VCT) y la decoloración (VCD). Ambas variables fueron evaluadas en porcentaje, siguiendo la metodología de la Red Europea de Evaluación de los Daños a los Bosques (SPCAN-DGCN, 2002), es decir, tomando como intervalo mínimo el 5%, con 21 clases (desde 0, el árbol perfecto hasta 100). Desde la misma posición todos los árboles fueron fotografiados usando una cámara fotográfica digital de 8 megapíxeles (Canon, EOS 350D).

En gabinete, se seleccionaron 204 árboles, en un muestreo balanceado, de manera que los diferentes factores (edad, calidad de estación y manejo) y porcentajes de transparencia de copa fueron evaluadas. Para cada uno de estos 204 árboles, fueron calculados individualmente los valores del índice DSO usando el software CROCO (MIZOUE & DOBBERTIN, 2003). En primer lugar, en todas las fotografías fue recortada una región rectangular, de modo que se incluyera la parte de la copa expuesta al sol, pero excluyendo las partes solapadas con los árboles adyacentes. A su vez, el ratio de solape fue caracterizado en ocho clases (sin solape, 25, 50, 75, 100% de solape en uno de los lados de la copa y 25, 50, 75% en ambos lados). En segundo lugar, un macro automático fue aplicado para convertir la escala de colores rojo, verde y azul (RGB) a una imagen blanco y negro, para ello el macro utiliza el color azul del fondo del cielo como máximo contraste. Finalmente los valores del índice DSO fueron calculados usando análisis fractal (MIZOUE, 2001). En los árboles que presentaban un solape de copas (lo que supone una infravaloración de la transparencia de copa), fue corregido el valor final de la transparencia de copa por medio de las regresiones lineales simples desarrolladas por MIZOUE (2002).

Un análisis de la varianza (ANOVA) fue usado para determinar el efecto de los factores estudiados sobre las condiciones de copa, en función del número de subparcelas. Por otro lado, mediante el test de Wilcoxon se evaluó el efecto del número de subparcelas sobre las diferencias de las medias de VCT y el porcentaje de árboles con VCT incluidos en las clases 2 y 3 de ICP Forest (VCT comprendida entre el 26-60%

y >60% respectivamente, los cuales son considerados como árboles dañados (SPCAN-DGCN, 2002)).

La calibración de las curvas desarrolladas para evaluar la transparencia de copa desde valores del índice DSO obtenidos con CROCO fue calculada mediante regresiones simples para dos edades, jóvenes y adultos.

Todos los cálculos fueron realizados usando el paquete estadístico Statistica 5.5 (STATSOFT, INC., 1999).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Diferentes formas y tamaños de parcela de muestreo se han usado en los seguimientos de la sanidad forestal; cuatro subparcelas de seis árboles localizados 25 metros desde un punto fijo en Europa (EICHORN *et al.*, 2004), cuatro subparcelas espaciadas 36,6 metros y con un radio fijo en el FHM en Estados Unidos (ZARNOCH *et al.*, 2004) o una parcela circular de 24 árboles en España (SPCAN-DGCN, 2002). Por esta razón, el presente estudio pretende determinar el mejor diseño muestral para ser usado en plantaciones de chopo. Así, análisis de la varianza (ANOVAs) fueron usados para comprobar los efectos de los tres factores sobre la transparencia de copa y decoloración (Tablas 1 y 2), usando las cuatro subparcelas o únicamente una subparcela. En ambas opciones, el resultado fue similar, así las cuatro o una única subparcela permite discriminar los mismos efectos de los factores estudiados. Por otro lado, el test de Wilcoxon (Tabla 3) usado para comparar el efecto del tamaño muestral (1 subparcela vs. 4 subparcelas) sobre los valores medios de VCT y el porcentaje de árboles pertenecientes a las clases 2 y 3 del ICP Forest (árboles dañados), no mostró diferencias en los resultados obtenidos para ambos tamaños muestrales. Por ello, la evaluación de una única subparcela de radio fijo (concretamente 15 metros, es decir aproximadamente 18 árboles en plantaciones con marco 6 x 6 metros) parece ser suficiente para estimar la sanidad forestal en plantaciones de chopo. Por el contrario, resultados opuestos fueron obtenidos por INNES & BOSWELL (1990) que encontraron diferencias significativas entre cada grupo y

Source	4 subplots			1 subplots		
	d.f.	F	p	d.f.	F	p
Edad	1	106,586	0,000	1	57,338	0,000
Calidad de estación	1	121,195	0,000	1	83,210	0,000
Manejo	1	2,259	0,144	1	3,634	0,067
E x CE	1	50,136	0,000	1	31,532	0,000
E x M	1	0,010	0,922	1	0,024	0,879
CE x M	1	12,926	0,001	1	6,913	0,014
E x CE x M	1	0,370	0,548	1	0,143	0,708
Error	26			26		

Nota: E, edad; CE, calidad de estación; M, manejo

Tabla 1. ANOVAs para evaluar el efecto de los factores en la variable VCT en función del número de subparcelas

Source	4 subplots			1 subplots		
	d.f.	F	p	d.f.	F	p
Edad	1	12,736	0,001	1	12,257	0,001
Calidad de estación	1	22,207	0,000	1	23,379	0,000
Manejo	1	0,138	0,712	1	0,143	0,708
E x CE	1	12,441	0,001	1	9,216	0,005
E x M	1	0,053	0,819	1	0,070	0,792
CE x M	1	0,912	0,348	1	1,192	0,284
E x CE x M	1	0,136	0,714	1	0,196	0,660
Error	26			26		

Tabla 2. ANOVAs para evaluar el efecto de los factores en la variable VCD en función del número de subparcelas

	N	T	Z	p
Porcentaje de árboles incluidos en las clases 2 y 3 del ICP Forest	34	54,00	0,723923	0,469114
Porcentaje de árboles incluido en las clase 2 del ICP Forest	34	73,00	0,165683	0,868406
Porcentaje de árboles incluido en las clase 3 del ICP Forest	34	1,00	1,460593	0,144128

Tabla 3. Efecto del número de subparcelas sobre el porcentaje de árboles incluidos en la clase 2 y 3 del ICP Forest mediante el Test de Wilcoxon

entre las cuatro subparcelas de cada parcela. Esto podría ser debido a la total homogeneidad de las plantaciones monoclonales frente a la mayor variabilidad de otro tipo de plantaciones o masas naturales.

Dos curvas de calibración fueron calculadas para cada grupo de edad, obteniendo un buen ajuste ($R^2_{adj} = 0.59$ y $R^2_{adj} = 0.65$, Figuras 1 y 2). Por ello, se recomienda el software CROCO para obtener una evaluación objetiva de la transparencia de copa. De este modo, se eliminarían problemas originados por la subjetividad en la evaluación visual, lo cual facilitaría las interpre-

taciones de los agentes o factores responsables en las variaciones de la transparencia de copa (HENDRIKS et al., 2000), y a su vez haría más fácil la comparación de los datos obtenidos por diferentes equipos de campo en el tiempo (MIZOUE & DOBBERTIN, 2003). Además, CROCO resuelve el problema de una falta de disponibilidad de personal en Europa específicamente preparado (INNES, 1998), ya que no serían necesarias personas con formación en patología forestal. Así, normas muy sencillas para tomar las fotografías podrían ser suficientes; el ángulo de la cámara debería ser menor de

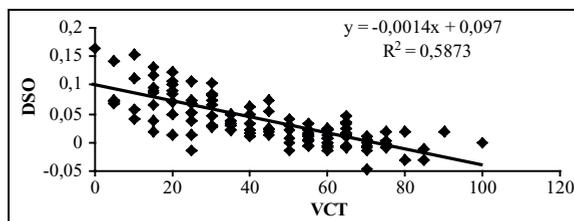


Figura 1. Ajuste usando el índice DSO obtenido con los valores de CROCO y la VCT a partir de los árboles adultos

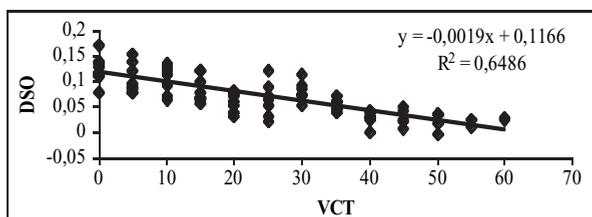


Figura 2. Ajuste usando el índice DSO obtenido con los valores de CROCO y la VCT a partir de los árboles jóvenes

45 grados, el ratio de solapamiento con otros árboles debería ser menor del 50% del ancho de copa y condiciones de extremada mala luminosidad deberían ser evitadas (MIZOUE, 2002).

Actualmente, este aspecto muestra más importancia ya que los inventarios nacionales recogen una gran variedad de datos, como variables dendrométricas, muestras edáficas y foliares, variables de biodiversidad, variables de salud forestal, etc y el personal no está específicamente entrenado en patología. De este modo, fotografías digitales podrían ser enviadas vía e-mail a un experto para calcular la transparencia de copa, ya que una formación adicional en el manejo del software CROCO es necesaria para obtener una precisa estimación de la transparencia de copa (MIZOUE et al., 2004).

Agradecimientos

Me gustaría agradecer al Doctor Nobuya Mizoue de la Universidad de Miyazaki (Japón), por proporcionarme de modo gratuito el software CROCO y por sus valiosos comentarios resolviéndome numerosas dudas y problemas en la puesta a punto del mismo. El presente trabajo ha sido cofinanciado por la Unión Europea y la Junta de Castilla y León, dentro del programa

INTERREG III B Espacio Atlántico, proyecto FORSEE “Gestion durable des Forêt: un reseau Européen des zones pilotes pour la mise en oeuvre opérationnelle”.

BIBLIOGRAFÍA

- BALL, J.; CARLE, J. & DEL LUNGO, A.; 2005. Contribution of poplar and willows to sustainable forestry and rural development. *Unasylva* 221(56): 3-9.
- BRAVO, F.; GRAU, J.M. Y ANTOÑANZAS, F.G.; 1995. Curvas de calidad y tablas de producción para *Populus x euramericana* en la Cuenca del Duero. *Montes* 44: 43-46.
- CLARK, N.; SANG-MOOK, L. & ARAMAN, P.; 2003. Finding a good segmentation strategy for tree crown transparency estimation. *In: 19th Biennial Workshop on Color Photography and Videography in Resource Assessment*. Logan, Utah.
- COOPS, N.C.; STONE, C.; CULVENOR, D.S. & CHISHOLM, L.; 2004. Assessment of crown condition in Eucalypt vegetation by remotely sensed optical indices. *J. Environ. Qual.* 33: 956-964.
- EICHHORN, J.; SZEPESI, A.; FERRETTI, M.; DURRANT, D. & ROSKAMS, P.; 2004. *Manual*

- and method and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forest. Part II: Visual assessment of crown condition. United Nations Economic Commission for Europe. Convención on Long-Range Transboundary Air Pollution.
- FERNÁNDEZ MOLOWNY, A.; 1998. *Guía para determinar el precio de la Madera de chopo en pie. Estimación de existencias y análisis económico sobre la rentabilidad de las choperas*. Ed. Confederación Hidrográfica del Duero.
- FERRETTI, M.; 1997. Forest health assessment and monitoring – issues for consideration. *Env. Monitor. Assess.* 48: 45-72.
- FRAMPTON, C.M.; PEKELHARING, C.J. & PAYTON, I.J.; 2001. A fast method for monitoring foliage density in single lower-canopy trees. *Env. Monitor. Assess.* 72: 227-234.
- GHOSH, S. & INNES, J.L.; 1995. Combining field and control team assessments to obtain error estimates for surveys of crown condition. *Scand. J. For. Res.* 10: 264-270.
- HENDRIKS, C.M.A.; OLSTHOORN A.F.M.; Klap, J.M.; GOEDHART, P.W.; OUDE VOSHAAR, J.H.; BLEEKER, A.; DE VRIES, F.; VAN DER SALM, C.; VOOGD, J.C.H.; DE VRIES, W. & WIJDEVEN, S.M.J.; 2000. *Relationships between crown condition and its determining factors in The Netherlands for the period 1984 to 1994*. Wageningen, Alterra, Green World Research. Alterra-rapport 161. 70 blz.
- HERNÁNDEZ, A. Y HERNANZ, G.; 2004. El chopo (*Populus* sp). *Manual de gestión forestal sostenible*. Ed. Junta de Castilla y León. Valladolid.
- INNES, J.L.; 1998. Role of diagnostic studies in forest monitoring programmes. *Chemosphere* 36(4-5): 1025-1030.
- INNES, J.L. & BOSWELL, R.C.; 1990. Reliability, presentation and relationships among the data from inventories of forest condition. *Can. J. For. Res.* 20: 790-799.
- INNES, J.L.; LANDMANN, G. & METTENDORF, B.; 1993. Consistency of observations of forest tree defoliation in three European countries. *Env. Monitor. Assess.* 25: 29-40.
- LORENZ, M.; BECHER, G.; MUES, V.; FISHER, R.; BECKER, R.; CALATAYUD, V.; DISE, N.; KRAUSE, G.H.M.; SANZ, M. & ULRICH, E.; 2005. *Forest Condition in Europe, Report of the 2004 Survey*. UN/ECE, CEC. Geneva.
- MIZOUE, N.; 2001. Fractal analysis of tree crown images in relation to crown transparency. *J. Forest Plan.* 7: 79-87.
- MIZOUE, N.; 2002.; CROCO: Semi-automatic image analysis system for crown condition assessment in forest health monitoring. *J. Forest Plan.* 8: 17-24.
- MIZOUE, N. & INOUE, A.; 2001. Automatic thresholding of tree crown images. *J. Forest Plan.* 6: 75-80.
- MIZOUE, N. & DOBBERTIN, M.; 2003. Detecting differences in crown transparency assessments between countries using the image analysis system CROCO. *Env. Monitor. Assess.* 89: 179-195.
- MIZOUE, N.; DOBBERTIN, M. & SUGAWARA, D.; 2004. Operator errors in the crown transparency estimates using the image analysis system CROCO. *Computers and Electronics in Agriculture* 44: 247-254.
- SOLBERG, S. & STRAND, L.; 1999. Crown density assessments, control surveys and reproducibility. *Env. Monitor. Assess.* 56: 75-86.
- SPCAN-DGCN.; 2002. *Red de Seguimiento de Daños en los Montes (Red CE de Nivel I). Manual de campo*. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid.
- STATSOFT, INC.; (1999). *STATISTICA for Windows [Computer program manual]*. Tulsa, OK: StatSoft, Inc. Tulsa.
- ZARNOCH, S.J.; BECHTOLD, W.A. & STOLTE, K.W.; 2004. Using crown condition variables as indicators of forest health. *Can. J. For. Res.* 34: 1057-1070.