

DIAGRAMAS PARA EL MANEJO DE LA DENSIDAD DE RODALES DE PINO CARRASCO (*Pinus halepensis* Miller) EN EL LA ZONA CATALANA INTERIOR Y ARAGONESA

Valbuena, P.; Bravo, F.

Dept. de Producción Vegetal y Recursos Forestales
E.T.S. de Ingenierías Agrarias. Universidad de Valladolid
Avda. de Madrid, 44 34004 PALENCIA
Tfno. 979 108423 Fax 979 108440 correo electrónico: pivalpe@pvs.uva.es

Resumen

Los diagramas para el manejo de la densidad de rodales no están muy desarrollados entre los selvicultores españoles. Sin embargo, son de uso frecuente en Norteamérica donde tienen un gran desarrollo ya que son uno de los métodos más eficaces y sencillos para el diseño de regímenes selvícolas. A partir de los datos del Inventario Forestal Nacional (IFN) se han desarrollado los diagramas estáticos para el manejo de la densidad del rodal. La amplia superficie con la que cuenta la especie en la región catalana y aragonesa hace que aparezca distribuida en tres áreas: Cataluña interior, Ibérico aragonés y Monegros-Depresión del Ebro. En todas las zonas encontramos masas naturales y procedentes de repoblación, desde masas en bastante mala situación, hasta bosques jóvenes aclarados y pinares maduros con sotobosque de arbustos esclerófilos. Por tanto estas tres áreas de Cataluña y Aragón pueden caracterizar situaciones selvícolas típicas en las que se desarrolla el pino carrasco. En el presente trabajo se han delimitado las zonas de estudio correspondientes a distintas regiones de procedencia para después ajustar las relaciones básicas que componen los diagramas desarrollados. Finalmente se han dibujado los diagramas de manera que sean útiles para el gestor forestal.

PALABRAS CLAVE

Índice de Reineke, pino carrasco, Inventario Forestal Nacional.

INTRODUCCIÓN

El pino carrasco es uno de los pinos más extendidos en la región mediterránea. Es una especie pionera y su óptimo de altitud se encuentra en 800 m, si bien en la península ibérica se encuentra desde el nivel del mar hasta los 1.600 m. Lo que más destaca de la especie a nivel ecológico es su gran resistencia a la sequía, y su escasa tolerancia a temperaturas muy bajas; sin embargo, no presenta ninguna preferencia respecto al tipo de sustrato sobre el que se asienta.

La amplia superficie con la que cuenta el pino carrasco en la región catalana y aragonesa hace que aparezca distribuida en tres áreas: Cataluña interior, Ibérico aragonés y Monegros-Depresión del Ebro. En todas las zonas encontramos masas naturales y procedentes de repoblación, desde masas en bastante mala situación, hasta bosques jóvenes aclaradas y pinares maduros con sotobosque de arbustos esclerófilos. Por tanto estas tres áreas de Cataluña y Aragón pueden caracterizar situaciones selvícolas típicas en las que se desarrolla el pino carrasco.

Las decisiones selvícolas a nivel de masa deben aproximarse a maximizar los productos, minimizando el tiempo de obtención de los mismos. El manejo de la masa a través de la densidad es

ofrece el mejor control sobre el crecimiento y el desarrollo de las masas regulares (ARCHIBALD & BOWLING, 1995).

Hay una gran variedad de herramientas de manejo para ayudar al gestor de recursos a la toma de decisiones en el manejo de densidad, como las tomadas en las claras comerciales y precomerciales. Los diagramas de manejo de densidad son una herramienta de manejo desarrollada para especies de árboles en Norte América (DREW & FLEWELLING, 1979; NEWTON & WEETMAN, 1994). Estos diagramas proporcionan de forma simplificada los valores de las variables de masa necesarias para poder tomar decisiones selvícolas a ese nivel. Los diagramas de manejo de densidad están basados en la teoría del autoclareo y las relaciones entre diámetro medio, altura dominante, densidad y volumen para masas regulares (ARCHIBALD & BOWLING, 1995). Muestran de forma de gráfica las relaciones entre diámetro medio, altura, densidad y volumen para masas puras regulares (ARCHIBALD & BOWLING, 1995).

Los diagramas de manejo de densidad representan, en un solo gráfico, la relación entre la densidad de la masa, la altura dominante, el diámetro medio cuadrático y el volumen de la masa. Son unos modelos medios de masa que ilustran gráficamente las relaciones entre producción, densidad y mortalidad a lo largo de todos los estadios de desarrollo de la masa (NEWTON & WEETMAN, 1994; BARRIO ANTA *et al.*, 2004).

El empleo de diagramas de manejo de densidad es uno de los métodos más efectivos para el diseño, desarrollo y evaluación de regímenes de manejo de densidad alternativos para masas regulares. Estos diagramas se construyen caracterizando los crecimientos, usando índices que relacionan el tamaño del árbol (por ejemplo, el volumen medio, la altura o el diámetro) con la densidad (por ejemplo, el número de pies por hectárea) (BARRIO ANTA *et al.*, 2004). Para la construcción de estos diagramas, hay varias posibilidades a la hora de elegir un índice de densidad, así según la bibliografía consultada son varios los empleados: el índice de densidad propuesto por REINEKE (1933) fue usado por MCCARTER & LONG (1986), DEAN & JOKELA (1992) y DEAN & BALDWIN (1993); el índice de densidad relativa desarrollado por DREW & FLEWELLING (1979) fue utilizado por FLEWELLING *et al.* (1980), y NEWTON & WEETMAN (1994). Una gran ventaja de estos índices de densidad es que son independientes de la calidad de sitio y la edad de la masa (LONG, 1985).

El objetivo del presente estudio es desarrollar un diagrama de manejo de densidad (SDMD) para masas puras de *Pinus halepensis* Miller en las regiones de procedencia de Cataluña interior, Ibérico aragonés y Monegros-Depresión del Ebro, en la zona catalana interior y aragonesa, basado en el índice de densidad propuesto por REINEKE (1933) para caracterizar el crecimiento. Mediante los diagramas de manejo de densidad, los gestores pueden desarrollar con agilidad estrategias de claras para un amplio rango de calidades de sitio y objetivos de manejo (DEAN & BALDWIN, 1993).

MATERIAL Y MÉTODOS

Para realizar este estudio se han obtenido los datos del Inventario Forestal Nacional (IFN), seleccionando las parcelas pertenecientes a las regiones de procedencia de Cataluña interior, Ibérico aragonés y Monegros-Depresión del Ebro, tanto las de masas naturales, como las procedentes de repoblación. Esta selección se ha realizado mediante el programa BASIFOR 2.0 (RIO *et al.*, 2001; BRAVO *et al.*, 2005). En la Tabla 1 se presentan los valores de las variables obtenidas de Inventario Forestal Nacional, y que han sido utilizadas para realizar el diagrama.

Los componentes básicos del diagrama de manejo de densidad son el índice de densidad (en este caso se va a utilizar el desarrollado por REINEKE, 1933), y dos ecuaciones que relacionan diámetro medio cuadrático y volumen de masa con la densidad, la altura dominante y el diámetro medio cuadrático (ecuaciones [1] y [2]).

Para la realización del diagrama de manejo de densidad en primer lugar se sitúan en el eje de abscisas la densidad (en escala logarítmica) y en el eje de ordenadas el diámetro medio cuadrático (en escala logarítmica).

Se realiza el ajuste simultáneo del sistema de ecuaciones formado por:

$$D_g = \beta_0 \cdot N^{\beta_1} \cdot H_o^{\beta_2} \quad [1]$$

$$V = \beta_3 \cdot D_g^{\beta_4} \cdot H_o^{\beta_5} \cdot N^{\beta_6} \quad [2]$$

Donde:

N = Densidad de masa (pies/ha).

D_g = Diámetro medio cuadrático de la masa (cm).

H_o = Altura dominante de masa (m).

V = Volumen de masa (m^3 /ha).

β_i ($i = 0 - 6$) = Coeficientes de regresión.

Las dos ecuaciones juntas definen un sistema donde N y H_o son variables exógenas, o variables cuyos valores son determinadas completamente independientes del sistema, y D_g es una variable endógena instrumental. Para la realización del ajuste se utilizó FIML en ambas ecuaciones mediante la orden MODEL del programa SAS/ETS (SAS INSTITUTE, 2001).

Se representan en el gráfico los valores de Índice de Reineke (en la Figura 1 en color azul), altura dominante (en la Figura 1 en color rojo) y volumen (en la Figura 1 en color negro) en función del número de pies y el diámetro medio cuadrático empleando las dos ecuaciones anteriormente ajustadas, [1] y [2].

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El resultado del ajuste simultáneo de las ecuaciones [1] y [2], es decir, la estimación de los coeficientes y los estadísticos de regresión obtenidos, se muestra a continuación en las Tablas 2 y 3. Todos los coeficientes son significativos a nivel 5%. Los valores que se presentan a continuación muestran una alta precisión del ajuste simultáneo realizado con las dos ecuaciones.

El diagrama de manejo de densidad desarrollado se ha realizado superponiendo las líneas del índice de densidad de Reineke (REINEKE, 1933), las de altura dominante y las de volumen, para las masas objeto de estudio. El eje de diámetro medio cuadrático tiene unos valores entre 7 y 44 cm, y el de densidad oscila entre 50 y 2.400 pies/ha, ambos en escala logarítmica.

Para que los gestores puedan sacar el máximo rendimiento a los diagramas de manejo de la densidad deben saber interpretarlos y obtener la información que les sea necesaria (por ejemplo, determinar los niveles máximos y mínimos de densidad).

Conociendo los datos de densidad (pies/ha) y diámetro medio cuadrático de una masa, situando ese punto en el diagrama se obtienen los valores para la misma de altura dominante, volumen de masa e índice de Reineke. Así, a partir de dos datos conocidos, se pueden obtener el resto de variables de una masa, por ejemplo, si partimos de la altura dominante y la densidad, mediante la intersección de la recta de altura dominante con el punto de densidad conocido se hallan el diámetro medio cuadrático, el volumen de masa y el índice de Reineke.

A la hora de representar los niveles de densidad máximos y mínimos para la masa hay que tener en cuenta los valores del índice de Reineke. Por encima del 60% del índice máximo de Reineke para la masa aparece el autoclareo (DEAN & BALDWIN, 1993), así que no se debe superar este límite en la masa. Hay que tener en cuenta también el mínimo porcentaje de copa viva necesario para que la respuesta a la clara sea lo más rápida posible; este valor está en torno al 40% del índice de Reineke (LONG, 1985). Con estos dos datos, se toma un valor intermedio de índice máximo de Reineke del 50%. Este valor queda representado en la Figura 1 por la línea A y nunca deberá ser superado por la masa para no perder rendimiento.

El nivel mínimo del índice de Reineke son del 35%, y por debajo de este valor no hay

ocupación total del espacio; está representado en la Figura 1 por la línea B.

Para una mejor comprensión de la representación de regímenes de silvicultura, en la Figura 2 se representan 2 alternativas de manejo de densidad, cuyos valores están indicados en la Tabla 4.

CONCLUSIONES

El diagrama de manejo de densidad realizado para el pino carrasco en la zona interior catalana y aragonesa es particularmente útil para planificar y evaluar las consecuencias de regímenes de manejo selvícola alternativos. Este diagrama ayudará a los gestores de dichas masas a determinar y evaluar el manejo de la densidad de masa para una gran variedad de objetivos.

Mediante el empleo de mediciones standard (D_g , N y H_o) el gestor puede determinar el volumen total de la masa, la altura dominante y el crecimiento relativo potencial. También se puede utilizar para determinar la dirección probable del desarrollo futuro de la masa.

Como en cualquier modelo estadístico, las predicciones no deben ser extrapoladas fuera del rango de datos originales con el que se realizó el ajuste.

Agradecimientos

A Marcos Barrio Anta y Juan Gabriel Álvarez (USC-Lugo) por facilitar el archivo para representar gráficamente el diagrama.

BIBLIOGRAFÍA

- ARCHIBALD, D.J., BOWLING, C. 1995. Jack pine density management diagram for boreal Ontario. OMNR, *Northeast and Northwest Science & Technology*. TN-005 (NWST TN-31). 20p.
- BARRIO ANTA, M.; ÁLVAREZ GONZÁLEZ, J.G.; RUIZ GONZÁLEZ, A.D. 2004. Ecoregional-based Stand Density Management Diagrams for *Pinus pinaster* L. in Galicia: It's use for developing thinning schedules. The Economics and Management of High Productivity Plantations. *International IUFRO Meeting Lugo* (27-30 Septiembre 2.004).
- BRAVO, F.; RIVAS, J.C.; MONREAL, J.A.; ORDOÑEZ, C. 2005 Basifor 2.0: Aplicación informática para el manejo de las bases de datos del Inventario Forestal Nacional. *IV Congreso Forestal Nacional, Zaragoza*.
- DEAN, T.J.; BALDWIN, V.C.JR. 1993. Using a Density-Management Diagram to Develop Thinning Schedules for Loblolly Pine Plantations. *Research Paper SO-275*. USDA. Forest Service. Southern Forest Experiment Station.
- DEAN, T.J.; JOKELA, E.J. 1992. A density management diagram for slash pine plantations in the lower Coastal Plain. *Southern Journal of Applied Forestry*. 16(4): 178-185.
- DREW, T.J.; FLEWELLING, J.W. 1979. Stand density management diagram for slash pine plantations in the lower coastal plain. *Forest Science*. 25(3): 518-532.
- FLEWELLING, J.W.; WILEY, K.N.; DREW, T.J. 1980. Stand density management in western hemlock. Weyerhaeuser Corporation. Western Forestry Research Centre, Centralia, WA, *Forestry Research Technical Report 042-1417/80/32*.
- LONG, J.N. 1985. A practical approach to density management. *Forestry Chronicle*. 61(1): 23-27.
- NEWTON, P.F., WEETMAN, G.F. 1993. Stand density management diagrams and their development and utility in black spruce management. *For. Chronicle*. 69:421-430.
- NEWTON, P.F.; WEETMAN, G.F. 1994. Stand density management diagram for managed black spruce stands. *For. Chronicle*. 70, 65-74.

REINEKE, L.H. 1933. Perfecting a stand-density index for even-aged forests. *Journal of Agricultural Research*. 46(7): 627-638.

RÍO, M. DEL; RIVAS, J.C.; CONDÉS, S.; MARTÍNEZ-MILLÁN, J.; MONTERO, G.; CAÑELLAS, I.; ORDÓÑEZ, C.; PANDO, V.; SAN MARTÍN, R.; BRAVO, F. 2001 Basifor: aplicación informática para el manejo de bases de datos del Segundo Inventario Forestal Nacional. *Actas del III Congreso Forestal Español*. Mesas 4-5 49-54

SAS INSTITUTE INC. 2001. *SAS/STAT™ User's Guide*, Release 8.2, Cary, N.C. USA.

Tabla 1. Valores de las variables utilizadas para el ajuste simultáneo de las ecuaciones de diámetro medio cuadrático [1] y el volumen de masa [2] para el pino carrasco.

Variable	Media	Mínimo	Máximo	Desviación Standard
Diámetro medio cuadrático, D_g (cm)	16,97	7,55	43,90	5,48
Densidad, N (pies/ha)	439,94	5,09	2.405,01	407,34
Índice de Reineke, SDI	198,61	10,67	1.289,66	172,18
Altura dominante, H_o (m)	7,26	2,07	21,35	2,22
Volumen de masa, V (m^3/ha)	29,37	0,96	281,13	30,60

Tabla 2. Resultados del análisis de varianza y ajuste obtenido de realizar el ajuste simultáneo del sistema de ecuaciones para calcular el diámetro medio cuadrático [1] y el volumen de masa [2] para el pino carrasco.

Ecuación	DF Modelo	DF Error	SSE	MSE	R^2	R^2 ajustada
D_g	3	1141	10.543,4	9,2405	0,6907	0,6901
V	4	1140	31.429,6	27,5699	0,9706	0,9706

Tabla 3. Coeficientes de la regresión no lineal obtenidos al realizar el ajuste simultáneo del sistema de dos ecuaciones para el cálculo del diámetro medio cuadrático [1] y el volumen de masa [2] para el pino carrasco.

Coefficiente	Estimación	Error standard	Valor t	Pr > t
β_0	11,58212	0,4015	28,85	<,0001
β_1	-0,15971	0,00325	-49,21	<,0001
β_2	0,63958	0,0157	40,72	<,0001
β_3	0,000124	7,3 E-6	17,05	<,0001
β_4	1,763149	0,0206	85,43	<,0001
β_5	0,820647	0,0179	45,82	<,0001
β_6	0,958842	0,00573	167,24	<,0001

Tabla 4. Alternativas de manejo de densidad para el pino carrasco representadas en la Figura 2.

Alternativa	Clara	Diámetro medio cuadrático (cm)		Volumen de masa (m^3/ha)		Densidad (pies/ha)	
		Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después
1	a-b	15,0	15,0	100,0	60,0	1.400	1.000
	c-d	18,0	18,0	125,0	80,0	1.000	700
	e-f	23,0	23,0	175,0	110,0	700	500
	g-h	28,0	28,0	225,0	150,0	500	350
	i	36,0	-	275,0	-	350	-
2	I-II	22,0	22,0	150,0	100,0	800	575
	III-IV	26,0	26,0	200,0	125,0	575	400
	V	32,5	-	225,0	-	400	-

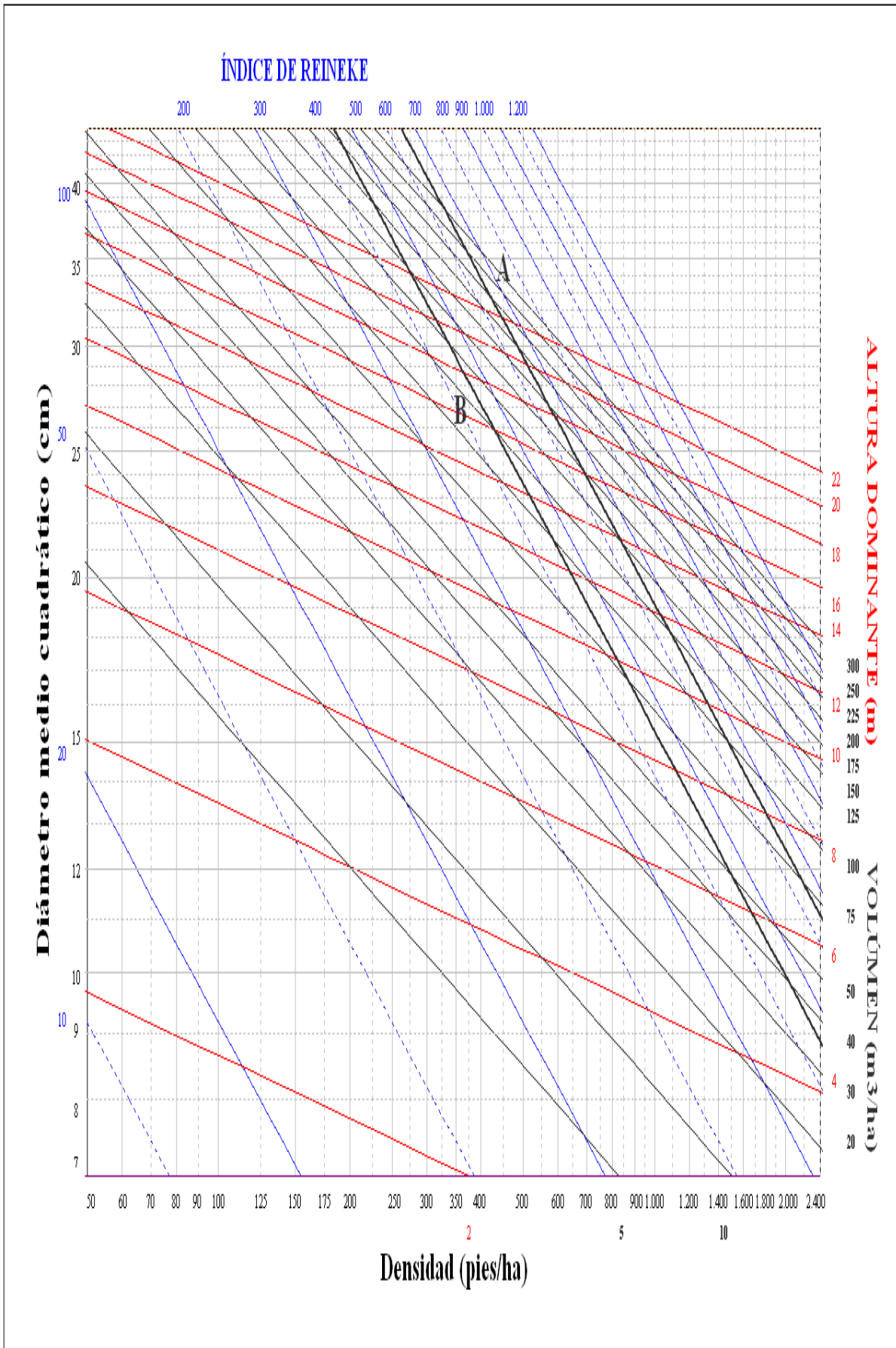


Figura 1: Diagrama de manejo de densidad para *Pinus halepensis* Miller en la zona catalana interior y aragonesa.

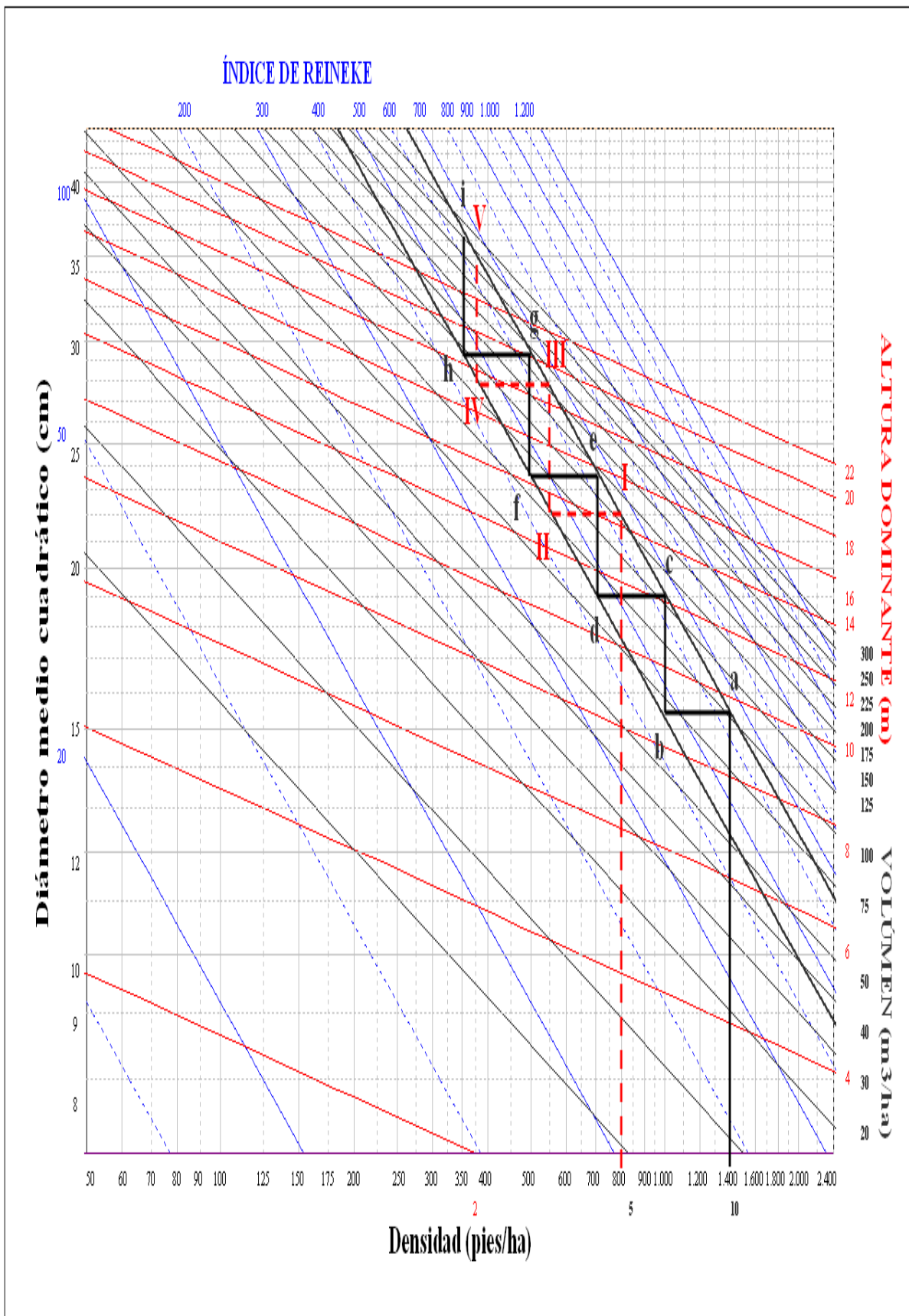


Figura 2: Diagrama de manejo de densidad para *Pinus halepensis* Miller en la zona catalana interior y aragonesa con las opciones de silvicultura indicadas en la Tabla 3. La opción 1 es la indicada el color negro, con las letras "a, b, c, d, e, f, g, h, i", y la opción 2 la representada mediante una línea roja discontinua, con las letras "I, II, III, IV, V".