

OPTIMIZACIÓN DEL TAMAÑO DE LA PARCELA DE MUESTREO MEDIANTE SIMULACIÓN DEL INVENTARIO FORESTAL

S. CONDÉS; J. MARTÍNEZ-MILLÁN

UD. Dasometría. ETSI Montes. Universidad Politécnica de Madrid.

RESUMEN

Los tamaños de las parcelas de muestreo en los inventarios para la ordenación de montes, se adoptan más por la costumbre, o por simples normas basadas en el número de pies por hectárea, que como consecuencia de procesos lógicos de optimización.

Con la idea de facilitar el diseño óptimo de muestreo se han confeccionado en primer lugar unos programas que permiten la simulación de rodales forestales a partir de los datos de parcelas del Segundo Inventario Forestal Nacional representativas de un tipo de monte con una especie dominante y un estado de masa determinado. Una vez generados los rodales se han creado otros programas que permiten simular, sobre ellos, muestreos sistemáticos con parcelas circulares de diferentes radios.

Con los resultados de estas simulaciones se investigan las relaciones entre los coeficientes de variación del número de pies y del volumen por hectárea y el tamaño de las parcelas de muestreo. Añadiendo a esto tiempos de medición y datos de velocidades de progresión en los montes se podrán obtener los diseños óptimos a utilizar en los inventarios para ordenación.

La metodología se ha aplicado a cuatro situaciones de un monte ordenado de *Pinus sylvestris*.

P.C.: simulación, diseño óptimo, coeficiente de variación, tamaño de parcela, inventario por muestreo, ordenación de montes, *P. sylvestris*,

SUMMARY

Sizes of sampling plots used in forest inventories for management are mostly adopted from simple rules of thumb based on the number of trees per ha. instead of a consequence of an optimisation process.

In this study the relationships between the variation coefficients (of the number of trees and volume per ha) and the sampling plot sizes are investigated. Firstly a set of computer programs, that allow the simulation of representative forest stands (type of forest, dominant species and stand development) from data of the Spanish National Forest Inventory, have been developed.

Once generated the forest stands, another set of programs allow the simulation of systematic samplings with circular plots of different radius. The obtained relationship between the variation coefficients and plot sizes allow together with data of times of plot's measurements and cruising velocity, to obtain optimal sampling designs, to use in these types of inventories.

The methodology has been applied to four different states of stand's development in a forest of *Pinus sylvestris* under a management plan.

K.W.: simulation, plot size, optimal design, variation coefficient, sampling inventory, forest management, *P. sylvestris*

INTRODUCCIÓN:

En los inventarios forestales para la ordenación de montes se suele recabar información de forma independiente para de cada uno de los cantones o tramos que son objeto de gestión. Generalmente el inventario que se lleva a cabo suele ser sistemático, y realizado mediante parcelas circulares cuyo tamaño se elige fundamentalmente como consecuencia de la costumbre o en función del número de pies por hectárea.

El error que se comete es función tanto del número de parcelas de muestreo como del coeficiente de variación entre parcelas para la variable que se está estudiando. Así se puede escribir para un muestreo irrestricto que:

$$\varepsilon(\%) \approx \pm t \frac{Cv(\%)}{\sqrt{n}}$$

donde ε es el error relativo en la estimación, Cv el coeficiente de variación, n el número de parcelas y t el valor de la función t de Student para una probabilidad fiducial determinada y $n-1$ grados de libertad.

Se debe tener en cuenta, sin embargo, que el valor del coeficiente de variación está íntimamente ligado con el tamaño a , de la parcela de muestreo. La relación que liga estas variables puede ser escrita como $Cv = k a^{-b}$, donde k y b son coeficientes que deben ser investigados. El conocimiento de los valores de dichos coeficientes, junto a datos de rendimientos y costes, permite hacer un diseño óptimo en los inventarios.

Diversos autores proponen distintos valores del coeficiente b . Probablemente el más utilizado en España es el propuesto por Freese (1961) y comprobado más adelante por otros autores (Zeide, 1980). Este valor de b igual 0,25 ha sido obtenido de forma empírica para el coeficiente de variación de los volúmenes por unidad de área, y hay que tener en cuenta que otros autores proponen valores comprendidos entre 0,12 y 0,60 (Lindgren, 1984).

En este trabajo se estudia la relación $Cv = k a^{-b}$, con aplicación directa a masas ordenadas de *Pinus sylvestris* en la provincia de Segovia, y se plantea una metodología que se puede repetir de forma sencilla para obtener dicha relación para las principales masas españolas objeto de ordenación.

MATERIAL Y MÉTODOS:

Para realizar este estudio se ha simulado un inventario forestal sobre 4 masas diferentes que han sido generadas aleatoriamente, con la ayuda de un PC, en lugar de recurrir a la medición y mapeo de rodales reales. A continuación se va a describir en primer lugar la metodología seguida para la generación de los rodales sobre los que se realizó el muestreo, y en segundo lugar la simulación del inventario forestal.

Simulación de los rodales

Se han generado 4 rodales cuadrados con una superficie de 25 hectáreas cada uno. Las características de estos rodales se corresponden, tanto en distribución diamétrica como en distribución espacial, con 4 tipos de masa diferentes, todas ellas de la especie *Pinus sylvestris* en Valsaín, Segovia, y ordenadas por el método de tramo móvil.

Para determinar las características de las masas se ha recurrido a las parcelas de muestreo del Segundo Inventario Forestal Nacional, seleccionando aquellas que por sus coordenadas UTM estuviesen incluidas en el monte de Valsaín, resultando ser un total de 70 parcelas. Con la ayuda del programa SPIN (Condés, 1998) se han analizado dichas parcelas, calculando valores característicos de la masa tales como número de pies por hectárea, área basimétrica por hectárea, diámetro medio cuadrático y volumen por hectárea obtenido mediante una tarifa de cubicación. De acuerdo a estas variables se hace una nueva selección y se agrupan las parcelas en 4 grupos, cuyas características generales se resumen en la tabla siguiente:

Estos datos, junto a un análisis visual de las distribuciones diamétricas de estas masas (figura 1) parece indicar que se corresponden con masas con distintos grados de madurez, desde la masa 1, perteneciente al grupo de mejora con un elevado número de pies por hectárea y diámetros inventariables de las clases diamétricas más bajas, hasta la masa 4 que pertenece al grupo en regeneración, en la que se observa que el número de pies por hectárea ha disminuido considerablemente y los árboles tienen diámetros de las clases diamétricas superiores. Las masas 2 y 3 pertenecen a grupos los grupos de preparación, intermedios entre los grupos anteriores.

Para poder realizar más fácilmente la simulación de los diámetros se ha ajustado una función Weibull de 3 parámetros a cada uno de los tipos de masa. Esta función, por tener una forma integral explícita, permite obtener de forma sencilla, mediante generación de números aleatorios, unos diámetros cuya distribución coincida con la de la función ajustada (Condés, 1997 y Alvarez, 1997).

En la figura 1 se puede ver también el ajuste de la función Weibull sobre las distribuciones diamétricas de los 4 tipos de masa con los que se está trabajando.

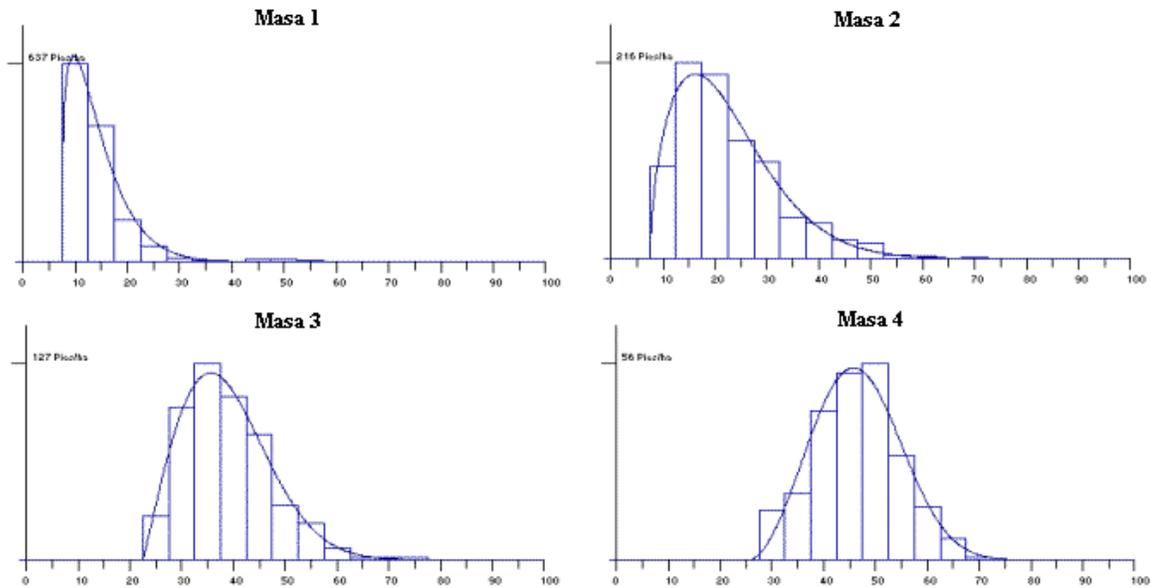


Figura 1: Distribuciones diamétricas y funciones teóricas de Weibull ajustadas sobre los 4 tipos de masa.

Por otro lado se ha realizado un análisis de la distribución espacial de los árboles de las parcelas del IFN2 seleccionadas. Para realizar este análisis, que pretende determinar si los árboles siguen una distribución uniforme, aleatoria o con agregados, se ha empleado el índice de Byth y Ripley (Byth y Ripley, 1980). La aplicación de este índice ha indicado que la distribución espacial de las masas estudiadas es de tipo Poisson, es decir, los árboles están situados sobre la parcela aleatoriamente, ocupando todo el espacio disponible.

Una vez analizadas las distribuciones diamétricas y espaciales de las masas, se ha procedido a la generación de los rodales sobre los que se simulará el inventario, de manera que se mantengan las características de ambas distribuciones. Hay que decir que en este estudio no se ha tenido en cuenta la posible correlación espacial de los árboles como consecuencia de sus diámetros, y por lo tanto los rodales se han simulado generando las distribuciones diamétrica y espacial de forma independiente.

Así pues, un rodal se ha simulado, generando un número de árboles igual al número de pies que tenga dicho rodal. Para cada árbol se han generado al azar dos coordenadas espaciales x e y , que indican la posición del árbol dentro del rodal. Dando valores aleatorios a las dos coordenadas dentro de los límites de las 25 hectáreas se consigue que la distribución espacial sea de tipo Poisson. Además se ha asociado a este par de coordenadas un valor indicativo del diámetro del árbol, obtenido a partir de la función Weibull.

Simulación del inventario

Una vez generados los rodales sobre los que se va a realizar el muestreo, se ha simulado la realización de un inventario sistemático con parcelas circulares con las características que se describen a continuación.

La malla de muestreo tiene 100 metros de lado, lo que significa que, al ser 25 hectáreas la superficie del rodal, se han realizado 25 parcelas. Las parcelas de muestreo se sitúan sobre el rodal sorteando las coordenadas (x, y) del centro de la primera parcela, y situando los centros de las demás en los vértices de una malla de 100 metros que pase por dicho punto.

Para evitar el problema que representan los bordes de la masa, se ha restringido la situación de las parcelas de manera que no exista la posibilidad de que queden en parte fuera del rodal. Puesto que los rodales han sido generados aleatoriamente, los árboles del borde tienen las mismas características que el resto de los árboles de la masa, y por lo tanto, no supone ningún problema el que dichos árboles tengan una probabilidad menor de selección (LINDGREN, 1984).

Una vez situados los centros de las parcelas se han realizado 13 inventarios variando el valor del radio de la parcela de metro en metro desde los 8 a los 20 metros. Para realizar los cálculos se considera que un árbol está dentro de una parcela cuando la distancia entre el centro del árbol y el centro de la parcela es menor que el radio de la misma.

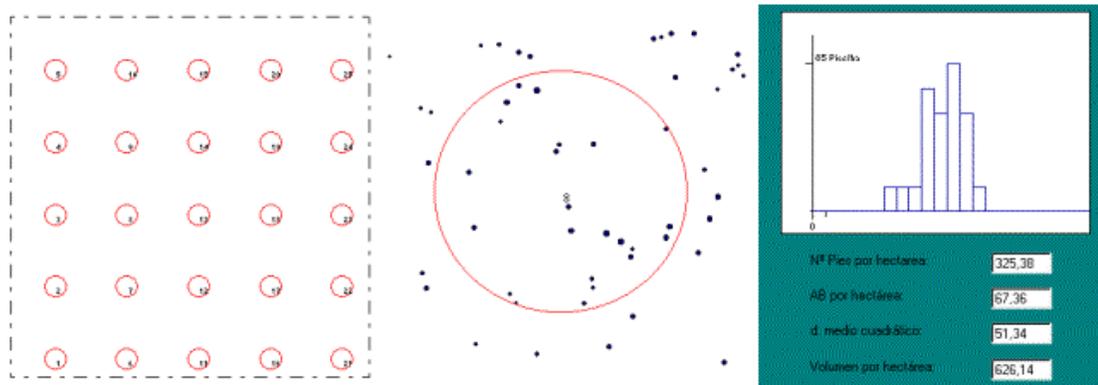


Figura 2: Simulación del inventario y resultados obtenidos para una de las parcelas de muestreo.

Para cada radio de muestreo se han calculado los valores del número de pies por hectárea y del volumen por hectárea, obtenidos como media de los valores obtenidos en cada parcela. Asimismo se ha calculado el coeficiente de variación entre parcelas, para ambas variables. En la figura 2 se puede observar el dispositivo de muestreo, una de las parcelas y los resultados obtenidos para dicha parcela en concreto.

El procedimiento que se acaba de explicar se ha repetido 30 veces en cada rodal, de esta forma se cuenta con un número suficiente de valores para cada radio de muestreo.

RESULTADOS Y/O DISCUSIÓN

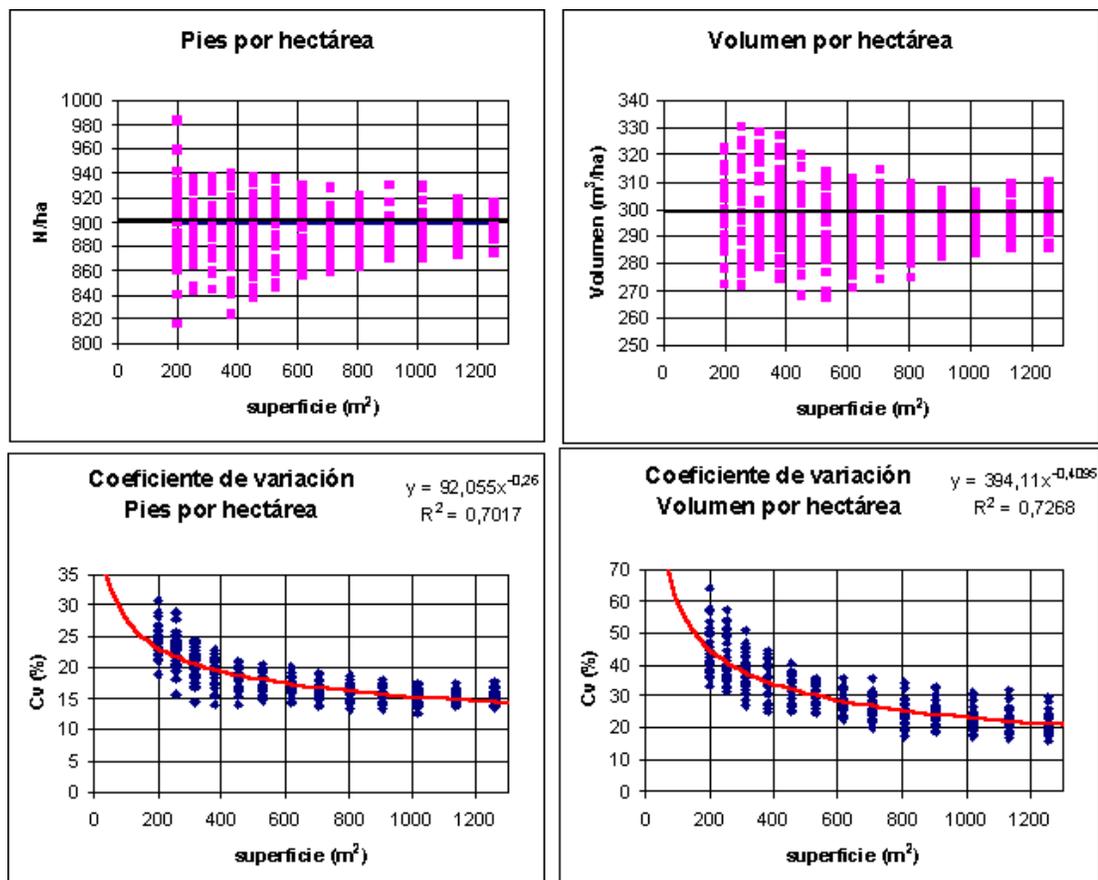


Figura 3: Representación de los resultados y obtención de las curvas del coeficiente de variación para rodales del tipo 2.

Según se acaba de explicar, para cada tipo de masa se han obtenido los siguientes datos: número de pies por hectárea, volumen en metros cúbicos por hectárea y sus coeficientes de variación, todos ellos referidos al tamaño de la parcela de muestreo.

Para analizar estos datos se han representado gráficamente. En la figura 3 se pueden observar a modo de ejemplo los resultados obtenidos para uno de los tipos de masa estudiados (masa 2: 900 pies/ha y 298,8 m³/ha de volumen), tanto del número de pies por hectárea, como del volumen por hectárea, así como de sus coeficientes de variación en función de la superficie de la parcela. En las gráficas que representan el número de pies y el volumen por hectárea, se ha representado con una línea horizontal más gruesa el valor real que toma la variable en el rodal. Se puede observar como al aumentar el tamaño de la parcela disminuye la diferencia entre el valor real de la variable y el estimado mediante el inventario. En las gráficas que representan los coeficientes de variación se ha ajustado una curva de tipo potencial que va a permitir compararla con la curva propuesta por Freese (1961).

En la figura 4 se representan juntas las curvas de los coeficientes de variación obtenidas para cada tipo de masa, de forma que se puedan comparar entre sí. En cada uno de los gráficos se presentan las formas teóricas de las curvas que relacionan el coeficiente de variación y la superficie de la parcela de muestreo.

En el caso del coeficiente de variación del número de pies por hectárea, se puede observar como al aumentar el número de pies la pendiente de la curva disminuye. El valor del exponente es igual a 0,24 con una densidad alta, mientras que este exponente va aumentando, hasta alcanzar un valor de 0,41, al disminuir la densidad de las masas.

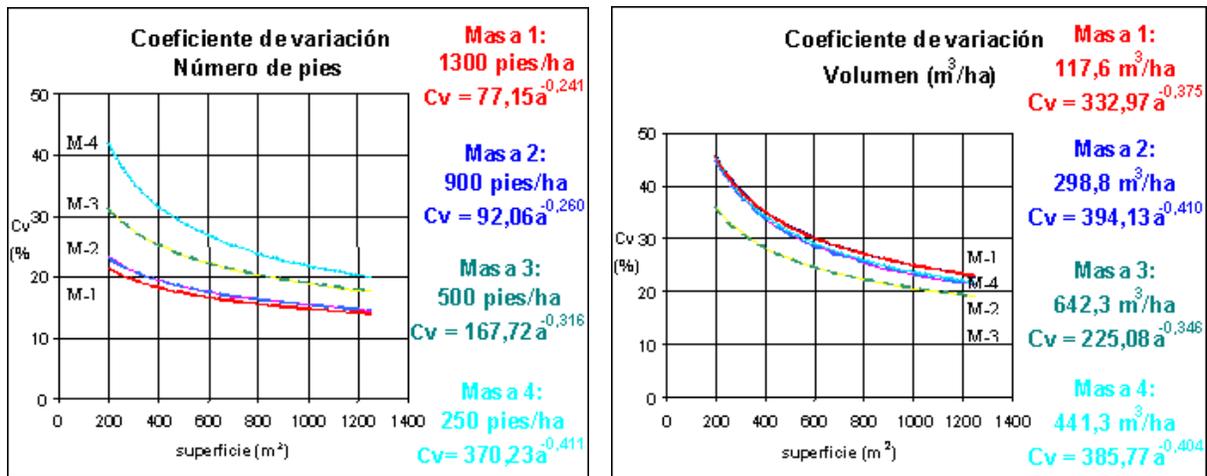


Figura 4: Curvas del coeficiente de variación en función del tamaño de la parcela, para los diferentes tipos de masa.

En el caso del coeficiente de variación del volumen no existe una gradación clara, y no se puede decir que al aumentar el valor del volumen por hectárea disminuya el exponente de la curva como ocurría en el caso anterior. Ocurre además que las curvas se diferencian menos entre sí, tomando los exponentes valores comprendidos entre 0,34 y 0,41.

CONCLUSIONES

La relación que liga el coeficiente de variación con el tamaño de la parcela no es fija, sino que varía en función de las características de la masa forestal.

En este trabajo se obtienen como resultado una serie de curvas que relacionan el coeficiente de variación del número de pies por hectárea y del volumen por hectárea con el tamaño de la parcela. Las curvas que aquí se presentan tienen aplicación únicamente para las masas de *Pinus sylvestris* a las que se ha aplicado la metodología.

Sin embargo, la metodología en si misma, resulta de gran utilidad, ya que, mediante el uso de las parcelas del Segundo Inventario Forestal Nacional, y de los programas confeccionados, se pueden obtener las relaciones $Cv = k a^{-b}$ para las principales masas ordenadas en España.

La determinación de esta relación para un tipo de masa concreto, asociada a tiempos de medición y velocidades de progresión en el monte permitirá realizar un diseño óptimo del muestreo.

BIBLIOGRAFÍA

- ÁLVAREZ GONÁLEZ, J.G.; (1997). *Análisis y caracterización de las distribuciones diamétricas de Pinus pinaster AIT. en Galicia*. Tesis Doctoral ETSI de Montes. Madrid. 270 p.
- BYTH, K. y RIPLEY, B.D.; (1980). *On sampling spatial patterns by distance methods*. Biometrics 36: 279-284.
- CONDÉS, S.; (1997). *Simulación de parcelas arboladas con datos del Segundo Inventario Forestal Nacional*. Tesis Doctoral ETSI de Montes. Madrid. 616 p.
- FREESE, F.; (1961). *Relation of plot size to variability: an approximation*. Journal of Forestry, sept: 679.
- LINDGREN, O.; (1984). *A study on circular plot sampling of Swedish forest compartments*. Report 11. Swedish University of Agricultural Sciences. Section of Forest Mensuration and Management. 153 p.
- ZEIDE, B.; (1980). *Plot size optimization*. Forest Science 26(2): 251 –257.