

DIAGRAMAS PARA EL MANEJO DE LA DENSIDAD DE RODALES DE PINO NEGRAL (*Pinus pinaster* Ait.) EN EL SISTEMA CENTRAL

Peso, C. del.; Valbuena, P.; Bravo, F.; Ordóñez, C.

Departamento 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: cdelpeso@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 Segundo Inventario Forestal Nacional (IFN2) se han desarrollado los diagramas estáticos para el manejo de la densidad del rodal. La amplia base de datos del IFN2 permite disponer de datos que representan las situaciones selvícolas más habituales en nuestro país. En el presente trabajo se han delimitado dos zonas de estudio: Gredos-Guadarrama y Hurdes-Gata, donde existen importantes masas de pino negral. Se han ajustado las relaciones básicas que componen los diagramas desarrollados, presentándose éstos de forma gráfica como una herramienta de manejo para el gestor forestal.

PALABRAS CLAVE

Selvicultura – Índice de Reineke – Pino negral – Inventario Forestal Nacional.

INTRODUCCIÓN

El pino negral en el Sistema Central aparece en tres zonas claramente diferenciadas: las Sierras de Gredos y Guadarrama donde se sitúan extensas masas naturales muy manejadas por el hombre, aplicando una selvicultura hacia grandes escuadrías; las Sierras de Hurdes y Gata, donde se llevó a cabo una importante actividad repobladora entre las décadas de los años 60 y 80 con una problemática de incendios forestales con regeneración natural después de la quema; y las Sierras de Somosierra y Ayllón donde aparecen masas provenientes de repoblaciones más o menos jóvenes que por la escasez de parcelas presentes en el Inventario Forestal Nacional quedan fuera del estudio.

La existencia de escasas herramientas desarrolladas para el desarrollo de la selvicultura en pino negral (cabe citar las tablas de producción de selvicultura de densidad variable para *Pinus pinaster* Aiton en el Sistema Central de GARCÍA Y GÓMEZ (1989)), ponen de manifiesto la importancia de desarrollar nuevos modelos selvícolas aplicables a la especie de estudio.

Las decisiones selvícolas tomadas dentro de los límites de la masa deben buscar el maximizar los productos, minimizando el tiempo de obtención de los mismos. El mejor control sobre el desarrollo de estas masas forestales se obtiene a través del manejo de la densidad de los rodales, en el caso de masas regulares (ARCHIBALD & BOWLING, 1995).

Dentro de la amplia variedad de herramientas desarrolladas para facilitar la toma de decisiones al gestor forestal (especialmente en lo referente al control de la densidad) los diagramas de manejo de la densidad son especialmente interesantes. Desarrollados 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 las decisiones selvícolas para los rodales forestales. Se basan en la teoría del autoaclareo y las relaciones entre diámetro medio, altura dominante, densidad y volumen para masas regulares (ARCHIBALD & BOWLING, 1995), y 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 la vida de la masa (NEWTON & WEETMAN, 1994; BARRIO ANTA *et al.*, 2004).

El empleo de diagramas de manejo de densidad permite, además planificar y diseñar el régimen selvícola más adecuado 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 para masas puras de *Pinus pinaster* Aiton en las regiones de Gredos-Guadarrama y Hurdes-Gata, basado en el índice de densidad propuesto por REINEKE (1933) para caracterizar el crecimiento. La utilización de estos diagramas permite al gestor desarrollar con facilidad un amplio abanico de selviculturas dentro de un extenso rango de calidades de sitio y distintas finalidades de gestión (DEAN & BALDWIN, 1993).

MATERIAL Y MÉTODOS

Para realizar este estudio se han obtenido los datos del Segundo Inventario Forestal Nacional (IFN2), seleccionando las parcelas pertenecientes a las regiones de Gredos-Guadarrama y Hurdes-Gata, tanto las de masas naturales, como las procedentes de repoblación. Esta selección se ha realizado mediante el programa BASIFOR (RIO *et al.*, 2001).

Se ha analizado un total 194 parcelas del IFN2 en Gredos-Guadarrama y 180 parcelas en Hurdes-Gata, en las que la especie forma masa pura (masas con área basimétrica ≥ 10 m²/ha y un número de pies de la especie de estudio ≥ 90 % en número de pies).

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 representa el número de pies por hectárea (N) en el eje de las Y, y el diámetro medio cuadrático (D_g) en el eje de las X.

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 (m³/ha).

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

Las dos ecuaciones juntas definen un sistema donde N y H_0 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 las Figuras 1 y 2 en color azul), altura dominante (en las Figuras 1 y 2 en color rojo) y volumen (en las Figuras 1 y 2 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 la tabla 1 y 2. 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 8,98 y 79,38 cm (en Gredos-Guadarrama) y entre 10,80 y 39,16 cm (en Hurdes-Gata) y el eje de densidad oscila entre 20,37 y 2.699 pies/ha (en Gredos-Guadarrama) y entre 88,27 y 3052,23 pies/ha (en Hurdes-Gata), 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 (variables de entrada), situando ese punto en el diagrama se obtienen los valores 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 curva 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 y los límites propuestos por LONG (1985) a partir de este índice de densidad. Por encima del 60% del índice máximo de Reineke para la masa aparece el autoclareo, 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 las Figuras 1 y 2 por la línea límite del SDI en autoclareo (50% del SDI máximo) y nunca deberá ser superado por la masa para no perder rendimiento.

El nivel mínimo del índice de Reineke es del 35% sobre el valor SDI máximo encontrado, y por debajo de este valor no hay ocupación total del espacio; está representado en las Figura 1 y 2 por la línea límite del SDI en ocupación total.

CONCLUSIONES

El diagrama de manejo de densidad realizado para el pino negral en las zonas de Gredos-Guadarrama y Hurdes-Gata 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 para cualquier modelo estadístico, las predicciones no deben ser extrapoladas fuera del rango de datos originales con el que se realizó el ajuste.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología mediante los proyectos: “Dinámica de rodales de pino negral (*Pinus pinaster* Aiton) en el Sistema Ibérico Meridional: Estructura genética, regeneración y dinámica forestal”(código: AGL2001-1780) y “Regeneración y primer desarrollo en rodales forestales para masas de *Pinus pinaster* Aiton” (código: AGL2004-07094-CO2-02). Se agradece la colaboración de Marcos Barrio Anta y Juan Gabriel Álvarez (Universidad de Santiago de Compostela-Campus de Lugo) que facilitaron el archivo para representar gráficamente los diagramas elaborados.

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). 20 p.
- 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).
- 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.
- GARCÍA ABEJÓN J.L. ; GÓMEZ LORANCA, J.A. 1989 *.Tablas de producción de densidad variable para Pinus pinaster Ait. en el Sistema Central*. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias. Comunicaciones de INIA. Serie: Recursos Naturales nº 47. Madrid, 45 pp.
- NEWTON, P.F., WEETMAN, G.F. 1993. *Stand density management diagrams and their development and utility in black spruce management*. For. Chron. 69:421-430.
- NEWTON, P.F.; WEETMAN, G.F. 1994. *Stand density management diagram for managed black spruce stands*. For. Chron. 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/STATM User's Guide*, Release 8.2, Cary, N.C. USA.

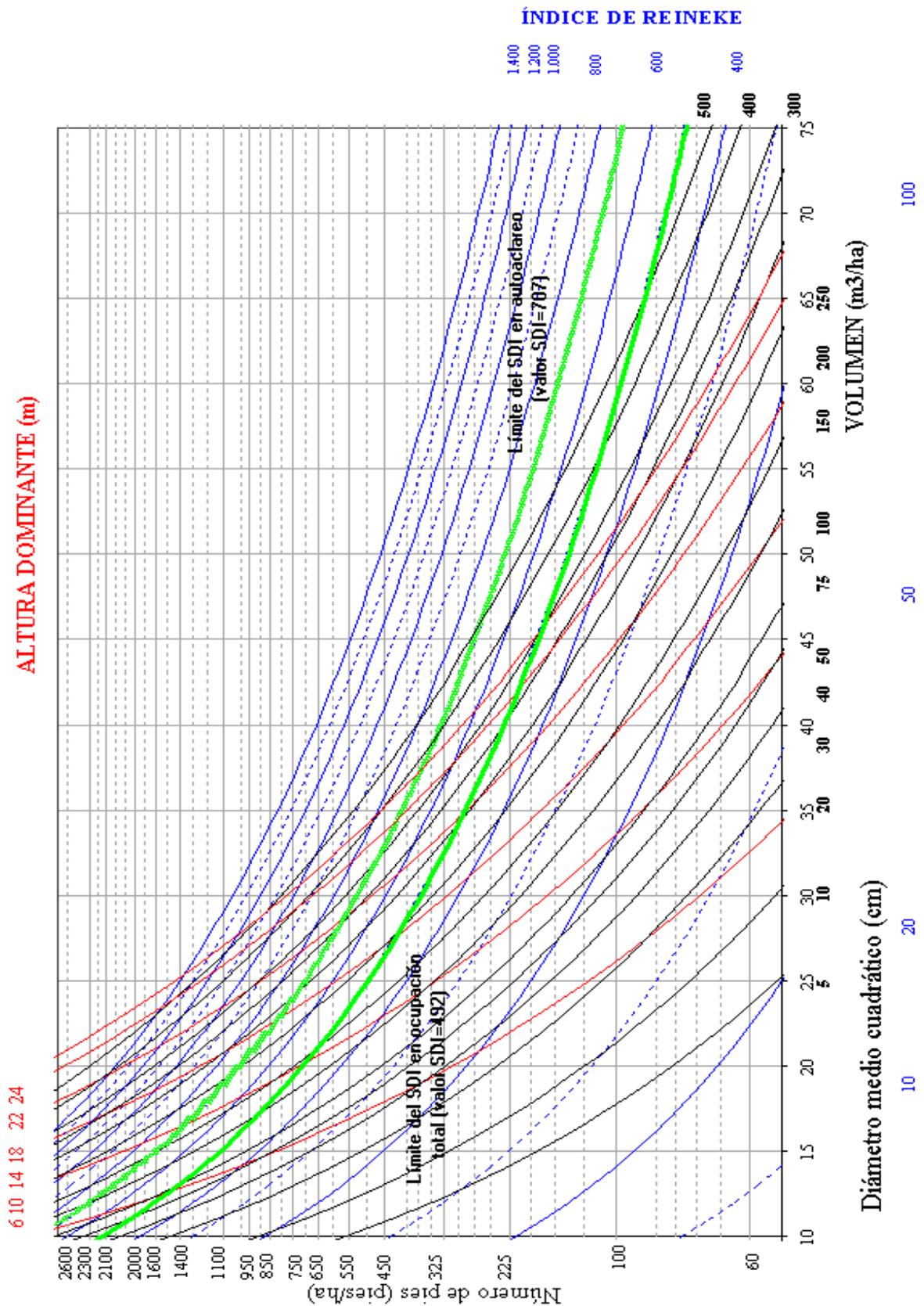


Figura 1: Diagramas de manejo de la densidad de *Pinus pinaster* en Gredos-Guadarrama.

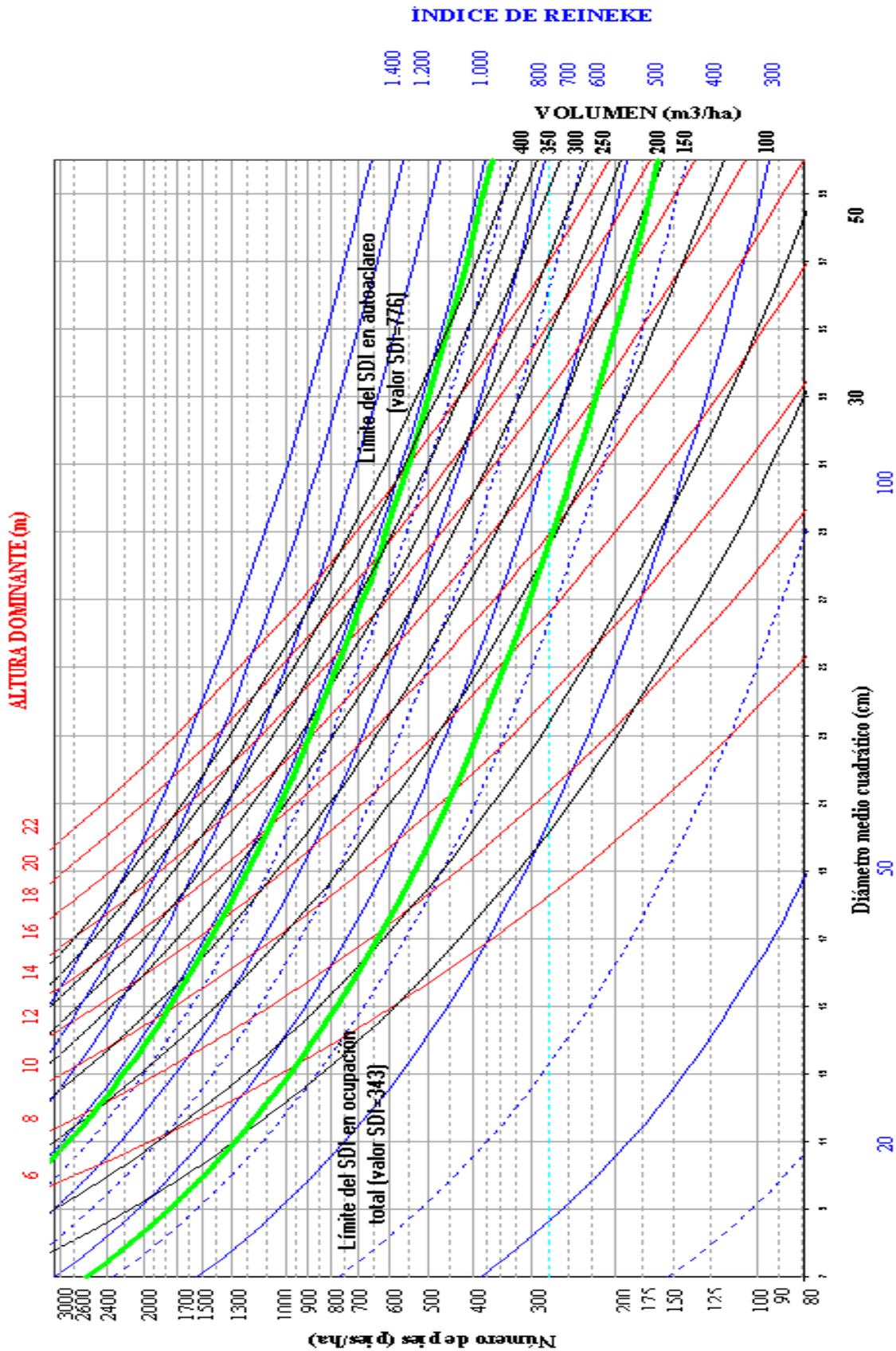


Figura 1: Diagramas de manejo de la densidad de *Pinus pinaster* en Hurdes-Gata.

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 *Pinus pinaster* en Gredos-Guadarrama (n=194 datos) y Hurdes-Gata (n=180 datos). Donde D_g es diámetro medio cuadrático en cm, N es número de pies o ha, SDI es índice de

Reineke, H_0 es la altura dominante en m y VCC es volumen con corteza en m^3/ha .

Variable	Gredos-Guadarrama				Hurdes-Gata			
	Media	Mín.	Máx.	Desv. Stand.	Media	Mín.	Máx.	Desv. Stand.
D_g	27,32	8,98	79,38	5,48	20,20	10,80	39,16	5,95
N	700	20,37	2.699	547,73	957	88,27	3.052,23	613,40
SDI	584,19	130,14	1.414,08	270,57	579,77	177,45	1.551,95	266,07
H_0	14,33	6,65	23,96	3,68	11,61	6,31	20,69	3,02
VCC	173,04	28,49	507,95	98,84	131,74	27,70	390,45	78,77

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 *Pinus pinaster* en Gredos-Guadarrama y Hurdes-Gata.

Ecuación	DF Modelo	DF Error	SSE	MSE	R ²	R ² ajustada
Gredos-Guadarrama						
D_g	3	191	2.755,5	14,426	0,8703	0,8690
V	4	190	21.737,1	114,40	0,9885	0,9883
Hurdes-Gata						
D_g	3	177	1.596,0	9,0168	0,7484	0,7456
V	4	176	14.547,1	82,6542	0,9869	0,9867

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 pinaster en Gredos-Guadarrama y Hurdes-Gata.

Coeficiente	Estimación	Error standard	Valor t	Pr > t	Estimación	Error standard	Valor t	Pr > t
	Gredos-Guadarrama				Hurdes-Gata			
β_0	45,51137	6,7369	6,76	<,0001	29,82279	5,8410	5,11	<,0001
β_1	-0,2957	0,00899	-32,88	<,0001	-0,26022	0,0188	-13,82	<,0001
β_2	0,488106	0,0406	12,03	<,0001	0,543041	0,0421	12,91	<,0001
β_3	0,000033	6,94E-6	4,77	<,0001	0,000046	0,000013	3,69	0,0003
β_4	2,233635	0,0424	52,74	<,0001	2,0719	0,0673	30,80	<,0001
β_5	0,72086	0,201	36,03	<,0001	0,762125	0,0394	19,34	<,0001
β_6	0,989581	0,0154	64,28	<,0001	1,00641	0,0212	47,51	<,0001