

MODELOS DE COPA DE *Pinus sylvestris* EN EL SISTEMA CENTRAL DE ESPAÑA.

Marivel Domínguez Domínguez (1), Felipe Bravo Oviedo(2), Miren del Río Gaztelurrutia(3)

(1) Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. Periférico Carlos A. Molina s/n. km 3,5 Ca. Cárdenas-Huimanguillo. C.P. 86570. Cárdenas, Tabasco. México. mdguez@colpos.mx

(2) Departamento de Producción Vegetal y Recursos Forestales. ETS Ingenierías Agrarias. Universidad de Valladolid. Avda. de Madrid 44, 34004 Palencia. fbravo@pvs.uva.es

(3) Departamento de Selvicultura, CIFOR-INIA, Ca. A Coruña Km 7,5 28040, Madrid. delrio@inia.es

Resumen

El tamaño y la forma de la copa tienen importancia relevante en la dinámica de los rodales de pino silvestre, ya que las copas de los árboles cambian a través del desarrollo del rodal y de su gestión. Se ha planteado la necesidad de conocer si la ordenación afecta a la forma de los árboles, y si la forma de la copa se puede modelizar a partir de parámetros fácilmente mensurables en campo. El estudio se realizó en la Sierra de Guadarrama, en dos montes que han experimentado la ordenación durante más de un siglo: Valsaín y Navafría. La modelización de diferentes parámetros de copa, como relación de copa, altura de la base de la copa, máxima anchura de copa y altura en el punto de máxima anchura presentó diferencias significativas al 95% de confiabilidad entre el monte de Valsaín, gestionado bajo un método de ordenación de tramo móvil, y un método de regeneración de aclareo sucesivo por rodales, con turno de 120 años, en comparación con el pinar de Navafría gestionado por ordenación de tramos periódicos permanentes y regeneración mediante aclareo sucesivo reducido a cortas diseminatoria y final con un turno de 100 años.

Palabras clave: competencia, ordenación, pino silvestre, Valsaín, Navafría.

MESA TEMÁTICA 5: Inventario y ordenación de sistemas y recursos forestales.

INTRODUCCIÓN

La forma y tamaño de la copa de los árboles juegan un papel importante en la calidad y cantidad de los hábitat de aves y en la estabilidad de la masa, entre otros aspectos importantes para el manejo sostenible (MORRISON *et al.*, 1987; HANN, 1999; HUNTER, 1999). El tamaño y la forma de la copa, además de verse influenciadas por la dinámica del rodal, también se ven modificadas por las condiciones de competencia entre los árboles. La copa no representa únicamente el estatus social y el nivel de competencia de un árbol en el presente, sino también su situación en el pasado (MITCHELL, 1975; KRAMER, 1988).

Por otra parte, la calidad de los productos maderables depende en parte de la copa, ya que ésta determina la ramificación y forma del fuste de un árbol (KRAMER & KOLOWSKI, 1979; OKER-BLOM *et al.*, 1988).

Junto con la relación de esbeltez, el porcentaje de la copa viva o relación de copa es una de las características individuales que más influencia ejerce en la estabilidad de un árbol, incrementando el riesgo a ser dañados por el viento o la nieve con la menor relación de copa, especialmente en masas jóvenes (ROTTMANN, 1985). La conformación de la copa está siempre influida por pequeñas diferencias de exposición al sol, a los vientos y por la pendiente que establece variaciones de anclaje y humedad alrededor del tronco (RUIZ DE LA TORRE, 1979).

La relación de copa es una variable de copa frecuentemente utilizada para predecir el crecimiento del árbol a lo largo del tiempo en diferentes especies (BIGING & DOBBERTIN, 1992; HASENAUER & MONSERUD, 1996; BRAVO *et al.* 2001). No obstante, las ecuaciones de perfil de copa que permiten caracterizar la forma, perfil de la superficie, volumen y porosidad de la copa de un

árbol, pueden ser usadas para describir el grado de competencia que sufre un árbol en un rodal mediante el índice de competencia de copa (HANN & WANG, 1990; BIGING & DOBBERTIN, 1995). Estas mediciones de arquitectura de la copa también se emplean para caracterizar la estructura de un rodal, la historia de las perturbaciones y su efecto sobre las densidades de nidificación de aves (HANN, 1999). Particularmente, presenta gran interés la aplicación de estas variables de copa al cálculo de índices de la estructura espacial, vertical y horizontal del bosque (KINT *et al.*, 2000; PESO, *et al.* 2002).

La característica principal de los modelos de árbol individual es que incluyen un factor de competencia dependiente del individuo, en las ecuaciones de crecimiento de cada árbol (RÍO, 1999), podemos encontrar ejemplos en HANN Y LARSEN (1991) y en BRAVO *et al.*, (2001). Estos modelos se pueden usar en las situaciones más complejas como en rodales multietáneos, con varias especies o en plantaciones en hileras o diseños de agroforestería (GARCÍA, 1994).

OBJETIVO

Por estas razones el objetivo del estudio es construir ecuaciones para analizar la influencia de la estructura forestal sobre los parámetros de la copa de *Pinus sylvestris* L. en el centro de España; considerando que en el futuro estas ecuaciones serán un componente fundamental para desarrollar modelos de crecimiento de árbol individual, que servirán como una herramienta de importancia para la gestión forestal.

METODOLOGÍA

Este trabajo se ha realizado los montes de Valsaín y Navafría. El monte de Valsaín (Segovia) está situado en altitudes entre 1300–2000 m. El pinar de Valsaín presenta una superficie de 7.627 ha, ocupadas prácticamente en su totalidad por *Pinus sylvestris* L. El esquema de ordenación propuesto en 1990 para cuarteles de producción de este monte se basa en tratamientos de aclareos sucesivos por cantones y/o bosquetes, con turnos de 120 años con el método de ordenación de tramo móvil en regeneración, admitiendo una forma semirregular de las masas (ROJO y MONTERO, 1996). El monte Valsaín es considerado zona especial de protección a las aves, ya que habitan en él 10 especies consideradas amenazadas y 18 vulnerables; así mismo, forma parte de la red natura 2000 de espacios protegidos de la Unión Europea. (REAL DECRETO 439/1990) dado su carácter protector de cuenca hidrográfica y su alto valor ecológico.

El monte “Pinar de Navafría”(Segovia) tiene un superficie sujeta a ordenación de 2.760 ha, de las cuales 2.500 se encuentran sobre laderas abruptas entre los 1.300 y 2.200 m de altitud (GARCÍA, 1995). El primer inventario se realizó en 1895. El tratamiento silvícola que se realiza es aclareos sucesivos, reducido a cortas diseminatoria y final, y como método de ordenación es de tramos periódicos permanentes, con un turno de transformación de 100 años y un período de regeneración de 20 (GARCÍA, 1994; HUERTAS y MARTÍN, 2001).

Se realizó un muestreo sobre rodales que tenían de 60-80, 80-100, y 100-120 años, de cada uno de los dos montes estudiados. Estas clases de edad se eligieron por tratarse de rodales maduros. En estos rodales se realizó un muestreo sistemático sobre una malla cuadrada de 100 x 100 m de lado, orientado al norte magnético. En cada nudo, se estableció una parcela de muestreo. Se trabajó con parcelas de radio variable, con centro en el primer árbol inventariable según el método descrito por PRODAN (1968), SLOBODA (1976) y REQUE (2002). El diámetro mínimo inventariable se fijó en 5 cm. Se tomaron, como árboles a medir, el árbol inventariable más próximo al nudo de la malla y sus seis árboles vecinos más próximos. Se midió el diámetro a la altura del pecho, altura total, altura a la base de la copa (HCB), altura de máxima amplitud de copa (HLCW), máxima amplitud de copa o diámetro de copa (LCW), la edad normal de los árboles, relación de copa (CR) que resulta de dividir la longitud de copa entre la altura total, área basimétrica y área basimétrica de los árboles de mayor diámetro (BAL).

Modelos de copa

Se han desarrollado cuatro modelos para estimar los siguientes atributos de la copa: relación de copa (CR), altura a la base de la copa (HCB), máxima anchura de copa (LCW) y altura al punto de máxima anchura de copa (HLCW).

En el ajuste de los modelos se utilizó regresión no lineal con el procedimiento NLIN en el paquete SAS (SAS, 1995). Se aceptaron las variables de los modelos que resultaron significativas con una probabilidad $\alpha \leq 0,05$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Relación de copa (CR)

Todas las variables que conforman el modelo, excepto la expresión cuadrática del diámetro, resultaron significativas a un nivel de confianza del 95%, quedando el modelo de CR como se presenta en la ec. (1).

$$CR = 1 / (1 + \exp(- (1,6805 + (-1,0816) * HT / DBH + (-0,0590) * HT + (-0,0091) * BAL))) \quad [\text{Ec. 1}]$$

En la figura (1) se muestra la variación de la relación de copa con cada una de las variables independiente para ver la consistencia biológica del modelo. A mayor desarrollo del árbol en diámetro, la relación de copa tiende a incrementarse. Se ve la relevancia de los árboles dominantes con BAL igual a cero que presentan una relación de copa mayor presentando mayor vigor, siendo contrario en los árboles en situación dominada.

Altura a la base de la copa (HCB)

Todas las variables resultaron significativas quedando el modelo formado por las variables HT, relación DBH/HT que representa el tamaño del árbol, el BAL y el logaritmo del área basimétrica que representan la competencia de los árboles (Ec. 2).

$$HCB = HT / (1 + \exp(0,6843 + (-0,0454) * HT + (-0,00464) * BAL + (-0,2261) * \ln(AB) + (0,4465) * DBH / HT)) \quad [\text{Ec. 2}]$$

Por su parte, la altura a la base de la copa viva manifiesta un crecimiento a través de la altura del árbol; con el incremento de la altura a la base de la copa en los diferentes tamaños de diámetros, la respuesta es proporcional (Figura 2) y la tendencia que se presenta en los tres casos es exponencial.

Máxima anchura de copa (LCW)

Queda definido con las variables de tamaño DBH que representa al tamaño del árbol y CR que representa el vigor del árbol. Este modelo presenta una relación lineal (Ec. 3). Una ecuación similar obtuvo LIZARRALDE (2003) en el modelo de LCW para pino silvestre en Burgos y Soria obteniendo los parámetros de 1,7173 para el diámetro y 0,2467 para el exponente de la relación de copa.

$$LCW = (1,0990 + (0,1507) * DBH) * CR^{0.175496} \quad [\text{Ec. 3}]$$

Al realizar la representación gráfica del modelo de la máxima anchura de la copa (LCW) como variable que representa la situación de competencia del árbol se puede ver que existe una relación lineal al representarlo con el diámetro. Al analizar el crecimiento de la máxima anchura de copa, se nota el incremento del diámetro normal de los árboles, en los diferentes valores de relación de copa (Figura 3). Por su parte al analizar el LCW con la CR como variable que representa el vigor del árbol se puede notar que se incrementa ligeramente al aumentar el vigor del árbol a través de la relación de copa.

Altura en el punto de máxima anchura de copa (HLCW)

El modelo de la altura en el punto de máxima anchura de copa fue representado inicialmente por las variables HT, BAL, DBH/HT y CR, de las cuales resultaron significativos a un nivel de confianza del 95% el BAL y la relación de copa (Ec. 4).

$$HLCW = HT / (1 + \exp(-2,1327 + (-0,00226) * BAL + (3,2130) * CR)) \quad [\text{Ec. 4}]$$

El modelo de la altura en el punto de máxima anchura de copa (HLCW) al representarse en la figura 4, presenta una relación lineal creciente con la altura total y una tendencia tipo logarítmica al relacionarla con el vigor del árbol. Es inversamente proporcional la HLCW con el aumento de la

relación de copa, siendo esta disminución mas fuerte cuanto mayor altura alcanza el árbol.

Validación para el ajuste de los modelos

El error relativo de cada modelo indica la validez del mismo. El modelo de relación de copa presentó un 91,06% de los 258 datos que se utilizaron en la validación de los modelos que se encontraron distribuidos en el área del 50% de error relativo y solo un 1,93% se encontraron fuera del 100%; por su parte, del modelo de HCB el 86,41 de los datos estuvieron distribuidos dentro del rango del 0 al 50% de error relativo y sólomente el 3,88% rebasó el 100% de error relativo. Los modelos LCW y HLCW dieron como resultado que el 92,22 y 98,81% respectivamente de los datos se encontraran distribuidos dentro del 0 al 50% de error relativo.

Error medio, diferencia media absoluta y eficiencia del modelo

Al comparar el modelo de relación de copa que representa el vigor del árbol con el modelo de la altura a la base de la copa que representa el crecimiento de la sección complementaria del CR, resultó con menos error medio del modelo la relación de copa (4,07%), aunque la diferencia media absoluta resultó mayor al 20%. El modelo de la altura a la base de la copa, sin embargo, presentó una diferencia media absoluta menor al 20%, coeficiente de determinación de 0,83 y eficiencia del modelo de 0,80, resultando un modelo aceptable de acuerdo al criterio propuesto por HUANG *et al.* (2003).

El modelo de la máxima amplitud de copa dio como resultado valores bajos de error relativo y menor del 20% para la diferencia media absoluta, así como un coeficiente de determinación alto y eficiencia del modelo de 0,74 (Tablas 1 y 2). En el modelo de LCW se obtiene una eficiencia mas alta (0,7446) comparada con la obtenida por LIZARRALDE (2003) para el modelo de LCW de pino silvestre (0,6988).

Los estadísticos realizados en la validación dieron como resultados los valores más bajos tanto del error medio del modelo en porcentaje como de la diferencia media absoluta para el modelo de HLCW (0,019 y 10,21%), respectivamente, así como también el coeficiente de determinación ajustado y la eficiencia del modelo que resultaron muy altas (0,92 para ambas).

CONCLUSIONES

De los modelos de relación de copa y altura a la base de la copa, el modelo de relación de copa resultó ser el mejor.

El modelo de altura en el punto de máxima amplitud de copa obtuvo los valores más bajos de error medio y diferencia media absoluta, mejor eficiencia y buen ajuste.

La relación de copa que representa el vigor del árbol en la masa total quedó representado por la esbeltez del árbol, la altura total y el BAL como variable de competencia por la luz. La altura a la base de la copa en la masa total quedó ajustada por la altura total del árbol, la competencia por la luz (BAL) y la competencia en los recursos del suelo (BA). La máxima amplitud de copa quedó representada por el diámetro del árbol y por el vigor (CR). La altura en el punto de máxima anchura de copa quedó representado por la altura total del árbol, la competencia por la luz (BAL) y el vigor del árbol (CR).

Agradecimientos

Al INIA, por el apoyo brindado a través de su Proyecto “Influencia de los tratamientos selvícolas sobre la densidad de las masas de (*Pinus sylvestris* L.): Caracteres selvícolas, florísticos y genéticos. AGL2000-1545.

BIBLIOGRAFÍA

- BIGING, G. S.; DOBBERTIN, M. 1992. A Comparison of Distance-Dependent Competition measures for height and basal area growth of individual conifer trees. *For. Sci.* (3): 695-720.
- BIGING, G. S.; DOBBERTIN, M. 1995. Evaluation of competition indices in individual-tree growth models. *For. Sci.* 41: 360-377.
- BRAVO, F.; HANN, D. W.; MAGUIRE, D. A. 2001. Impact of competitor species composition on predicting diameter growth and survival rates of Douglas.fir trees in southwestern Oregon.

Can. J. For. Res. 31: 2237-2247.

- BRAVO, F.; MONTERO, G. 2001. Site index in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands in the High Ebro Basin (northern Spain) using soil attributes). *Forestry*. Vol 74. No. 4. 395-406.
- GARCÍA, J. M. 1994. Evolución de un medio forestal intervenido. Un siglo de ordenación en el pinar de Navafría (1895-1994). *Montes*. 36 (2): 58-64.
- GARCÍA, J. M. 1995. Evolución de estructura en masas ordenadas de *Pinus sylvestris* L. ensayo de un modelo descriptivo. En: *Actas de la reunión de Valsaín*. Grupo ordenación de montes. Cuadernos de la sociedad española de ciencias forestales. 1: 399-414.
- HANN, D. W. 1999. An adjustable predictor of crown profile for stand-grown Douglas-Fir trees. *For. Sci.* 45 (2): 217-225.
- HANN, D. W.; LARSEN, D. R. 1991. Diameter growth equations for fourteen tree species in Southwest Oregon. *Forest research laboratory*. Oregon State University, Corvallis. Research Bulletin. 69: 18 p.
- HANN, D. W.; WANG, C. H. 1990. Mortality equations for individual trees in the mixes-conifer zone of southwest Oregon. *Forest Research Laboratory*. Oregon State University, Corvallis, Oregon. Bulletin 59.
- HASENAUER, H.; MONSERUD, R. A. 1996. A crown ratio model for Austrian forest. *Forest ecology and management*. 84: 49-60.
- HUANG, S.; YANG, Y.; WANG, Y. 2003. A critical look at procedures for validating growth and yield models. En: Amaro, A.; Reed, D.; Soares, P. (Edits). *Modelling forest systems*. CABI. 271-293.
- HUERTAS M., D. A.; MARTÍN M., J. C. 2001. Análisis de la ordenación del monte pinar de Navafría en el período 1895-2000. En: Grupo ordenación de montes. *Actas de la III reunión sobre evolución de ordenaciones históricas*. Cuadernos de la sociedad española de ciencias forestales. 11: 103-110.
- HUNTER, M. L. 1999. *Maintaining biodiversity in forest ecosystems*. Cambridge university press. 698 pp.
- KINT, V.; LUST, N.; FERRIS, R.; OLSTHOORNA, A. F. M. 2000. Quantification of forest stand structure applied to scots pine (*Pinus sylvestris* L.) forests. En: Mason, W.; Alía, R.; Forrest, G.; Olsthoorn, A.; Sjöberg, K. (Edits.). *Silviculture and biodiversity of scots pine forests in Europe*. *Investigación Agraria. Sistemas y recursos forestales*. Fuera de serie número 1. I.N.I.A. 147-163.
- KRAMER, H. 1988. *Waldwachstumslehre*. Paul Parey. Hamburg-Berlin. 374 p.
- KRAMER, P. J.; KOLOWSKI, T.T. 1979. *Physiology of woody plants*. Academic Press. New York. 811 p.
- LIZARRALDE, I. 2003. Modelos de copa, perfil y cubicación para pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.) en el Norte de España. Suficiencia investigadora. Doctorado. Universidad de Valladolid. 24 p.
- MITCHELL, K. J. 1975. Dynamics and simulated yield of Douglas fir. *For. Sci. Monogr.* 17: 39 pp.
- MORRISON, M. L., TIMOSSI, I.C.; KIMBERLY, A.W. 1987. Development and testing of linear regression models predicting bird-habitat relationships. *Journal of Wildl. management*. 51(1): 247-253.
- OKER-BLOM, P.; KELLOMÄKI, S.; VALTONEN, E. 1988. Structural Development of *Pinus sylvestris* Stands with varying Initial Density: a Simulation Model. *Scan. J. For. Res.* 3: 185-200.
- PESO, C. DEL; SANITJAS, A.; MONREAL, J.; GUERRA, B.; VILLADA, D.; REQUE, J.; DOMINGUEZ, M.; PRIETO, C. y RUIZ, I. 2002. Caracterización selvícola de masas forestales mediante el Inventario Forestal Nacional. En: Bravo, F.; Río, M. Del; Peso, C. Del. Editores. *El Inventario Forestal Nacional. Elemento clave para la gestión forestal sostenible*. Fundación general de la Universidad de Valladolid. Valladolid. 79-104.
- PRODAN, M. 1968. Punktstichprobe für die Forsteinrichtung. *FHW*. 225-226.
- REAL DECRETO 439/1990, de 30 de Marzo de 1990. 1990. Catálogo Nacional de especies amenazadas. B.O.E. No. 82. 5 de Abril, 1990. Pp. 9468-9471.
- RÍO, M. DEL. 1999. Régimen de claras y modelo de producción para *Pinus sylvestris* L. en los Sistemas Central e Ibérico. Tesis doctoral. INIA. *Serie forestal*. 2: 257 p.
- ROJO, A.; MONTERO, G. (1996). *El pino silvestre en la Sierra de Guadarrama*. Ministerio de

Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid: 293 pp.

ROTTMANN, M. 1985. Waldbauliche Konsequenzen aus Schenebruch katastrophen. *Schweiz. Z. Forstwes.* 136 (3): 167-184.

RUIZ DE LA TORRE, J. 1979. *Arboles y arbustos de la España peninsular*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Madrid. 512 p.

SAS INSTITUTE. 1995. *SAS User's Guide*. Version 6, Vol. 2, 4th Edition. SAS Institute, Inc., Cary, NC.

SLOBODA, B. 1976. Mathematische und stochastische modelle zur Beschreibung und Beständen. Insbesondere das bestandesspezifische wachstum als stochastischer Prozeß. Habilitationsschrift Freiburg.

Tabla 1. Error medio y diferencia media absoluta de los modelos de tamaño de copa.

MODELOS	MRES	MRES (%)	AMRES	AMRES (%)
CR	0,0186	4,07	0,0991	21,66
HCB	-0,4218	-4,28	1,7102	17,38
LCW	-0,2063	-4,40	0,7929	16,94
HLCW	0,0023	0,019	1,2015	10,21

(MRES) error medio del modelo o sesgo, (AMRES) diferencia media absoluta.

Tabla 2. Eficiencia de los modelos de tamaño de copa y R² ajustada.

MODELOS	R ² ajustada	EFICIENCIA (EF)
CR	0,4242	0,4007
HCB	0,8384	0,8098
LCW	0,7783	0,7446
HLCW	0,9294	0,9206

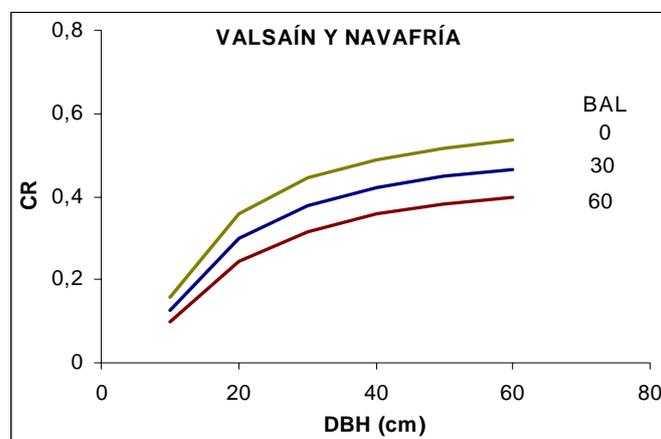


Figura 1. Representación gráfica del modelo de relación de copa de pino silvestre a través del diámetro a diferentes BAL y HT de 20 m

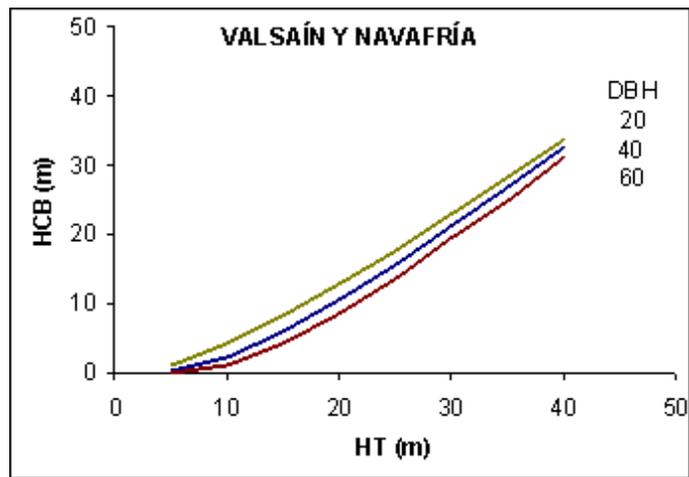


Figura 2. Representación gráfica del modelo de altura a la base de la copa de pino silvestre a través de la altura total a diferentes diámetros, BAL igual a 0 y AB de $40 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$.

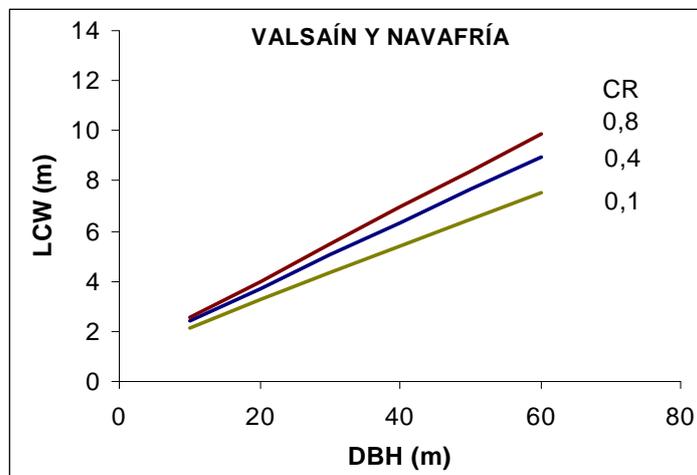


Figura 3. Representación gráfica del modelo de máxima amplitud de copa de pino silvestre a través del diámetro a diferentes relaciones de copa.

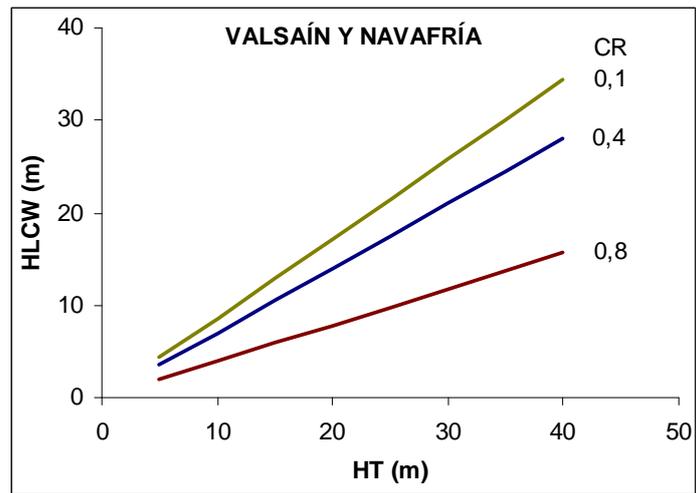


Figura 4. Representación gráfica del modelo de altura a la máxima anchura de copa de pino silvestre a través de la altura total para diferentes relaciones de copa.