

EFICIENCIA DEL INVENTARIO FORESTAL NACIONAL PARA ESTIMAR LA DISTRIBUCIÓN DIAMÉTRICA DE DIFERENTES TIPOS DE RODALES

ORDÓÑEZ, C.¹ BRAVO, F.¹, RÍO, M. DEL²,

¹ Dept. de Producción Vegetal y Recursos Forestales

E.T.S. de Ingenierías Agrarias. Universidad de Valladolid

Avda. de Madrid, 44 34004 PALENCIA

Tfno. 979 108430 Fax 979 108440 correo electrónico: a_cristo@pvs.uva.es

² Centro de Investigación Forestal-INIA

Área de Selvicultura Mediterránea

Ctra. A Coruña, Km. 7.5 28040 Madrid

MESA 5

Resumen

Los datos del Inventario Forestal Nacional son una valiosa fuente de información que se ha utilizado tanto en la gestión como en trabajos de investigación. Anteriormente se ha estudiado como el IFN predice variables de masa como el área Basimétrica o el número de pies por hectárea, pero se conoce poco acerca de las predicciones de la distribución diamétrica de las masas inventariadas. Ocurre lo mismo con el tamaño de la parcela en la estimación de las distribuciones diamétricas. En este trabajo se evalúa el comportamiento de las distribuciones diamétricas transformadas mediante los factores de expansión para aconsejar con mayor seguridad la reducción del tamaño de la parcela en inventarios a gran escala como el Inventario Forestal Nacional. Es posible reducir el tamaño de las parcelas del IFN a 15 m sin perder eficiencia en la estimación de la distribución diamétrica en la mayor parte del territorio nacional, si bien en masas en las que existen árboles de diámetro elevado el diseño de inventario no puede prescindir del muestreo en la corona de 25 m. En masas en las que la distribución diamétrica es bimodal o con distribución espacial en agregados es necesario plantear modificaciones en el muestreo que permitan mejorar la estimación de la distribución diamétrica.

Palabras clave: factores de expansión, tamaño de parcela, inventario forestal, distribuciones diamétricas

INTRODUCCIÓN.

Los inventarios forestales a gran escala (regionales o nacionales) deben ser capaces de representar una gran variedad de tipos de masa forestal, incluyendo masas procedentes de repoblación o de regeneración natural con densidades, estructuras y grado de desarrollo muy diversos. Por ello, la elección del tipo y del tamaño de la parcela es crucial para obtener toda la información necesaria con una eficiencia estadística razonable y a un coste asumible. Por este motivo se considera fundamental estudiar detenidamente la forma en que se estiman las distintas variables de masa en distintos tipos de rodales forestales (BRAVO *et al.*, 2002; GRAY, 2003). En los inventarios forestales nacionales o regionales que se realizan en Europa y Norteamérica se emplean de manera habitual parcelas de radio variable.

En nuestro país el Inventario Forestal Nacional (IFN) (DGCN, 1990) es una valiosa fuente de datos que ha sido utilizada tanto en la gestión como en trabajos de investigación. Así, se han realizado trabajos sobre modelización, caracterización dasométrica, optimización del tamaño de parcelas en el inventario para la gestión forestal, caracterización de distribuciones diamétricas, estudio de la calidad de estación, planificación forestal y producción en volumen o biodiversidad (BRAVO *et al.* 2002)

BRAVO *et al.* (2002) estudiaron los factores de expansión y el tamaño óptimo de parcela, demostrando que parcelas de radio variable son adecuadas tanto para la estimación del número de árboles por hectárea (N) como para el área basimétrica (G) en distintos tipos de masas forestales. Así mismo, concluyeron que es posible disminuir, en un amplio rango de masas forestales, el radio de la parcela a 15 m sin perder eficiencia estadística en la estimación de N o de G. De esta forma, una parcela de tamaño similar a las empleadas en otros países europeos (radio máximo entre 15 m y 18 m) es suficiente para obtener estimaciones buenas de los parámetros de rodal. Aun así, indican que es necesario realizar más análisis para tener en cuenta otros tipos de masas, como las que tienen espesuras bajas (dehesas mediterráneas) o el estudio de rodales con distribuciones espaciales de agregados, no estudiadas hasta el momento.

No obstante, se ha estudiado poco el efecto del diseño de parcelas concéntricas sobre la estimación de la distribución diamétrica (BRAVO *et al.*, 2002). Por este motivo se hace necesario analizar el comportamiento de los factores de expansión y el tamaño de la parcela en la estimación de las distribuciones

diamétricas. Evaluar el comportamiento de las variables dasométricas transformadas mediante los factores de expansión es fundamental para poder aconsejar con mayor seguridad la reducción del tamaño de la parcela en inventarios a gran escala como el Inventario Forestal Nacional. Esta reducción supondría un enorme ahorro de costes y tiempo que podrían emplearse para la toma de otras variables de interés.

El objetivo principal del presente trabajo consiste en explorar la efectividad de los factores de expansión de las parcelas del IFN en la estimación de la distribución diamétrica real, así como la precisión que se perdería al eliminar la última subparcela de 25 m.

MATERIAL Y MÉTODOS.

Parcelas y datos de partida.

En el análisis de los factores de expansión objeto del presente estudio se han utilizado dos tipos de parcelas: por un lado parcelas medidas en campo, y por otro, parcelas simuladas.

Las parcelas medidas en campo son en total 297 parcelas distribuidas por distintos tipos de masas forestales, en bosques de coníferas y de frondosas, tanto en ámbito mediterráneo como atlántico (tabla 1). Las características dasométricas de estas parcelas se pueden ver en la tabla 2. Las parcelas simuladas son un total de 896 y los datos se han generado en dos fases: en primer lugar se ha simulado la distribución diamétrica y posteriormente la distribución espacial que ocupan esos árboles.

Para obtener la **distribución diamétrica** se ha elegido la distribución de Weibull de tres parámetros (Ec. 1), que es una de las funciones más utilizadas para el ajuste de distribuciones diamétricas de masas forestales (RÍO, 1998). Los diámetros medio y medio cuadrático permiten obtener los parámetros de escala y forma de la distribución de Weibull por el método de los momentos, mientras que como parámetro de localización se ha tomado el diámetro mínimo inventariable (75 mm). El diámetro medio (d_{med}), el diámetro medio cuadrático (d_g) y el índice de Reineke (SDI) se han generado de manera aleatoria, siguiendo una distribución normal en la que la media toma un valor de 250 mm para d_g y de 800 para el SDI, valores considerados como adecuados para las masas forestales españolas. d_{med} es siempre menor que d_g y se obtiene de la suma de éste y una variable aleatoria de distribución normal y media $-0,5$. Las características dasométricas de las parcelas simuladas se pueden ver en la tabla 3.

Para la simulación de la **distribución espacial** se asignó de forma aleatoria la disposición que se iba a seguir, resultando 450 de tipo regular y 446 de tipo Poisson (BRAVO *et al.*, 2002). En el caso de las parcelas regulares se construyó un cuadrado de 50 m de lado al que se superpuso una malla regular. El número de retículos de la malla es igual al número de pies correspondiente a la densidad elegida para la parcela. Posteriormente se eligió un punto de forma aleatoria en cada elemento de la malla. Por último se eligen los árboles que están a una distancia menor o igual a 25 m del centro del cuadrado. Para las parcelas de distribución tipo Poisson también se construye un cuadrado de 50 m de lado y se elige la posición de cada árbol utilizando distribuciones uniformes independientes en ambas coordenadas. Por último, como en el caso anterior, se restringen los árboles a aquellos que están a una distancia menor de 25 m del centro del cuadrado. En ninguno de los dos casos se consideró una distancia mínima entre árboles, ni relaciones distancia-diámetro mínimas.

Cálculo de distribuciones diamétricas y factores de expansión.

Cada una de las parcelas, tanto inventariadas como simuladas, han sido tratadas con los criterios del IFN, obteniendo por un lado los datos reales de las parcelas (medidas de todos los árboles con diámetro normal de al menos 75 mm), y por otro lado los datos de esas mismas parcelas pero sólo con las medidas de los pies que se hubieran inventariado en el IFN (parcelas de radio variable).

Para estudiar la distribución diamétrica se han agrupado los pies en 13 clases diamétricas de amplitud igual a 50 mm, siendo la menor la de 100 mm ($75 \text{ mm} \leq d < 124 \text{ mm}$) y la mayor la clase diamétrica de 700 mm. Además, se utiliza una clase más que engloba todos los pies cuyo diámetro normal es mayor de 725 mm. Los datos se han referido a la hectárea con los factores de expansión del IFN, por lo que se obtienen los datos por hectárea de las clases diamétricas para las parcelas de radios 5, 10, 15 y 25 metros según el IFN y que se compararán con los datos de las parcelas reales (inventariadas y simuladas).

Como la construcción de las parcelas simuladas se ha hecho a partir de un diámetro medio cuadrático de 25 m, el número de parcelas con árboles en las clases diamétricas superiores es muy reducido, siendo la de 550 mm la clase mayor con árboles.

Análisis de datos.

Para cada una de las expansiones (de las subparcelas de 5 m, 10 m, 15 m y 25 m) se ha calculado el error relativo medio cometido en la estimación del número de pies de cada clase diamétrica. Éste se ha realizado como diferencia entre el valor real (conteo de todos los pies de la parcela) y el valor resultante de la expansión en relación al valor real.

Se ha realizado una comparación entre el error relativo cometido en cada una de las subparcelas del IFN con respecto a la parcela real. Para ello, se ha seguido el siguiente proceso operativo:

1. Análisis descriptivo de los errores relativos, consistente en calcular las siguientes medidas básicas: tamaño muestral, media, desviación típica, mediana, mínimo, máximo, intervalo de confianza al 95% para la media e intervalo de predicción al 95%.
2. Elaboración de los gráficos de los intervalos de confianza y predicción para las distribuciones diamétricas de parcelas inventariadas y las dos distribuciones espaciales simuladas.
3. Por último, se ha realizado una comparación de varianzas, mediante un test de la F de Fischer, de las sucesivas extensiones para cada uno de los tipos de masas inventariadas con radio máximo de 25 m y para las distribuciones espaciales simuladas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos (resumen en tablas 4 y 5) muestran que las parcelas de radio variable que se emplean en el IFN en España son adecuadas para estimar la distribución diamétrica en gran parte de las situaciones. Sin embargo, hay casos en los que la estimación es sesgada como se refleja a continuación.

Los pies de la clase diamétrica de 100 mm sólo se muestrean en la subparcela de 5 m de radio, con lo cual, en masas con presencia de árboles de éstos diámetros en cantidades pequeñas y con distribución espacial muy irregular, puede ocurrir que no se muestree ningún pie de los que existe en la masa. Esto hará que el error cometido en la estimación del número de pies de esta clase diamétrica sea muy elevado, como ocurre con las parcelas de los hayedos cantábricos, en las que existen pies de espinos correspondientes a esa clase diamétrica. Del mismo modo, en las masas de piñonero de Viana de Cega y Hoyo de Pinares, con una distribución bimodal en las que se mezclan árboles maduros con pies jóvenes o regenerado adelantado de distribución espacial muy irregular. En ellas se puede apreciar que estas clases diamétricas pequeñas tienen una estimación sesgada del número de pies, lo que no contradice los buenos resultados de BRAVO *et al.* (2002) en cuanto al estudio del número de pies o del área basimétrica, ya que la importancia relativa que tienen estas clases en las variables estudiadas es muy pequeña.

Las parcelas estudiadas de pino piñonero tienen desigual estimación dependiendo de la zona y forma de las parcelas. En las parcelas que se muestrearon en Huelva, el error relativo es muy elevado y sesgado en todas las expansiones, cercanos al 60 % en algunas clases diamétricas, incluso en la expansión de 25 m donde los errores son menores habitualmente. Las parcelas de Valladolid presentan estimaciones muy pobres en las expansiones de 5 m y 10 m con errores en alguna clase diamétrica cercano al 60 %. En las expansiones de 15 m y 25 m el error disminuye bastante salvo en la clase diamétrica de 450 mm en la expansión de 15 m. En las parcelas de Viana y el Hoyo, los errores son muy elevados en las clases diamétricas más pequeñas en todas las expansiones por igual. En las clases diamétricas mayores de 325 mm el error disminuye al aumentar el tamaño de la subparcela, siendo en todas ellas el error menor del 20 %. Estos mayores errores de las parcelas de pino piñonero pueden deberse al tipo de parcela, ya que las parcelas de piñonero de Huelva y Valladolid son parcelas de radio variable con un número reducido de pies por parcela (10 ó 20). Por otro lado, el comportamiento tan diferente en las masas de Huelva puede deberse a su alta heterogeneidad interna, ya que se estudian de manera conjunta las repoblaciones de la Sierra de Aracena y las de la zona costera (BRAVO *et al.*, 2002).

Las parcelas de pino negral son de diámetros pequeños y además sólo se cuenta con las expansiones de 5 m y 10 m. Del mismo modo, para el pino silvestre, las parcelas inventariadas son también de diámetros pequeños. Sólo existe una parcela con diámetros mayores de 400 mm, y sólo dos parcelas disponen de la expansión de 25 m. Estas condiciones hacen que sólo se puedan analizar las expansiones correspondientes a un radio de 5 m y 10 m y las clases diamétricas menores, obteniéndose mejores resultados que en otras especies. Esta situación se repite en el caso del quejigo y rebollo. En las parcelas de quejigo el diámetro es muy pequeño (clase diamétrica menor de 175 mm) siendo el error menor del 7 % en la expansión de 10 m (la mayor disponible). En las parcelas de rebollo el error cometido en la expansión de 15 m (la mayor de las que se dispone por el tamaño de la parcela original) es menor del 15%. Por lo tanto, las parcelas inventariadas no permiten concluir si la estimación de las distribuciones diamétricas es correcta en todos los casos, aunque en general la estimación del número de árboles de cada clase diamétrica es buena en las expansiones de 15 m y 25 m.

En las parcelas simuladas los resultados son algo mejores que en las parcelas inventariadas. El error relativo medio observado es inferior al 3% en las parcelas con distribución espacial de Poisson y al 2% en las parcelas con distribución regular para la mayor parte de las clases diamétricas y expansiones. Estos resultados unido a lo observado en las parcelas de haya y pino piñonero sugieren la necesidad de estudiar el efecto de la distribución espacial en agregados en la estimación de las distribuciones diamétricas. Dentro de la dinámica de las masas forestales regulares, este tipo de distribuciones espaciales son frecuentes en la fase de establecimiento (MOEUR, 1997), mientras que las distribuciones de Poisson y regular son típicas de las fases de exclusión de fustes y madurez, donde ya se ha manifestado la competencia por los recursos (MEYER *et al.*, 1999), como es el caso de la mayor parte de las parcelas inventariadas.

En cuanto a la comparación de la varianza entre expansiones sucesivas, no se puede apreciar una diferencia significativa entre las parcelas de 15 m y 25 m en las clases diamétricas menores de 425 mm (tabla 5). Esto supone que, cuando los árboles muestreados tienen diámetros menores que este valor, se puede suprimir esta última parcela, sin pérdida de eficiencia en la estimación. En las clases diamétricas superiores a 425 mm sí que se aprecia una diferencia significativa en la estimación del número de pies, tanto en las parcelas reales como en las simuladas. Por lo tanto, para realizar el inventario en masas con árboles de estos diámetros no se puede prescindir de la corona de 25 m sin una alternativa menos costosa que permita estimar el número de pies de las clases diamétricas superiores. Una solución sería hacer un muestreo relascópico para captar la variabilidad en los árboles más gruesos, como propone GRAY (2003) en las parcelas del USDA Forest Service en la costa Noroeste del Pacífico para inventariar parcelas en masas viejas con diámetros mayores de 1219 mm. Esta solución no se puede aconsejar sin realizar un estudio que permita contrastar la precisión del inventario tradicional con una parcela de 25 m (con 4 subparcelas) con la que tendría una parcela de 15 m (con 3 subparcelas) y un inventario relascópico adicional para estimar los pies de dimensiones mayores.

Para ver la importancia de las clases diamétricas mayores de 425 mm se ha realizado una prospección para calcular el número de parcelas del IFN en el que hay pies de estas dimensiones. Para las especies analizadas en este estudio se ha encontrado que el total de parcelas con pies mayores es algo menor del 10 % del total. En la clasificación por especies para todas supone menos del 10 % salvo en las de haya, que llega al 22 %.

CONCLUSIONES.

En el diseño de parcelas del IFN se puede reducir el tamaño de las parcelas a 15 m, suprimiendo la corona de 25 m, sin perder eficiencia en la estimación de la distribución diamétrica en la mayor parte del territorio nacional.

En masas en las que existen árboles de diámetro elevado el diseño de inventario no puede prescindir del muestreo en una cuarta corona de 25 metros sin perder eficiencia en la estimación de la distribución diamétrica de las clases de tamaño superiores, siendo conveniente realizar un estudio que permita comparar la utilización de esta cuarta corona con una alternativa menos costosa como un muestreo relascópico.

En masas con mezcla de edades en las que los árboles jóvenes tengan una distribución espacial irregular es necesario plantear alguna modificación en el muestreo que permita mejorar la estimación del número de árboles de la clase diamétrica de 100 mm.

Es necesario estudiar el efecto de los factores de expansión en distribuciones espaciales en agregados para poder explicar los elevados errores de las masas de haya o piñonero en relación a la obtenida en parcelas simuladas

Agradecimientos.

El presente trabajo se ha realizado en el marco de un convenio de La Dirección General de la Biodiversidad del Ministerio de Medio Ambiente mediante con la UVA para el desarrollo de métodos de proyección del Inventario Forestal Nacional

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

BRAVO, F.; DEL RIO, M.; PANDO, V.; SAN MARTÍN, R.; MONTERO, G.; ORDÓÑEZ, C. AND CAÑELLAS, I. (2002). El diseño de las parcelas del Inventario Forestal Nacional y la estimación de variables dasométricas. Pp. 19-35. El inventario Forestal Nacional como elemento clave para la gestión forestal sostenible. Bravo, F., Del Río, M., del Peso, C., Fundación Gral. de la Universidad de Valladolid.

DGCN. (1990). Segundo Inventario Forestal Nacional 1986-1995: España. ICONA. Madrid.

GRAY, A. (2003). Monitoring stand structure in mature coastal Douglas-fir forests: effect of plot size.

Forest Ecology and Management 175:1-16.

MEYER, P.; SCHULTE, U.; BALCAR, P. AND KÖLBEL, M. (1999). Entwicklung der Baumarten- und Strukturdiversität in Buchennaturwald-Reservaten. Natur- und Umweltschutzakademie des Landes NRW, NUA-Seminarbericht "Buchennaturwald-Reservate- unsere Urwälder von morgen".

MOEUR, M. (1997). Spatial models of competition and gap dynamics in old-growth *Tsuga heterophylla/Thuja plicata* forests. Forest Ecology and Management 94:175-186.

RÍO, M. del. (1998). Régimen de claras y modelo de producción para *Pinus sylvestris* L. en los sistemas Central e Ibérico. INIA- E.T.S.I de Montes. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.

Tabla 1. Distribución y características de las parcelas inventariadas empleadas para comprobar los factores de expansión.

Provincia	Localización	Especie	Origen	Radio Máximo (m)	Nº de parcelas
Navarra	Sª de Urbasa	<i>Fs</i>	Natural	25	3
Vizcaya	Altube	<i>Fs</i>	Natural	25	5
La Rioja	Sª Cebollera	<i>Fs</i>	Natural	25	2
Valladolid	Viana de Cega	<i>Pp</i>	Natural	25	7
Ávila	Hoyo de Pinares	<i>Pp</i>	Natural	25	5
Segovia	Navafría	<i>Ps</i>	Natural	25	2
Guadalajara	Atienza	<i>Ppi</i>	Artificial	10	6
Valladolid	Varios	<i>Pp</i>	Natural	15	19
Valladolid	Varios	<i>Pp</i>	Natural	25	11
Huelva	Varios	<i>Pp</i>	Varios	5	27
Huelva	Varios	<i>Pp</i>	Varios	10	63
Huelva	Varios	<i>Pp</i>	Varios	15	63
Huelva	Varios	<i>Pp</i>	Varios	25	39
Segovia	Navafría	<i>Ps</i>	Natural	10	6
Segovia	Navafría	<i>Ps</i>	Natural	15	6
Guadalajara	Barriopedro	<i>Qf</i>	Natural	10	17
Guadalajara	Barriopedro	<i>Qf</i>	Natural	15	7
Madrid	Navacerrada	<i>Qp</i>	Natural	15	9

Fs: *Fagus sylvatica* L.; Pp: *Pinus pinea* L.; Ps: *Pinus sylvestris* L.; Ppi: *Pinus pinaster* Ait.; Qf: *Quercus faginea* Lamk.; Qp: *Quercus pyrenaica* Willd.

Tabla 2.- Características dasométricas de las parcelas inventariadas.

	Observaciones	Media	Desviación estándar	Máximo	Mediana	Mínimo
N	297	363	124327	2230	243	27
G	297	12.20	82.15	43.85	9.79	0.24
d medio	297	236	11849	605	219	100
Dg	297	241	12340	609	225	100
SDI	297	254	35900	932	203	7

N: número de pies por ha; G: área basimétrica (m²/ha); d medio: valor medio del diámetro a 1,3 m (mm); dg: diámetro medio cuadrático (mm); SDI: índice de Reineke.

Tabla 3. Datos medios de los parámetros previos para la simulación de las 896 parcelas simuladas

	a	b	c	dg	DIF	dm	SDI	N	G
media	7.5	18.0	3.5	24.3	-0.6	23.7	803.0	916.0	38.8
S	0	4.89	0.79	4.54	0.13	4.51	134.15	370.49	7.08
mín	7.5	2.4	1.0	10.1	-1.0	9.9	418.6	257.2	21.0
máx	7.5	31.7	5.0	37.2	-0.2	36.5	1187.7	3890.1	59.6

a, b, c: parámetros de localización escala y forma de la distribución Weibull; dg: diámetro cuadrático medio (cm); dm: diámetro medio (cm); DIF: diferencia entre el dg y dm; SDI: índice de Reineke; N: densidad (pies/ha); G: área basimétrica (m²/ha); media: valor medio del parámetro; S: desviación estándar; mín: valor mínimo de la variable; máx: valor máximo de la variable

Tabla 4. Resumen de clases diamétricas en las que la estimación del número de pies es sesgada.

Tipo de parcela	Especie	Expansiones	Clases diamétricas en las que los intervalos de confianza son sesgados (mm)
Inventariadas	Haya	5	100, 150, 250, 350, 450, 500, 550
		10	100, 350, 400
		15	100
		25	100
	Piñonero (Huelva)	5	150, 300, 550
		10	250, 300, 550
		15	250, 300, 350
		25	150, 300, 350, 450
	Piñonero (Valladolid)	5	200, 450, 550, 600
		10	
		15	
		25	
	Piñonero (Viana / El Hoyo)	5	100, 150, 200, 250, 300
		10	100
		15	100
		25	100
	Pinaster	5	
		10	
		5	300
		10	
Silvestre	15		
	25		
	5	150	
	10		
Quejigo	15		
	5	200	
	10		
	15		
Rebollo	5		
	10		
	15		
	5	500	
Simuladas	Distribución regular	10	
		15	
		25	
		5	350, 400, 500
	Distribución tipo Poisson	10	
		15	
		5	
		25	

Tabla 4. Comparación de varianzas.

CD	5 m -> 10 m			10 m -> 15 m			15 m -> 25 m		
	invent.	dist. Poisson	dist. regular	invent.	dist. Poisson	dist. regular	invent.	dist. Poisson	dist
100									
150	*	*	*						
200		*	*						
250	*	*	*	*	*	*			
300	*	*	*		*	*			
350	*	*	*		*	*			
400	*		*	*	*	*			
450		*	*	*	*	*	*	*	
500	*	*	*		*	*	*	*	
550			*			*	*	*	
600	*			*			*		
650	*			*			*		
700	*			*			*		
750									

Las zonas sombreadas no existe posibilidad de comparación de varianza del error. Los asteriscos son las comparaciones en las que la diferencia de varianza entre cada expansión consecutiva es significativa al 95% de probabilidad